



République Algérienne Démocratique et 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 Sciences Géologiques



Mémoire de fin d'étude
En vue d'obtention du diplôme de **Master II** en Hydrogéologie

Thème

Le forage d'eau : Aspects théorique et pratique.
Cas du forage BM-13 (W. Boumerdes).

Présenté par :
BEGGOUR Bilal
CHABNI Khaled

Soutenu le 15/07/2021, devant le jury composé de :

M. KARDACHE R. (UMMTO)	MCA	Président
M. DROUCHE A. (UMMTO)	MACA	Promoteur
M ^{me} BENCHABANE N. (UMMTO)	MACA	Examinatrice

2020/2021

Remerciements

Remerciements

Nos remerciements s'adressent premièrement et avant tout à « Dieu » le tout puissant, qui nous a permis de réaliser ce travail jusqu'au bout, et pour sa grâce tout au long de notre vie estudiantine et personnelle

Nous tenons à remercier M. DROUCHE A. pour son encadrement et le temps consacré pour nous, et d'avoir facilité les conditions de travail et la réalisation de notre étude que ce soit en théorie ou en pratique sur terrain.

Nous remercions aussi M. KARDACHE R. d'avoir accepté de présider le jury et de nous avoir aidé durant notre cursus universitaire.

Nous remercions également M^{me} BENCHABANE N. d'avoir fait partie du jury et examiné notre travail.

Nos remerciements s'adressent également à M^{me} DROUCHE M., ingénieure à la DRE de Boumerdes. M^{me} KARICHE R., ingénieure à l'A.N.R.H de Blida ainsi que M^{lle} KACI MOUSSA D. de leurs orientations sur le terrain ou avec les ouvrages et documents qui ont mis à notre disposition.

Nos vifs remerciements vont à tous les enseignants qui ont participé à notre formation, ainsi que tous ceux qui ont participé de près ou de loin dans la réalisation de ce mémoire de fin d'étude, en particulier, nos camarades, avec qui, on a partagé des moments de plaisir pendant notre cursus universitaire.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

Mes parents, qu'aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de l'amour dont ils ne cessent de me combler, que dieu les protège et leur procure longue vie et bonne santé.

Mes frères Massi et Ghiles que j'aime. Je leur souhaite une vie pleine de bonheur, de joie et de réussite dans leurs chemins.

Toute la famille CHABNO et SMACHE

Ma chère aimée Fella qui m'a soutenu tout au long de mon parcours. Elle était à mes côtés et je souhaite qu'elle le fasse pour toujours.

Mes amis qui m'ont accompagné durant mon cursus universitaire, je nomme Bilal mon binôme, Sadek, Abdou, Ali et Aziz, avec qui j'ai passé que des beaux moments.

Toute personne dont sa présence m'a fait plaisir dans ce jour. Aux camarades de la promotion 2020/2021, tous les étudiants du département des Sciences Géologiques et son staff administratif.

Toutes personne qui a contribué, de près ou de loin, dans la réalisation de ce modeste travail.

CHABNO Khaled



Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

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

A mes frères et sœurs bien aimés, pour leurs encouragements et leurs soutiens. Sans eux ma vie n'aura pas de sens.

A toutes la familles BEGGOUR.

A mon cher binôme pour sa patience avec moi, aussi bien pour sa collaboration que pour son aide pendant toute la période d'étude.

A tous mes amis sans exception.

A toute la promotion d'Hydrogéologie « 2020/2021 »

A tous les Géologues de l'UMMTO.

BEGGOUR Bilal

Résumé

Résumé

L'année hydrologique 2020/2021 s'est caractérisée par une faible Pluviométrie qui a engendré une pénurie d'eau dans le pays. Dans la wilaya de Boumerdes, comme dans les wilayas limitrophes, les barrages d'eau ont enregistré une baisse du niveau très importante. Cette situation a un impact direct sur l'alimentation en eau potable de l'ensemble de la wilaya. La distribution est passée de l'eau disponible en permanence à des tranches réduites qui ne dépassent pas quelques heures par jour dans certaines villes et localités.

Devant cette situation, les décideurs du domaine hydraulique ont opté pour l'exploitation des eaux souterraines. En effet, la réalisation de 71 forages et l'aménagement de 72 sources d'eau ont été lancés dans un programme d'urgence durant le 2^e trimestre de 2021 (DRE, Boumerdes).

Le forage BM 13, localisé dans la périphérie de la ville de Bordj Menaiel, faisant partie de ce plan d'urgence, a été choisi pour effectuer un suivi technique dans le cadre d'un projet de fin d'études.

Ce forage a été réalisé avec la méthode rotary et équipé avec un tubage en PVC de diamètre 400 mm, sur une profondeur de 54 m. Le forage BM-13, qui capte la nappe alluviale du bas Isser, donne un débit d'exploitation de 25 l/s correspondant à 2160 m³/j. Ce volume d'eau va renforcer l'alimentation de la ville de Bordj Menaiel et diminuer l'impact du déficit enregistré durant cette année.

Mots clés : Bas Isser, eau souterraine, forage d'eau, rotary, Bordj Menaiel.

Abstract

The hydrogeological year 2020/2021 was characterized by low precipitation that caused water shortage in the country. In the wilaya of Boumerdes, as in the bordering wilayas, the water dams have recorded a very significant decrease in the level of water. This had a direct impact on the drinking water supply of the entire wilaya. Distribution has shifted from permanently available water to reduced slices of no more than a few hours per day in some cities and towns.

Faced with this situation, decision-makers in the water field opted for the exploitation of groundwater. In fact, the completion of 71 borehole and the development of 72 water sources was launched in an emergency program during the 2nd quarter of 2021 (DRE, Boumerdes).

The BM 13 borehole, located on the outskirts of the town of Bordj Menaiel, as part of this emergency plan, was chosen to carry out a technical follow-up as part of a final project.

This borehole was carried out using the rotary method and equipped with a PVC casing with a diameter of 400 mm, over a depth of 54 m. The BM 13, which captures the alluvial aquifer of the lower Isser, resulted in an operating flow of 25 l/s corresponding to 2160 m³/d. This volume of water will strengthen the supply of the city of Bordj Menaiel and reduce the impact of the deficit recorded during this year.

Key words: Lower Isser, Groundwater, borehole, rotary, Bordj Menaiel.

Listes des Abréviations

Listes des Abréviations

ANRH	Agence Nationale des Ressources Hydriques
CGG	Compagnie Générale de Géophysique
AEP	Alimentation en Eau Potable
PVC	Polychlorite de vinyle
TNRS	Tôle Noir Roulé Soudé
MFT	Marteau Fond de Trou
BV	Bassin Versant
SBV	Sous Bassin Versant
NS	Niveau Statique
ND	Niveau Dynamique
Q	Débit (m^3/s)
T	Transmissivité (m^2/s)
S	Coefficient d'emmagasinement
s	Rabattement (m)
t	Temps (s)
Kc	Indice de Compacité
L	Longueur du rectangle équivalent (km)
l	Largeur du rectangle équivalent (km)
A	Surface (km^2)
P	Périmètre (km)
PS	Polarisation Spontanée

Sommaire

Sommaire

Chapitre 1 : Présentation de la zone d'étude

Introduction	1
1 Situation géographique	1
2 Caractéristiques morphologiques du sous bassin versant Bas Isser	3
2.1 Indice de compacité de Gravelius	3
2.2 Rectangle équivalent	3
2.3 Caractéristiques hypsométriques	4
3 Réseau hydrographique	4
4 Couvert végétal	5
5 Cadre climatologique	6
5.1 Etude des précipitations	6
5.2 Précipitations mensuelles	6
5.2.1 Précipitations annuelles	8
5.3 Etude des Températures	9
6 Conclusion	10

Chapitre 2 : contexte géologique et hydrogéologie

Introduction	12
1 Contexte géologique	12
1.1 Cadre géologique local	12
1.2 Lithologie	12
1.3 Tectonique.....	13
1.4 Stratigraphie	14
1.4.1 Socle cristallophyllien	14
1.4.2 Les roches éruptives	14
1.4.3 Paléozoïque.....	14
1.4.4 Méso-Cénozoïque	15
1.5 Etude des formations quaternaires	19
1.5.1 Etudes des Terrasses Marines	19
1.5.2 Etude des terrasses alluviales du Bas Isser	19
2 Caractéristiques hydrogéologiques des différents ensembles géologiques	21
2.1 Roches cristallophylliennes.....	21

Sommaire

2.2	Roches éruptives	21
2.3	Les flyschs	21
2.4	Miocène.....	21
2.5	Dorsale	21
2.6	Quaternaire.....	21
3	Conclusion.....	22

Chapitre 3 : Conception d'un forage : aspect théoriques

Introduction	24
1 Présentation d'un forage	24
1.1 Le forage	24
1.2 Types de forages	25
1.2.1 Forage vertical	25
1.2.2 Forage horizontal	25
1.2.3 Forage dirigé.....	25
1.3 Technique de foration	25
1.3.1 La technique de battage	25
1.3.2 La technique du marteau fond du trou (MFT)	26
1.3.3 La technique ODEX (MFT à l'avancement)	26
1.3.4 La technique du havage	26
1.3.5 Technique de la tarière	26
1.3.6 La technique de rotary	26
2 Description de la machine de foration : forage au rotary et accessoires.....	27
2.1 Principe d'un appareil de forage Rotary.....	28
2.2 Description de la machine et train de sonde	29
2.3 L'appareil de forage et ces différents organes	29
2.3.1 Le Mât.....	31
2.3.2 Moufle fixe	32
2.3.3 Moufle mobile	32
2.3.4 Tête d'injection.....	32
2.3.5 Table de rotation.....	34
2.3.6 Pompes à boue	35
2.3.7 Treuil :	35

Sommaire

2.3.8	Les tiges de forage	36
2.3.9	Les outils de forage.....	37
2.3.10	Aléreur	37
3	Description des travaux de foration	38
3.1	Mode de foration.....	38
3.2	Réalisation de la plate-forme, des bassins de boue et rigoles	38
3.3	Profondeur.....	39
3.4	Diamètre de la perforation	39
3.5	Enregistrement des diagraphies	39
3.6	Mise en place du tubage.....	39
3.7	Mise en place des crépines.....	40
3.8	Massif filtrant.....	40
3.9	Développement et traitement à l'hexa-métaphosphate	40
3.10	Essais de pompage	41
4	Conclusion.....	43

Chapitre 4 : Conception d'un forage : aspect pratiques

Introduction	45	
1 Présentation du forage BM 13.....	45	
2 Déroulement des travaux du forage BM 13.....	47	
2.1	Installation du tube guide	47
2.2	Forage de reconnaissance.....	47
2.3	Diagraphie.....	50
2.3.1	Gamma ray (GR)	52
2.3.2	Résistivité : (figure 37)	52
2.4	Elargissement du forage BM 13	53
2.5	Mise en place du tubage et massif filtrant.....	54
2.6	Développement du forage BM 13 pair Air-lift	57
2.7	Essais de pompage : détermination des caractéristiques du couple ouvrage/nappe 57	
2.7.1	Essai de pompage par paliers.....	58
2.7.2	Essai de pompage de longue durée.....	58
3 Conclusion.....	62	

Sommaire

Conclusion Générale	63
Références bibliographiques	64

Liste des figures

Liste des figures

Figure 1: délimitation du bassin versant Isser et ses sous bassins versants.....	1
Figure 2: Situation géographique du sous bassin versant du bas Isser.....	2
Figure 3: Forme du bassin versant en fonction de la valeur de l'indice de Gravelius Kc. faites un autre dessin plus clair et plus lisible.....	3
Figure 4: Réseau hydrographique du sous bassin versant Bas Isser.....	5
Figure 5 : Représentation graphique des précipitations moyennes mensuelles de la station de Lakhdaria.....	7
Figure 6 : Représentation graphique des précipitations moyennes mensuelles de la station Bordj Menaiel.....	7
Figure 7 : Représentation graphiques des précipitations moyennes mensuelles de la station de Chabet El Amer	8
Figure 8 : précipitations moyennes annuelles des station C.E.A et Lakhdaria (1988-2008)	9
Figure 9: Représentation graphique des températures moyennes mensuelles.....	10
Figure 10 : Carte des failles de la vallée du Bas-Isser selon la carte géologique (Ider, 2006)	13
Figure 11: carte géologique du sous bassin versant du bas Isser (FICHEUR E.1 895)	17
Figure 12: schéma d'un forage dans une nappe libre.....	24
Figure 13 : Les composants d'un appareil de forage Rotary (Bettahar, Lakhchakhe.2017)	27
Figure 14 : tricône.....	28
Figure 15 : description sommaire d'un appareil de forage rotary	30
Figure 16 : Photo du mât	31
Figure 17: Moufle fixe.....	32
Figure 18: tête d'injection et moufle mobile.....	33
Figure 19: Table de rotation.	34
Figure 20: pompe a boue	35
Figure 21: treuil.	35
Figure 22: Tige carrée.....	36
Figure 23: Tige ronde.	36
Figure 24: Masse tige.	36
Figure 25: Tricônes de différents diamètres.	37
Figure 26: Aléteur.	37
Figure 27: Photo du bassin de boue.....	38

Liste des figures

Figure 28: développement au système d'Air-lift.....	41
Figure 29:Photos d'essai de pompage.....	42
Figure 30: localisation du point du forage.....	46
Figure 31 : bassin de boue et rigoles.	46
Figure 32 : tube guide en TNRS.....	47
Figure 33 : échantillon non lavé.	48
Figure 34 : échantillon lavé.	48
Figure 35 : échantillonnage du forage de reconnaissance.	48
Figure 36 : log stratigraphique du forage BM 13.	49
Figure 37 : Images montrant le matériel d'investigation diagraphique.....	50
Figure 38 : log diagraphique et lithologique du forage BM 13.	51
Figure 39 : tricônes de 17" et 22" assemblés.....	53
Figure 40 : mise en place du tubage.	55
Figure 41 : massif filtrant utilisé dans le forage.	55
Figure 42 : coupe technique longitudinale du forage BM 13.....	56
Figure 43 : sortie d'eau à haute pression avec des déblais.....	57
Figure 44 : courbe de descente de l'essai de pompage de longue durée.	60

Liste des Tableaux

Liste des tableaux

Tableau 1 : paramètres hypsométriques du bassin versant bas Isser (ANRH).....	4
Tableau 2 : Caractéristiques des stations adoptées (ANRH).....	6
Tableau 3 : Récapitulatif des précipitations moyennes mensuelles	7
Tableau 4 : précipitations moyennes annuelles (1988-2008).....	8
Tableau 5 : Températures moyennes mensuelles (°C)	9
Tableau 6: Données du forage	45
Tableau 8 : mesures effectuées lors de l'essai de pompage par palier.	58
Tableau 9: essais de pompage de long durée (48h).....	59

Introduction générale

La wilaya de Boumerdes a connu un accroissement rapide de la population et un développement socio-économique durant les deux dernières décennies. Cette situation a engendré une demande d'eau importante. Bordj Mnaiel est l'une des communes qui connaît un déficit en eau potable depuis plusieurs années.

C'est dans ce contexte qu'il a été inscrit le projet de réalisation de 71 forages dans la région pour capter les eaux de la nappe alluviale du Bas Isser.

Dans le cadre de notre projet de fin d'étude, notre mission a consisté en un suivi technique lors de la réalisation du forage BM 13 implanté dans la périphérie de la ville de Bordj Mnaiel. Cet ouvrage hydraulique est destiné à l'alimentation en eau potable de la population de cette ville.

Notre travail est subdivisé en quatre chapitres :

- Le premier chapitre est consacré à une présentation des caractéristiques générales, entre autres, la situation géographique, les caractéristiques morphométriques et hypsométriques ainsi que l'aspect climatologique.
- Dans le deuxième chapitre, les aspects géologique et Hydrogéologique du Bas Isser sont présentés.
- Le troisième chapitre présente les différents types de foration et décrit les moyens matériels du forage Rotary.
- Dans le dernier chapitre, nous exposons le déroulement des travaux du forage BM 13 sur les différentes étapes : installation du chantier, forage de reconnaissance, investigation par diagraphie, la mise en place de tubage, les essais de pompage, etc. dans chaque étape, nous tenterons d'apporter nos remarques, commentaires suivis par des explications et des interprétations.

Nous terminerons par une conclusion générale et des recommandations.

Chapitre 1

Présentation de la zone d'étude

Chapitre 1 : Présentation de la zone d'étude

Introduction

Ce chapitre est consacré à la présentation générale de notre zone d'étude. Après la situation géographique, on s'intéresse essentiellement aux caractéristiques morphométriques, hydrologiques et climatologique du Bas Isser.

1 Situation géographique

Le bassin versant Isser portant le code 09 au répertoire de l'ANRH (figure 1), s'étale sur une superficie totale de 4149 km² et se subdivise en 5 sous-bassins versants.

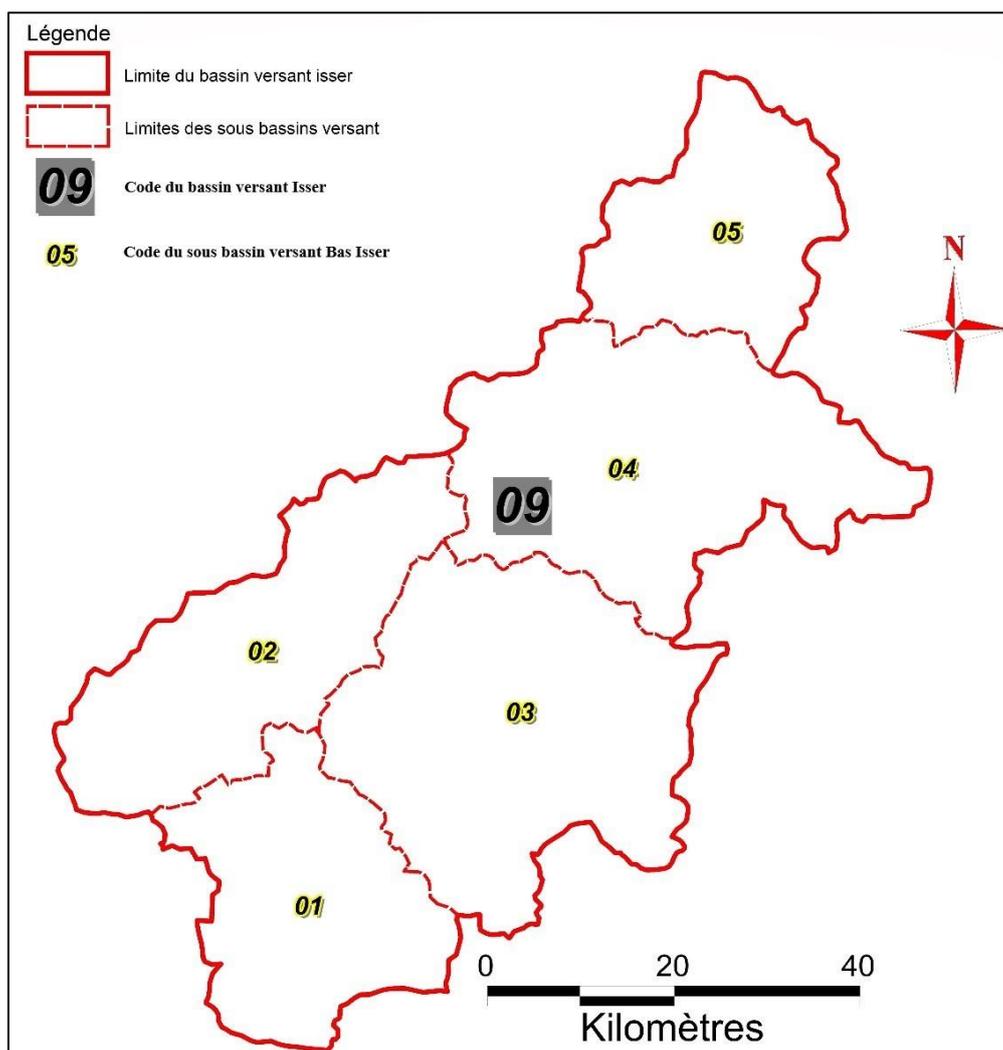


Figure 1: délimitation du bassin versant Isser et ses sous bassins versants.

Notre zone d'étude s'inscrit dans le sous bassin versant nommé Bas Isser du code (0905) qui se situe à 60 km à l'Est d'Alger. Le Bas Isser couvre une superficie de 533 km² et se délimite par un périmètre de 114 km. Il est limité par les latitudes 36°38'00'' N et 36°52'00'' N, et les longitudes 3°32'00'' E et 3°53'00'' E. Du point de vue administratif, la zone d'étude est située dans la wilaya de Boumerdes et se limite (figure 2) :

- Au nord par la mer Méditerranée ;
- A l'Est par le massif de Cap Djenet ;
- A l'Ouest par djebel Bou Arous
- Au Sud par les contreforts de la dorsale kabyle

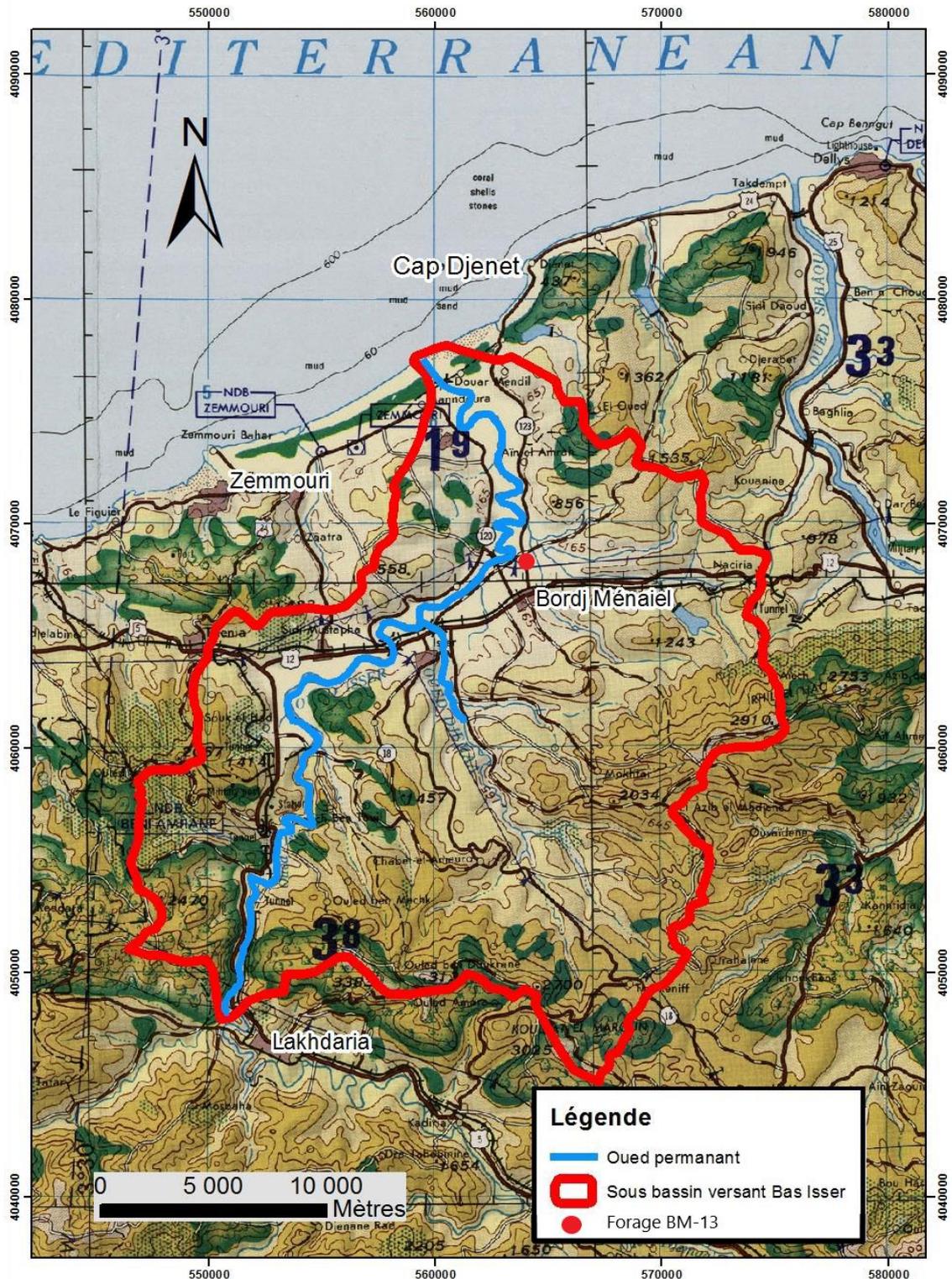


Figure 2: Situation géographique du sous bassin versant du bas Isser.

2 Caractéristiques morphologiques du sous bassin versant Bas Isser

La forme du sous bassin versant joue un rôle important sur les modalités des écoulements superficiels, un bassin allongé ne réagira pas de la même façon qu'un bassin de forme ramassée. En effet, le temps de concentration des eaux sera plus long dans le cas du bassin allongé car la distance entre le point le plus éloigné et l'exutoire est plus importante, ce qui favorise l'infiltration au dépend du ruissellement si les conditions sont favorables.

2.1 Indice de compacité de Gravelius

La forme du bassin est caractérisée par l'indice de compacité de Gravelius (K_c) défini par la formule suivante :

$$K_c = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}}$$

P Périimètre du sous bassin versant = 114 km

$$K_c = \frac{114}{2\sqrt{3,14*533}} = 1,39$$

A Surface du sous bassin versant = 533 km²

D'après la figure 3 et la valeur du K_c obtenue, on constate que le sous bassin versant du Bas Isser présente une forme peu allongée, ce qui favorise l'infiltration au dépend du ruissellement.

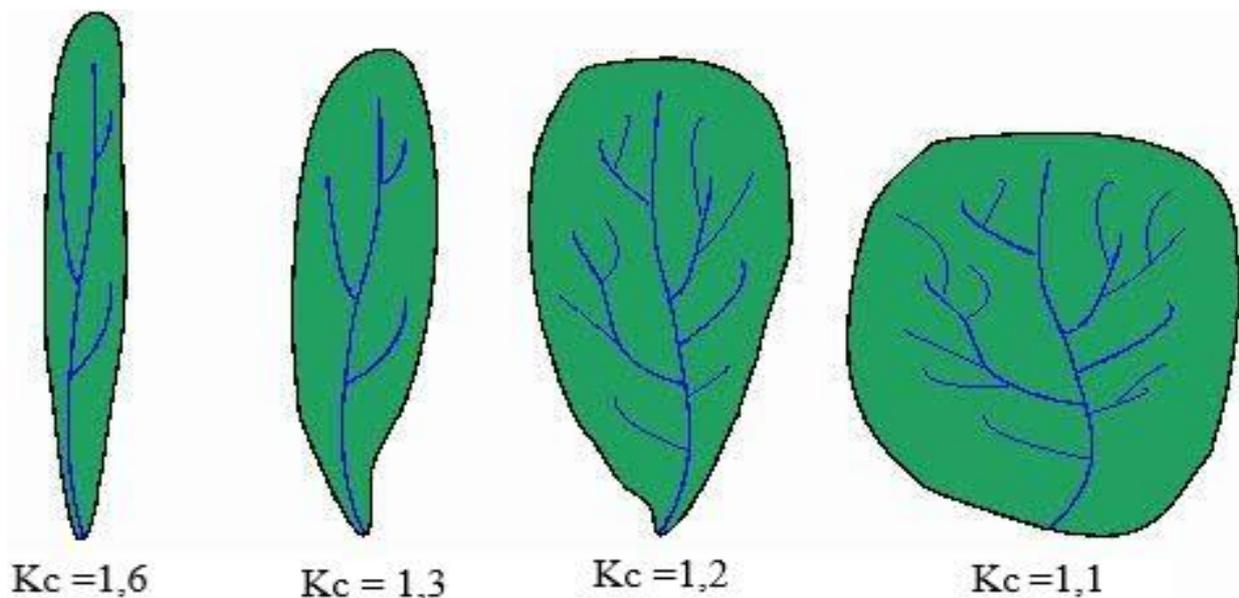


Figure 3: Forme du bassin versant en fonction de la valeur de l'indice de Gravelius K_c .

2.2 Rectangle équivalent

La méthode consiste à déterminer les dimensions d'un bassin fictif de forme rectangulaire ayant même superficie, même périmètre et même indice de compacité que ceux du bassin versant initial.

La formule qui nous permet de déterminer les dimensions du rectangle équivalent (longueur et largeur) s'écrit comme suit :

Avec :

$$L = \frac{Kc\sqrt{A}}{1,128} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,128}{Kc}\right)^2} \right] = 45,62 \text{ km}$$

A= surface du sous bassin versant en km²

$$l = \frac{Kc\sqrt{A}}{1,128} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,128}{Kc}\right)^2} \right] = 11,68 \text{ km}$$

Kc= indice de compacité de Gravelius

L= longueur du rectangle équivalent en km

l = largeur du rectangle équivalent en km

On constate que la largeur du rectangle équivalent est approximativement quatre fois plus petite que sa longueur, confirmant ainsi les résultats obtenus par le calcul du Kc.

2.3 Caractéristiques hypsométriques

La courbe hypsométrique permet de définir les altitudes caractéristiques du sous bassin versant Bas Isser. Les valeurs obtenues selon l'ANRH sont résumées dans le tableau 1.

Tableau 1 : paramètres hypsométriques du bassin versant bas Isser (ANRH)

Paramètres géométriques	Unités	Valeurs
Altitude maximale	m	1031
Altitude minimale	m	0
Altitude moyenne	m	268
Indice de pente globale	%	1,19

3 Réseau hydrographique

Le sous bassin versant du Bas Isser est caractérisé par un réseau hydrographique très dense (Figure.4). Oued Isser a une longueur de 35km depuis le barrage de Beni Amrane jusqu'à son embouchure sur la mer Méditerranée.

L'écoulement se fait du Sud vers le Nord, les affluents de l'Oued Isser de la basse vallée se limitent à oued Djemaa, le reste des affluents ce n'est que des petites rivières pérennes ou saisonnières. Parmi ces cours d'eau pérennes, on cite :

- Oued Menaiel et Chender (ces derniers se regroupent et forment un seul cours d'eau à 1km environ du lit majeur de l'Isser).

- Oued Aoudja, situé à l'aval du bassin.
- Oued Bou Amour, situé à l'amont du bassin.

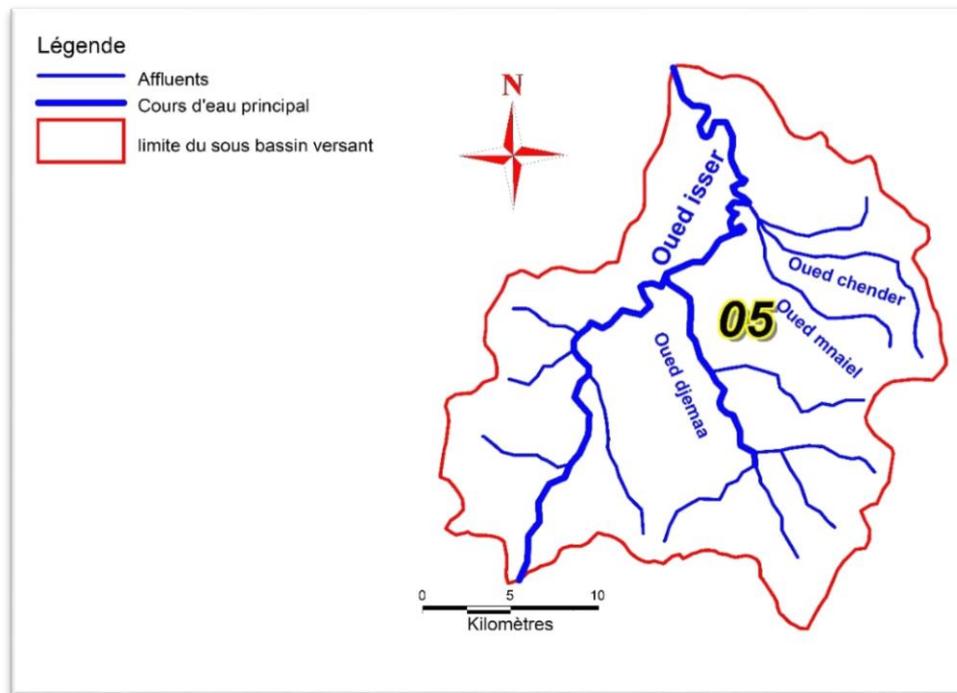


Figure 4: Réseau hydrographique du sous bassin versant Bas Isser

4 Couvert végétal

Le couvert végétal est un facteur primordial qui affecte les écoulements superficiels, non seulement il amortit les crues en freinant le ruissellement, mais aussi agit sur la qualité physique des eaux du cours d'eau qui seront moins chargés en matières solides.

La végétation influe positivement sur l'écoulement superficelle en le ralentissant, ce qui donne ainsi à l'eau plus de temps pour s'infiltrer dans le sol, enfin le fouillage protège le sol de l'impact de la pluie et diminue par conséquent le phénomène de Battance.

La répartition de la végétation dans notre zone d'étude est dominée par les cultures annuelles. Sur la plaine nous notons la présence de la vigne, des fourrages de céréales, des légumes secs et du maraichage. Sur les collines, on trouve essentiellement la pratique de la céréaliculture, des fourrages et la culture de melon. Sur les montagnes et les piémonts, c'est la zone où prédomine la culture d'olives et d'autres espèces forestières telles que le peuplier, le chêne liège et le pin.

5 Cadre climatologique

Dans ce travail, on étudie les caractéristiques climatiques de la région du Bas Isser, afin d'estimer les différents termes de son bilan hydrologique.

Les données des précipitations recueillies sont enregistrées au niveau des stations installées sur le Bas Isser. Les précipitations sont observées dans les stations de Lakhdaria, Chabet El Aneur et Bordj Menaiel (moyenne interannuelle uniquement), cependant, la température est enregistrée à la station d'Isser et Thenia (tableau 2).

Tableau 2 : Caractéristiques des stations adoptées (ANRH)

Stations	Coordonnées Lambert		Altitude	Code	Paramètres	Périodes
	X (km)	Y (km)	Z (m)			
Lakhdaria	579,3	370	50	090502	Pluviométrie	1988-2008
Chabet el Aneur	588,85	371,40	201	090512	Pluviométrie	1988-2008
Bordj Menaiel	591	391,25	27	090510	Pluviométrie	1975-2005
Les Issers	587,1	382,25	25	090508	Température	1952-1960
Thenia	/	/	150	090504	Température	1952-1960

5.1 Etude des précipitations

Les précipitations et leurs intensités jouent un rôle important dans le processus de la recharge des aquifères de notre zone d'étude.

5.2 Précipitations mensuelles

Le tableau ci-après récapitule les valeurs des précipitations mensuelles observées au niveau des stations adoptées, ainsi les totaux annuels.

Tableau 3 : Récapitulatif des précipitations moyennes mensuelles

	Sept.	Nov.	Oct.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Total annuel
Lakhdaria	30,64	61,96	89,76	119,9	104,7	71,3	64,6	78,4	47	7,4	4,5	5,25	685,41
B. Menaïel	27,3	68,6	101	98,2	94,7	83	65	61,3	36,4	10	4,7	7,3	657,5
C.E.Amer	33,9	53,7	87,7	124	105	67	64,8	72	54,7	5,57	5,11	5,09	678,57

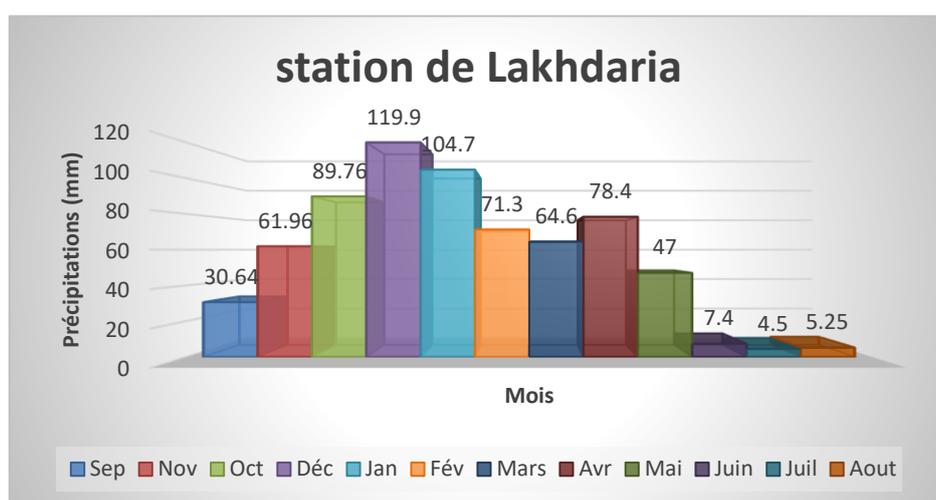


Figure 5 : Représentation graphique des précipitations moyennes mensuelles de la station de Lakhdaria

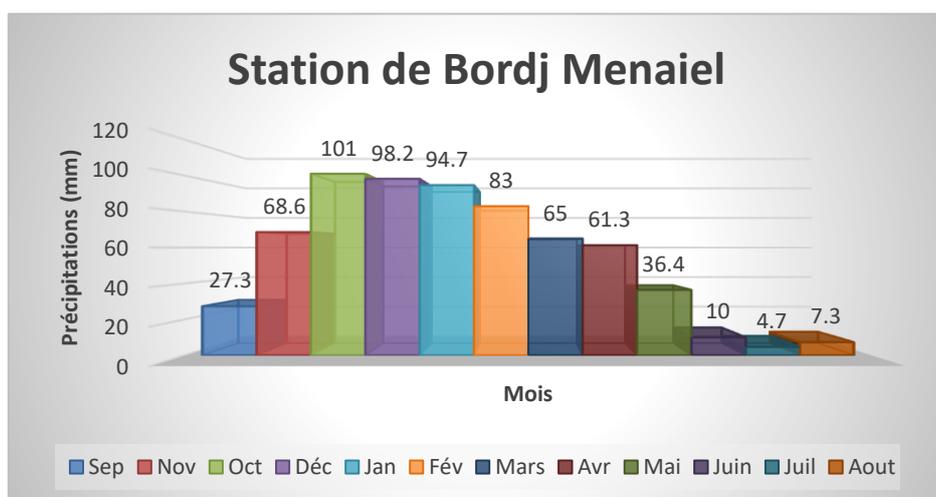


Figure 6 : Représentation graphique des précipitations moyennes mensuelles de la station Bordj Menaïel

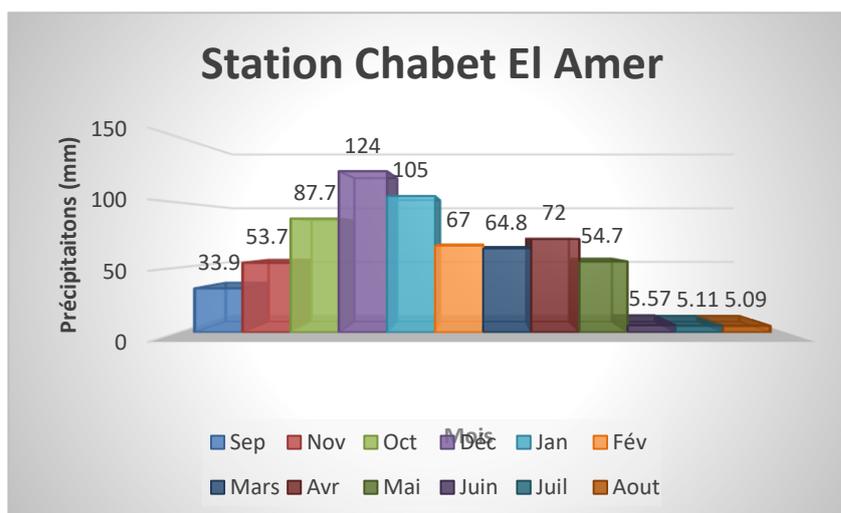


Figure 7 : Représentation graphiques des précipitations moyennes mensuelles de la station de Chabet El Amer

D'après les données du tableau 3 et les histogrammes des figures (5, 6 et 7), on distingue deux périodes, une sèche allant de **mai** jusqu'à **septembre**, et l'autre pluvieuse allant d'**octobre** jusqu'à **avril**.

Selon les résultats obtenus, on remarque que les mois de **novembre**, **décembre** et **janvier** sont les plus pluvieux ; tandis que **juin**, **juillet** et **août** sont les plus secs.

5.2.1 Précipitations annuelles

Les données observées dans les stations de Lakhdaria et de Chabet El Amer sont résumées dans le tableau 4 :

Tableau 4 : précipitations moyennes annuelles (1988-2008)

	1988-1989	1989-1990	1990-1991	1991-1992	1992-1993	1993-1994	1994-1995	1995-1996	1996-1997	1997-1998
Lakhdaria	388,2	570	826,5	628,1	512,7	720,6	741,7	346,9	939,6	605,8
C.E.Amer	404	620,9	757,6	614	428,7	645,3	664	387,3	919,9	640,3

	1998-1999	1999-2000	2000-2001	2001-2002	2002-2003	2003-2004	2004-2005	2005-2006	2006-2007	2007-2008
Lakhdaria	473,7	549,9	342,5	1189,2	654,3	690,7	549,9	787,5	990,6	807,6
C.E.Amer	474,9	570,8	345,7	1045,5	710,6	700,1	711,2	753,3	758,2	874,4

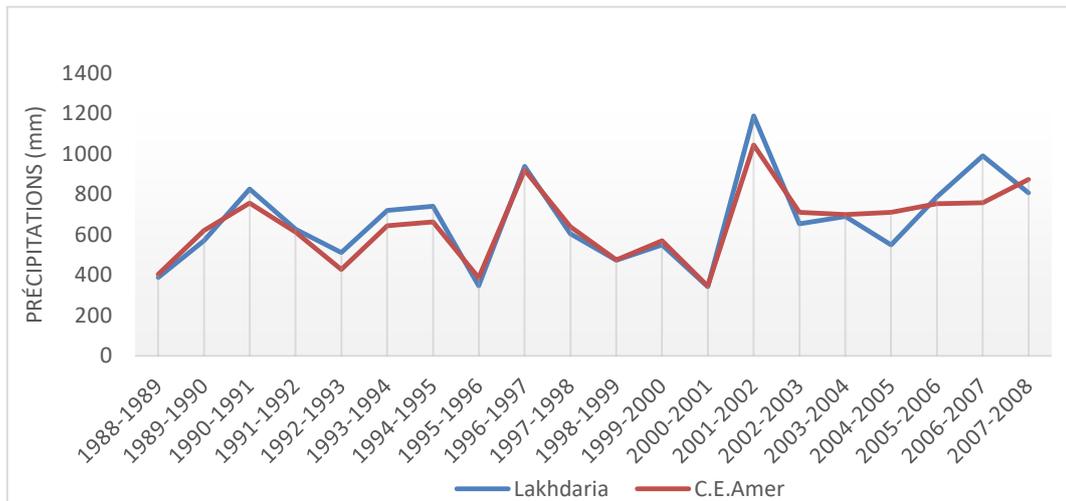


Figure 8 : précipitations moyennes annuelles des station C.E.A et Lakhdaria (1988-2008)

L'analyse de la figure 8 permet de constater que l'année 2001-2002 est la plus pluvieuse durant la période 1988-2008, avec une précipitation de 1189,2 mm à la station de Lakhdaria et 1045,5 mm à la station de C.E. Amer et l'année 2000-2001 est la moins pluvieuse durant la même période, avec des précipitations annuelles de 342,5 mm et 345,7 mm enregistrées respectivement à la station de Lakhdaria et de C.E. Amer.

5.3 Etude des Températures

La température atmosphérique est l'un des facteurs qui régit les conditions climatiques d'une région. Le tableau suivant résume les données obtenues dans la station d'Isser (1952-1960) et la station de Thénia (1952-1960).

Tableau 5 : Températures moyennes mensuelles (°C)

	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars.	Avr.	Mai.	Juin.	Juil.	Août.
Isser	22,8	18,6	14,3	12,2	10,5	11,1	13,6	15,1	18,5	22,3	24,9	25,3
Thénia	24,4	19	15,1	12,7	11	12	14,7	15,9	19,6	23,4	26,5	27,3

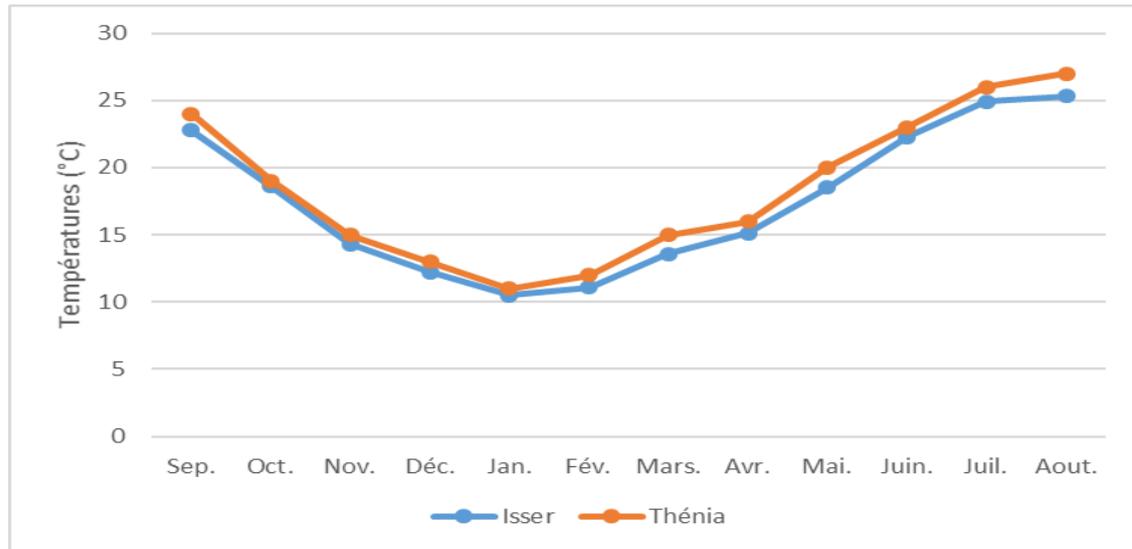


Figure 9: Représentation graphique des températures moyennes mensuelles

L'examen de la figure 9 a permis de constater que :

- Du mois de septembre jusqu'à janvier, les températures sont décroissantes, avec des valeurs minimales de 10,5 °C au niveau des Issers et de 11 °C au niveau de Thénia enregistrées en mois de janvier
- A partir du mois de février, les températures prennent une tendance de croissance, atteignant les valeurs maximales de 25,3 °C au niveau des Issers et 27 °C au niveau de Thénia en mois d'Août.

6 Conclusion

Le sous bassin versant du Bas Isser se situe à 60 km à l'Est d'Alger et s'étale sur une superficie de 533 km². Il se caractérise par une forme peu allongée selon la valeur de l'indice de Gravélius calculé, confirmée par les dimensions du rectangle équivalent. Oued Isser constitue l'oued principal qui reçoit les eaux des affluents pérennes : Menaiel, Chender, Aoudja et Bou Amour.

La zone d'étude se caractérise par un climat méditerranéen doux et humide en hiver avec une précipitation moyenne annuelle de 657,15 mm et une température moyenne annuelle de 18 °C enregistrée dans les stations de Thénia et Isser.

Chapitre 2

Contexte géologique et hydrogéologique

Chapitre 2 : Contexte géologique et hydrogéologique

Introduction

Dans ce chapitre nous allons présenter, dans un premier volet, les aspects géologique, lithologique et tectonique ainsi que la stratigraphie de la région d'étude. Dans le deuxième volet, on s'intéresse aux caractéristiques hydrogéologiques générales du bassin versant du Bas Isser.

1 Contexte géologique

1.1 Cadre géologique local

Le sous bassin versant de l'Oued Isser appartient au vaste ensemble géologique le Tell septentrional kabyle. Les études géologiques antérieures ont montré que la basse vallée de l'Oued Isser se caractérise par sa complexité tant structurale que stratigraphique. Elles montrent aussi l'existence de formation métamorphique d'âge précambrien recoupée localement, d'une part, par des roches intrusives et d'autre part par des formations sédimentaires.

Du point de vue géologique, le territoire étudié est constitué de plusieurs structures tectoniques qui se répartissent comme suit :

- Au Nord, dans le massif kabyle, on observe les pointements de roches du socle métamorphiques, recouvertes tectoniquement par une nappe allochtone de flysch crétacés et paléogènes.

D'autre part, elles sont recouvertes en discordance stratigraphique par des formations autochtones tertiaires et quaternaires, tandis que le flysch allochtone est surmonté par des terrains néogènes et quaternaires.

- Au Sud, dans les limites des sous zones de la chaîne calcaire et des nappes de flysch, les formations les plus répandues sont les terrains méso-cénozoïques qui constituent une structure complexe en nappes imbriquées, formées par des unités allochtones.

La sous zone de la chaîne calcaire représente la partie septentrionale de cette structure ; outre les écaïlles formées par les roches de la dorsale (permo-triasique), roches carbonatées du jurassique, du crétacé et du paléogène (M. Durand Delga, 1967) ainsi que celles de l'unité des tamerkenites (Tafiani, 1968), renferme aussi les écaïlles et les nappes de flysch paléogène supérieur de cette chaîne (faciès néo nummulitique).

La sous zone de nappe de flysch, situées au Sud est bordée dans sa partie méridionale par la nappe des formations crétacées du faciès tellien, compris les nappes du flysch mauritanien (Tafiani, 1967 ; J. Bouillin, 1970).

1.2 Lithologie

Le Bas Isser est constitué de 43 % par des formations marneuses des grès et des conglomérats, appartenant à l'Oligocène marin. Le Miocène inférieur marin dont les formations sont des grès et des marnes constituant 15% du Bas Isser. Les schistes cristallins et micacés sont respectivement des schistes à chlorite et à séricine et quartz à biotite, formant 20 % de la superficie totale. Le Crétacé inférieur occupe 2 % du bassin, ces formations sont représentées

par des schistes argileux, des marnes grises et des grès. Les alluvions de quaternaires continentales occupent 18 % du Bas Isser. On trouve aussi des granites qui forment 2 % de la superficie totale. (ANRH, 2004)

1.3 Tectonique

La région d'étude est située au sein du géantoclinal kabyle, qui est une saillie du socle cristallophyllien ancien, de la zone plissée alpine du Nord de l'Algérie (M. Glangeaud, 1952 ; M. Durand Delga, 1968).

La vallée de Bas Isser a une tectonique complexe due à sa disposition structurale. Elle est constituée d'un empilement de nappes imbriquées, mises en place à la suite d'une intense fracturation et de glissement du Sud vers le Nord, suivie par une compression.

Le socle cristallophyllien de Bou-Arous, montre un anticlinal de direction axiale Est-ouest, les flancs à fort pendage sont affectés par des failles longitudinales et de micro plissement. Les terrains Autochtones ont subi une déformation caractérisée essentiellement par, des synclinaux sub-latitudinaux et des failles normales. Le paléogène est constitué d'une ride d'anticlinaux en genoux. La chaîne calcaire écaillée, présente en général des plis étroits renversés par fois même couchés, souvent dans la partie nord. Les formations néogènes de la dépression de Thénia, sont affectées par des plis larges et droits.

Deux réseaux principaux d'accidents tectoniques ont été observés dans le Bas Isser :

- Un réseau de direction Nord-ouest/Sud-est, représenté essentiellement par des cassures d'âge post plaisancien.
- Un réseau de direction générale Nord-est/Sud-ouest, qui est lié à la phase d'intensive du Miocène. (Ider, 2006) (figure 10).

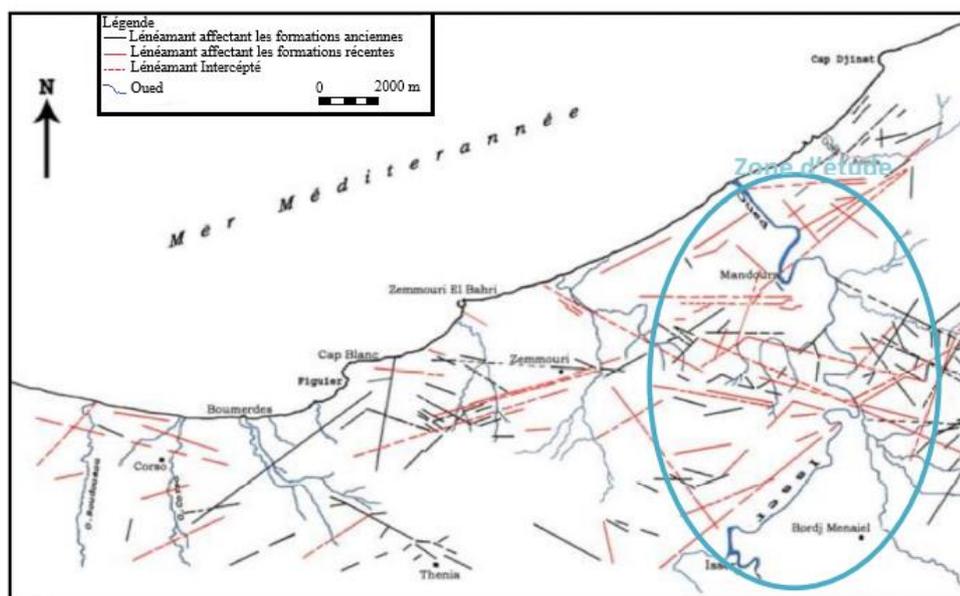


Figure 10 : Carte des failles de la vallée du Bas-Isser selon la carte géologique (Ider, 2006).

1.4 Stratigraphie

La structure géologique de la région est marquée par la présence de terrain métamorphique précambrien, recoupés localement par des intrusions de roches basiques et acides, ainsi que par la présence de formations sédimentaires plus récentes (Figure 10).

1.4.1 Socle cristallophyllien

On lui attribue une série puissante et monotone de roches métamorphiques développées sur les vieux massifs kabyles de Boudouaou et de Ben Norah de Beni Amrane et de Thénia (figure 10)

Les terrains sont différenciés par le degré de métamorphisme qui les affecte et qui diminue de bas en haut. Deux assises différentes ont été distinguées :

1.4.1.1 Assise métamorphique inférieure

Elle affleure d'une part sur les versants Nord et Sud de la crête de Bou Arous où elle constitue les flancs d'un synclinal de direction latitudinale, d'autre part, elle est très développée sur la bordure occidentale du massif de Djurdjura.

Les roches prédominantes sont représentées par des micaschistes à biotite et les schistes à deux micas. Dans ces schistes on rencontre des alternances des Gneiss œillets et des Micaschistes Feldspath – quartzitiques, formant des plis.

1.4.1.2 Assise métamorphique supérieure

Elle affleure dans les mêmes zones que l'assise inférieure mais elle constitue le cœur du synclinal dans la région de Djebel Bou Arous. Cette assise est représentée par des phyllades qui sont des schistes satinés à quartz, chlorite et séricite. Des encaissements de certaines lentilles de calcaire cristallin, partiellement dolomitique, sont distingués sur une étendue de 200 à 600 m et de 1 à 30 m de puissance.

1.4.2 Les roches éruptives

Ces roches sont d'âge pré-tertiaire et tertiaire, les roches pré-tertiaires sous forme de filons de pegmatites ou granites souvent tourmalinifères affleurent à Beni Amrane, Bordj Menaiel et Naciria, Quant aux roches éruptive tertiaires, on rencontre d'une part un pointements de roche granodioritique, constituant le massif de Thénia, à la limite entre un massif schisto-cristallin et les terrains sédimentaires encaissants, et d'autre part des formations volcaniques très développées en trois grandes classes de roches qui sont les liparites, les basaltes et les roches ophitiques.

1.4.3 Paléozoïque

Le paléozoïque est représenté par les terrains du Silurien-Dévonien inférieur. Il est visible à l'Ouest de l'oued Isser vers le Nord-est du Djebel Ahmed, où il forme une écaïlle étroite intercalée entre le précambrien au Nord et le Paléogène au Sud.

Ces terrains sont représentés par les schistes argileux intercalés de grés quartzeux puissants faiblement calcaires de 300 à 400 m.

1.4.4 Méso-Cénozoïque

Ces terrains renferment des unités autochtones et allochtones (figure 10).

1.4.4.1 Unités allochtones

- A. Dorsale, elle a été mise en évidence par M. DURAND DELGA (1968). Cette unité est constituée de terrains Permo-Triasique, Jurassique, Crétacé et Paléogène, formant dans la subdivision de la chaîne calcaire de petites écaillés et nappes chevauchantes sur la bordure du massif kabyle.
- B. Unité de Tamarkennit, cette unité a été distinguée pour la première fois par M. TAFIANI (1968), elle est composée des formations suivantes :
- ❖ Jurassique-crétacé, la coupe la plus complète de cette unité a été faite à Djebel Bouzegza, on note du bas en haut :
 - Marnes pélitiques ;
 - Radiolarite à intercalation d'argiles ;
 - calcaires marneux et marnes riches en nannoconus ;
 - Microconglomérats calcaires et calcaires marneux ;
 - Marnes tendres.
 - ❖ Paléogène d'unité de Tamarkennit
Il représente une unité fluschoïde gréso-marneuse, décrite sur le flanc ouest du djebel bouzegza.
- C. Unité des flysch
- ❖ Flysch mauritanien
Ce flysch renferme les terrains de l'unité de Guerrouch.
 - ❖ Flysch massilien
L'unité est constituée des terrains suivants :
 - Flysch Paléocène supérieur priabonien, développées à l'est et l'ouest du pointements des roches métamorphiques dans la région du djebel Ifri.
 - Oligocène, ces terrains sont essentiellement développés sur la partie orientale de la carte.
 - Flysch paléogène supérieur de la chaîne calcaire, cette unité est représentée par une série puissante de 100 m de terrains paléogène différente de celle des flyschs Paléogènes des autres unités.

1.4.4.2 Unités Autochtones

- A. Flysch autochtone paléogène de la zone kabyle (lutétien supérieur-oligocène), il a été observé au Nord de la chaîne calcaire, à l'Est et à l'Ouest du Djebel Ahmed.
- B. Maestrichtien, ces terrains affleurent au Nord de Bordj Menaiel.
- C. Tertiaire, les terrains Cénozoïques autochtones affleurent sur une grande étendue et sont représentés par deux ensembles : Miocène et Paléocène.

- D. Quaternaire, les formations Quaternaires de la zone d'étude, sont représentées par des faciès littoraux et alluviaux, développés sur des étendues importants (100 km²), qui couvrent la structure géologique de la région.

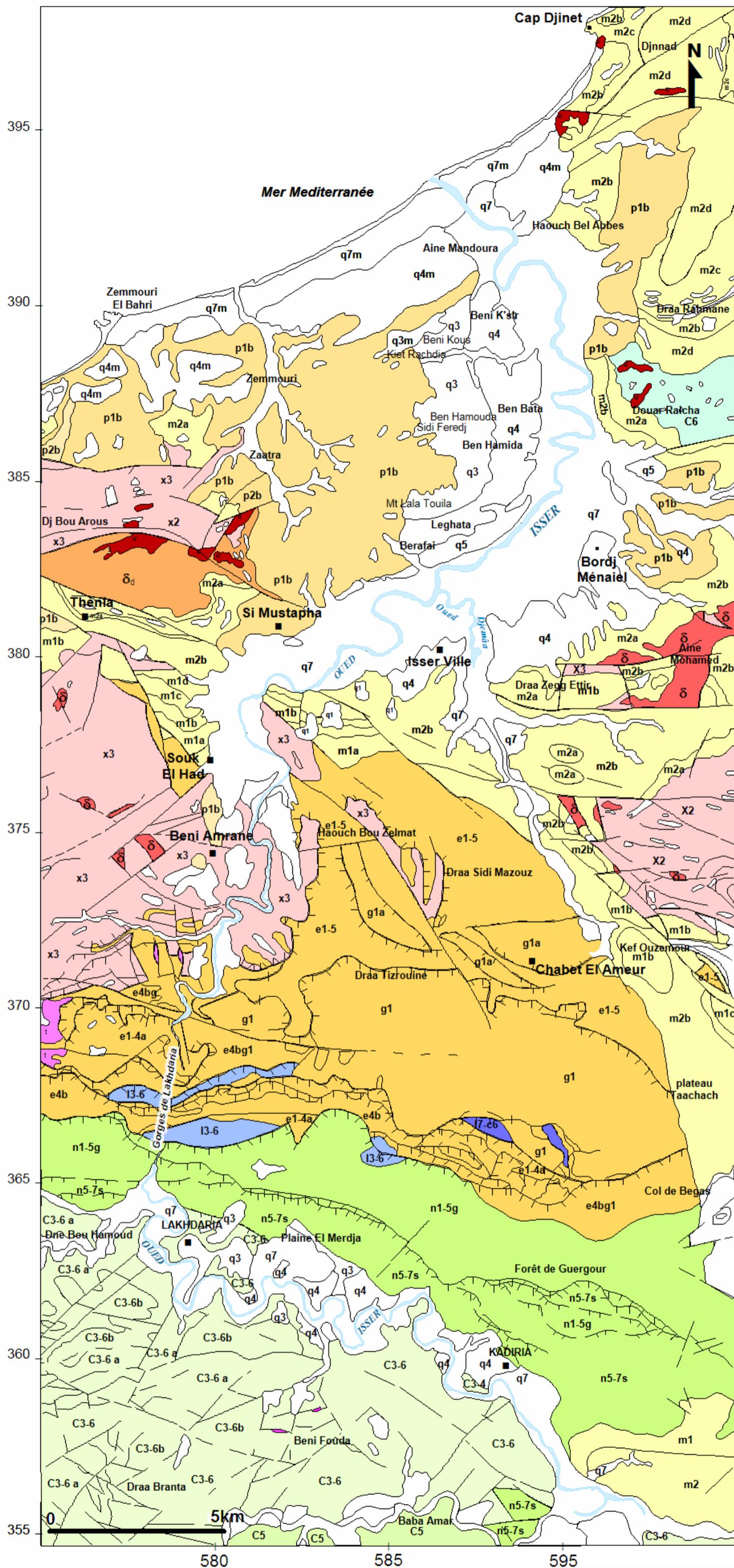


Figure 11: carte géologique du sous bassin versant du bas Isser (Ficheur E. 1895).

Légende

Formations post-nappes

		qm	Quaternaire marin : dunes anciennes et terrasses marines constituées de sables, sables argileux, graviers et galets
		q	Quaternaire alluvial : terrasses alluviales constituées essentiellement de galets, graviers et sables argileux
<u>Pliocène</u>		p2b	Astien : intercalations de marnes gréseuses et de grès calcaires
<u>Miocène</u>		p1b	Plaisancien : marnes argileuses et argiles calcareuses
	Helvétien :	m2d	assise des laves (basaltes et andésito-basaltes)
		m2c	assise des tufs andésitiques et andésito-basaltiques, pillow-lava, bancs d'argiles, marnes, grès et conglomérats
		m2b	assise marno-argileuse avec de rares bancs de grès calcaireux et calcaires
		m2a	assise volcano-sédimentaire à conglomérats polygéniques
	Burdigalien :	m1d	assise des marnes grises intercalées de lits rares de grès calcaires
		m1c	assise des grès quartzeux calcaires à lentilles de micropoudingues quartzeux
		m1b	assise d'argiles et marnes gréseuses, avec des grès calcaires et lits de gypse
		m1a	assise des poudingues à galets de grès, phyllades, granites et calcaires
<u>Formations autochtones</u>			
Flysch paléogène de la zone kabyle		e4bg	Lutétien sup-Oligocène : assise grés-marneuse ou bancs de grès calcaires micacés alternant avec des argiles calcaires et marnes
Flysch maestrichtien		C6	Maestrichtien : assise d'argiles alternant avec des bancs de calcaires bréchiques
<u>Formations allochtones</u>			
Flysch oligocène		g1	Oligocène : flysch composé à sa base de grès calcaires arkose surmontés de grès micacés quartzeux et calcaires
Paléogène de la chaîne calcaire		e4btg	Lutétien sup-Oligocène inf : grès calcaires alternant avec des marnes plus au moins micacées
		e4b	Lutétien sup : grès calcaires alternant avec des marnes et des argiles calcaires
Flysch massylien		g1a	Oligocène : flysch formé d'une alternance de grès quartzeux micacés et d'argiles
Flysch maurétanien		e1-5	Paléocène Eocène sup (Préabonien) : flysch à prédominance d'argiles et de marnes intercalées de grès et calcaires
Unité sud kabyle		n5-7 s	Aptien-Albien : stratification rythmique de grès et d'argilites schisteuses
Unité Guerrouch		n1-5g	Néocomien-Aptien : alternance de grès quartzeux et de lits d'argilites
La dorsale		e1-4a	Paléogène sup-Lutétien : bancs calcaires, marnes sableuses et calcaires massifs à la base et calcaires gréseux au sommet
		L7C6	Lias sup-Crétacé sup : calcaires en dalles à silex, marnes calcaires et marnes du Lias sup surmontés de calcaires marneux sénoniens
		L3-6	Lias inférieur et moyen : assise des calcaires dolomitiques et des calcaires massifs
		t	Trias : calcaires dolomitiques surmontés de grès siliceux
Unité de Temarkennit		e1-4at	Paléocène-Lutétien : écailles de grès calcaires
		J1Cf	Jurassique moy-Crétacé sup : assise des marnes à lits calcaires, radiolarites, calcaires marneux et micro-conglomérats
Unité tellienne	Maestrichtien :	C3-6b	assise supérieure des marnes schisteuses à intercalations de calcaires argileux et marnes siliceuses
		C3-6a	assise inférieure des marnes schisteuses à rares intercalations calcaires
Roches magmatiques		C5	Campanien : assise des marnes grises
		u	Helvétien inf : intrusions rhyolitiques, andésitiques et andésito-basaltiques
		δa	granodiorite très altérée, antérieure à l'Helvétien
		δ	Précambrien : chapelets de granites et de pegmatites
Roches métamorphiques	Précambrien :	X3	assise supérieure des schistes satinés à quartz, chlorite, séricite et lentilles de marbre
		X2	assise inférieure des schistes satinés, schistes à biotite, intercalations de marbre et lentilles de gneiss oeilé à biotite
<u>Contacts structuraux :</u>			
			Limite géologique
			Limite géologique supposée
			Contact anormal (faille, décrochement...etc)
			Contact anormal supposé
			Contact anormal de charriage

1.5 Etude des formations quaternaires

Les formations quaternaires de la région étudiée sont représentées par des facies marins et alluviaux, développées sur 100 km² environ, qui masquent la structure géologique de la région.

Afin de les décrire en détail, divers modes d'investigation ont été mis en œuvre :

- Compagnie de prospection géophysique : Deux campagnes de prospection électrique ont été réalisées par la C.G.G. (compagnie Générale de Géophysique)
 - De septembre à novembre 1966, avec 298 sondages ;
 - D'octobre à novembre 1973, avec 173 sondages.
- Sondages mécaniques. Une cinquantaine de forages ont été réalisés depuis 1973. Ils ont permis de :
 - Préciser et compléter l'étude géophysique ;
 - Décrire la lithologie des différentes formations.

1.5.1 Etudes des Terrasses Marines

1) Plage de 100 mètres

Au Sud de Mandura, on gravite un talus de sable rouges recouvrant les marnes mio-pliocènes en arrivant au plateau des Beni kous.

1.5.1.1 Plage de 53 mètres

C'est la plage que l'on rencontre en rive gauche de l'embouchure de l'oued Isser et qui forme le plateau de Mandurah. Cette terrasse a une épaisseur moyenne de l'ordre de 30 m.

1.5.1.2 Plage de 15 et de 30 mètres

On rencontre des traces de plages plus récentes où on reconnaît deux niveaux :

- ✓ Niveau de 15 mètres, visible au Cap Djenet, représenté par des grès et poudingues à petits galets, ayant une épaisseur de 2 à 3 mètres.
- ✓ Niveau de 30 mètres, situé au-dessus du précédent, constitué de grès coquillers et de galets de quartz blancs, ayant une épaisseur de l'ordre de 4 m.

1.5.1.3 Dépôts éoliens actuels (Dunes anciennes)

Ils sont représentés par des sables plus ou moins argileux, développés le long du bord de la mer, où ils forment des dunes de 5 à 10 m de hauteur.

1.5.2 Etude des terrasses alluviales du Bas Isser

L'oued Isser, qui au début du Pliocènes supérieur paraît avoir étalé ses alluvions sur les marnes dans la direction de Zemmouri, a peu à peu incliné son cours vers l'Est et fini par creuser son chenal contre les hauteurs de la rive droite, comme trace de ces érosions successives, il a laissé une série de terrasses qui peuvent se rapporter à 7 niveaux qui sont les suivants :

1.5.2.1 Alluvions de la première terrasse

La terrasse la plus ancienne de l'oued Isser se rencontre au Sud-ouest de Zemmouri, sur le plateau d'Ouled el Bor constituée de gros galets de schistes cristallophylliens, de phyllades, de grès, quartz et de quartzites, emballés dans gangue de sables argileux.

La puissance apparente de ces formations est de l'ordre de 30 m, constituée de grès, de galets, de schiste, de quartz et de quartzites emballés dans une gangue argileuse.

1.5.2.2 Alluvions de la deuxième terrasse

A l'Est du dépôt précédent, on rencontre une série de lambeaux isolés de poudingues couronnant des pitons de marnes bleues. L'épaisseur apparente de ces lambeaux varie de 5 à 10 m.

1.5.2.3 Alluvions de la troisième terrasse

Les dépôts de la troisième terrasse se rencontrent au Nord de Bérafai, où elles prennent un extraordinaire développement.

Ces alluvions forment une bande dont la largeur varie de 1200 à 1500 m et qui s'étend du Nord de Leghata au plateau des Beni-Kous, situé 4 km au Nord.

L'épaisseur totale de cette terrasse doit être de l'ordre de 30 à 40 m, avec une altitude qui varie de 90 à 108 mètres. Il est formé des niveaux suivants : marnes bleues du substratum, argiles brunes jaunâtres, Limon ou argile sableuse et des graviers et galets peu consolidés.

1.5.2.4 Alluvions de la quatrième terrasse

Ces alluvions forment une bande dont la largeur est de 1000 à 2000 m, s'étendant de Bérafai jusqu'au plateau de Beni Kthir, situé à 5 km au Nord. Cette terrasse se rencontre également en rive droite entre Isser ville et Bordj Menaiel. Elle est constituée de conglomérats, grès et quartzites.

1.5.2.5 Alluvions de la cinquième terrasse

On observe les premières traces à Si-Mustapha, sous le village. Ces alluvions forment ensuite jusqu'à Bérafai une série de lambeaux étroits, plaqués contre les marnes du substratum. De Bérafai jusqu'à Leghata, cette terrasse alluviale s'élargit et atteint près de 400 m. Les affleurements de cette terrasse montrent des conglomérats dont les éléments sont constitués de phyllades, de grès, de calcaires et de quartzites, donc de même nature que ceux des terrasses supérieures.

1.5.2.6 Alluvions de la sixième terrasse

Ces alluvions sont représentées par une terrasse conglomératique dont les éléments sont de même nature que les précédents, cette terrasse supporte la gare de Si Mustapha ; elle est à une altitude de l'ordre de 25 à 30 mètres.

1.5.2.7 Alluvions de la septième terrasse

Elles occupent tout le fond de la basse vallée de l'oued Isser. Elle s'étend sur 1 à 4 km de large sur 20 à 25 km de long, de Beni Amrane à l'embouchure de l'oued Isser. Elle est constituée de galets, graviers et de sables surmontée par des argiles parfois sableuses.

2 Caractéristiques hydrogéologiques des différents ensembles géologiques

La configuration géologique de la région du bas Isser englobe des ensembles hydrogéologiques à l'intérieur de chaque domaine structural qui sont les suivants :

2.1 Roches cristallophylliennes

Elles sont représentées essentiellement des schistes très peu perméables.

2.2 Roches éruptives

Elles sont représentées principalement par des granites, d'andésites et de labradorite, qui sont aquifères du fait de l'existence de source à faible débit, émergeant à la faveur de fracture et de fissures (Thenia, Sud de Bordj Menaiel...).

2.3 Les flyschs

Les différents types de flyschs sont constitués d'une alternance des grés, calcaires, avec des argiles et marnes imperméable, ce qui rend ces formations imperméables.

2.4 Miocène

Il est constitué essentiellement d'argiles et de marnes avec quelques intercalations du niveau conglomératiques, de calcaires et de grés friables, qui peuvent être le siège d'une circulation d'eau souterraine, mais qui ne présente aucun intérêt quant à leur exploitation.

2.5 Dorsale

Les terrains de cette unité sont constitués de grés surtout de formations carbonatées massives, fracturées et karstifiées. L'existence d'une karstification et d'une fissuration assez intense visible dans les gorges de Ammal a conduit à l'émergence des sources à fort débit.

2.6 Quaternaire

Il est constitué essentiellement de graviers, galets, sables et argiles, avec une épaisseur assez importante. Ces formations constituent le milieu d'investissement des eaux souterraines le plus favorable. En effet, le forage BM 13 est implanté dans cette couche aquifère productive.

3 Conclusion

L'étude géologique a mis en évidence une structure complexe, constituée par un empilement de nappes imbriquées, mises en place lors de l'orogénèse alpine et s'incluse chacune dans un domaine structural propre.

D'après l'étude tectonique, les activités tectoniques sont plus intéressantes au Sud du massif kabyle que dans les zones lointaines des chaînes calcaires, avec des cassures d'une direction générale NE-SO et NO-SE.

L'étude géologique des formations quaternaires a montré qu'il y a sept terrasses alluviales, qui sont disposées les unes sur les autres, partiellement emboîtées, dont les cinq dernières sont intimement liées à des terrasses marines. Cette étude a été effectuée sur la base des données de géophysiques et des forages.

D'après ces études, deux formations sont susceptibles d'être aquifères :

- La dorsale qui est constituée de grès et de formations carbonatées massives ;
- Les alluvions quaternaires qui sont représentées par des calcaires, des galets, des graviers et sables peu ou pas argileux, dont l'épaisseur est maximale dans l'axe de la vallée et diminue vers les bordures. Le forage BM 13 capte les eaux de cette aquifère quaternaire.

Chapitre 3

Conception d'un forage :

Aspect théorique

Chapitre 3 : Conception d'un forage : aspect théorique

Introduction

Dans ce chapitre nous allons présenter, en premier, le forage Hydraulique et ses différents types. Par la suite, on s'intéresse au forage au rotary et ses accessoires. On termine le chapitre avec une description des travaux de foration.

1 Présentation d'un forage

1.1 Le forage

Un forage est un puits creusé par un procédé mécanique à moteur (foreuse) en terrain consolidé ou non consolidé, pour tous usages sauf pour les reconnaissances, distingué d'un puits foré. (G. Castany, J. Margat, 1977).

Un forage d'eau est caractérisé par son petit diamètre (variant entre 20 cm à 60 cm) et d'une profondeur allant de quelques mètres à des centaines voire des milliers de mètres en fonction de l'aquifère d'eau capté. Ce type d'ouvrage permet d'accéder à toutes les nappes souterraines, sois libre ou bien captive. Le forage peut capter des aquifères spécifiques à l'aide des tubes crépinés d'une partie, et d'autres avec des tubes pleins qui isolent les aquifères indésirables avec une cimentation annulaire en surface afin d'éviter tout apport de l'eau superficielles vers la nappe (figure 12). (E. Gilli, C. Mangan, J. Mudry, 2004)

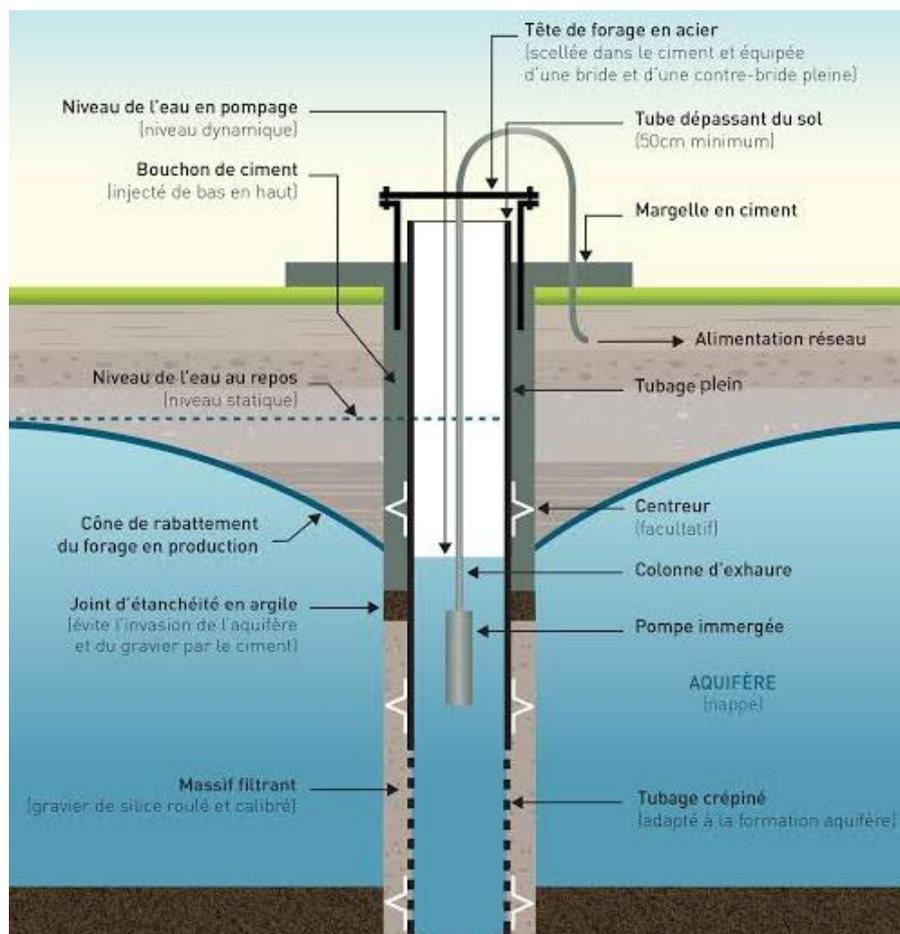


Figure 12: schéma d'un forage dans une nappe libre.

1.2 Types de forages

1.2.1 Forage vertical

Ce type est souvent utilisé pour les forages d'exploitation d'eau ou les hydrocarbures. La réalisation du forage se fait verticalement sur le terrain à exploiter en utilisant un matériel spécifique et un personnel qualifié. Il se caractérise par :

- ❖ Une vitesse rapide de foration et une grande profondeur.
- ❖ Perfore verticalement sans déviation même avec des grandes profondeurs.
- ❖ Utilisation d'une boue de forage afin de refroidir l'outil de forage.
- ❖ Utilisable sur tous types des sols.

1.2.2 Forage horizontal

Généralement utilisé pour dévier les obstacles. Il nécessite des conditions de travail spécifique (une fosse pour déposer la foreuse, et une autre fosse où le forage se termine). Le forage se fait par une gaine (en acier, en céramique, ...etc.)

Ce type de forage permet d'atteindre plusieurs cibles dans le sous-sol depuis un même site, et réduisant le nombre d'ouvrage.

1.2.3 Forage dirigé

Contrairement au forage horizontal cette technique ne nécessite pas une fosse ou un lieu de travail spécifique, utilisable sur les terrain meuble et rocheux, on distingue 3 étapes de réalisation d'un forage dirigé :

- ❖ Foration : par poussée et rotation de l'outil avec insertion de la boue de forage pour refroidissement.
- ❖ Alésage : il se fait après foration, afin d'obtenir le diamètre souhaité.
- ❖ Tracter : la gaine sera tractée inversement depuis le point de sortie vers le point de départ par l'outil de foration.

1.3 Technique de foration

Il existe différentes techniques de forage chacune selon le terrain à forer et son mode d'utilisation, on distingue :

1.3.1 La technique de battage

Cette technique est très ancienne. Elle consiste à soulever un outil très lourd dit « trépan » et le laisser tomber par l'effet de son poids sur la formation rocheuse afin de la perforer. Elle ne nécessite pas un fluide de forage. Cette technique est destinée au forage à faible profondeur et gros diamètres. Le battage se produit par le mouvement alternatif d'un balancier actionné par un arbre à came, les déblais sont ramassés par une benne preneuse placée à la place du trépan, afin de faciliter le travail. Il est recommandé d'ajouter un peu d'eau au fond du trou afin d'humidifier la formation et la rendre moins dure. L'avantage du battage est la simplicité de la technique et son coût faible, cependant, la vitesse d'avancement très faible par rapport aux autres techniques constitue un inconvénient qui a fait de ce type de foration le moins utilisé de nos jours.

1.3.2 La technique du marteau fond du trou (MFT)

La méthode utilisée c'est la percussion et la rotation. En principe, c'est un taillant fixé sur un marteau pneumatique, sous l'effet de son mouvement, il broie la roche. L'énergie utilisée pour faire marcher l'outillage est l'air comprimé à haute pression (10 à 25 bars). Les déblais sont remontés à l'effet de cette même pression dont la technique permet de forer dans les terrains durs à une vitesse supérieure par rapport aux autres techniques pour des diamètres variant entre 3,5'' à 10''.

1.3.3 La technique ODEX (MFT à l'avancement)

Cette technique est similaire à la technique du marteau fond de trou, à une différence près, un tubage de soutènement est mis en même temps que la foration pour éviter les éboulements du forage, généralement utilisé dans les terrains meubles incohérent.

1.3.4 La technique du havage

C'est une technique d'extraction consistant à creuser des entailles parallèlement au plan de stratification des roches pour les détacher plus facilement, utilisé pour exécuter des forages d'eau. Le forage peut être effectué :

- ❖ Soit par bennes à coquilles où l'attaque du terrain se fait au moyen d'une benne circulaire munie de coquilles ouvertes qui percutent le sol comme un trépan et remonte les déblais.
L'ouverture et la fermeture des coquilles sont commandées par câble. Ce matériel permet de réaliser des forages de profondeurs de 70 à 80 m pour des diamètres de 0,6m à 1,2m dans des terrains alluvionnaires.
- ❖ Soit par outils en rotation : ce système de perforation travaille au moyen d'un outil d'extraction circulaire avec un fond verrouillé muni de dents et agit par rotation jusqu'à ce qu'il soit plein de matériaux. L'outil est extrait et le déverrouillage du fond de l'outil permet de vider rapidement celui-ci. Ce matériel permet d'effectuer des forages de 35 à 40 m de profondeur avec des diamètres de 0,5m à 1,3 m.

1.3.5 Technique de la tarière

La technique utilise un outil qui ressemble à une vis qui permet de forer sur de faibles profondeurs (25m) et à gros diamètres. Le mouvement rotatif de l'outil permet de creuser et d'extraire au même temps les déblais. A la fin du forage un pré tubage est nécessaire afin d'empêcher l'effondrement du sol, qui sera enlevé une fois le tubage est mis en place.

1.3.6 La technique de rotary

C'est une technique récente qui remonte à 1920 pour la première utilisation. Elle est utilisée dans les terrains sédimentaires non consolidés et dans les terrains durs.

La technique se base sur un mouvement rotatif et broyage sans faire de choc, à l'aide d'une tête de foration appelé « tricône » qui sera en rotation continue depuis la surface à l'aide d'un train de tiges pour atteindre la profondeur voulue. Le broyage est dû au poids du train de tige ainsi aux tiges masses aux qu'elle s'accroche le tricône. Un liquide visqueux est injecté dans le forage à l'aide d'une pompe à boue en surface passant par une tête d'injection, qui sert à

lubrifier l'outil et remonté les cuttings ainsi le colmatage des parois du forage pour éviter tout éboulements. Tout ça dans un circuit fermé et continu.

2 Description de la machine de foration : forage au rotary et accessoires

Dans le cas de notre forage BM 13, la technique de rotary avec la circulation de la boue à base de Bentonite est adoptée pour la recherche et l'exploitation d'eau en profondeur. La technique est relativement moderne, dont les premières utilisations remontent à 1920. Le Rotary est utilisé spécialement dans les terrains sédimentaires non consolidés pour les machines légères, mais les machines puissantes de rotary peuvent travailler dans les terrains durs (Pétroliers). La méthode rotary est plus rapide, plus efficace, et économique comparativement aux autres techniques (Figure 13).

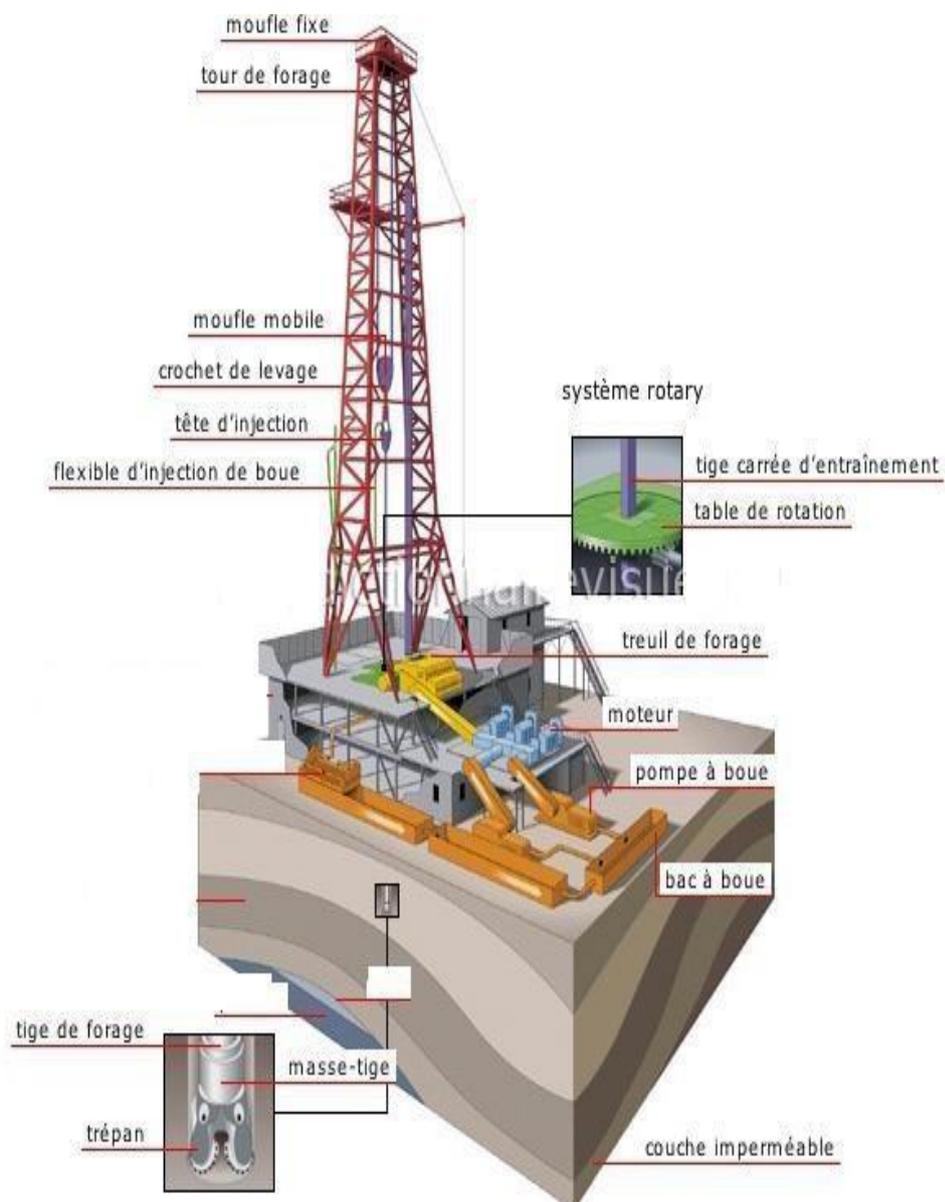


Figure 13 : Les composants d'un appareil de forage Rotary (Bettahar, Lakhchakhe.2017).

2.1 Principe d'un appareil de forage Rotary

C'est la méthode utilisée en forage d'eaux et pétroliers. Le train de tiges est entraîné en rotation et le tricône broie la roche (figure 14). Les déblais sont remontés par un fluide (air ou boue) qui sert en même temps de lubrifiant et de refroidisseur du tricône. Cette technique rapide, adaptée au diamètre moyen et faible, est employée pour les grandes profondeurs et pour des terrains durs et meubles.



Figure 14 : tricône.

Avantage :

- ❖ Les forages de grand diamètre sont exécutés rapidement à un coût économique.
- ❖ Facilité de mise en place des équipements de forage.
- ❖ Bon contrôle des paramètres de forage (poids de l'outil, vitesse de rotation, qualité de la boue, débit d'injection de la boue)
- ❖ Bons rendements dans les terrains tendres.

Inconvénients :

- ❖ Difficulté d'observation directe de la qualité des eaux des formations traversées à cause de l'utilisation d'un fluide de forage.
- ❖ Nécessite beaucoup d'eau.
- ❖ Nécessite un grand investissement (matériels très importants).
- ❖ L'utilisation de certaines boues (bentonite) peut provoquer le Colmatage des formations aquifères.

2.2 Description de la machine et train de sonde

Il existe deux types de procédés de forage rotary :

- ❖ Foreuse à table de rotation ;
- ❖ Foreuse à tête de rotation.

➤ Foreuse à table de rotation :

L'appareil de forage rotatif à entraînement à table de rotation applique le mouvement rotatif au trépan à travers une table de rotation fixe située au pied du mât conjointement avec la barre de commande qui s'appelle tige carrée.

➤ Foreuse à tête de rotation :

L'appareil de forage à tête rotative fournit la rotation par laquelle elle fait monter et descendre le mât.

2.3 L'appareil de forage et ces différents organes

L'appareil de forage, ou plus globalement le chantier de forage est constitué d'un ensemble d'équipements, des techniques opératoires et un personnel très qualifié. La figure 15 montre les différents organes constituant un appareil de forage standard.

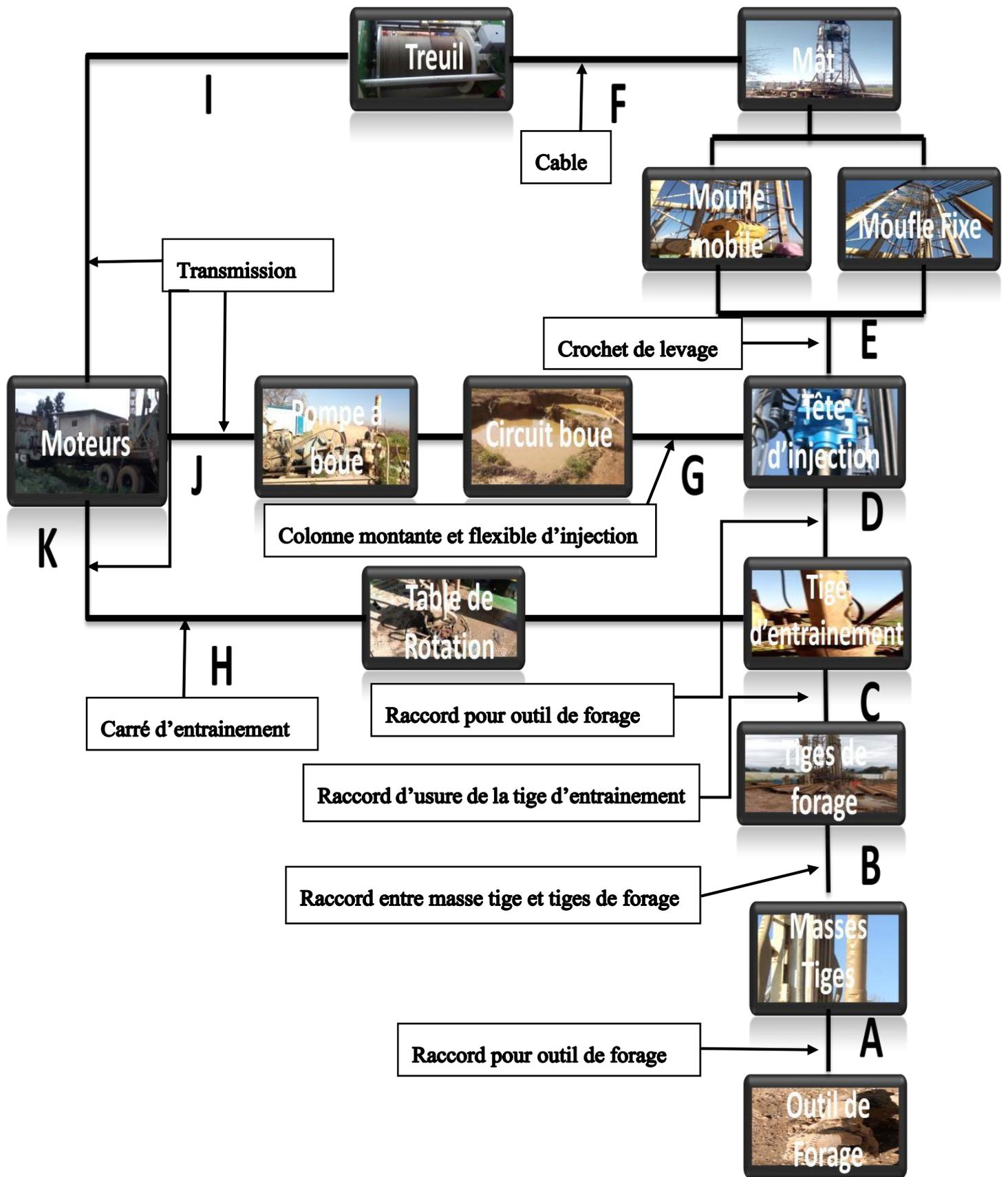


Figure 15 : description sommaire d'un appareil de forage rotary.

La machine de forage est mécanique et doit travailler en forage conventionnel et au fond de trou, ses différents organes on les sites comme suit :

2.3.1 Le Mât

Une tour, appelée « derrick », permet la manœuvre de remontée et de descente du train de sonde, les stockages des tiges après la remontée de l'outil si le mât est muni d'une passerelle d'accrochage, il permet aussi la descente de la colonne de tubage.

Les dimensions d'un mât dépendent de la profondeur à atteindre de la capacité maximale au crochet, de la capacité de stockages des tiges et sa résistance aux vents. L'axe de symétrie du mat doit être toujours dans le prolongement de l'axe du puits. Pour les forages hydrauliques, on utilise des mâts télescopiques à vérins hydraulique pour faciliter le déménagement. Le mât peut être entouré avec des câbles pour augmenter sa stabilité contre les vents. (Figure 16)



Figure 16 : Photo du mât.

2.3.2 Moufle fixe

Le moufle fixe, connu aussi par crown block, est composé d'une série de poulies, montées généralement sur un même axe, qui tourne librement et indépendamment autour de cet axe. Leur nombre est supérieur d'une unité à la moitié du nombre de brins du mouflage maximal. Le moufle fixe est monté sur un panneau qui est lui-même posé et fixé sur la petite base se trouvant au sommet du mât. (Figure 17)

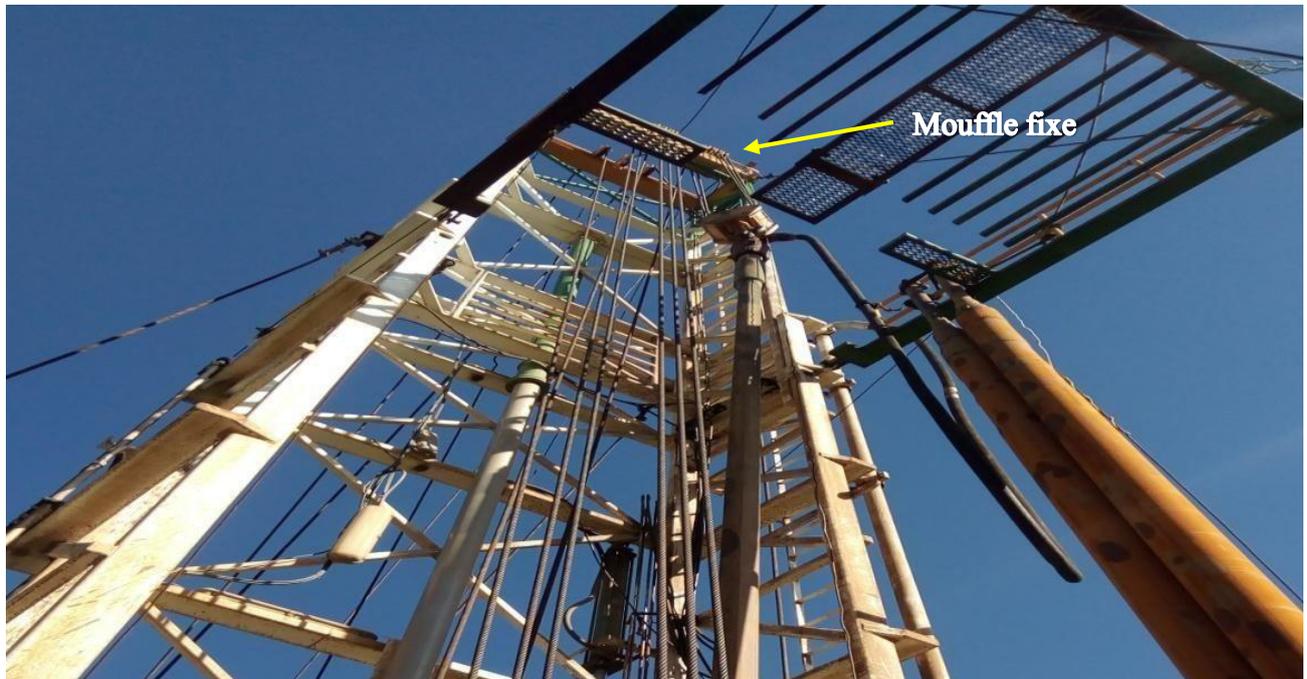


Figure 17: Moufle fixe.

2.3.3 Moufle mobile

Il est appelé aussi traveling block, il est composé d'une série de poulies montées sur le même axe. Elle tourne librement autour de cet axe dont leur nombre est égale à la moitié du nombre de brins du mouflage maximal. L'ensemble des poulies est enfermé dans un ensemble de tôle rigide. Des fenêtres faites dans ce carter permettent le passage des tiges de mouflage et empêchent le câble de sortir hors des poulies. (Figure 18).

2.3.4 Tête d'injection

Elle Permet l'injection de la boue à travers ce dernier soit en rotation ou non, et joue le rôle de palier entre le train de sonde et le moufle mobile. (Figure 18).

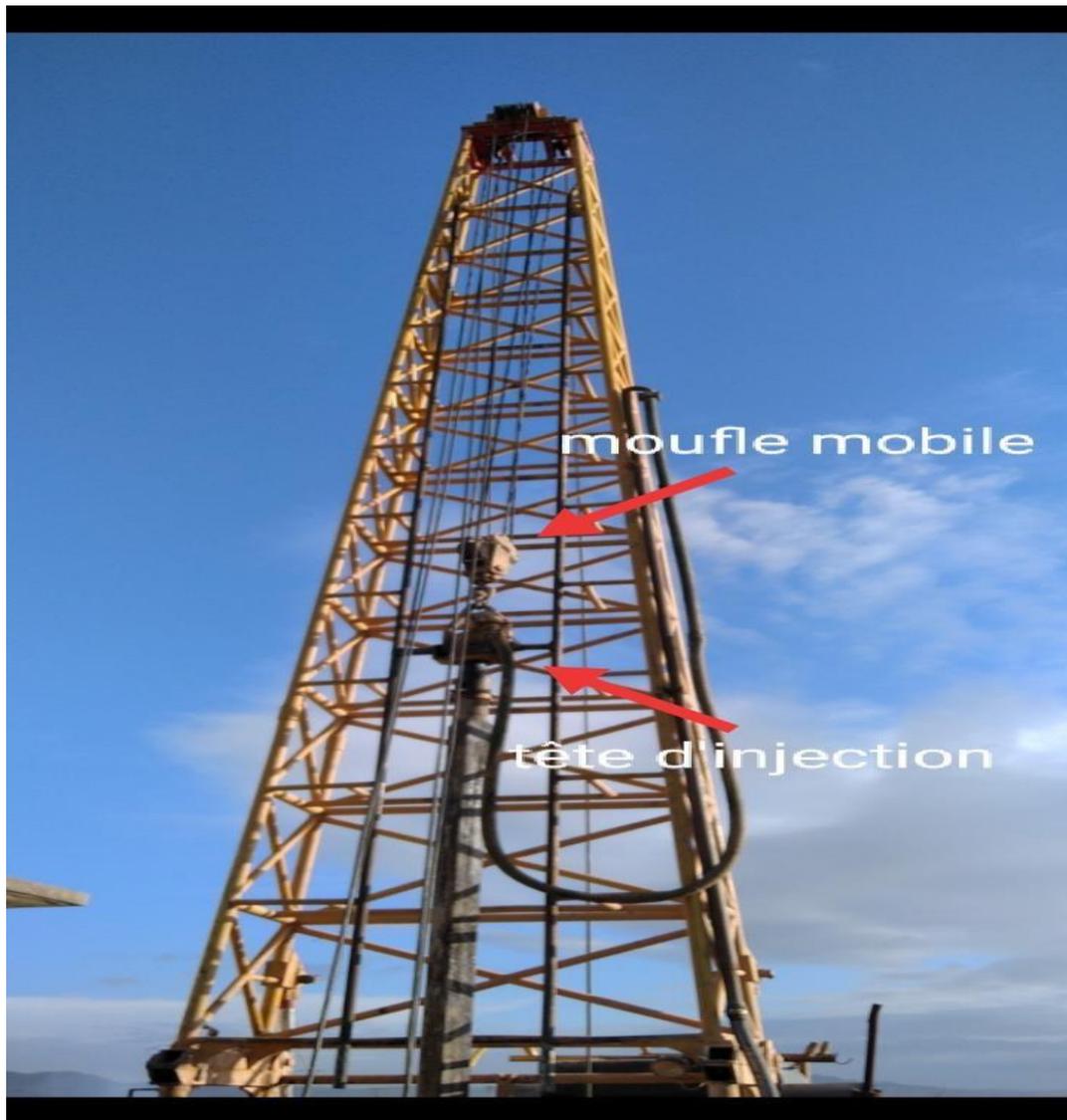


Figure 18: tête d'injection et moufle mobile.

2.3.5 Table de rotation

C'est l'organe qui entraîne par un mouvement de rotation de l'outil au fond du trou par l'intermédiaire de la garniture de forage, fixé à l'ensemble du train de tiges (figure 19). Pendant les manœuvres la table de rotation supporte la garniture par les cales. La table de rotation comporte trois parties principales :

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



Figure 19 : Table de rotation.

2.3.6 Pompes à boue

Organe qui aspire et refoule, sous pression à l'intérieur de la garniture, le contenu dans les bassins à boue. Ces pompes peuvent fournir des débits importants (supérieurs à 300 l/mn) à des pressions considérables. Ce sont des pompes volumétriques alternatives à simple ou double effet, et à plusieurs pistons (figure 20).



Figure 20: pompe a boue

2.3.7 Treuil :

Organe assurant la transmission de la puissance adéquate à partir des moteurs, pour permettre le levage à des vitesses différentes (figure 21).

Il est constitué de :

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



Figure 21: treuil.

2.3.8 Les tiges de forage

Ce sont des tiges d'acier qui constituent la partie la plus longue de la garniture du forage.

a) **Tige carrée** (Figure 22)

C'est une tige spéciale de section carrée, parfois aussi hexagonal ou octogonal, vissée à sa partie supérieure à la tête d'injection et à sa partie inférieure, à la dernière tige.

b) **Tige ronde de forage** (Figure 23)

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

c) **Les masses tiges** (Figure 24)

Elles sont utilisées pour :

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



Figure 22: Tige carrée.



Figure 23: Tige ronde.



Figure 24: Masse tige.

2.3.9 Les outils de forage

Le trépan, appelé aussi outil de forage, est l'outil qui permet de forer le sol en les broyant, permettant ainsi au forage de progresser en profondeur. L'outil doit être choisi dans un catalogue aussi varié que peut être la lithologie rencontrée. (Figure 25)



Figure 25: Tricônes de différents diamètres.

2.3.10 Aléreur

Les aléseurs ne sont pas proprement dits des outils de tête, puisqu'ils peuvent être montés en complément de l'outil principal (figure 26). Le but des aléseurs est d'agrandir un trou, ou simplement d'en racler les bords et parfois de compacter le fond du forage.



Figure 26: Aléreur.

3 Description des travaux de foration

Nous allons décrire le déroulement des travaux de réalisation du forage projeté (forage à la fois de reconnaissance et de production). L'emplacement précis du forage projeté dans le champ de captage est fixé compte tenu des résultats de synthèse d'une étude hydrologique, hydrogéologique et géophysique.

Une fois le choix de l'emplacement fixé, on procède à la forations selon les protocoles suivants :

3.1 Mode de foration

Le forage sera exécuté au mode rotary avec circulation de boue à la base de la bentonite. La Bentonite est une argile en poudre dosée. Elle correspond à un minéral industriel principalement composé d'argile, utile pour consolider des joints, colmater des trous et refroidir les outils.

3.2 Réalisation de la plate-forme, des bassins de boue et rigoles

Une plate-forme sera réalisée pour assurer la stabilité de l'appareil de forage.

Un bassin de boue avec rigoles seront également réalisés. Ils constituent une réserve de fluide pour l'opération de foration, ils permettent son recyclage par décantation. Deux bassins seront nécessaires :

- Le 1^{er} bassin qualifié de bassin de décantation est prévu pour recevoir la boue évacuée par la machine lors de la foration pour permettre la décantation de la boue.
- Le 2^{ème} bassin, dit bassin de pompage (figure 27), est prévu pour recevoir la boue décantée pour être pompée dans la machine (injectée dans le train de tige).



Figure 27: Photo du bassin de boue.

3.3 Profondeur

La profondeur projetée du forage, toutefois, l'ingénieur hydrogéologue de suivi peut en fonction de certains paramètres imprévisibles, réduire ou augmenter celle-ci en fonction des caractéristiques de l'aquifère.

3.4 Diamètre de la perforation

La perforation se fera comme suit :

- Forage en 26'' de 0 m à 10 m et mise en place d'un tube guide Ø24'' de 10 m de longueur et de 4 mm d'épaisseur en TNRS (Tôle noire roulée et soudée)
- Forage de reconnaissance au diamètre 12''^{1/2}
- Elargissement en trois phases en utilisant un outil de 17''^{1/2}, de 19'' et de 22''.

3.5 Enregistrement des diagraphies

Le responsable du forage doit procéder à un enregistrement de diagraphie sur toute la hauteur du forage qui comprendra :

- Polarisation spontanée (PS)
La polarisation spontanée a été récemment appliquée dans la prospection hydrogéologique (Jackson and Kauahikaua 1987). Elle consiste à mesurer des différences de potentiel électriques naturelles existant dans le sous-sol.
- Résistivité : Petite et grande normale
La résistivité d'un matériau représente sa capacité à s'opposer à la circulation du courant électrique. Elles correspondent à la résistance d'un tronçon de matériaux de 1 m de longueur et de 1 m² de section ; elle est exprimée en (ohm.m).
- Gamma ray (rayon γ)
Les rayons gamma mesurent la teneur en argile (riche en éléments radioactifs) des roches et ainsi préciser et corrélent la coupe lithologique établie à partir de l'échantillonnage des terrains rencontrés lors de l'opération de foration.

3.6 Mise en place du tubage

Le plan de tubage (longueur, position des tubes pleins et des tubes crépinés) est établi en fonction de la coupe géologique du forage, où sont notées les différentes couches de terrain et les venues d'eau, ainsi qu'en observant de visu (reconnaissance mécanique) la coupe géologique grâce aux échantillons et les essais de diagraphie (résistivité électrique, gamma ray, polarisation spontanée). Ces dernières peuvent être effectués avant l'équipement pour améliorer le plan de captage. Les crépines sont placées en face des niveaux aquifères ou des venues d'eau. La colonne de tubage doit contenir à sa base un tube plein (tube décanteur). Le dernier tube posé dans le forage doit dépasser d'environ 0,5 m la surface du sol.

3.7 Mise en place des crépines

La détermination des slots ou des crépines (ouvertures des crépines) et des niveaux à crépinier se fera après analyse des cuttings et interprétation des diagraphies par l'ingénieur de suivi. L'entreprise est chargée de prélever des échantillons de cuttings chaque 1 mètre. Les échantillons seront lavés, séchés et étiquetés. De préférence, un échantillon intact (non lavé) est gardé à côté de l'échantillon lavé.

3.8 Massif filtrant

Le massif filtrant doit être siliceux et arrondi. Les dimensions de son matériau seront définies par l'ingénieur hydrogéologue chargé du suivi des travaux, en s'appuyant sur les analyses granulométriques effectuées sur les échantillons du cuttings.

3.9 Développement et traitement à l'hexa-métaphosphate

Le développement s'effectuera au système Air-lift en utilisant les moyens suivants :

- Un compresseur Avec une pression minimale de service égale à 16 bars.
- Une colonne d'eau de 110 mm de diamètre.
- Une colonne d'air de 2 pouces de diamètre.
- Une vanne pour un pompage alterné.
- Un robinet de retour.
- Un bac de 1 m³ avec vanne de vidange pour les mesures de débit.
- Un appareil de mesure du niveau d'eau (une sonde).
- Un chronomètre.
- Un poste à souder pour un éventuel développement à forage fermé.

L'air sera injecté par le compresseur jusqu'à obtention d'eau claire. La vanne sera fermée toutes les heures à raison de 2 mn pour créer une turbulence dans l'ouvrage permettant la destruction des ponts de sables. L'objectif de cette opération consiste à extraire toutes les particules fines en suspension et de nettoyer les dépôts fins du fond du trou (Figure 28).

L'injection d'Air-lift et pompage se fera de haut en bas en face de chaque crépine et terminer par le nettoyage du tube de décantation. Le dispositif de développement doit alterner entre les deux positions de pompage (tube d'eau plus profond que le tube d'air) et de développement (tube d'air plus profond que le tube d'eau). Cette opération, dont la durée sera déterminée par l'ingénieur chargé du suivi.

Lors de cette opération de développement, une quantité d'hexa-métaphosphate sera injectée dans le forage pour la défloculation de la bentonite et des boues de l'aquifère. Ce produit, fourni en poudre, sera dissout dans l'eau par agitation et versée dans le tube du forage de manière continue. Au moment de cette injection le compresseur sera à l'arrêt. Après son injection totale, un barbotage de 5 mn sera exécuté par le compresseur en fermant la vanne au préalable. Après, une attente d'effet de 8 h sera poursuivie jusqu'à obtention de l'eau claire (Mabillot).



Figure 28 : développement au système d'Air-lift.

3.10 Essais de pompage

Après les opérations de traitement, le forage doit subir un essai de pompage par palier afin d'évaluer le débit d'exploitation. L'essai comportera :

- Un essai à blanc de 12 heures avec débits croissants.
- Un essai par paliers selon un programme, le niveau dynamique doit être mesuré à chaque fin de palier. Durant ces opérations, la mesure du ND sera prise au cours du pompage.
- L'essai de longue durée, après la remontée complète du niveau d'eau, doit permettre la détermination des caractéristiques hydrodynamiques de la nappe (transmissivité et coefficient d'emmagasinement).

Durant ces opérations, les mesures de NS et ND seront prises dans le forage en pompage et un piézomètre d'observation conformément à la recommandation qui seront notifiées sur les lieux.

Les équipements nécessaires pour cette opération sont :

- Une pompe immergée
- Une sonde électrique pour la mesure du niveau d'eau
- Un chronomètre
- Un débitmètre
- Une vanne de sortie du puits
- Une tuyauterie pour évacuer l'eau loin du forage

A la fin des opérations de l'essai de pompage, l'eau doit être claire dépourvue de particules solides en suspension (figure 29).



Figure 29 : Photos d'essai de pompage.

4 Conclusion

La réalisation d'un forage est effectuée par différentes techniques (Rotary, odex, battage...). La technique la plus utilisée et la plus efficace est le rotary. Le creusement du forage est exécuté à l'aide des outils de différents diamètres allant en général de 12 à 22". Dans l'opération de reconnaissance utilisant un outil de 12" de diamètre, l'entreprise de réalisation effectue des prélèvements de cuttings chaque 1 m pour faire une analyse granulométrique et déterminer le diamètre du massif filtrant ainsi que le diamètre des slots des crépines.

Après le creusement, une reconnaissance géophysique (essais de diagraphie) est effectuée. L'importance de cette étape est de déterminer la/les couches aquifères potentielles afin d'établir un programme de tubage

Une fois la colonne de tubes est mise en place, une opération de développement mécanique et chimique est indispensable pour le nettoyage du trou de foration et chasser les particules en suspensions dans l'eau.

Dans le forage BM 13, la technique du rotary a été adoptée. Les différentes étapes présentées dans ce chapitre ont été suivies sur le terrain.

Chapitre 4

Conception de forage :

Aspect pratique

Chapitre 4 : Conception d'un forage : aspect pratique

Introduction

L'augmentation rapide des besoins en eau des différents secteurs utilisateurs (Eau potable, agriculture et industrie) et la diminution des précipitations (Période de sécheresse de l'année 2020/2021, renouvellement lent des nappes et mobilisation irrationnelle de la ressource) a engendré des tensions socio-économiques.

Devant cette situation critique qui risque de s'aggraver au cours des prochaines décennies, le Ministère des ressources en eaux a décidé de réaliser plusieurs forages à l'échelle nationale et particulièrement dans la wilaya de Boumerdes (71 forages à réaliser et 72 sources à capter ou aménager).

1 Présentation du forage BM 13

Le Forage BM 13 implantée aux alentours de Bordj Menaiel wilaya de Boumerdes, est destiné à l'alimentation en eau potable de la région (figure 30), le tableau 6 représente les caractéristiques du forage :

Tableau 6: Données du forage

Nom du puits		Forage BM 13	
Chantier		BM 13 Bordj Menaiel	
Enterprise de réalisation		MITAFOR-HYDRO	
Bassin versant		Bas Isser	
Wilaya		Boumerdes	
Coordonnées	Géographiques	E	3° 41' 32''
		N	36° 44' 09''
	UTM (31)	X (m)	4 065 500,55
		Y (m)	561 806,35
Z (m)	NGA	20	

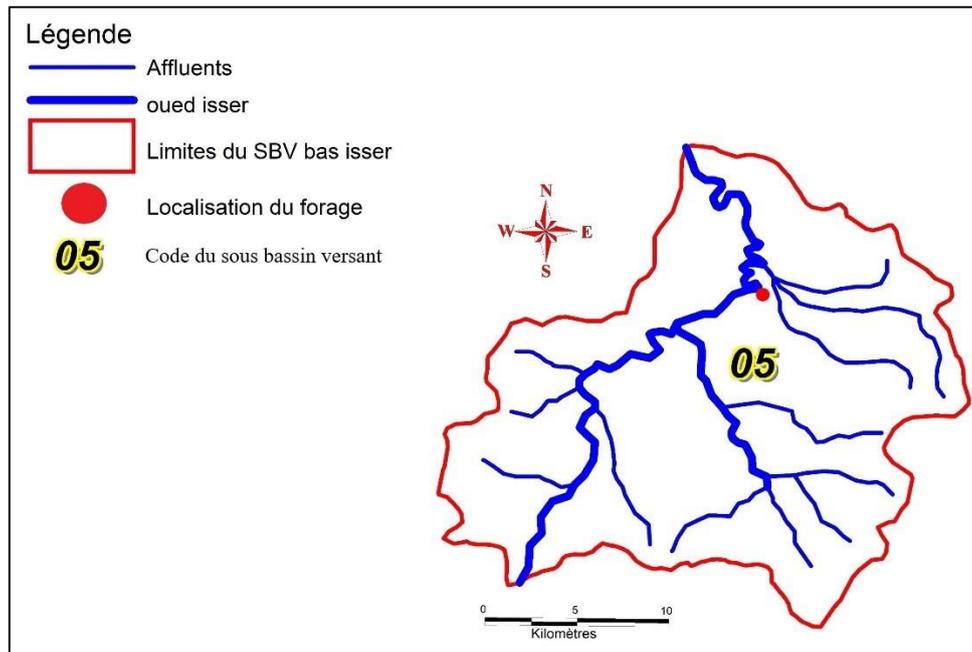


Figure 30 : localisation du point du forage.

La réalisation du forage BM 13 a démarré le 14 janvier 2021. Les ouvriers ont commencé par la construction d'une plateforme pour assurer la stabilité de l'appareil de forage. Après, ils ont procédé à la réalisation des bassins de boue et rigoles (figure 31).



Figure 31 : bassin de boue et rigoles.

2 Déroulement des travaux du forage BM 13

2.1 Installation du tube guide

L'opération de l'installation a été faite le 17 janvier 2021 par les étapes suivantes :

- ✓ 1^{ère} opération : Le forage est exécuté à l'aide d'un outil de 26'' de diamètre, de 0 à 10 m de profondeur.
- ✓ 2^{ème} opération : Un tube en TNRS de diamètre 24'' a été introduit sur une profondeur de 10 m. (Figure 32)
- ✓ 3^{ème} opération : la cimentation qui consiste en un remplissage du béton entre le trou de diamètre 26'' et le tube de 24'' sur une profondeur de 10 m
- ✓ Laisser la cimentation se consolider pendant 24 heures.



Figure 32 : tube guide en TNRS.

2.2 Forage de reconnaissance

Le forage de reconnaissance a été réalisé entre le 19 et 21 janvier 2021 en utilisant un outil de 12'' de diamètre sur une profondeur de 61 m. L'objectif de ce forage était de reconnaître et localiser les différentes couches lithologiques qui constituent le sous-sol avec un prélèvement d'échantillon non lavé (figure 33) et un autre lavé (figure 34) effectué chaque 1 m dont 61 prélèvements au total (figure 35). Ce travail a permis de déterminer les niveaux susceptibles de constituer des aquifères potentiels. 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 61 m traversées (figure 36).



Figure 35 : échantillonnage du forage de reconnaissance.



Figure 33 : échantillon non lavé.

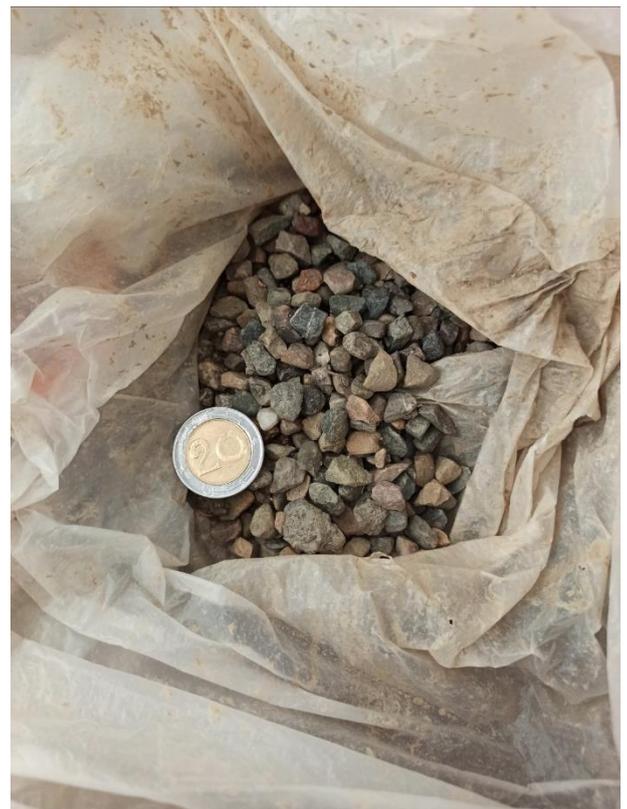


Figure 34 : échantillon lavé.

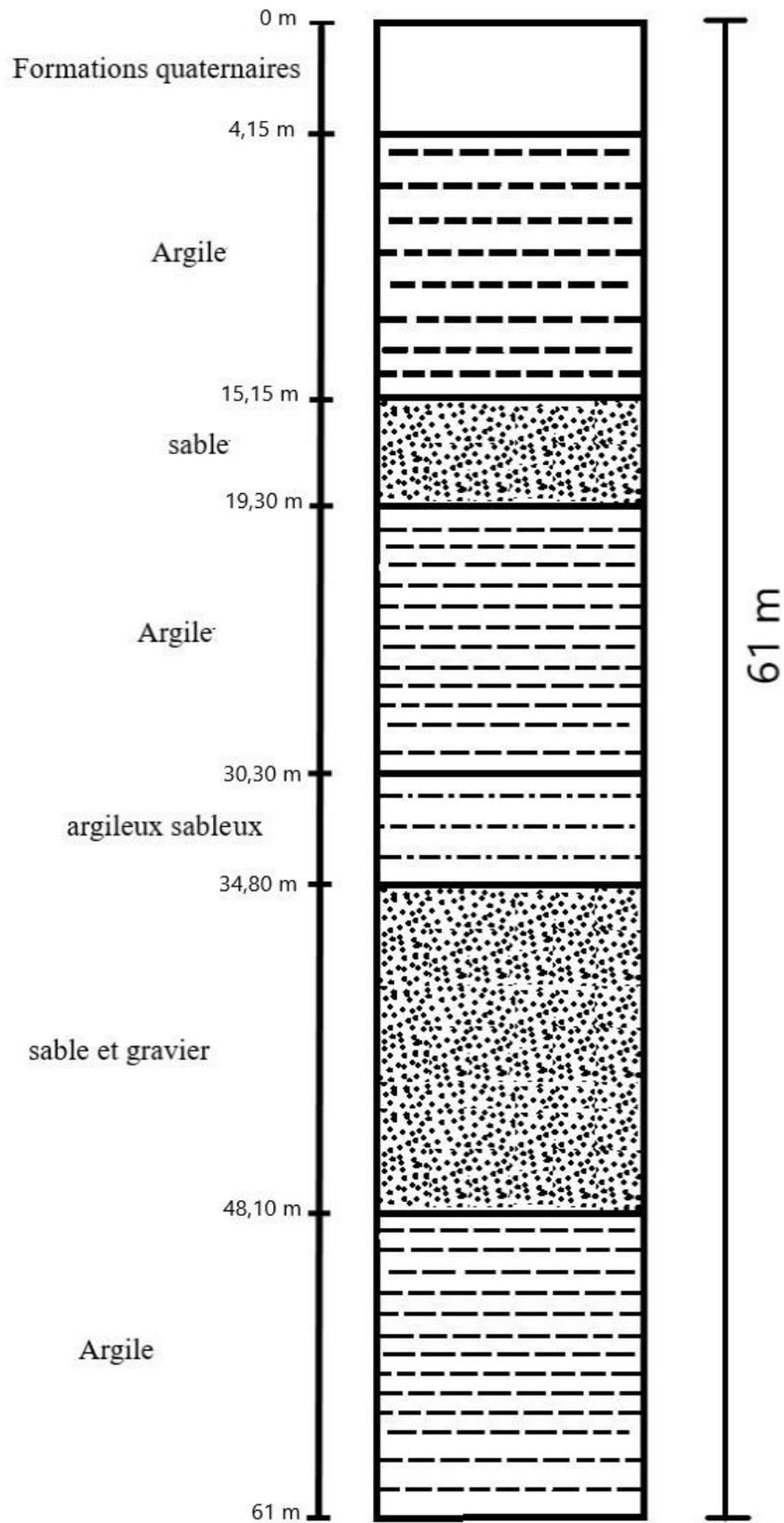


Figure 36 : Coupe du forage BM 13.

2.3 Diagraphie

Une diagraphie consiste à mesurer les caractéristiques des roches traversées lors du forage à l'aide de différentes sondes (résistivité, rayon gamma et polarisation spontanée). Elle permet de détecter les niveaux perméables et imperméables dans le sol.

Dans le cas du forage BM 13, l'investigation par diagraphie a été réalisée le 23 janvier 2021 par *MSI East Drilling* à l'aide d'une sonde multi-paramètres (figure 37 a et b), attachée à un câble électrique monté sur un treuil (figure 37 c). L'introduction de la sonde dans le forage a été effectué en utilisant un trépied équipé d'une poulie (figure 37 d). L'enregistrement des paramètres s'est fait à partir du fond de forage jusqu'à la surface du sol en utilisant deux logiciels (figure 37 e) : *Depth* (mesure de la profondeur) et *Logger* (mesure de la résistivité, rayon gamma et polarisation spontanée). Après moins d'une heure de temps, on a abouti aux résultats montrés dans la figure 38.



Figure 37 : Images montrant le matériel d'investigation diagraphique.

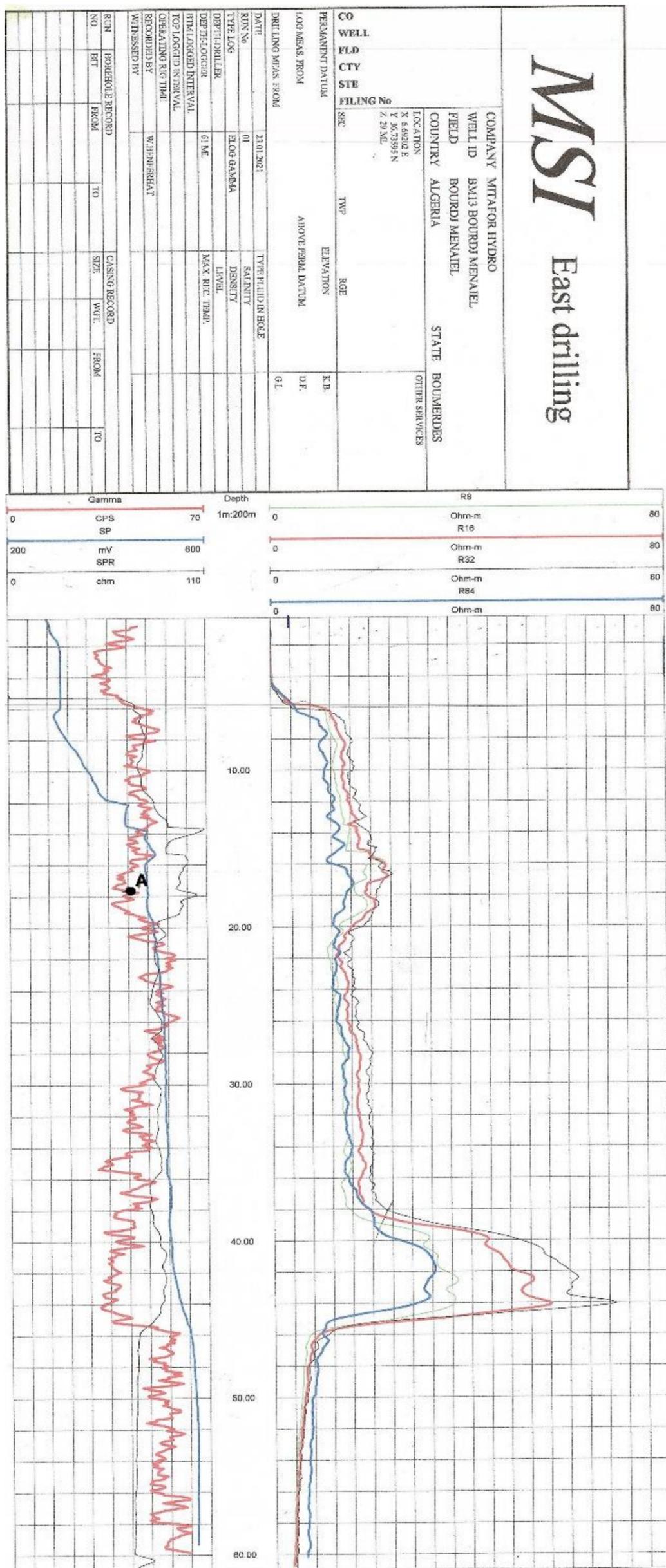


Figure 38 : log diagraphique et lithologique du forage BM 13.

2.3.1 Gamma ray (GR)

a) *Interprétation qualitative*

D'après le log du forage (figure 38), on distingue 3 parties :

- 1^{er} partie (de 6 à 34 m) :

On constate que les terrains traversés sont des sables argileux, des argiles et limons, dont les valeurs du GR varie entre 42 et 56 CPS

- 2^{eme} partie (de 34 à 46 m) :

Une faible valeur du GR variante de 35 à 49 CPS, qui signifie une faible quantité d'éléments radioactif et indique ainsi un niveau perméable susceptible d'être un aquifère.

- 3^{eme} partie (de 46 à 61 m) :

On constate que les valeurs du GR sont à leurs maximum dans cette partie ce qui signifie une couche imperméable chargée en éléments radioactifs, marquant ainsi le mur de notre aquifère (substratum imperméable).

b) *Interprétation quantitative*

Pour le calcul du volume d'argile on utilise la formule suivante :

$$V_{sh} = \frac{GR_{lu} - GR_{min}}{GR_{max} - GR_{min}}$$

V_{sh} = volume d'argile en % ;

GR_{max} = Correspond à la valeur élevée, donc les argiles ;

GR_{min} = Correspond à la valeur minimale, donc les sables ;

GR_{lu} = correspond à la valeur du point A lu dans le graphe (figure 37).

A noter que la position du point A est choisie comme exemple pour déterminer un ordre de grandeur du volume d'argile.

Application numérique : $V_{sh} = \frac{42-30}{63-30} \rightarrow V_{sh} = 36 \%$

2.3.2 Résistivité : (figure 38)

- La zone 1 (de 6 à 36 m) :

On remarque que la résistivité de la GN (64'') et PN (16'') marque une valeur assez faible dans cette zone (entre 8 et 20 ohm.m), car le terrain traversé est argileux sableux, ce qui signifie une faible infiltration latérale de la boue de forage et la formation du Mud cake sur les parois du forage.

- La zone 2 (de 36 à 46 m) :

Le rayon d'investigation de la PN indique que la résistivité est élevée (56 ohm.m) dans la zone lavée à cause de la formation du mud-cake.

Le rayon d'investigation de la GN atteint la zone vierge, donc il marque une résistivité inférieure à celle de la PN (32 ohm.m). Ce qui signifie un terrain perméable.

- La zone 3 (de 46 à 61 m) :

Représente une faible résistivité sur la PN et la GN (entre 4 et 8 ohm.m), donc c'est un terrain chargé en ions et imperméable car on remarque qu'il n'y a pas une infiltration de fluide de forage, ni formation du mud-cake.

D'après les interprétations des graphes de résistivités et gamma ray (figure 38) on constate que notre aquifère se situe dans l'intervalle de 34 à 46 m.

2.4 Elargissement du forage BM 13

Cette opération intervient suite aux résultats d'interprétation de l'enregistrement de la diagraphie, et l'analyse des cuttings prélevés.

Cet élargissement du trou est effectué à l'aide des outils de gros diamètre (17'' et 22'' sur une profondeur de 54 m) et un outil pilote, appelé aléteur accouplé à un outil guide (outil Ø22'' monté sur un outil Ø17'')



Figure 39 : tricônes de 17'' et 22'' assemblés.

2.5 Mise en place du tubage et massif filtrant

En parallèle à la phase d'élargissement, un programme de tubage a été établie en se basant sur les résultats du forage de reconnaissance et l'interprétation de la diagraphie. La colonne de tubage est constituée de tubes en pvc de 4 m de longueur, avec des bords filetés (figure 40 a et b). Les tubes sont mis en place selon le programme suivant :

- ✓ De 0 à 34,65 m, des tubes pleins ;
- ✓ De 34,65 à 46,65 m, des tubes crépinés ;
- ✓ De 46,5 à 54 m, des tubes pleins.

Afin de terminer la mise en place des tubages, on procède de mettre en place le massif filtrant (figure 41) en suivant ces étapes :

- ✓ Nettoyage du bac à boue ;
- ✓ Remplir le back avec de l'eau propre ;
- ✓ Préparer le massif filtrant.

On fait descendre le gravier dans l'espace annulaire le long du forage, à l'aide de la circulation continue d'eau, pour assurer la superposition du massif filtrant. Les dix derniers mètres (de 0 à 10 m de profondeur) ont été cimenté pour éviter l'introduction de substances polluantes (figures 42).



Figure 40 : mise en place du tubage.



Figure 41 : massif filtrant utilisé dans le forage.

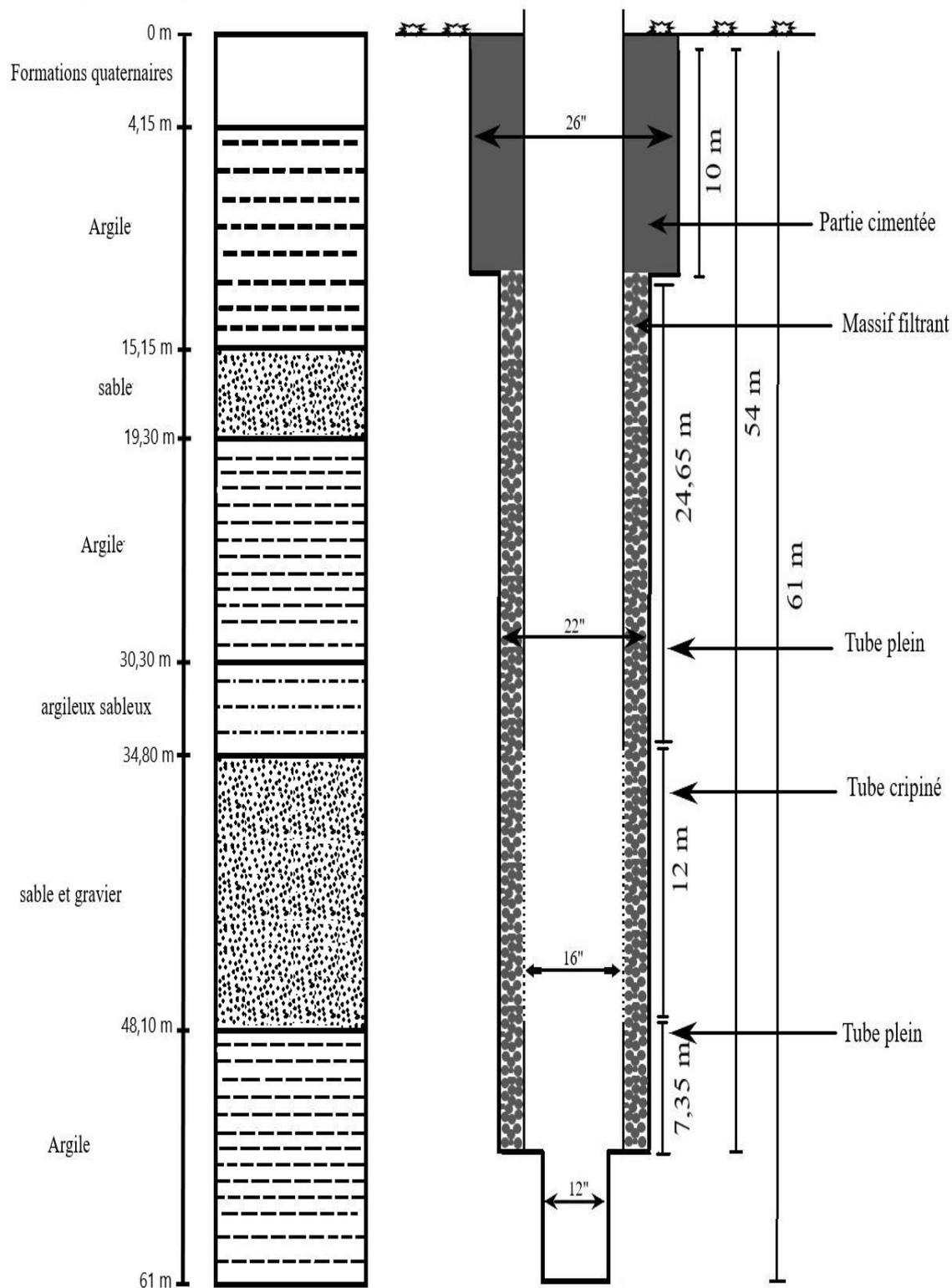


Figure 42 : coupe technique longitudinale du forage BM 13.

2.6 Développement du forage BM 13 par Air-lift

On a entamé le développement du forage BM 13 le 03 février 2021, pour une durée de 72 h au système d'air-lift, en utilisant un compresseur, un tube résistant aux hautes pressions, un train de tiges et un bassin de diversement de l'eau pompé (figure 43), afin d'éliminer tous les déblais et la boue restante dans le forage, ainsi que tous les éléments en suspension.

Le 11 février 2021, on a fait 24 h d'essai de pompage à blanc (auto-développement) avec le débit max de la pompe 28 l/s afin de déboucher les crépines et faire sortir le reste de la boue pour que l'eau devienne claire. La pompe a été calée à 40 m de profondeur.



Figure 43 : sortie d'eau à haute pression avec des déblais.

2.7 Essais de pompage : détermination des caractéristiques du couple ouvrage/nappe

Afin de réaliser l'essai de pompage, on a utilisé un débitmètre pour contrôler le débit, une vanne d'arrêt pour stopper l'eau, une tuyauterie de 200 m pour évacuer l'eau pompée dans un caniveau situé loin du forage.

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

2.7.1 Essai de pompage par paliers

Les résultats de l'essai de pompage par palier du forage BM 13 sont récapitulés dans le tableau suivant.

Tableau 7 : mesures effectuées lors de l'essai de pompage par palier.

Palier	Débits Q (m ³ /h)	Rabattelements s (m)	s/Q (m/m ³ /h)
1	54	22,2	0,254
2	72	25,9	0,242
3	90	29,7	0,25
4	100,8	33,5	0,265

Pour exploiter ces données, on a procédé au traçage sur un papier millimétré, l'évolution des débits en fonction des rabattements mesurés. Malheureusement, on a constaté que ces données sont pratiquement non interprétables. Il est fort probable que des erreurs ont été commises lors de la retranscription des valeurs notées sur le terrain.

2.7.2 Essai de pompage de longue durée

L'essai de pompage de longue durée est un essai à débit constant. On a opté pour un débit de 90 m³/h qui correspondrait au débit d'exploitation du forage après équipement. C'est aussi le débit adopté pour le 3^e palier lors de l'essai de courte durée. Ce choix est arbitraire car on n'a pas pu interpréter l'essai par paliers. Les résultats de l'essai de pompage de longue durée réalisé sont donnés dans le tableau suivant.

Tableau 8: essais de pompage de long durée (48h).

Commune : Bordj-Menaïel				Pompe : 90 m ³ /h à 40 m			
Désignation : Forage				Contrôle de débits : /			
Entreprise : MITAFOR-HYDRO				Distance de rejet : 200 m			
Type d'essai : longue durée				Repère : /			
Date de l'essai : 13/02/2021				Piézomètre : /			
Date	Heure	Temps de pompage(t)	t (s)	Niveau dynamique (m)	Rabattements (m)	Débit(m ³ /h)	Observations
13-02-2021	16:00	0	0	7,9	0	90	Descente du niveau d'eau dans le premier jour
		1 mn	60	11,88	3,98	90	
		2 mn	120	12,38	4,48	90	
		3 mn	180	12,67	4,77	90	
		4 mn	240	12,9	5	90	
		6 mn	360	13,2	5,3	90	
		8 mn	480	13,45	5,55	90	
		10 mn	600	13,83	5,93	90	
		20 mn	1200	14,03	6,13	90	
		30 mn	1800	15	7,1	90	
	17:00	1 h	3600	15,9	8	90	
	22:00	5 h	21600	19,7	11,8	90	
14-02-2021	3:00	10 h	93600	24,5	16,6	90	Stabilisation du niveau d'eau à 29,7 m après 24 h de pompage
	8:00	15 h	57600	27	19,1	90	
	13:00	20 h	75600	28,5	20,6	90	
	17:00	24 h	90000	29,7	21,8	90	
15-02-2021	05 h	36 h	133200	29,7	21,8	90	
	17:00	48 h	176400	29,7	21,8	90	

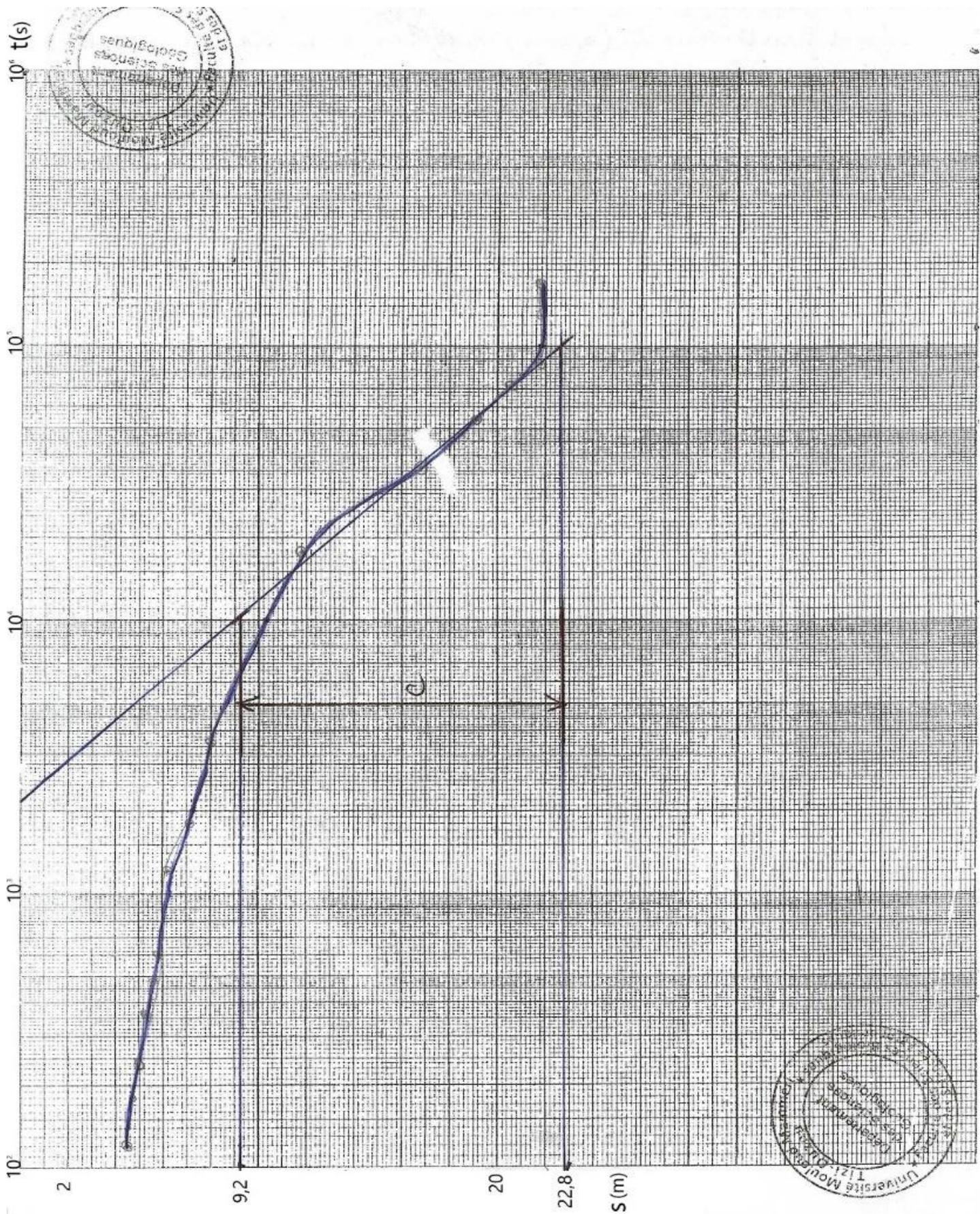


Figure 44 : courbe de descente de l'essai de pompage de longue durée.

Calculs des paramètres hydrodynamiques

a) Transmissivité (T)

La transmissivité d'un aquifère c'est le débit d'eau qui s'écoule par unité de largeur (m) d'un aquifère sous l'effet d'une unité de gradient hydraulique (i). C'est aussi le pouvoir d'un aquifère de transmettre de l'eau sous pression. Elle est exprimée en m^2/s .

Calcul de la transmissivité selon la formule de Jacob :

$$T = 0,183Q/C.$$

Avec : T= la transmissivité en m^2/s

Q= le débit de pompage en m^3/s

C= la pente de la droite représentative pour la courbe de descente donné comme suit :

$$C = (S_1 - S_2) / \text{Log } t_2 - \text{Log } t_1$$

Les valeurs calculées à partir du graphe de la descente (figure 43) par la méthode de Jacob sont données dans le tableau suivant :

Débit (m^3/s)	Pente C (m)	Transmissivité (m^2/s)
0,025	13,6	$3,36 \cdot 10^{-4}$

D'après le calcul, on remarque que la valeur de la transmissivité, $T = 3,36 \cdot 10^{-4} m^2/s$, est moyenne indiquant une transmissivité acceptable de l'aquifère

b) Coefficient d'emménagement (S)

Le coefficient d'emménagement S est le rapport du volume d'eau libéré ou emmagasiné, par unité de surface de l'aquifère en m^2 à la variation de la charge hydraulique h correspondante (Gilbert Castany, 1982).

A défaut de piézomètre d'observation, le calcul de S est impossible.

3 Conclusion

La réalisation du forage BM 13 a été effectuée par l'entreprise par la méthode de rotary.

Après l'installation du tube guide de 24'', l'entreprise a commencé la foration de reconnaissance d'un diamètre de 12'' avec une profondeur totale de 61 m, suivie d'une étude diagraphique qui a permis d'identifier la nappe alluviale. Cette dernière se situe entre 34 et 46 m. Après cette étude, un élargissement du forage avec des diamètres 17'' et 22'' à la fois jusqu'à une profondeur de 54 m a été envisagé.

La mise en place du massif filtrant de nature siliceuse et faite après l'installation du tubage en PVC d'un diamètre de 16'', qui est suivi d'un développement au système air-lift pour une durée totale de 72 h (jusqu'à l'atteinte de l'eau claire).

L'essai de pompage de longue durée a permis de déterminer une transmissivité acceptable de l'aquifère. Elle est égale à $3,36 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$.

Conclusion Générale

Le présent travail, qui a pour objectif d'effectuer un suivi de la réalisation d'un forage d'eau captant la nappe alluviale du Bas Isser, situé à 60 km à l'Est d'Alger, a abouti aux conclusions suivantes :

La zone d'étude est caractérisée par un climat méditerranéen avec une période sèche qui s'étale du mois de mai au mois de septembre et une période humide qui s'étale du mois d'octobre au mois d'avril. La température moyenne annuelle est de 18 °C (1952/1961) et la précipitation moyenne annuelle est de 657,15 mm sur la période (1988-2008).

L'étude géologique et géophysique des formations quaternaires, effectuée sur la base des travaux de certains auteurs, a mis en évidence sept terrasses alluviales, disposées en gradins étagés, partiellement emboîtées, ce qui a été confirmé par notre log litho-stratigraphique du forage BM 13. Ces derniers ont mis en évidence deux horizons susceptibles d'être aquifère, représentés par des galets, graviers et sables peu ou pas argileux, dont l'épaisseur est maximale dans l'axe de la vallée et diminue vers les bordures. Ces deux niveaux sont séparés par une masse d'argile parfois épaisse (20 m) qui disparaît par endroit et permettant alors une relation hydraulique très étroite entre les deux horizons aquifères.

La partie pratique du présent travail a permis de suivre de près les différentes étapes de réalisation d'un forage hydraulique par la méthode de rotary. L'interprétation des résultats de la diagraphie confrontée aux échantillons prélevés lors du forage de reconnaissance a facilité la détermination du niveau aquifère. La transmissivité de cet aquifère a été évaluée grâce aux essais de pompage de longue durée appliquée sur le BM 13. Elle de $3,36.10^{-4}$ m²/s. par ailleurs, le débit d'exploitation du forage peut atteindre 25 l/s.

Au terme de ce travail nous recommandons d'équiper le forage d'une pompe immergée calée dans la partie pleine du tubage. Ce dernier constitue une chambre de pompage qui permet d'éviter le flux direct. Aussi, une analyse hydrochimique est nécessaire pour identifier les caractéristiques essentielles de l'eau de ce forage et déterminer sa qualité avant la mise en service du forage BM 13.

Références bibliographiques

- Bettahar M. et Lakhchakheche A. (2017). Etude de réalisation d'un forage hydraulique à usage agricole dans la région de Touggourt. Mémoire de master, UKMO, 79p.
 - Bouillon J.P, Durand Delga M, Geland J.P, Leikine M, Raoult J.F, Raymond D, Tafiani M, Villa J.M. définition du flysch massylien et du flysch mauritanien au sein des flyschs allochtones de l'Algérie. (1970). Tome 270.
 - Bouselsal B. Forage d'eau procédés et mesures, 141p.
 - Castany G. principes et méthodes géologiques. (1982). 236p
 - Chemlal N. (1983). Etude paléomorphologique et hydrogéologiques de la vallée du Bas Isser (Algérie). Thèse du 3eme cycle, USMG, 233 p.
 - Djema M. (2011). Contribution à l'étude hydrogéologique et évolution du chimisme de la nappe du Bas Isser. Mémoire de Master, USTHB, 47p.
 - Durand dulga M, mise au point sur la structure du Nord-est de la berbérie. (1969). Publ. Serv. Géol. Algérie. Nouvelle série. Bull n°39.
 - Fekiri A. (2000). Synthèse et cartographie hydrogéologique de la vallée du Bas Isser (W de Boumerdès). Mémoire de Magister, IST-USTHB. 371p.
 - Ficheur E. Stratigraphie, descriptions régionales 2^{ème} série, n°01 : la Kabylie du Djurdjura. Alger, 407p.
 - Ider (2006). Carte des failles de la vallée du Bas Isser (1/2000).
 - Laïssaoui M. (2008). Etude hydrogéologique et modélisation mathématique pour une gestion rationnelle des eaux souterraines du Bas et Moyen Isser (Wilaya de Boumerdès). Mémoire de Magister, 138p.
 - Mabillot A. les forages d'eau (guide pratique).
 - Tefiani M. (1968). Unité des Tamerkénit, nouvel élément de la chaîne calcaire algéroise, C.R.S.S.G.F. Fascicule 2.
-