



République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université d'Oran2 Mohamed Ben Ahmed

Faculté des Sciences de la Terre et de l'Univers

Département de Géologie

MEMOIRE

pour l'obtention du diplôme de MASTER  
en Hydrogéologie

**Thème :**

Suivi d'implantation des travaux d'un forage pour l'alimentation en  
eau potable de la commune de Tafraoui (Wilaya d'Oran)

Soutenu publiquement le : 12/09/2024

Présenté par

Melle KADABENOTMANE Aicha

Devant le jury composé de :

FOUKRACHE Mohamed	MAA	Président	Univ. Oran 2
MEBROUK-ZAIDI Naima	Professeure	Encadreur	Univ. Oran 2
ABLAOUI Halima	MAA	Examinatrice	Univ. Oran 2

Année : 2023-2024

## **Remerciements**

*Avant tout, je tiens à remercier Dieu pour m'avoir donné le courage, la force et la volonté pour réussir et d'avoir éclairé mon chemin tout au long de ma vie.*

*Tout d'abord, je voudrais exprimer mes sincères remerciements à mon honorable encadrante, Mme MEBROUK Naima, d'avoir accepté de superviser les travaux de ce mémoire et pour ses conseils avisés.*

*Je remercie également les membres du jury, M. Foukrache et Mme Ablaoui, d'avoir accepté d'examiner ce travail.*

*J'adresse mes sincères remerciements à la Directrice des Ressources en Eau de la wilaya d'Oran, Mme TAHERI Nassima, et tout particulièrement Mme BENBRAHIM Rahmouna, qui m'ont facilité l'accès aux données et à la documentation, sans oublier Mme BENKREIRA Karima et M. BENACHOUR Houari.*

*Je tiens également à remercier Mme GUENOUNE Kamilia, pour son aide.*

*Enfin, merci à toutes les personnes qui m'ont aidée de près ou de loin. Qu'elles m'excusent si je n'ai pas cité leurs noms.*

## **DEDICACE**

*A mes chers parents, Kada Benotmane Abdelbaki et Azzouz Meriem, bien qu'il n'y ait aucune dédicace qui puisse exprimer mon respect, mon amour éternel et ma reconnaissance pour les sacrifices que vous avez faits pour moi.*

*Je tiens à remercier en particulier et sans limites, ma mère, mon second soutien après Dieu, pour l'attention et l'amour qu'elle m'a apporté depuis mon arrivée au monde. Merci, ma chère maman.*

*Je remercie également ma grand-mère maternelle, et ma grand-mère paternelle, pour le soutien qu'elles m'ont apporté.*

*Enfin. Je n'oublie pas de remercier mes sœurs et mes frères pour leur affection, leurs conseils et encouragements.*

# SOMMAIRE

Remerciements.....	
Résumé .....	
Sommaire .....	
Liste des tableaux .....	
Liste des figures .....	
Introduction générale .....	01

## CHAPITRE I : Considérations générales

I. Contexte géographique de la wilaya d'Oran.....	02
I.1- Cadre Géographique de la région étude.....	04
I.2- Cadre géologique.....	05
I.2.1- Introduction.....	05
I.2.2- Litho stratigraphie de la région étudiée.....	06
I.2.3- Types de formations géologiques.....	07
I.2.3.1- Autochtone anté au synchro-nappe.....	07
I.2.3.1.1-Trias .....	07
I.2.3.1.2- Jurassique .....	07
I.2.3.1.3- Crétacé.....	07
I.2.3.2- L'autochtone post –nappe .....	08
I.2.3.2.1- Premier cycle post-nappe «Miocène inférieure » .....	08
I.2.3.2.2- Deuxième cycle Miocène post-nappe «Miocène supérieur » .....	08
I.2.3.2.3- Le pliocène inférieur et moyen marin.....	09
I.2.3.2.4- Pliocène Continental.....	09
I.2.3.2.5- Le Pléistocène Inférieur.....	09
I.2.3.2.6- Pléistocène Moyen .....	09
I.2.3.2.7- Pléistocène Supérieure.....	09
I.2.3.2.8- Holocène.....	09
I.3- Contexte géophysique des zones ciblées .....	09
I.4- Climatologie.....	13
I.5- Cadre hydrogéologique.....	15
I.6- Etude piézométrique.....	15
I.6.1- Interprétation.....	15
I.6.2- Alimentation et recharge de la nappe.....	18
I.7- Conclusion.....	19

## **CHAPITRE II : Réalisation du forage**

Introduction.....	20
II.1- Etude d'implantation du forage.....	20
II.1.1- Situation géographique.....	20
II.1.2- Programme des Travaux .....	21
II.2- Principe du forage au rotary à la boue.....	23
II.2.1-Les Avantages.....	25
II.2.2-Inconvénients.....	25
II.3-Phase installation.....	25
II.3.1- Organisation du chantier.....	25
II.4-Construction de la plate-forme.....	28
II.5-Construction des bassins et rigoles.....	28
II.6-Phase avant puits.....	29
II.7-Phase forage.....	31
II.7.1-Reconnaissance.....	31
II.7.2-Enregistrement des diagraphies ou carottage électrique.....	31
II.7.3-Essai à l'air lift (essai nappe) .....	32
II.7.4-Elargissement (Alésage) .....	33
Conclusion.....	33

## **CHAPITRE III : Equipement du forage**

Introduction.....	34
III.1-L'équipement de forage.....	34
III.1.1-Chambre de pompage.....	34
III.1.2-Colonne de captage.....	35
III.2- Massif filtrant (gravier additionnel) .....	37
-Quantité nécessaire de gravier additionnel.....	37
-Mise en place du gravier additionnel.....	37
III.3- Développement.....	38
III.3.1- Développement à l'air lift.....	38
III.3.2- Traitement à l'hexamétaphosphate.....	39
III.3.3- Développement par pompage.....	40
Conclusion.....	41

## **CHAPITRE IV : Exploitation du forage**

Introduction.....	42
IV.1-Essai de pompage.....	42
IV.1.1 - Paramètres hydrodynamiques.....	46
IV.2-Analyse chimique.....	47
IV.2.1-Faciès chimique de l'eau.....	47
IV.2.2- Représentation graphique des analyses.....	48
Conclusion.....	50
Conclusion générale.....	51

## Résumé

L'objectif de ce travail est l'implantation et la réalisation d'un forage dans la région de Tafraoui (wilaya d'Oran), basé essentiellement sur la reconnaissance géologique, litho-stratigraphique, géophysique et hydrogéologiques des formations de la région.

La réalisation de ce forage a été exécutée en plusieurs étapes, incluant le forage de reconnaissance, la diagraphie, l'examen des cuttings, les équipements de forage et les essais de pompage.

Les résultats obtenus montrent que l'eau de ce forage est caractérisée par :

- sa minéralisation relativement importante
- son faciès Chloruré Sodique
- son débit important de 10L/s

**Mots clés :** Forage, Hydrogéologie, Essais de pompage, Cuttings, région de Tafraoui

## Abstract

The objective of this work is the implementation and realization of a drilling in the region of Tafraoui (wilaya of Oran), based mainly on the geological, lithostratigraphic, geophysical and hydrogeological survey of the formations of the region.

The drilling was carried out in several steps, including reconnaissance drilling, logging, cuttings examination, drilling equipment and pumping tests.

The results obtained show that the water from this well is characterized by:

- its relatively high mineralization
- its faciès Sodium Chloride
- its high flow rate of 10L/s

**Keywords:** Drilling, Hydrogeology, Pumping tests, Cuttings, Tafraoui region

## ملخص

الهدف من هذا العمل هو إنشاء وإنجاز بئر في منطقة طفراوي (ولاية وهران)، استنادا أساسا إلى الاستطلاع الجيولوجي والطبقي والجيوفيزيائي والهيدروجيولوجي للتكوينات في المنطقة المدروسة وتم تنفيذ حفر البئر على عدة مراحل، بما في ذلك الحفر الاستطلاعي ومخلفات الصخرية وفحصها وكذلك معدات الحفر واختبارات الضخ وتبين النتائج التي تم الحصول عليها أن المياه الجوفية المستخرجة من هذا البئر تتميز بما يلي

- معدنية عالية نسبيا
- سحناء من كلوريد الصوديوم
- معدل التدفق العالي 10 لتر/ثانية

الكلمات الرئيسية: الحفر، الهيدروجيولوجيا، اختبارات الضخ، القصاصات، الطفراوي

## Liste des figures

- Figure 01** : Localisation géographique de la wilaya d'Oran
- Figure 02** : Carte du découpage administratif de la wilaya d'Oran
- Figure 03** : Localisation géographique de la zone d'étude
- Figure 04** : Profil du relief de l'Oranie (in Hassani, 1987)
- Figure 05** : Carte géologique de la plaine de Tafraoui-Tlélat (in G.Thomas 1985)
- Figure 06** : Lithostratigraphie de la région de Tafraoui (in Djermouni 1993)
- Figure 07** : Emplacement des forages et des profils électriques
- Figure 08** : Coupe géologique de la plaine de Tafraoui-Tlélat (D'après E.R.E.M., 1984)
- Figure 09** : Coupe géologique de la plaine de Tafraoui-Tlélat (D'après E.R.E.M., 1984)
- Figure 10** : Températures moyennes mensuelles à la station d'Es-Sénia (1990-2008)
- Figure 11** : Précipitations moyennes annuelles d'Es-Sénia (1990-2008)
- Figure 12** : Moyennes mensuelles de l'évaporation d'Es-Sénia (1990-2008)
- Figure 13** : Carte piézométrique de la nappe libre de la plaine de la M'leta (mars 2001) (réalisée à l'aide des données de l'A.N.R.H) (Bellaredj, 2014)
- Figure 14** : Carte piézométrique de Tafraoui-Tlélat (Avril- 1968, In Hassani 1987)
- Figure 15** : Coupe géologique et technique de forage Tafraoui II
- Figure 16** : Principe du forage au rotary à la boue (Source : ACF, (2004), Le forage)
- Figure 17** : Schémas d'un forage rotary (sur site)
- Figure 18** : Organisation du chantier
- Figure 19** : Appareil de forage Rotary (sur chantier)
- Figure 20** : Les bassins et les rigoles
- Figure 21** : Enregistrement des diagraphies (sur chantier)
- Figure 22** : Tube plein API  $\varnothing 13^{3/8}$ (sur chantier)
- Figure 23** : Tube Johnson (sur chantier)
- Figure 24** : Tube pleins en Inox en  $\varnothing 8^{5/8}$  (sur chantier)
- Figure 25** : L'hexamétaphosphate de sodium (sur chantier)
- Figure 26** : Principe du couplage (pompage/soufflage)
- Figure 27** : Courbe de rabattement résiduel par rapport au débit
- Figure 28** : La courbe de la descente
- Figure 29** : Diagramme de Piper de l'eau du forage d'eau Tafraoui II
- Figure 30** : Diagramme de Schoeller -Berkaloff de forage d'eau Tafraoui II

## Liste des Tableaux

**Tableau 01** : Températures moyennes mensuelles 1990/2008 station d'Es-Sénia (M.M.Amina, 2020)

**Tableau 02** : Précipitations annuelles 1990-2008/station d'Es-Sénia (M.M.Amina, 2020)

**Tableau 03** : Moyennes mensuelles de l'évaporation 1990-2008/station d'Es-Sénia (A.I. Houda ,2017).

**Tableau 04** : Coordonnées du point d'eau de forage Tafraoui II

**Tableau 05** : Données de l'essai de pompage (1<sup>er</sup> palier)

**Tableau 06** : Données de l'essai de pompage (2<sup>ème</sup> palier)

**Tableau 07** : Données de l'essai de pompage (3<sup>ème</sup> palier)

**Tableau 08** : Données du pompage d'essai de longue durée

**Tableau 09** : Les résultats des analyses

## **Introduction générale**

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

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

Compte tenu du développement socioéconomique d'une part, et de la forte pression démographique et urbaine, d'autre part, les besoins en eaux continuent d'augmenter. La commune de Tafraoui, dans la région d'Oran, fait partie des régions où les besoins en eau sont de plus en plus accrus.

Des travaux de prospection ont été réalisés par le service de l'Hydraulique de la Wilaya d'Oran dans la commune de Tafraoui et ont permis de mettre en évidence des formations aquifères.

Par conséquent, la Direction des Ressources en Eau (DRE) a prévu l'implantation d'un nouveau forage d'exploitation, destiné au renforcement de l'alimentation en eau potable de la région de Tafraoui.

La réalisation d'un ouvrage de captage est une opération compliquée impliquant des études préalables, d'utiliser un matériel adéquat, d'équiper et de développer correctement l'ouvrage. Il s'en suit qu'un chantier de forage demande la présence à plein temps du maître d'œuvre.

Enfin, le forage n'est pas uniquement un moyen de captage, mais doit être intégré dans une vision à long terme, destinée à alimenter la population avec de l'eau de bonne qualité, donc avec une ressource correctement protégée.

# ***CHAPITRE I***

## ***Considérations générales***

**I. Contexte géographique de la wilaya d’Oran**

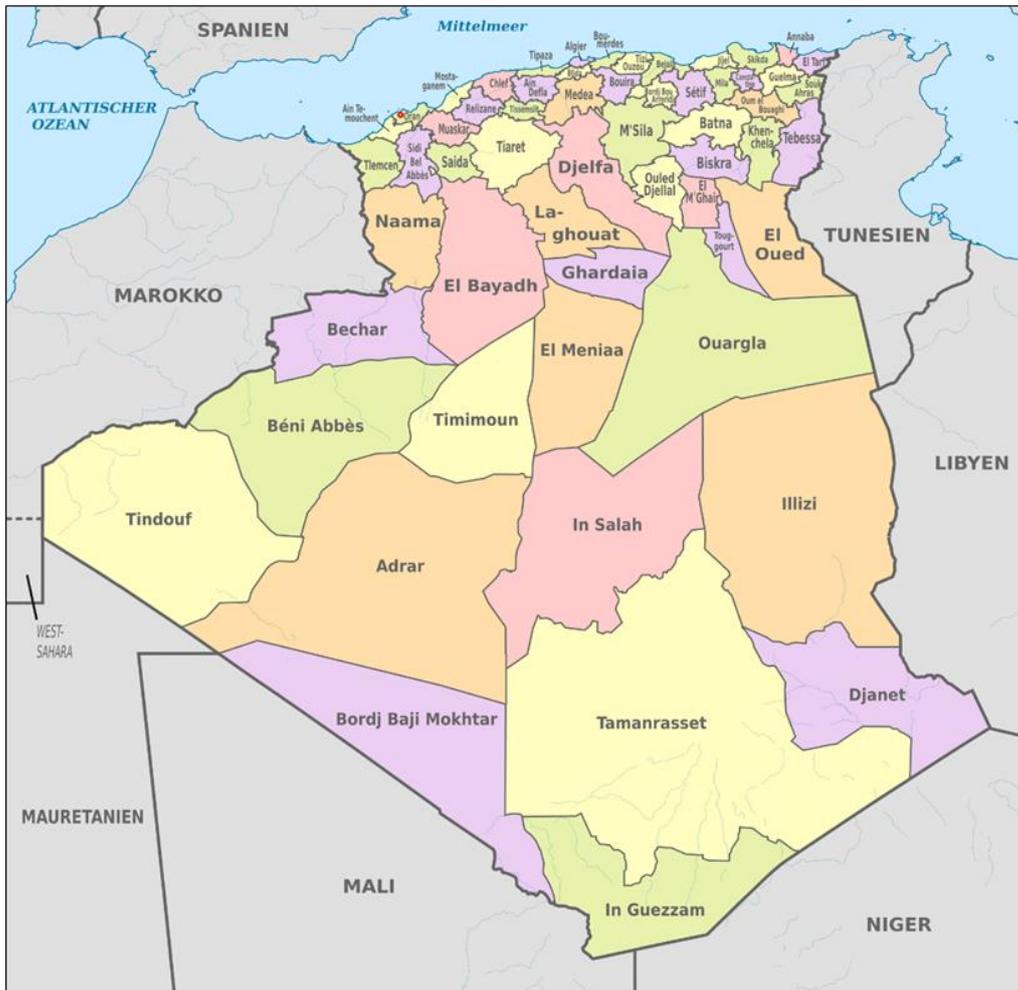
La wilaya d’Oran couvre une superficie totale de 2114 km<sup>2</sup> (Figures 01 et 02), localisée au nord-ouest de l’Algérie, elle est limitée :

Au Nord, par la mer Méditerranée.

Au Sud, par les wilayas d’Ain Témouchent, Mascara et Sidi Bel Abbès.

A l’Ouest, par la wilaya d’Ain Témouchent.

A l’Est, par les wilayas de Mascara et Mostaganem.



**Figure 01 : Localisation géographique de la wilaya d’Oran**

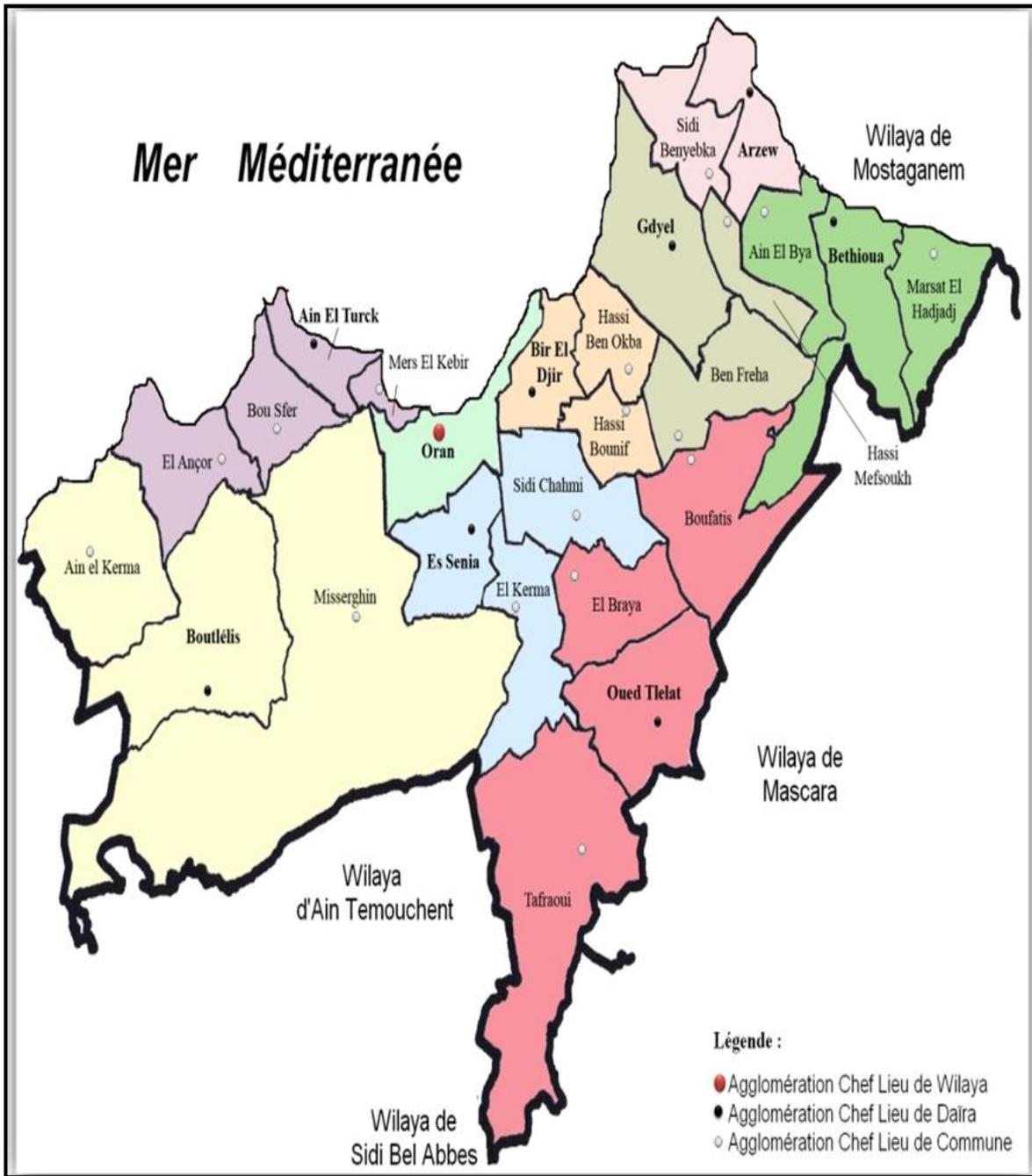


Figure 02 : Carte du découpage administratif de la wilaya d’Oran

## I.1-Cadre géographique de la région étude

La plaine de Tafraoui-Tlélat est située au Sud-Est de la ville d'Oran, elle est considérée comme étant la terminaison orientale de la plaine de la M'leta.

La région de Tafraoui est située à 24 Km au sud de la Willaya d'Oran (figure n °03). Elle est limitée :

- Au Nord, par Daïet El Bagra.
- Au Sud, par les Monts des Tessala.
- A l'Est, par la plaine de Tlélat.
- A l'Ouest, par la plaine de la M'leta.



**Figure 03 :** Localisation géographique de la zone d'étude

## I.2-Cadre géologique

### I.2.1- Introduction

La plaine de Tafraoui-Tlélat est située au Sud-Est de la ville d'Oran. Elle est considérée comme étant la terminaison orientale de la plaine de la M'leta.

Sur le plan géologique, les terrains néogènes sublittoraux de l'Algérie occidentale s'allongent parallèlement à la côte méditerranéenne. Ils forment des zones peu élevées par rapport aux chaînes secondaires plissées qui les encadrent d'Ouest en Est. On distingue les principaux bassins : Tafna, le Bas Chélif et Moyen Chélif (A. Perrodon, 1975).

Le bassin du Bas Chélif s'insère entre les massifs littoraux et les massifs internes de l'Atlas tellien Oranais. C'est un bassin intramontagneux tardi-orogénique, subsident, à sédimentation épaisse qui s'est déposée avant, pendant et après la mise en place des nappes telliennes (A. Perrodon, 1957).

Les monts de Tessala, situés au Sud du secteur d'étude, constituent un massif à structure complexe formé d'un socle secondaire constitué des nappes telliennes, d'âge Jurassique et Crétacé, et d'une couverture néogène discordante.

La terminaison orientale de la plaine de la M'leta, dont fait partie la région de Tafraoui, appartient au sillon médian, encadré par deux ensembles montagneux, orientés WSW-ENE selon la direction tellienne (Figure 04).

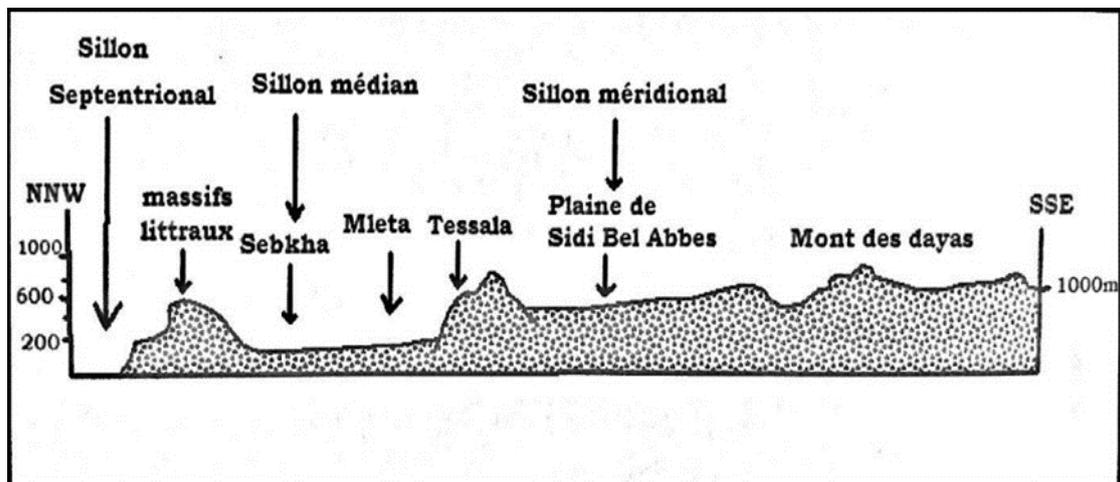


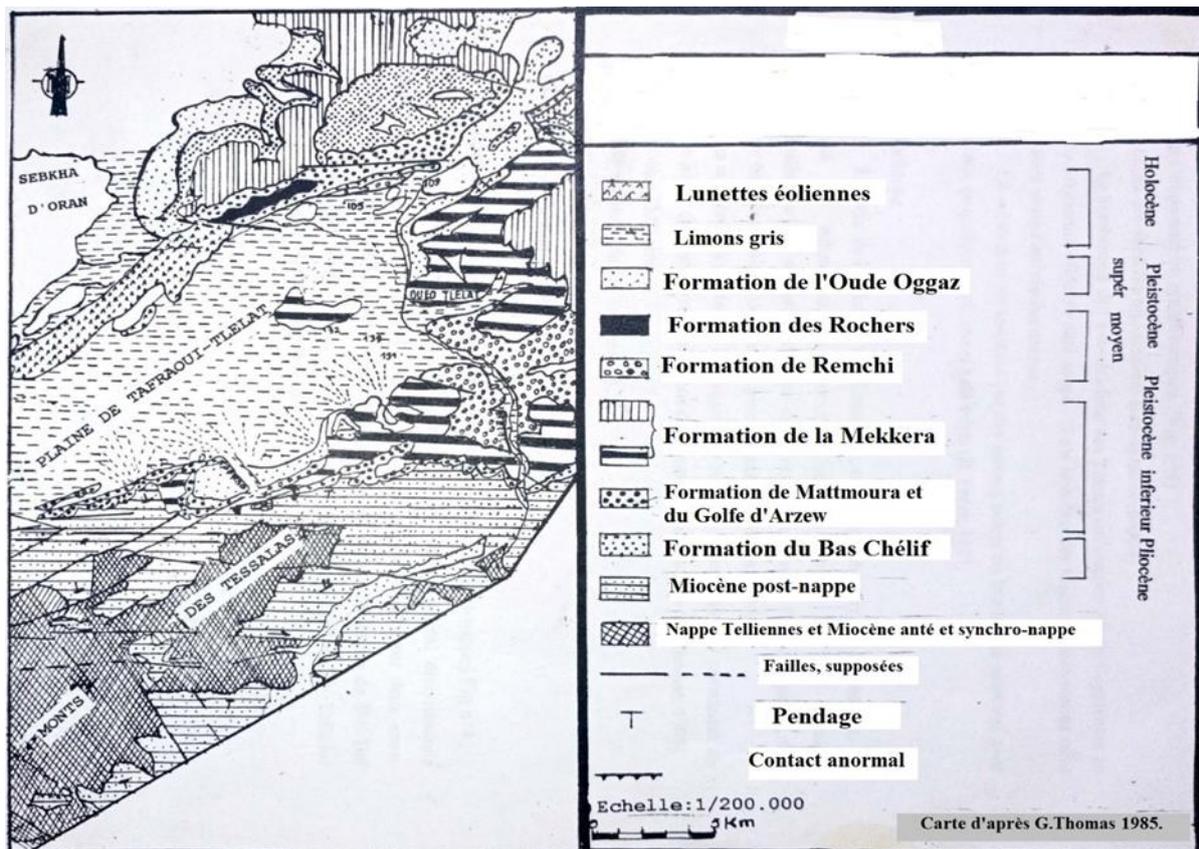
Figure 04 : Profil du relief de l'Oranie (In Hassani, 1987)

**I.2.2- Litho-stratigraphie de la région étudiée**

La description géologique de la région étudiée est basée sur les observations faites par plusieurs auteurs, des différents affleurements, localisés principalement dans les Tessala au Sud (Monts de Tafraoui), et dans le plateau de Boufatis qui se rattache au Sahel d'Oran, au Nord (A. Perrodon, 1957 ; G. Thomas, 1985 ; M.I. Hassani, 1987) (Figure 05).

D'une manière générale, la région de Tafraoui s'étend sur le côté Est de la plaine de la M'léta. Cette dernière, correspondant à une vaste plate-forme dépressionnaire orientée Est-Ouest, serait constituée de dépôts terrigènes provenant de l'érosion des montagnes bordières de Tessala et des dépôts éoliens.

Elle appartient au contexte structural du grand sillon occupé par la Grande Sebkhha d'Oran, où se sont accumulés des sédiments d'abord au Néogène, puis au Pléistocène et à l'Holocène, atteignant des épaisseurs très importantes par endroits.



**Figure 05 :** Carte géologique de la plaine de Tafraoui-Tlelat (Thomas G., 1985)

**I.2.3- Types de formations géologiques :**

De l'ensemble de ces données, selon G. Thomas (1985), trois types de formations ont pu être distinguées dans notre région d'étude :

- l'autochtone anté à synchro-nappe (Miocène anté à synchro-nappe).
- l'autochtone post-nappe (Miocène post-nappe) ; « Premier cycle ».
- l'autochtone post nappe (Miocène post nappe) ; « Deuxième cycle ».

**I.2.3.1- Autochtone anté à synchro-nappe :****I.2.3.1.1- Trias :**

Près d'Arbal, l'action diapiryque du Trias a soulevé et disloqué les schistes et bancs du Crétacé, le plus souvent du Crétacé inférieur qui constitue la plus grande partie du substratum des reliefs du massif montagneux d'Arbal et Tafraoui.

Ce diapir est constitué essentiellement de masses de gypses et des éléments remaniés de l'autochtone auxquelles sont associés des argiles versicolores et n'occupent ainsi jamais une position stratigraphique normale.

**I.2.3.1.2- Jurassique :**

Les dépôts jurassiques se présentent en lambeaux autour et sur le sommet du pic de Tafraoui. Ils sont représentés par des calcaires liasiques en dalles le plus souvent d'apparence massive.

En profondeur du sondage de Debbi (Db 1) ; le Miocène repose directement sur le Jurassique supérieur. (A. Perrodon, 1957).

**I.2.3.1.3- Crétacé :**

Les dépôts crétacés prennent une grande extension à l'affleurement dans les monts de Tessala (Tafraoui), où ils forment le substratum sur lequel viendront se déposer plus tard les formations post-nappes néogènes. Le substratum de la région de Tafraoui et d'Arbal est de nature schisto-calcaire, et il est affecté par l'action du Trias qui a déformé entièrement sa structure originelle (B. Fenet, 1975).

**I.2.3.2- L'autochtone post-nappe (Miocène post-nappe) :**

La stratigraphie du bassin du Bas Chéllif a intéressé plusieurs auteurs.

A. Perrodon, (1957) a fait intervenir la notion de cycle sédimentaire et a subdivisé le néogène en cycles Miocène et Pliocène. Il a distingué un premier cycle avec deux phases repérables sur les bordures du bassin. Un Miocène inférieur assimilé au Burdigalien, et un Miocène supérieur assimilé au Vindobanien.

G. Thomas (1985) reprend le même découpage, soit un 1er cycle post-nappe et un 2ème cycle post-nappe.

**I.2.3.2.1- Premier cycle post-nappe (Miocène inférieur) :**

Sur le flanc Nord des Tessala, près de Tafraoui, affleurent jusqu'à 200 m de dépôts continentaux rouges.

Ils constituent la formation de Tafraoui (G.Thomas, 1985).

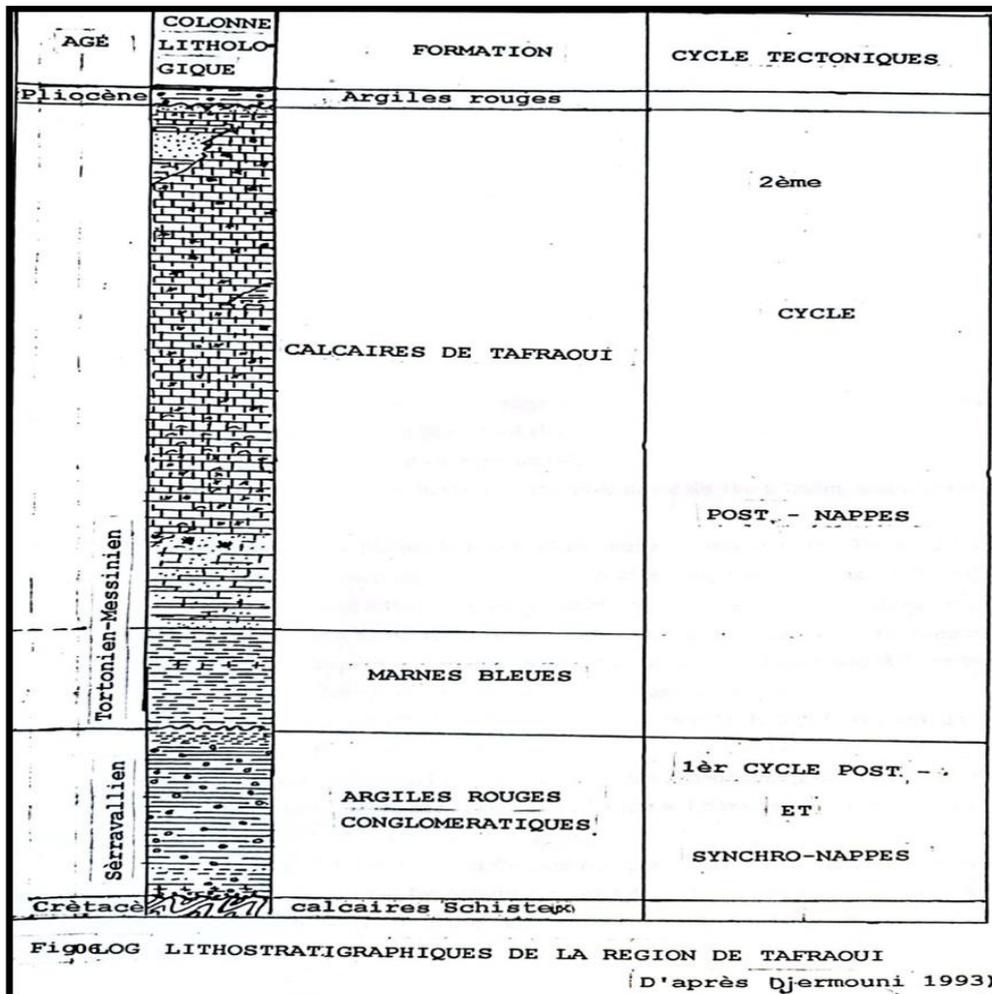
Dans la région de Tafraoui, le 1<sup>er</sup> cycle miocène post-nappe d'âge Serravalien est caractérisé par une épaisse formation d'argiles rouges conglomératiques, d'origine continentale, avec des niveaux cinéritiques discordantes sur les schistes du Crétacé (Djermouni, 1993) (Figure 06).

**I.2.3.2.2- Deuxième cycle post-nappe (Miocène supérieur) :**

Faisant suite au précédent, il débute au Tortonien supérieur et s'étend au Messinien.

Les formations transgressives du 2<sup>ème</sup> cycle comprennent :

- les formations de base : niveaux détritiques de base.
- les formations médianes : marnes bleues.
- les formations terminales : tripolis, calcaires récifaux et gypses.



**Figure 06 :** Lithostratigraphie de la région de Tafraoui (In Djermouni, 1993)

**I.2.3.3- Pliocène inférieur et moyen marin :**

Le pliocène inférieur et moyen correspond au 3<sup>ème</sup> cycle poste-nappe (B. Fenet, 1975). Il a été englobé dans le cycle P.I.A.B, formation du Bas Chéllif daté du Tabianien (G. Thomas, 1985).

Le cycle pliocène est représenté par des marnes grises sableuses à la partie inférieure, passant à des grès plus ou moins calcaires à la partie supérieure.

**I.2.3.4- Pliocène Continental :**

Le bassin du Bas Chéllif est marqué par le dépôt de formations grésos-sableuses, sa partie supérieure est limitée par les premières formations de limons ou d'argiles grises.

**I.2.3.5- Pléistocène Inférieur :**

Dans la chaîne de Tessala affleurent des assises continentales azoïques de limons rouges parfois conglomératiques. Cette formation est clôturée par une croute indurée à faciès calcaire. Ces formations s'annoient sous les alluvions récentes de la Sebkhah.

**I.2.3.6- Pléistocène Moyen :**

Thomas (1985) a défini trois séquences au sein de cet étage : la formation de Remchi, la formation de l'Oued Hammam et la formation de Rochers.

**I.2.3.7- Pléistocène Supérieur :**

Les dépôts rubéfiés soltaniens (formation de l'Oued Oggaz) occupent la périphérie de la plaine de Taфраoui-Tlélat et constituent des terrasses plus ou moins continues le long des Oueds, constituées par des limons sableux ou argileux rubéfiés (G.Thomas, 1985)

**I.2.3.8- Holocène :**

Dans la plaine de Taфраoui-Tlélat, deux grands cônes de déjection à éléments grossiers (galets, blocs) sont prépondérants (Oued Taфраoui et Oued Tlelat). Ils sont actifs de nos jours, et leur alluvionnement s'effectue à la suite de violentes précipitations.

La majeure partie de la plaine de Taфраoui-Tlélat et les bordures immédiates de la Sebkhah sont constituées de limons gris, souvent salés et gypseux en terrasses, pouvant atteindre 40m.

**I.3- Contexte géophysique :**

Dans le but d'estimer les réserves d'eaux souterraines exploitables dans la plaine de Taфраoui-Tlelat, une étude géophysique a été réalisée par la Compagnie Générale de Géophysique (C.G.G, 1993) et l'Entreprise Nationale de l'Exploration Minière (E.R.E.M) en 1984.

**Travaux réalisés (Figure 07) :**

Les campagnes par sondage électrique furent réalisées en trois étapes :

- la première, en 1970, par la compagnie générale de géophysique (C.G.G), a été exécutée sur quatre profils (A-B-C-D) de 8 à 10 km de long dans la zone de l'Oued Tlélat.

La superficie prospectée est d'environ 60 km<sup>2</sup> ; la distance entre ces profils est de 2 km et la longueur de la ligne d'émission AB, est variable en fonction de l'objectif à atteindre, soit 2000<AB<8000 m. Au total, 24 sondages électriques (S.E.) ont été réalisés dans le but de représenter les aquifères les plus intéressants dans la région de Tlélat.

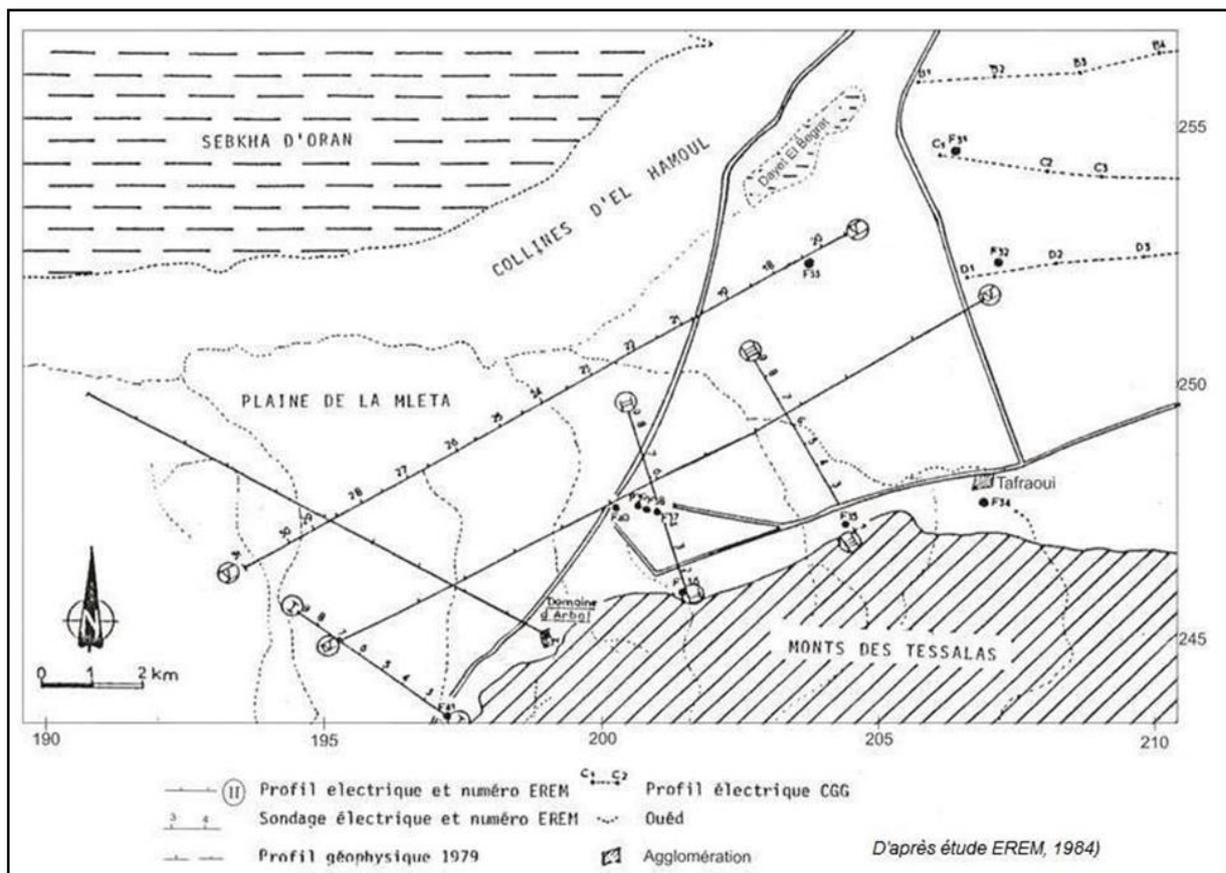
- la deuxième étude fut réalisée en 1983 par l'E.R.E.M. Elle a été exécutée sur trois profils sub méridionaux (I-II-III) de 4km de long, dans le but d'une différenciation lithologique de la coupe géoélectrique, et de la mise en évidence des secteurs favorables à l'implantation des captages.

Au total, 25 sondages électriques ont été réalisés, avec un pas d'observation de 500 m et une ligne d'émission AB de 2000 m.

- la troisième étape a été exécutée en 1984, par l'E.R.E.M, sur deux profils IV et V, au cours de laquelle 37 S.E. ont été réalisés. Elle a permis la localisation des principaux accidents tectoniques de la région d'Arbal.

L'interprétation des courbes des sondages électriques a permis :

- l'établissement de coupes géoélectriques.
- l'établissement de la carte schématique structurale du toit de la formation calcaire-gréseuses du Miocène supérieur et les grès Astien du Pliocène marin.



**Figure 07 :** Emplacement des forages et des profils électriques (D'après E.R.E.M., 1984)

Résultats et interprétations :

Des coupes géoélectriques (figures n°08 et 09), on distingue :

Le 1<sup>er</sup> niveau, de 5 à 25 m d'épaisseur totale, se caractérise par des valeurs de résistivité variant de 0,5 à 25  $\Omega.m$  (elle atteint dans certains cas 50  $\Omega.m$ ). Ce niveau correspond à des alluvions plus ou moins grossières du Quaternaire. Les basses valeurs des résistivités sont dues à la forte salinité des formations et des nappes superficielles.

Le 2<sup>ème</sup> niveau se caractérise par une résistivité variant de 2 à 10  $\Omega.m$  et une épaisseur comprise entre 12m et 100m. Cette couche correspond à des marnes, des grès, des sables et des galets. La profondeur du gisement sur le profil I, II, III (Fig. n°08) varie de 50 à 125 m et entre 25 à 50 m sur les profils IV et V (Fig. n°09).

Pour le 3<sup>ème</sup> niveau, les résultats de l'interprétation quantitative des courbes SE caractérisent deux types de niveaux géoélectriques. Le premier, avec une résistivité comprise entre 10 et 35  $\Omega.m$ , est constitué principalement de marnes à passées gréseuses. Le deuxième niveau, représenté par des marnes à passées fines de grès, est défini par une résistivité variant entre 2 et 10  $\Omega.m$ .

La formation carbonatée sur les courbes géoélectriques représente un niveau repère de haute résistivité comprise entre 20 et 70  $\Omega.m$ .

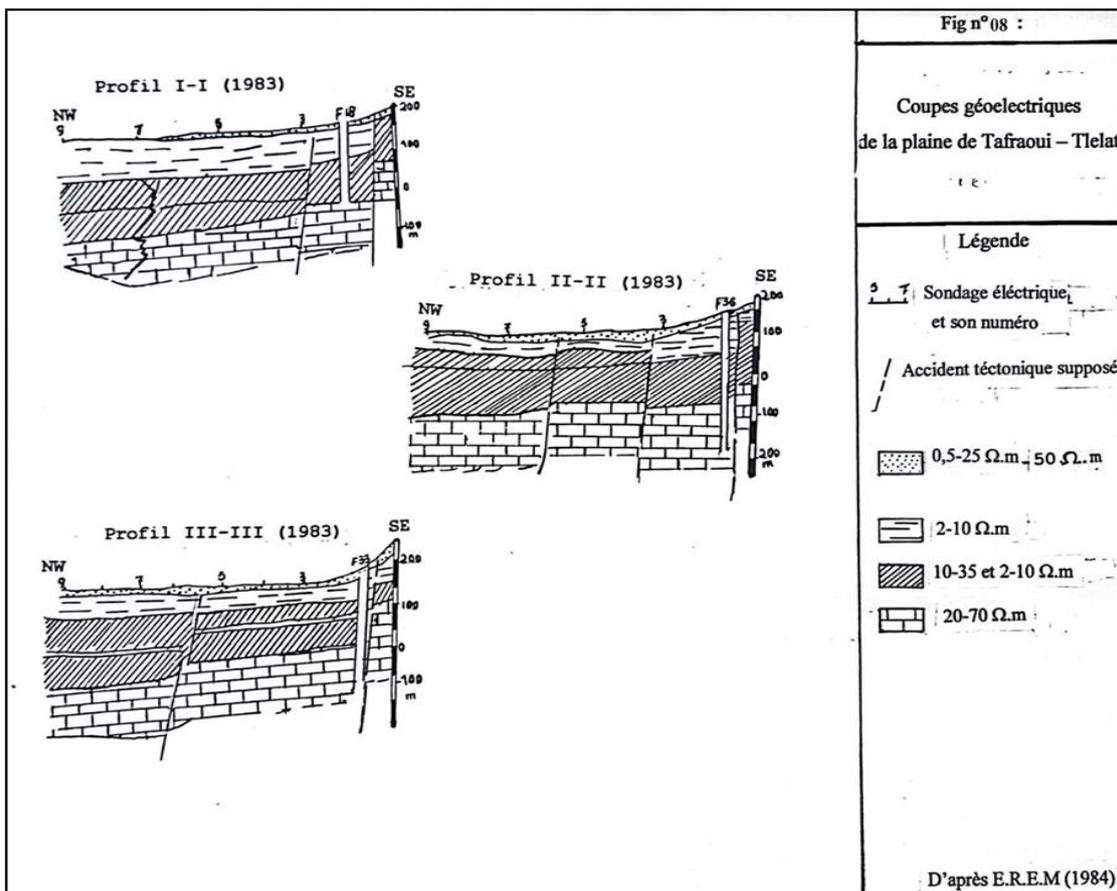


Figure 08 : Coupes géo-électriques de la plaine de Tafraoui-Tlélat (D'après E.R.E.M., 1984)

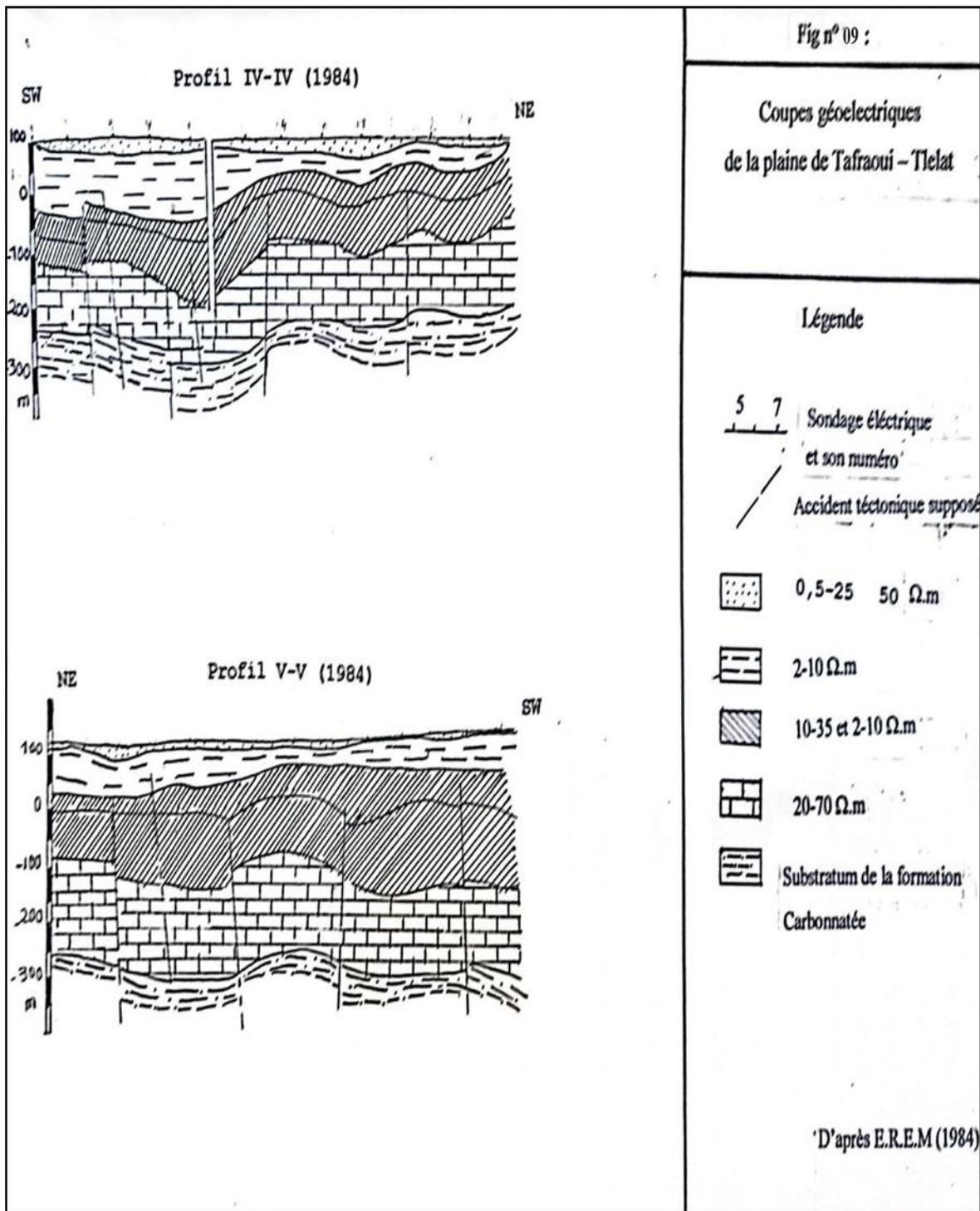


Figure 09 : Coupes géo-électriques de la plaine de Tafraoui-Tlélat (D'après E.R.E.M., 1984)

**I.4- Climatologie**

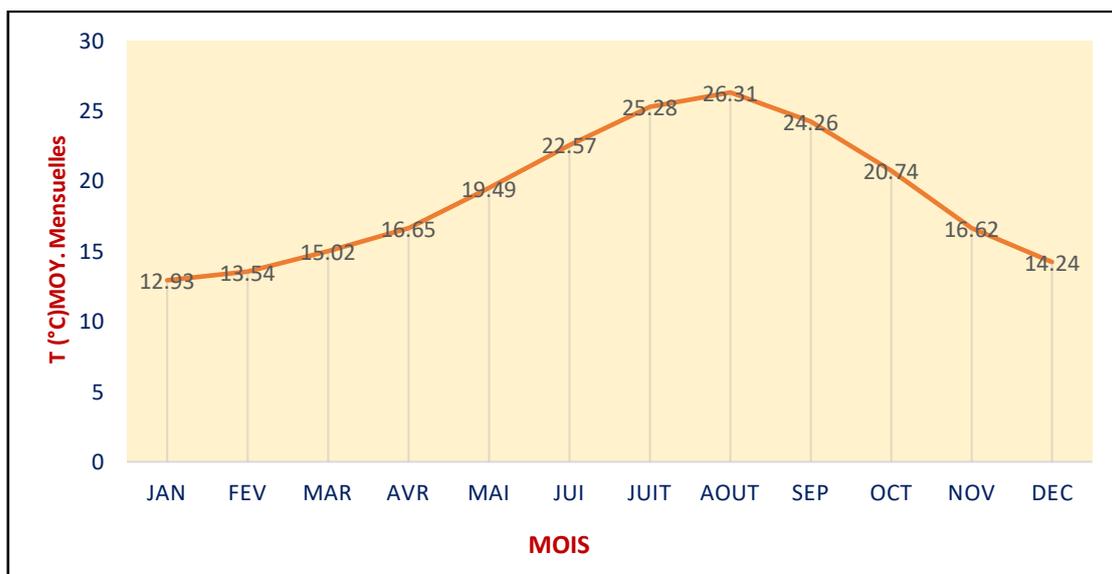
L'étude climatologique a été basée sur les travaux réalisés durant la période allant de 1990 à 2008, au niveau de la station d'Es-Sénia.

**I.4-1. Température**

Les températures moyennes mensuelles les plus basses sont enregistrées entre les mois de Novembre et Avril, avec un minimum de 12.93°C, au mois de Janvier. La température la plus élevée est enregistrée au mois d'Août. La température moyenne annuelle est de 18.97°C (Tableau 01, Fig.10).

**Tableau 01 :** Températures moyennes mensuelles 1990/2008 station d'Es-Sénia (M.M.Amina, 2020)

Mois	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUI	JUIT	AOUT	SEP	OCT	NOV	DEC	Moy
T (°C)	12,93	13,54	15,02	16,65	19,49	22,57	25,28	26,31	24,26	20,74	16,62	14,24	18,97



**Figure 10 :** Températures moyennes mensuelles à la station d'Es-Sénia (1990-2008)

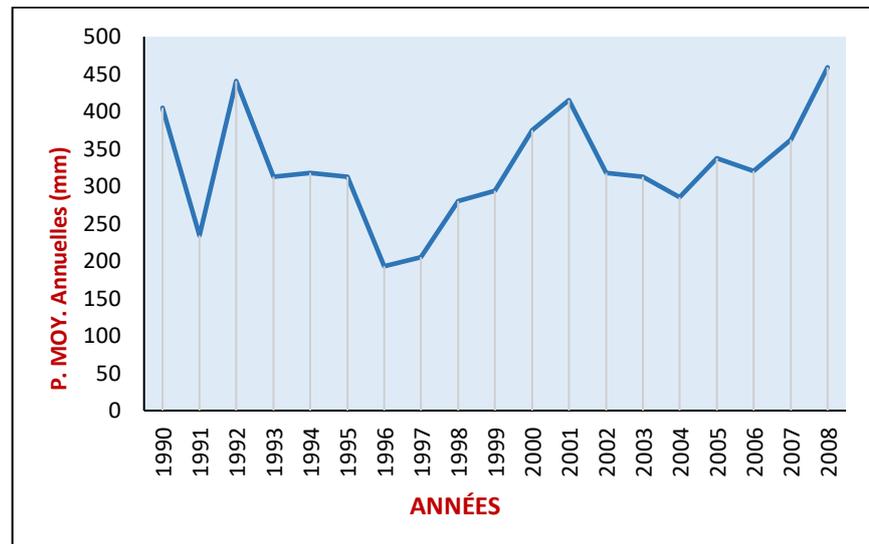
L'examen de la figure 10 montre une croissance des températures de Janvier à Juillet, elle atteint son pic en Aout et décroît progressivement jusqu'en Décembre. Ce qui nous amène à conclure que le mois le plus froid c'est Janvier et le mois le plus chaud c'est Août.

### I.4-2. Précipitations

L'étude des précipitations est basée essentiellement sur les mesures effectuées de 1990 jusqu'à 2008 au niveau de la station météorologique d'Es-Sénia (Tableau 02, Fig.11).

**Tableau 02 :** Précipitations annuelles 1990-2008/station d'Es-Sénia (M.M.Amina, 2020)

Année	P (mm)
1990	405
1991	234
1992	441
1993	313
1994	318
1995	313
1996	193
1997	205
1998	280
1999	294
2000	375
2001	415
2002	318
2003	313
2004	285
2005	337
2006	320
2007	362
2008	459
Moy	325



**Figure 11 :** Précipitations moyennes annuelles d'Es-Sénia (1990-2008)

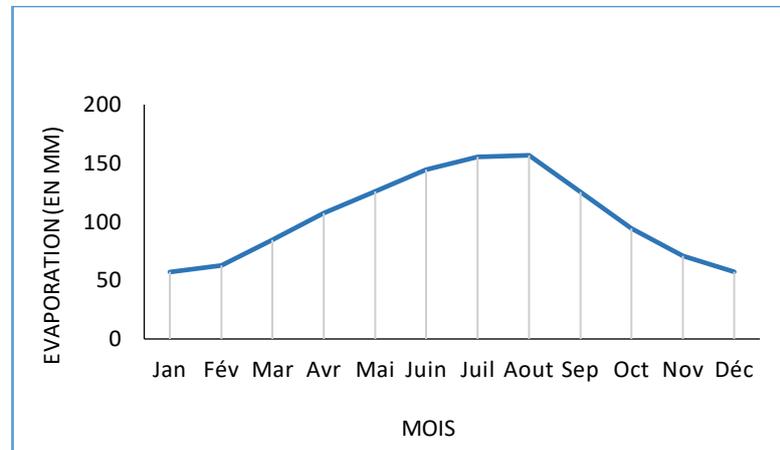
L'analyse du graphe des précipitations moyennes annuelles de la station d'Es-Sénia montre que c'est en 1996 qu'est enregistré le plus faible taux de précipitations, avec une valeur de 193mm, tandis qu'en 2008, un maximum de 459mm est enregistré. Les précipitations sont non seulement caractérisées par leur variabilité mais aussi par leurs intensités fortes. Cette variabilité interannuelle nous donne un module pluviométrique moyen annuel égal à 325mm.

### I.4-3. L'évaporation

Les mesures dont on dispose sur le tableau n° 3 ont été réalisées à l'aide d'un évaporomètre piche au niveau de la station d'Es-Sénia de 1990-2008, ce sont des valeurs moyennes mensuelles de l'évaporation.

**Tableau 03 :** Moyennes mensuelles de l'évaporation 1990-2008/station d'Es-Sénia (A.I. Houda ,2017).

Mois	Evaporation (en mm)
Jan	57,13
Fév	62,7
Mar	84,8
Avr	107,47
Mai	126
Juin	144,4
Juil	155,45
Aout	156,75
Sep	125,6
Oct	94,57
Nov	70,8
Déc	57,2
<b>Moy. Annuelle</b>	<b>1242,87</b>



**Figure 12 :** Moyennes mensuelles de l'évaporation d'Es-Sénia (1990-2008)

Selon les données recueillies sur les travaux antérieurs, la valeur maximale de l'évaporation a été mesurée au mois d'Août (156,75 mm), tandis que la valeur minimale au mois de Janvier (57,13mm). La moyenne annuelle sur la période étudiée est de 1243 mm.

### I.5- Cadre hydrogéologique

L'étude hydrogéologique des diverses formations de la plaine de Tafraoui-Tlélat montre que les seules formations présentant un grand intérêt sont les calcaires du Miocène supérieur, qualifiés par la majorité des auteurs de «Calcaires de Tafraoui». Ces derniers constituent le principal réservoir aquifère de la région, du fait de leur grande extension tant en affleurement qu'en profondeur, de l'état de leur fracturation, favorable à l'emmagasinement et la circulation des eaux souterrains.

La plaine de la Mléta est caractérisée par la présence de deux niveaux aquifères :

- la nappe du Quaternaire : Cet aquifère est constitué d'alluvions du Quaternaire. Le substratum est formé d'argiles et de marnes du Pléistocène.

Cette nappe est alimentée suivant deux processus :

- alimentation directe par sa propre surface.
- alimentation par les Oueds.

Toutes les eaux de cette nappe convergent vers la grande Sebkha d'Oran, créant ainsi un écoulement endoréique. Les eaux de cette nappe sont caractérisées par une forte minéralisation (le Résidu Sec dépasse parfois les 20 g /l).

- le complexe aquifère du Mio-Pliocène : Ce complexe est associé aux calcaires gréseux et aux grès peu consolidés du Pliocène marin (Astien) et aux calcaires du Miocène supérieur de la série du Murdjadjo.

C'est l'aquifère le plus profond et le plus intéressant de type en charge. Sa puissance a été évaluée à près de 150 m.

Cette nappe est alimentée par infiltration directe des précipitations sur les affleurements Astiens et les calcaires du Tessala.

La qualité chimique des eaux est, en général, bonne à médiocre ; le résidu sec variant entre 500 et 2500mg/l, selon les horizons aquifères considérés.

## **I.6- Etude piézométrique**

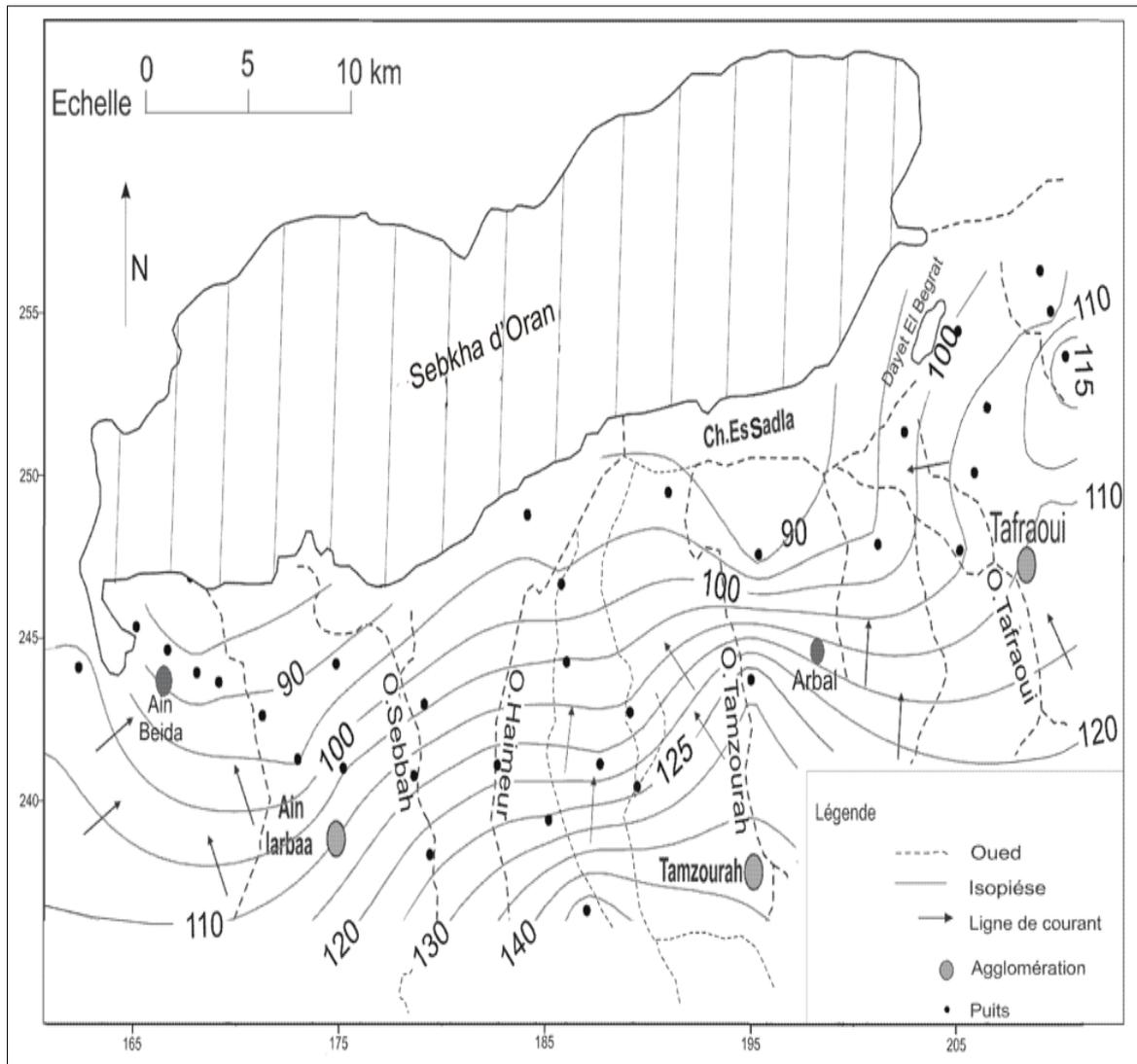
Faute de relevés récents, l'étude piézométrique intéresse les formations alluviales de la plaine de Tafraoui-Tlélat et celle de la M'leta.

### **I.6.1- Interprétation**

L'observation de la carte piézométrique (figures n°13) montre que les courbes isopièzes sont à faible concavité et s'orientent vers l'aval, déterminant ainsi, une nappe radiale à écoulement divergent vers le Nord. L'écoulement se fait globalement en direction du Nord vers la sebkha d'Oran ; elle est drainée sur toute sa superficie par l'Oued Tafraoui et ses affluents.

Deux sens d'écoulement peuvent être globalement distingués matérialisant deux ce bassin hydrogéologique :

- L'un ou l'écoulement se fait vers le Nord-Est en direction de l'Oued Tlélat.
- l'autre l'écoulement se fait vers le Nord-Ouest, soit parallèlement à l'Oued Tafraoui, soit vers Daïet El Bagra.



**Figure 13 :** Carte piézométrique de la nappe libre de la plaine de la M'leta (mars 2001) (réalisée à l'aide des données de l'A.N.R.H) (Bellaredj, 2014)

La carte piézométrique (figure n°14), beaucoup plus ancienne, présente la même allure de la partie de la région concernée.

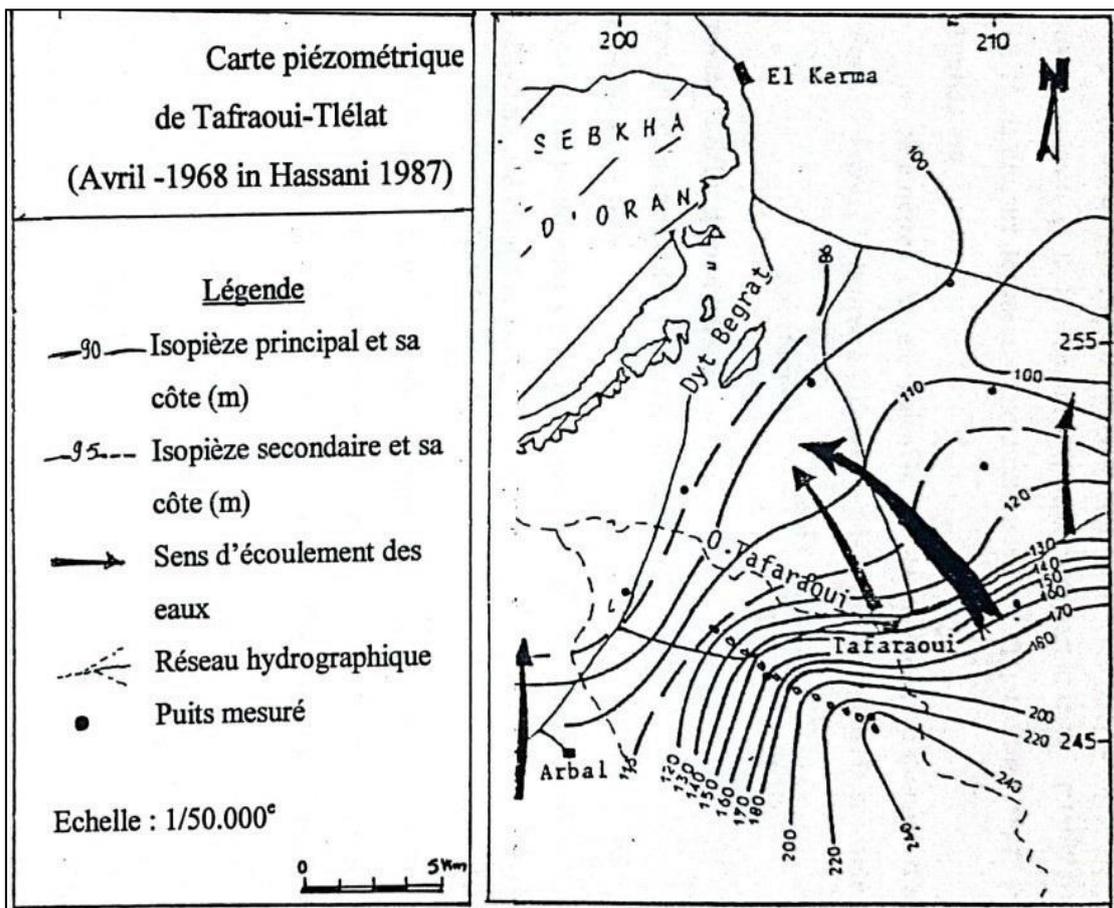


Figure 14 : Carte piézométrique de Tafraoui-Tlélat (Avril- 1968, In Hassani 1987)

- On peut distinguer un front d'alimentation de la nappe constitué par les Tessala au Nord.

### I.6.2- Alimentation et recharge de la nappe

L'alimentation de la nappe alluviale se fait essentiellement à partir des eaux météoriques qui s'infiltrent sur son propre impluvium, ainsi que les eaux superficielles des Oueds.

Notons qu'une alimentation latérale à partir des affleurements calcaires existe, ceci est visible en particulier dans la zone de Tafaraoui où les courbes hydroisohypses sont obliques ou parallèles aux affleurements de ces formations.

Les zones d'alimentation avales de la plaine de Tafraoui-Tlélat sont les zones préférentielles de la recharge.

## **I.7-Conclusion**

Le littoral Oranais jouit de ce qu'il est convenu de dénommer le climat Méditerranéen semi-aride. La région étudiée est caractérisée par des précipitations moyennes annuelles de 325 mm, et une température moyenne annuelle de 18.97°C pour la période allant de 1990 à 2008.

D'une manière générale, la région de Tafraoui, située au Sud de la ville d'Oran, est localisée côté Est de la plaine de la M'léta. Cette dernière, correspondant à une vaste plate-forme dépressionnaire orientée Est-Ouest, serait constituée de dépôts terrigènes provenant de l'érosion des montagnes bordières du Tessala et des dépôts éoliens.

Elle appartient au contexte structural du grand sillon occupé par la Grande Sebkhah d'Oran, où se sont accumulés des sédiments d'abord au Néogène puis au pléistocène et à l'Holocène, atteignant des épaisseurs très importantes par endroits.

D'après les études réalisées dans la région, la plaine de la M'léta est caractérisée par deux principaux niveaux aquifères :

- la nappe phréatique du Quaternaire.
- le complexe aquifère du Mio-pliocène.

L'étude hydrogéologique des diverses formations de la plaine de Tafraoui-Tlélat montre que les seules formations présentant un grand intérêt sont les calcaires du Miocène supérieur, qualifiés par la majorité des auteurs de «Calcaires de Tafraoui». Ces derniers constituent le principal réservoir aquifère de la région, du fait de leur grande extension tant en affleurement qu'en profondeur, de l'état de leur fracturation, favorable à l'emménagement et la circulation des eaux souterrains.

***CHAPITRE II***  
***Réalisation du forage***

## Introduction

La région de Tafraoui, située dans la wilaya d'Oran, a connu un développement socio-économique important sur le plan urbanistique et une croissance démographique accrue, comme dans toutes les régions du pays, ce qui a induit des besoins en eau importants.

C'est dans ce contexte que la direction des ressources en eau de la wilaya d'Oran a inscrit un programme de réalisation de forage d'eau (Taфраoui II) pour renforcer l'alimentation en eau potable de cette ville et de ses zones environnantes.

Dans ce chapitre, les différentes techniques et étapes de réalisation du forage de Taфраoui seront abordées, ainsi que le matériel utilisé pour cette opération.

### II.1- Etude d'implantation du forage

Avant de réaliser un forage, il est indispensable de faire une investigation sur toutes les données géologiques et hydrogéologiques de la région.

#### II.1.1- Situation géographique

Les coordonnées du forage de Taфраoui II, localisé au Sud de la wilaya d'Oran, figurent sur le tableau 04 :

**Tableau 04 :** Coordonnées du forage Taфраoui II

Nom du Forage	Wilaya	Daira	Commune	Coordonnées (Lambert)
Taфраoui II	Oran	Oued Tlélat	Taфраoui	X=209,000 Y=249,000

- la profondeur prévue du forage est de : 415 m.

**II.1.2- Programme des Travaux**

Ce programme consiste tout d'abord à mettre en place l'appareillage nécessaire. Un ensemble d'opérations, selon un ordre bien défini (programme de forage), sera réalisé par la suite.

La méthode de forage est le Rotary à la boue, à base de bentonite avec récupération systématique des cuttings chaque mètre.

Avant tout le processus vient "Phase avant puits" : tube guide, foré à la boue en diamètre 26 pouces et tubé en 22 pouces, de 00 à 50 mètres, cimenté au terrain naturel.

Ensuite, la "Phase forage" : foré à la boue en diamètre 8<sup>1</sup>/<sub>2</sub>pouces jusqu'à la profondeur finale.

La "Diagraphie" vient juste après la phase de foration : c'est un enregistrement de diverses méthodes de carottage électrique qui est réalisés dans le forage. On procède, comme suit :

- polarisation spontanée (P.S).
- gamma-ray.
- résistivité grande et petite normal (G.N - P.N).
- diamètreur.

Et, pour finir, "l'Essai de nappe" : réalisé à l'air lift et permet de déterminer : le débit de la nappe, la qualité chimique de l'eau et le niveau statique et dynamique.

L'analyse des cuttings, remontés à la surface, au fur et à mesure du forage, ont permis d'établir la coupe géologique ci-dessous (Figure 15) :

00 à 10 m : Alluvions argileuses

10 à 39 m : Argile sableuse

40 à 79 m : Grès sableux

80 à 150 m : Grés et calcaire

151 à 270 m : Grés sableux avec présence de calcaire

271 à 333 m : Calcaire

334 à 350 m : Calcaire blanchâtre

351 à 370 m : Calcaire blanc, grès

371 à 380 m : Calcaire blanc friable

381 à 402 m : Calcaire grés

403 à 419 m : Calcaires blancs, grès indurés à passées de calcaire gréseux

On y distingue une importante épaisseur du faciès calcaireux, suivi du faciès gréseux.

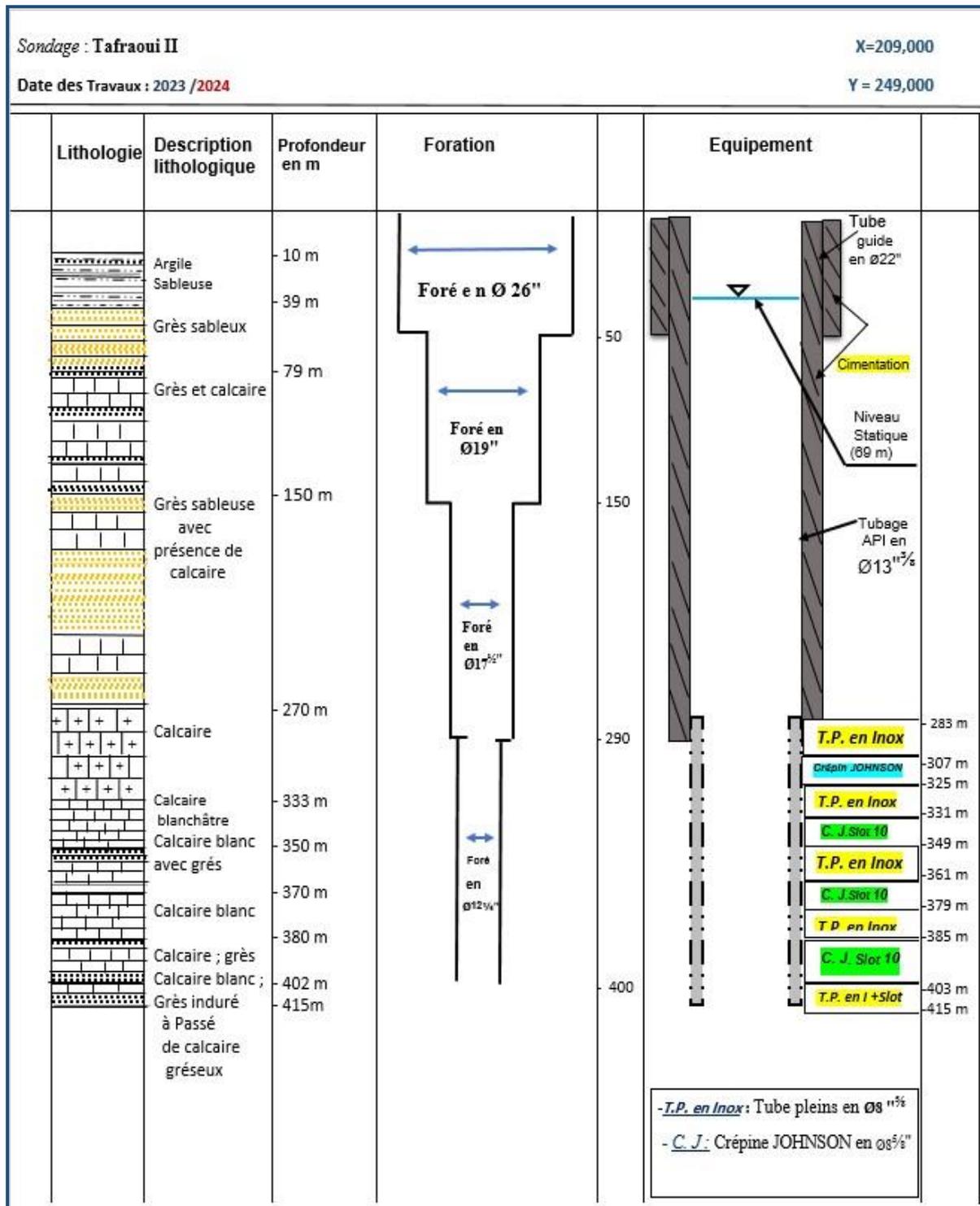


Figure 15 : Coupe géologique et technique du forage Tafraoui II

## II.2- Principe du forage rotary à la boue

Plusieurs techniques de forages d'eau ont été développées en fonction du type d'ouvrage recherché et du contexte géologique. Nous retiendrons ici trois techniques courantes de forage d'eau, le forage par battage, le forage Rotary et le forage à percussion Marteau Fond de Trou (MFT).

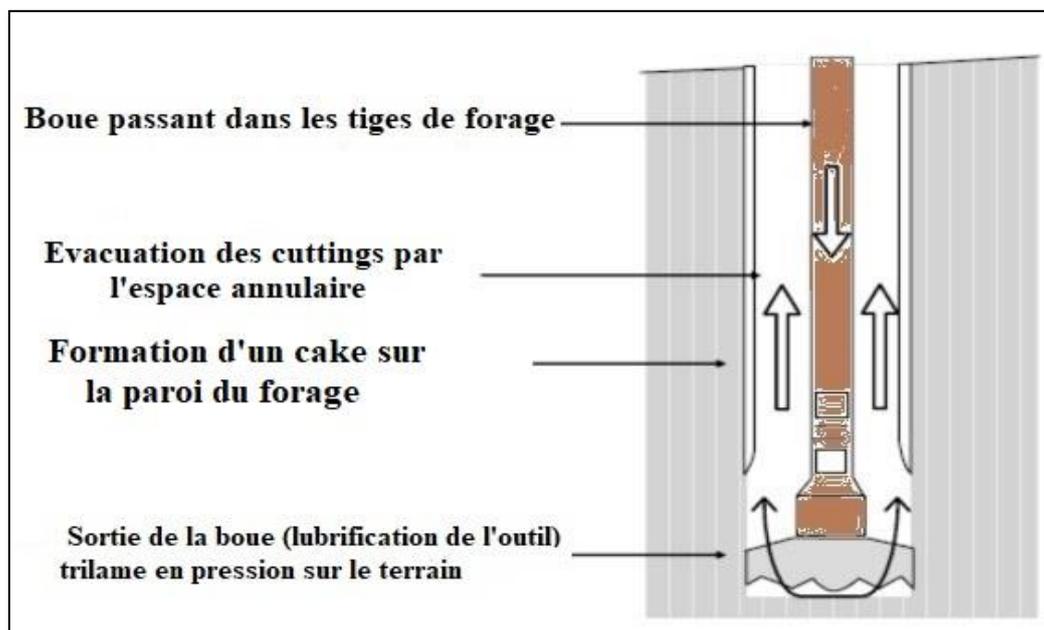
Le forage par battage est la technique la plus ancienne, simple de conception. Elle présente un intérêt surtout dans les terrains sédimentaires grossiers (graviers, galets) qui sont d'excellents réservoirs.

Les techniques Rotary et Marteau fond de Trou sont les plus répandues et adaptées aux forages d'eau. En Algérie, beaucoup de forages sont réalisés par la méthode Rotary (figure16).

Dans le principe du forage rotary à la boue, la ligne de sonde est suspendue à un mouflage installé dans le derrick. Un dynamomètre mesure en permanence la tension du câble et permet de connaître le poids imposé à l'outil.

Par l'action conjuguée de la rotation et de la pression sur l'outil, la perforation de la roche est obtenue par abrasion et broyage sans choc.

La tige carrée transmet le mouvement de rotation de la table de rotation aux tiges tandis que la tête d'injection permet la circulation de la boue de forage (figures 16 et 17).



**Figure 16** : Principe du forage rotary à la boue (Source : ACF, 2004)

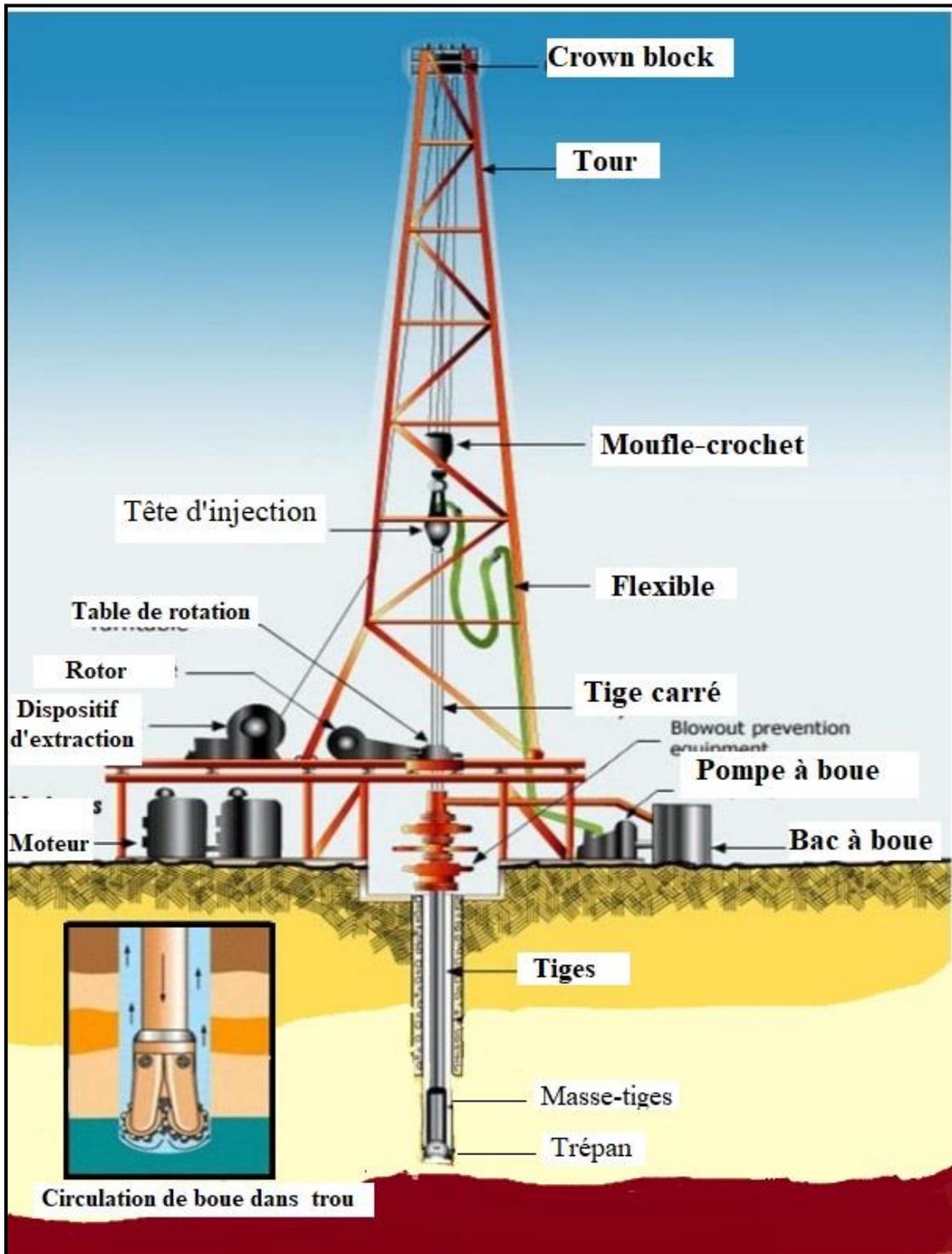


Figure 17 : Schéma d'un forage rotary (sur site)

### **II.2.1-Avantages**

Le forage rotary a de nombreux avantages dont :

- la perméabilité de la formation autour du trou est peu perturbée par le fluide de forage.
- les forages de grands diamètres sont exécutés rapidement et économiquement.
- facilité de mise en place de la crépine.
- bon rendements dans les terrains tendres.
- consommation économique de l'énergie.

### **II.2.2-Inconvénients**

Quelques inconvénients de cette méthode sont relevés, dont :

- nécessite beaucoup d'eau.
- seuls les sites accessibles peuvent être forés avec ce matériel lourd.
- nécessité d'un fluide de forage qui ne permet pas d'observation directe de la qualité des eaux des formations traversées.
- nécessite un grand investissement (matériel très important).
- colmatage possible des formations aquifères par utilisation de certaines boues (bentonite).

## **II.3-Phase installation**

### **II.3.1- Organisation du chantier**

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

Les précautions pratiques à prendre sont les suivantes (figure 18) :

- déterminer un périmètre de sécurité autour du chantier
- un accès pour les véhicules.
- un approvisionnement en eau (Citernes).
- un accès facile pour le remplissage des fosses.
- une cabine géologue pour la rédaction (Bureau).
- une zone de déblais (Cuttings).
- un terrain aplani pour faciliter le calage de la machine.
- l'emplacement et le creusage des fosses à boue
- le positionnement du compresseur de façon à ce qu'il ne reçoive pas de la poussière de forage.
- l'installation de toutes les unités de pompage, de pression hydraulique et des moteurs sur un plan horizontal.
- l'outil de mesure de la pression hydraulique doit être protégé du soleil.

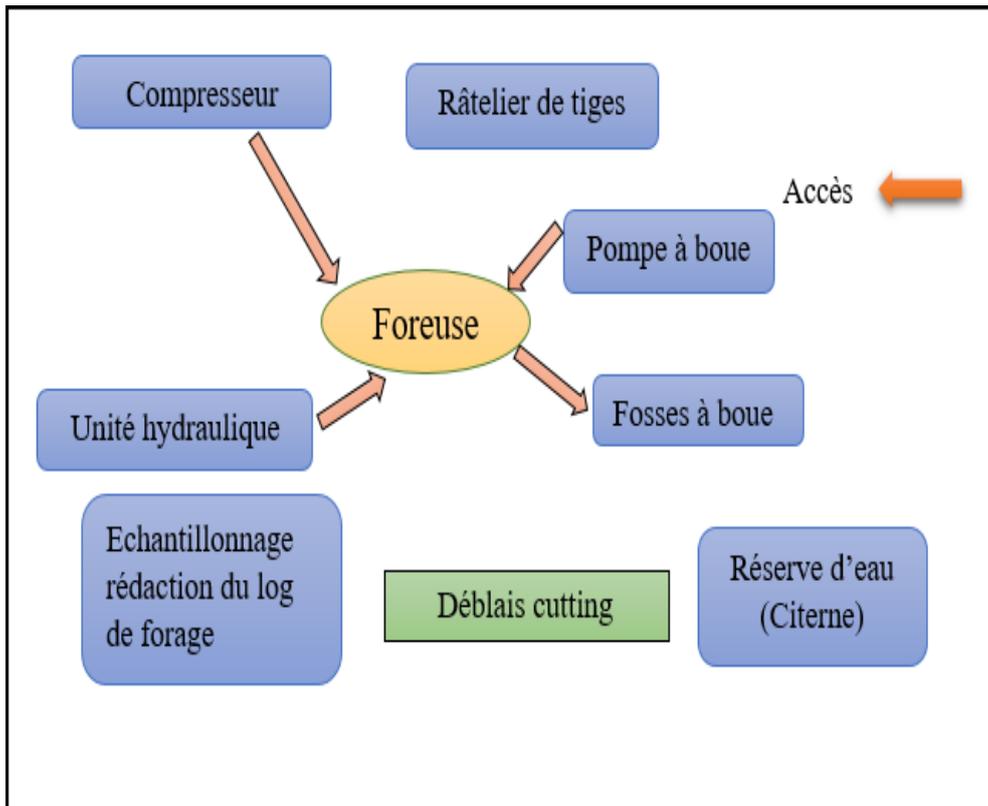


Figure 18 : Organisation du chantier

### La garniture du forage et les outils

La garniture du forage est l'ensemble du train de tiges qui tourne et entraîne l'outil par l'intermédiaire de la table de rotation.

L'outil perforant est le trépan à molette de type tricône, de denture adaptée au terrain (Figure 19), surmonté par des masses tiges.



**Le trépan**

**Figure 19** : Appareil de forage Rotary (sur chantier)

## II.4-Construction de la plateforme

Pour maintenir l'appareil de forage droit et éviter le coincement de l'outillage, une plateforme de 30 m<sup>2</sup> de surface a été construite grâce à la pelle mécanique. Par la suite, une dalle de béton armé a été coulée afin de consolider cette plateforme et éviter tout risque d'effondrement du terrain durant le forage du puits jusqu'à sa finalité.

Deux bassins (l'un pour la circulation et l'autre pour la décantation) ont été aménagés pour la préparation de la boue de forage.

## II.5-Construction des bassins et rigoles

Les bassins à boue constituent une réserve de fluide de forage et permettent son recyclage par décantation. On y trouve : un bassin de décantation et, un bassin de pompage et de canaux.

Le premier bassin (fosse de décantation) pour faciliter la sédimentation amorcée dans le canal tandis que le second (fosse de pompage), est une réserve où la boue est pompée pour être injectée dans le train de tige (Figure 20).

Le dimensionnement des fosses à boue se fait en fonction de la profondeur du forage à réaliser.

Les fosses et les canaux sont régulièrement curés et nettoyés des sédiments déposés au cours du forage. Elles nous permettent de prendre des échantillons pour une éventuelle lecture et corrélation géologique mètre par mètre, entre les différentes formations.

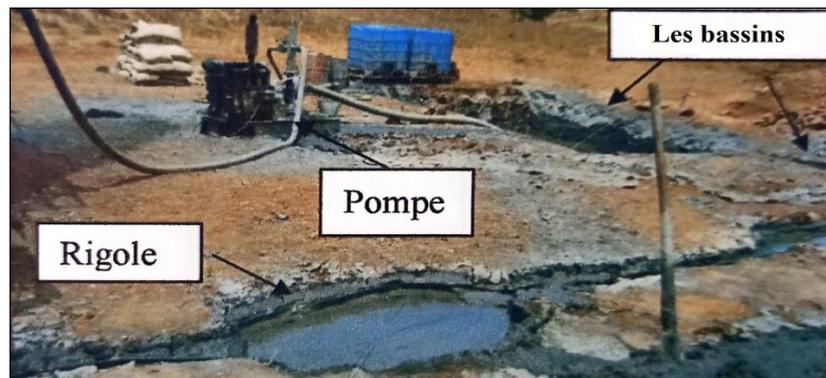


Figure 20 : Les bassins et les rigoles

## II.6-Phase avant puits

C'est la phase de foration du tube guide, de 0 à 50m : foré en Ø26", tubé en 22 pouces.

Ce tube est nécessaire pour garantir un isolement parfait des eaux de ruissellement et des eaux de la nappe. Il permet l'orientation de l'outil en maintenant un trou rectiligne et la protection du forage contre les effondrements des formations non consolidées que l'on rencontre en surface.

Une cimentation de l'espace interannulaire est indispensable pour favoriser l'étanchéité de cet espace et empêcher la pollution du puits par les eaux de surface.

Le dosage du laitier de ciment (ciment + eau) est de 50 litre d'eau pour 100 kg de ciment, ce qui donne 75 litres de laitier de ciment à 1.9 de densité.

### **Mode opératoire**

Il faut calculer avec précision le volume de laitier de ciment à injecter, puis le volume de boue qui devra chasser le laitier de ciment et le mettre en place.

Pour la boue, le calcul devra tenir compte du volume des canalisations de refoulements de la pompe et du volume intérieur de la colonne à cimenter.

Avant tout ça, il faut nettoyer l'espace annulaire par la circulation de boue neuve non contaminée, puis juste avant l'opération de cimentation, on injecte 2 m<sup>3</sup> d'eau après cette boue.

### **Calcul du volume de laitier de ciment**

Le volume du laitier de ciment est égal au volume de l'espace annulaire entre le terrain foré en 26" et le tube guide 22 pouces.

$$V_1 = h/2 \cdot (d_2^2 - d_1^2)$$
$$= 10/2 \cdot (26^2 - 22^2) = 960 \text{ litre de laitier de ciment}$$

**V<sub>1</sub>** : Volume du laitier de ciment en litres.

**h** : Hauteur du forage tubé en mètres.

**d<sub>1</sub>** : Diamètre du tube en pouces.

**d<sub>2</sub>** : Diamètre du trou en pouces.

Pour obtenir 960 laitier de ciment, l'abaque montre qu'il faut environ de 1280 kilogrammes de ciment et 640 litres d'eau.

### **Calcul du volume de boue**

Le volume de boue est calculé selon la formule :

$$V_2 = (h \cdot 26^2)/2$$
$$= (10 \cdot 26^2)/2 = 3380 \text{ litres}$$

**V<sub>2</sub>** : Volume de boue en litres.

**h** : Profondeur du forage tubé en mètres

**d** : Diamètre du tube en pouces.

## **II.7-Phase forage**

### **II.7.1-Reconnaissance**

Au cours de cette opération, les cuttings sont remontés à la surface mètre par mètre, sous l'action d'une circulation continue de la boue à l'intérieur des tiges et dans l'espace annulaire. L'analyse de ces cuttings permet d'établir une coupe géologique réelle du forage.

La boue est un mélange colloïdal dont le produit de base est une variété d'argile appelée bentonite de densité 2.6. Elle s'hydrate au passage de l'eau et forme un produit visqueux ou une masse gélatineuse. Le dosage est de 10% de bentonite, soit 100 kg de produit par mètre cube d'eau.

Après les 24 heures nécessaires pour la prise du ciment, on se permet de continuer les travaux de forage jusqu'à 415 m de profondeur mais cela se fait avec 8<sup>1/2</sup> pouces de diamètre pour vérifier et préciser les informations.

Lors de la reconnaissance en Ø8''<sup>1/2</sup>, la démarche suivante s'impose pour la suite des travaux :

- de 50 à 270m : forage en Ø8''<sup>1/2</sup> avec prélèvement des cuttings à chaque mètre traversé.
- à la cote 270m : procéder à un essai de nappe (le dispositif sera déterminé par le chargé de suivi).
- de 270 à 400m : continuer le forage en Ø8''<sup>1/2</sup> avec prélèvement des cuttings à chaque mètre traversé.
- à la cote 400m : procéder à un essai de nappe (le dispositif sera déterminé par le chargé de suivi).

### **Caractéristiques physiques de la boue**

La boue joue un rôle essentiel dans la mise en œuvre du forage, la remontée des cuttings, la stabilisation des parois et la lubrification de l'outil. Les caractéristiques intrinsèques de cette boue (densité, viscosité) sont contrôlées régulièrement et modifiées selon les besoins (allègement ou épaissement de la boue par exemple) en cours de forage :

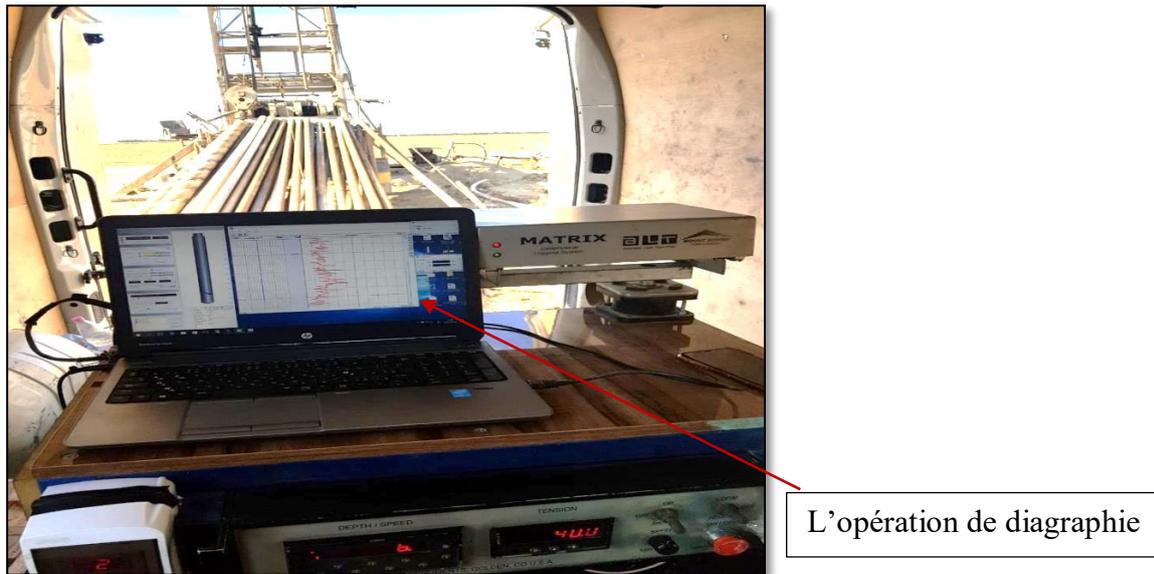
- la densité de la boue, influe sur la remontée des cuttings et la stabilisation des parois.
- la température de la boue permet de refroidir l'outil de forage.
- la viscosité influe sur la lubrification de l'outil.

### **II.7.2-Enregistrement des diagraphies ou carottage électrique**

Les diagraphies consistent à effectuer des mesures de certaines caractéristiques physiques des formations recoupées dans un sondage mécanique (Figure 21).

La diagraphie, c'est-à-dire l'identification de roches potentiellement réservoir, est la détermination de leur porosité, leur perméabilité, et de la nature du fluides qu'elles contiennent. Une opération de diagraphie s'effectuera avec les enregistrements suivants :

- polarisation Spontanée (P.S)
- gamma-ray
- résistivités électriques : Grandes Normales (G.N) et Petites Normales (P.N)
- diamètreur



**Figure 21 :** Enregistrement des diagraphies (sur chantier)

### II.7.3-Essai à l'air lift (essai de nappe)

Le procédé essai de nappe consiste à injecter l'air comprimé dans le trou. Au bout d'un certain temps, nous avons une émulsion d'air au fond qui fait remonter la boue emmagasinée ainsi que l'eau.

L'essai de nappe nous permet de noter les caractéristiques hydrauliques d'un aquifère (le débit, les niveaux statiques et dynamiques, ainsi que la qualité chimique de l'eau).

La côte de l'essai a été déterminée en fonction des cuttings et de la lecture des diagraphies. Le premier horizon a été déterminé à la côte 120 m. Avant de commencer cette opération, il a fallu élargir par descente l'outil aléseur de diamètre 12 pouces.

Après alésage, un bouchon constitué de bentonite et argile a été injecté pour isoler la partie supérieure (en 12<sup>1/4</sup> pouce) de celle inférieure, en diamètre 8<sup>1/2</sup> pouce, afin de tester uniquement les 120 premiers mètres.

#### Principe de la méthode

On descend une colonne de 120 m de longueur et d'un diamètre de 5 pouces contenant à l'intérieur un tube d'air de 110 m de longueur et de 2 pouces de diamètre. A l'aide d'un compresseur, on injecte l'air comprimé à une pression de 12 bar (1bar chaque 10 m).

Cette opération dure quelques minutes pour que le volume de chasse soit injecté à la surface.

Au cours de cet essai, un échantillon d'eau a été prélevé pour analyse physico-chimique ainsi que la mesure des niveaux statiques, dynamiques et du débit.

**II.7.4-Elargissement (Alésage)**

Après les opérations de reconnaissance, les diagraphies et enfin les essais à l'air-lift, un alésage a été effectué suivant les étapes :

- alésage en  $\text{Ø}12''^{1/4}$  de 50 à 400m.
- alésage en  $\text{Ø}17''^{1/2}$  de 50 à 270m.

**Conclusion**

La réalisation d'un captage d'eau souterraine est une entreprise délicate qui met en œuvre une suite d'opérations exigeant la maîtrise de nombreuses techniques spécialisées dont dépendent son succès, sa productivité et sa durée de vie. Toute défaillance se traduit immanquablement par des difficultés d'exploitation.

Par conséquent, la réussite d'une telle entreprise est intimement liée au choix judicieux des différentes méthodes qui ont été abordées dans ce chapitre. Dans ce cadre, comme nous le verrons par la suite, le rôle du cadre chargé du contrôle et du suivi des travaux est primordial. Il doit, en association avec l'entreprise :

- Définir les modalités de la Foration (diamètre et type de Foration).
- Choisir le fluide de Foration adéquat et l'adapter au fur et à mesure de son évolution au contact des terrains rencontrés.
- Résoudre les problèmes spécifiques à l'équipement, à la mise en place du massif filtrant et à la cimentation.
- Déterminer le type de développement idéal en fonction des caractéristiques hydrogéologiques, et en définir le principe et la durée.

## ***CHAPITRE III***

# *Équipement du forage*

## **Introduction**

L'équipement du forage d'exploitation d'eau constitue la dernière étape avant la mise en production de la ressource d'un gisement. Ainsi, les modalités d'équipement d'un forage et le choix des matériaux doivent-ils être abordés de manière critique vis à vis des particularités de l'eau (caractéristiques physico-chimiques), ainsi que de l'environnement particulier du niveau aquifère identifié (interférence), de manière à assurer une exploitation conforme aux autorisations réglementaires.

La mise en place de l'équipement d'un forage d'exploitation d'eau exige une attention particulière par un strict respect des règles de l'art dans un souci permanent de qualité.

Quatre éléments essentiels constituent l'équipement de forage d'exploitation :

- les tubages pleins (ou aveugles).
- les crépines ou tubages perforés.
- le massif filtrant.
- la Cimentation.

### **III.1-L'équipement du forage**

La mise en place de l'équipement, des tubes et du captage (crépine et gravier filtre) est une étape essentielle de la réalisation du forage d'eau. Cet équipement est un ensemble de tubes pleins et de crépines, entouré d'un massif de gravier filtrant.

Le plan de captage et la position des crépines influenceront de façon très importante sur le débit d'exploitation de l'ouvrage alors que le plan de tubage (longueur et position des tubes pleins et des tubes crépines) est établi en fonction de la coupe géologique du forage où sont notées les différentes "couches" de terrain et les venues d'eau.

L'équipement technique d'un forage d'exploitation d'eau comporte en principe deux éléments essentiels : le captage et la chambre de pompage. En ce qui concerne la nappe profonde, par souci d'économie sur les coûts de l'équipement, on est amené à utiliser un diamètre intermédiaire de tubage entre la crépine et la chambre de pompage.

#### **III.1.1-Chambre de pompage**

Après l'alésage, le forage est équipé :

- de 00 m jusqu'à 270 m par un ensemble de tube pleins API à diamètre 13<sup>3/8</sup> pouces (figure 22).
- de 250 m jusqu'à 400 m : une alternance de tubes pleins inox et crépines Johnson Ø<sup>5/8</sup>.

### Cimentation

Cette opération consiste à remplir par un mélange à base de ciment l'espace annulaire entre un tube plein API Ø13<sup>3/8</sup> et les parois des trous forés de 00 m à 270 m. Son but est d'éliminer les éboulements des parois des formations et isoler la nappe superficielle de l'aquifère principale profonde.



**Figure 22** : Tube plein API Ø13<sup>3/8</sup>(sur chantier)

#### III.1.2-Colonne de captage

Cette colonne est constituée d'un ensemble de tubes pleins inox et crépines Johnson de 8<sup>5/8</sup> diamètre (figure 23). Elle peut avoir 132 m (283 à 415 m), les crépines sont placées dans les niveaux aquifères.

La composition de la colonne captant est présentée ci-après de haut en bas :

- de 283 à 307 m : Tube pleins en Inox en Ø8<sup>5/8</sup>(figure 24)
- de 307 à 325 m : Tube Johnson Slot 10 en Ø8<sup>5/8</sup>
- de 325 à 331 m : Tube pleins en Inox en Ø8<sup>5/8</sup>
- de 331 à 349 m : Tube Johnson Slot 10 en Ø8<sup>5/8</sup>
- de 349 à 361 m : Tube pleins en Inox en Ø8<sup>5/8</sup>
- de 361 à 379 m : Tube Johnson Slot 10 en Ø8<sup>5/8</sup>
- de 379 à 385 m : Tube pleins en Inox en Ø8<sup>5/8</sup>
- de 385 à 403 m : Tube Johnson Slot 10 en Ø8<sup>5/8</sup>
- de 403 à 415 m : Tube pleins en Inox en Ø8<sup>5/8</sup>



**Figure 23 :** Tube Johnson (sur chantier)



**Figure 24 :** Tube pleins en Inox en Ø8''<sup>5/8</sup> (sur chantier)

### III.2-Massif filtrant (gravier additionnel)

La mise en place d'un massif filtrant permet d'augmenter le slot de crépine, de réduire la vitesse de circulation de l'eau à l'entrée de la crépine et donc l'augmentation du débit de production.

Le gravier filtre doit être assez uniforme, calibré, propre, rond et siliceux de préférence. Il ne doit pas être calcaire, latéritique ni concassé. Il doit être aussi le plus fin possible sans pour autant passer à travers la crépine.

Dans la pratique, le gravier additionnel est défini par la granulométrie de la formation et par l'ouverture de la crépine.

Le rôle du gravier additionnel est :

- d'augmenter les débits d'exploitation (la filtration).
- de diminuer les vitesses d'écoulement.
- d'empêcher l'érosion souterraine, ainsi que l'entrée des sables fins.

#### Quantité nécessaire de gravier additionnel

Le calcul du volume du massif du gravier additionnel s'établit d'après la formule empirique :

$$V = h/2. (D^2 - d^2) \quad \text{avec :}$$

**V** = Volume de gravier, en litres

**h** = Hauteur de massif de gravier, en mètres

**D** = Diamètre du trou, en pouces

**d** = Diamètre des tubes, en pouces

Le volume du gravier du massif à préparer pour l'opération correspond au volume de l'espace annulaire sur une profondeur de 250 à 415 m.

- le volume de la partie tubée 250 à 415 m :  $v = 165/2[(12''^{1/4})^2 - (8'')^2] = 6240$  litres

- le volume théorique est de l'ordre de :  $6,24 \text{ m}^3$

#### Mise en place du gravier additionnel

Comme le forage est profond, l'injection du gravier s'est faite de bas en haut jusqu'à la cote avec une circulation de boue légère de bas en haut.

### **III.3-Le développement**

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

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

L'opération du développement a été réalisée par le procédé « air lift » comme suit :

- développement à l'air lift au compresseur.
- traitement à l'hexamétaphosphate.
- développement à l'air lift.
- traitement à l'hexamétaphosphate.
- prévoir un traitement chimique à l'acide chlorhydrique (HCl) dilué en (02) phases de 1,5 m<sup>3</sup> chacune.
- pompage jusqu'à obtention d'une eau claire.

#### **III.3.1-Développement à l'Air lift**

Le développement pneumatique (air lift) est le plus efficace et le plus répandu.

L'avantage est que le matériel de pompage ne subit pas de détérioration. Il s'agit de faire subir au captage des contraintes assez fortes dans toutes les directions, pression et dépression en introduisant d'important volume d'air et de mettre en production l'ouvrage par "air lift". L'opération consiste à alterner les phases de pompage à l'air lift et les phases de soufflage direct d'air au niveau des crépines.

Pratiquement, cela consiste à introduire deux tubes dans le forage :

- la 1<sup>er</sup> tube : appelé tube d'eau, par lequel l'eau pompée remontera à la surface.
- le 2<sup>ème</sup> tube : appelé tube d'air qui est introduit dans le tube d'eau et par lequel l'air comprimé est injecté.

À l'aide d'un compresseur, on injecte de l'air comprimé jusqu'à ce que le volume de chasse soit projeté à la surface. On mesure le débit et on prend un échantillon pour l'analyse chimique, de même qu'on mesure le niveau dynamique.

### III.3.2-Traitement à l'hexamétaphosphate

Ce traitement chimique comprendra l'injection de trois (03) phases d'hexamétaphosphate de sodium de 200 kilogramme chacune avec attente d'effet de 12 heures max, puis développer le forage entre les phases jusqu'à eau claire (figure 25).

L'objectif du traitement chimique du forage est d'améliorer les capacités d'exploitation de l'ouvrage par un décolmatage des formations et un nettoyage des crépines.



**Figure 25 :** L'hexamétaphosphate de sodium (sur chantier)

### III.3.3-Développement par pompage

Une pompe submersible a été placée à la cote afin de pouvoir évacuer le sable qui a pénétré dans le forage et les éléments fins restant près de la crépine.

Le principe consiste à pomper à différents débits jusqu'à obtention d'une eau claire (figure 26).

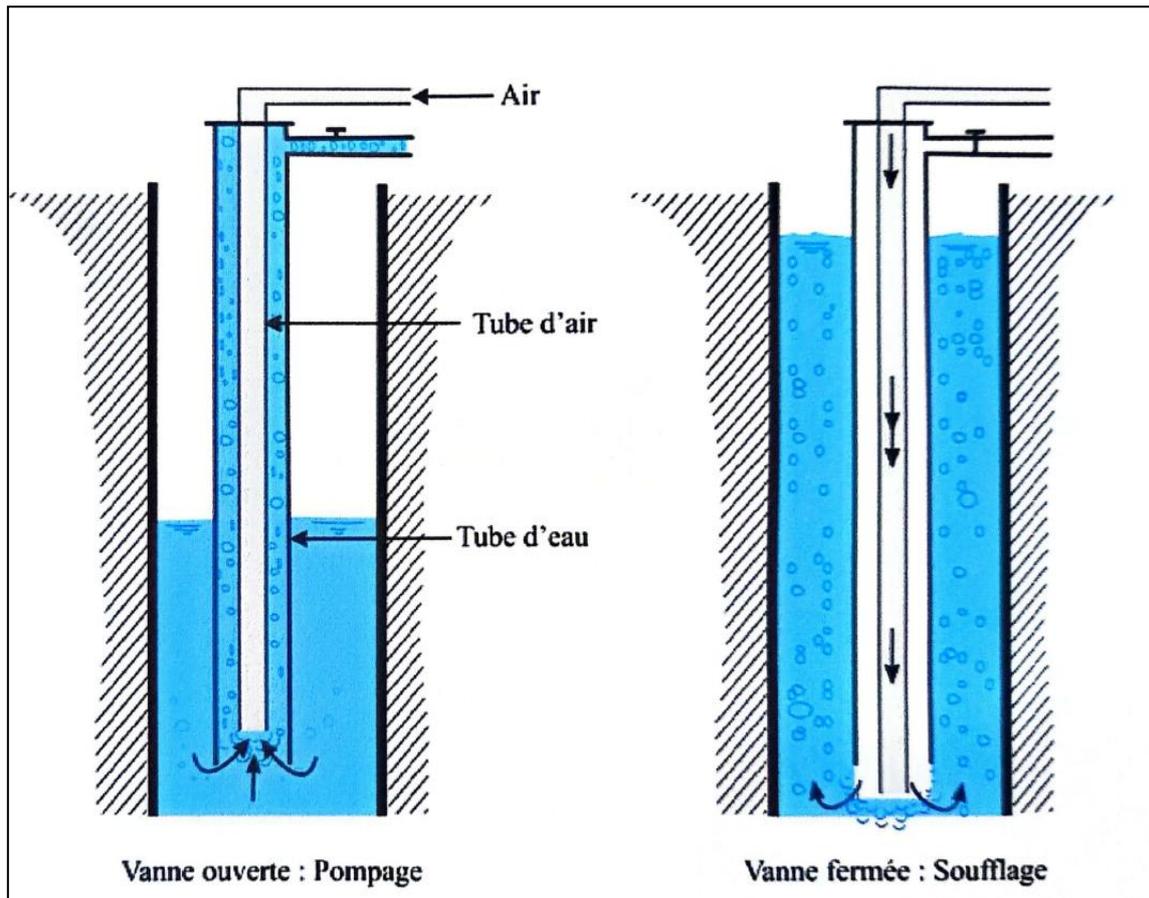


Figure 26 : Principe du couplage (pompage/soufflage)

## **Conclusion**

Le forage de Tafraoui II a été réalisé dans le but d'assurer l'accès à l'eau potable de la population. Ce forage, de 415 m de profondeur, a pu être équipé dans de très bonnes conditions, grâce à l'utilisation de différentes méthodes de la diaggraphie, en corrélation avec l'analyse des cuttings.

Le forage Tafraoui II nécessite des tubes crépines du type Johnson Ø8<sup>5/8</sup>.

Afin de vérifier les équipements de forage, un essai de pompage approfondi doit être effectué par palier au débit cible en raison du risque d'abaissement brutal du niveau d'eau par rapport au seuil de débit (débit critique).

*Chapitre IV*  
*Exploitation du forage*

## **Introduction**

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

Les pompages d'essai sont la base de toute étude de nappe. Ils sont effectués au moyen d'une pompe immergée électrique, facile à mettre en œuvre et régulière quant au régime.

Un pompage d'essai doit répondre à un double objectif :

- d'une part, la détermination des caractéristiques propres au forage, «Essai par paliers» (Essais de puits)
- d'autre part, la détermination des paramètres hydrodynamiques de la nappe : «Essai de nappe» (Longue durée). C'est un facteur très important pour la gestion de la ressource.

L'analyse physico-chimique de l'eau permettra d'identifier les faciès chimiques, ainsi que leur potabilité

### **IV.1-Essai de pompage**

Le pompage a été réalisé le 27/06/2023, il comporte 3 paliers avec un essai de longue durée

- Paliers avec un débit de 5 l/s à 15l/s, avec un niveau statique mesuré égal à 69 m.
- Le pompage d'essai de longue durée (tableau 08), est exécuté en un seul palier à débit constant ( $Q=10$  l/s) durant 72 heures.

Le but principal de ce pompage est de déterminer les caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère

▪ **1<sup>er</sup> palier :**

Tableau 05 : Données de l'essai de pompage

Temps (min)	Niveaux dynamiques(m)
00	69
01	80
03	83
06	85
11	86
18	86,50
28	88
39	88,50
52	88,70
67	89
87	89,10



$Q_1 = 5 \text{ l/s}$   
 $S_1 = 20,1 \text{ m}$   
 S : Le rabattement résiduel

▪ **2<sup>ème</sup> palier :**

Tableau 06 : Données de l'essai de pompage

Temps (min)	Niveaux dynamiques(m)
00	69
05	72
10	105,50
15	106,5
20	107,40
25	107,50
30	108
35	108,80
40	109,30
45	110
50	109,25
55	109
60	109,20



$Q_2 = 10 \text{ l/s}$   
 $S_2 = 16 \text{ m}$

▪ 3<sup>ème</sup> palier :

Tableau 07 : Données de l'essai de pompage

Temps (min)	Niveaux dynamiques(m)
05	76
10	90
15	108
20	110
25	115
30	118
35	120
40	120
45	120,5
50	121,5
55	121,30
60	121,50

→  $Q_3 = 15 \text{ l/s}$   
 $S_3 = 5,2 \text{ m}$

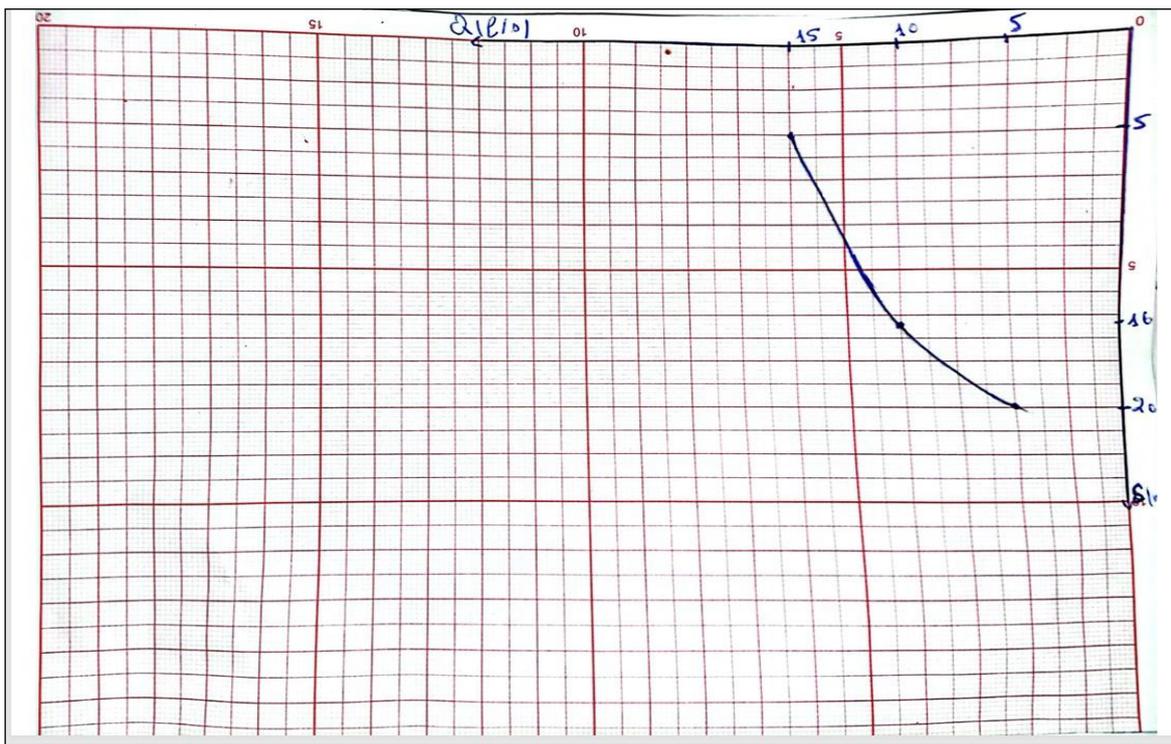


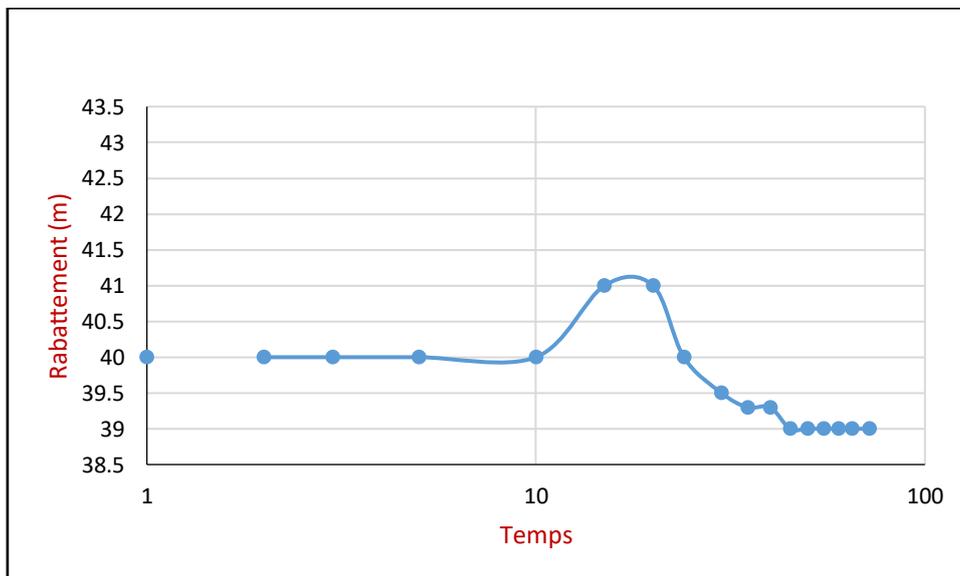
Figure 27 : Courbe de rabattement résiduel par rapport au débit

**Interprétation :**

D'après le résultat le débit d'exploitation ( $Q=10\text{l/s}$ ) est acceptable parce qu'il est inférieur au débit critique.

**Tableau 08 :** Données du pompage d'essai de longue durée

Temps (h)	ND (m)	Rabattement (m)	Débit (l/s)
00	69	00	10
01	109	40	10
02	109	40	10
03	109	40	10
05	109	40	10
10	109	40	10
15	110	41	10
20	110	41	10
24	109	40	10
30	108,5	39,5	10
35	108,3	39,3	10
40	108,3	39,3	10
45	108	39	10
50	108	39	10
55	108	39	10
60	108	39	10
65	108	39	10
72	108	39	10



**Figure 28 :** La courbe de descente

✓ Le rayon de courbure a c'est faible ce qui d'not de la réserve important de l'aquifère.

### IV.1.1 - Paramètres hydrodynamiques

La méthode d'analyse présentée ici s'appelle la droite de Jacob (ou de Cooper-Jacob). Elle se base sur une simplification de la méthode de Theis par la formule :

$$T=0.183 Q/\Delta s$$

- Selon Jacob les deux expressions expriment la transmissivité et le coefficient d'emmagasinement

#### La Transmissivité

Le calcul de la transmissivité est surtout utile pour caractériser hydrodynamiquement d'un aquifère. On peut se faire une idée générale du potentiel d'exploitation des eaux souterraines dans une certaine région à partir des résultats de nombreux essais.

$$T=0,183 \times Q/\Delta S$$

(T) : Transmissivité de l'aquifère (en m<sup>2</sup>/s).

(Q) : Débit d'eau pompé (en m<sup>3</sup>/s)

(ΔS) : Abaissement ou rabattement observé du niveau piézométrique (en mètres).

$$\Delta S = 39 \text{ m} \quad Q = 0,01 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$T = 4,5 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

#### Coefficient d'emmagasinement

$$C=2.25 \times T \times t^0 / r^2$$

(C) : Coefficient d'emmagasinement (ou coefficient de stockage) sans dimension.

(T) : Transmissivité de l'aquifère (en m<sup>2</sup>/s)

(t) : Temps de pompage (en secondes).

(r) : Distance radiale du puits de pompage au point d'observation (en mètres).

#### Classifications générales de la transmissivité (Transmissivité) :

- Transmissivité très faible ( $< 1 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ ) : Matériaux presque imperméables comme l'argile ou les roches non fracturées.
- Transmissivité faible ( $1 \times 10^{-6}$  à  $1 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ ) : Dépôts de sable fin ou sol argileux.
- Transmissivité moyenne ( $1 \times 10^{-5}$  à  $1 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ ) : Sables ou sols limoneux.
- Transmissivité modérée ( $1 \times 10^{-4}$  à  $1 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ ) : Sables grossiers ou graviers fins.
- Transmissivité élevée ( $1 \times 10^{-3}$  à  $1 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ ) : Graviers ou roches fracturées.
- Transmissivité très élevée ( $> 1 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ ) : Matériaux extrêmement perméables comme les gros graviers ou les cavités rocheuses

**Interprétation :**

Après avoir comparé la valeur de transmissivité de  $(4,5 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s})$  avec les classifications connues, nous trouvons que : Transmissivité élevée ; Cela indique une bonne capacité du milieu à transmettre l'eau, ce qui signifie que le matériau est très perméable, permettant à l'eau de s'écouler facilement à travers.

**IV.2-Analyse chimique**

Une analyse physico-chimique de l'eau du forage a été effectuée au laboratoire de l'Agence Nationale des Ressources Hydraulique A.N.R.H d'Oran. Elle a porté sur :

- le dosage des cations : Calcium ( $\text{Ca}^{++}$ ), Magnésium ( $\text{Mg}^{++}$ ), Potassium ( $\text{K}^+$ ) et Sodium ( $\text{Na}^+$ ).
- le dosage des anions : Bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ), Sulfates ( $\text{SO}_4^{--}$ ), Chlorures ( $\text{Cl}^-$ ) et Nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ).
- la mesure des paramètres suivants : la Conductivité électrique, le Résidu Sec et le pH.

Pour déterminer la qualité chimique de l'eau, un échantillon a été prélevé pour analyse physico-chimique.

Les résultats sont synthétisés sur le tableau 09 et sont également représentés sur les diagrammes de Schoeller-Berkaloff :

**Tableau 09 :** Les résultats des analyses

N°	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Σ Cation	Σ Anion	pH	TH (F°)	Cond μs/cm	R.S mg/l
Mg/l	136	100	460	8	900	328	183	11	/	/	7,68	63	4400	3460
Méq/l	6,8	8	20	0,2	25,34	6,83	3	0,18	35	35,35	/	/	/	/

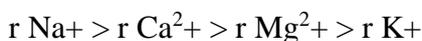
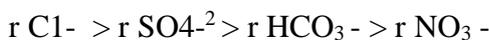
**IV.2.1- Faciès chimique de l'eau**

Pour déterminer la formule caractéristique de l'eau ainsi que le faciès, nous avons vérifié l'électro-neutralité de cette eau par le calcul de l'erreur, permettant de vérifier la balance ionique, selon la formule :  $e\% = \frac{\sum r^+ - \sum r^-}{\sum r^+ + \sum r^-} * 100$

$E\% = 0,5 \%$

$E\% < 2$ , ce qui traduit une bonne analyse

La formule caractéristique de cette eau est la suivante :



C'est donc une eau Chlorurée Sodique

- le pH de l'eau du forage est 7.68, signifiant une eau proche de la neutralité.
- la conductivité électrique est de 4400  $\mu\text{s}/\text{cm}$  à 20 °C, ce qui permet d'estimer la minéralisation à 3340 mg/l, traduisant une eau avec une minéralisation relativement élevée.

### **IV.2.2-Représentation graphique**

Les faciès hydrochimiques sont généralement utilisés pour designer des types d'eaux qui ont des attributs géochimiques différents. Ils sont d'un grand apport lorsqu'il y a lieu de comparer la distribution et les origines des eaux souterraines. Dans le cas d'une prédominance claire d'un ion particulier (> 50% du total des cations ou des anions), le faciès peut alors être identifié sur la base du constituant prédominant.

Dans le cas contraire, les plus grandes valeurs des quantités en réactions, des cations et des anions sont prises en considération pour définir le type d'eau à caractériser. Selon la méthode semi-log de Schoeller-Berkaloff et celle de Piper, l'analyse chimique de l'eau du forage a été graphiquement représentée (figures n° 29-30). L'eau est clairement localisée au niveau des deux pôles de minéralisation, Na et Cl, ce qui confirme son faciès Chlorurée Sodique.

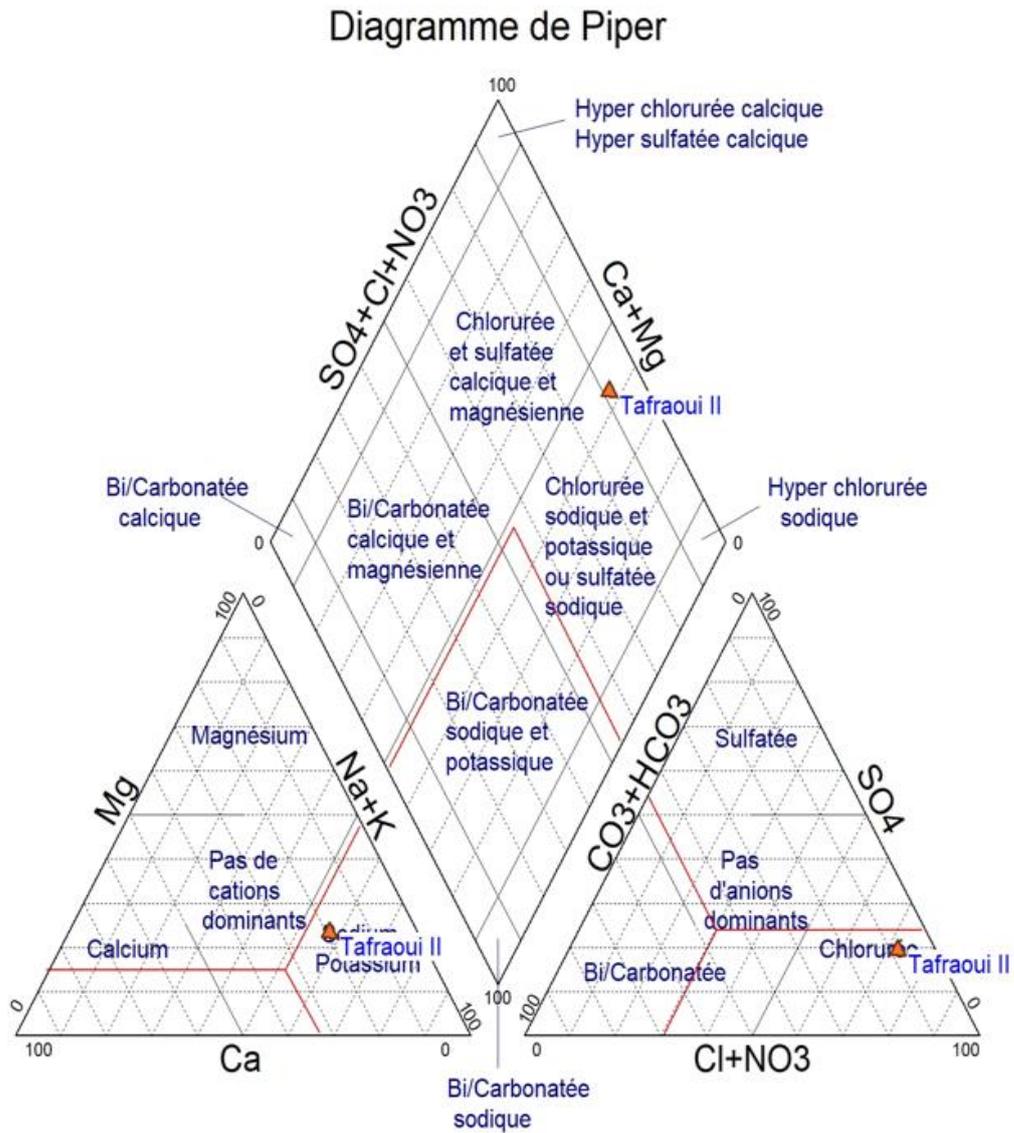


Figure 29 : Diagramme de Piper de l'eau du forage de Tafraoui II

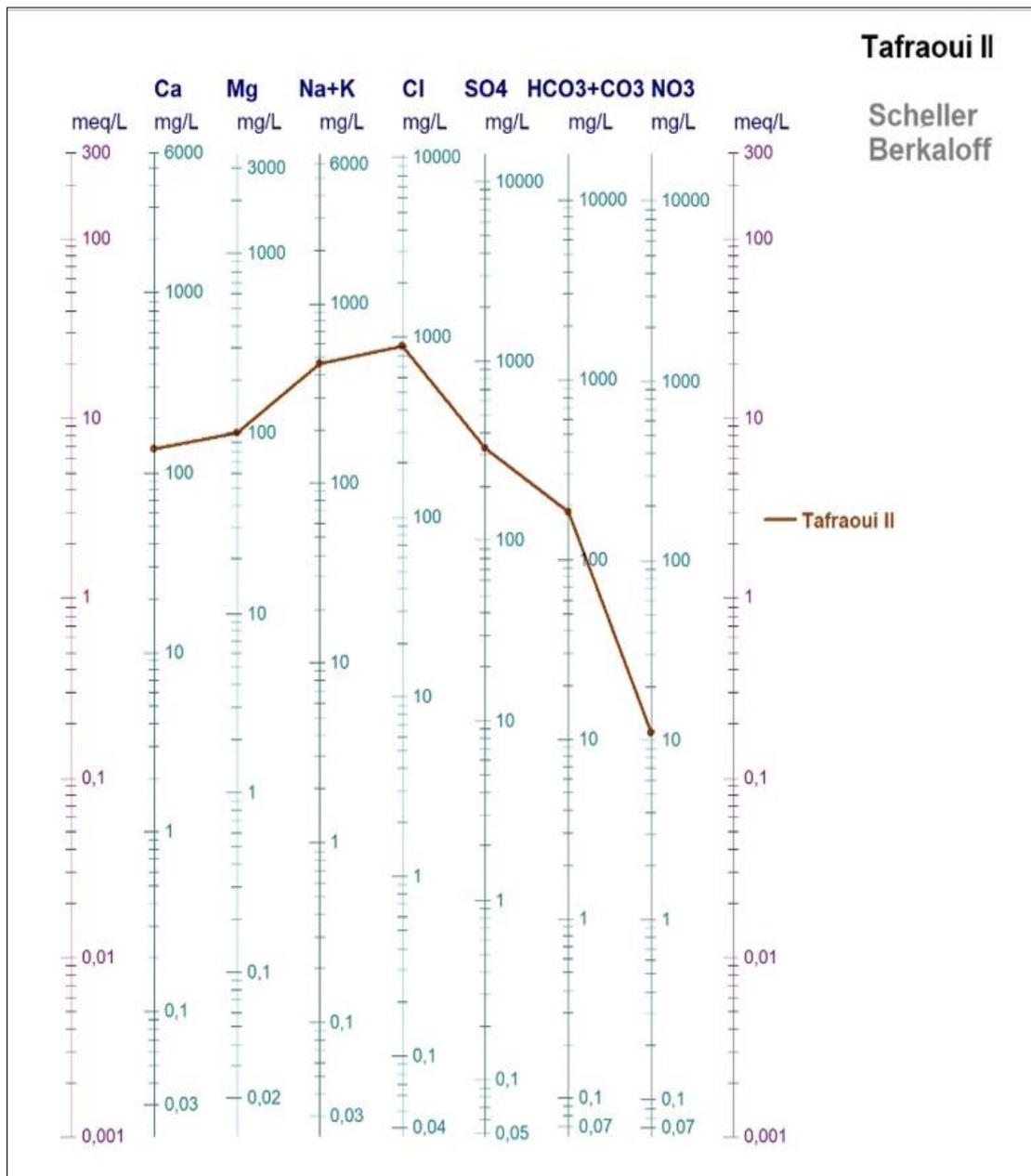


Figure 30 : Diagramme de Schoeller -Berkaloff de l'eau du forage Tafraoui II

### Conclusion

Les essais de puits exécutés sur le forage nous ont permis de déterminer ses caractéristiques hydrauliques, un débit d'exploitation est satisfaisant cependant la nappe est en réserve de fournir un débit très important.

L'analyse physico-chimique met en évidence une eau avec une minéralisation élevée et un faciès Chloruré Sodique qui montre il y a une contribution de la nappe superficielle plio-quaternaire Sallé et gypseuse. Ce faciès est confirmé par les diagrammes de Piper et Schoeller-Berkaloff.

# *Conclusion générale*

## Conclusion générale

### **Conclusion générale**

La région de Tafraoui est située à 24 Km au sud de la wilaya d'Oran. Elle est soumise à un climat méditerranéen de type semi-aride.

Géologiquement, elle appartient au contexte structural du grand sillon occupé par la Grande Sebkhah d'Oran, où se sont accumulés des sédiments d'abord au Néogène puis au Pléistocène et à l'Holocène, atteignant des épaisseurs très importantes par endroits.

L'étude hydrogéologique dans la région de Tafraoui a permis de caractériser deux principaux niveaux aquifères :

- la nappe phréatique du Quaternaire.
- le complexe aquifère du Mio-Pliocène.

Au niveau de cette région, les problèmes posés par l'alimentation en eau potable des habitants, devrait trouver leur solution dans la réalisation du forage.

Dans ce sens, l'objectif de notre étude est le suivi des travaux de réalisation d'un forage d'eau, implanté dans la plaine de Tafraoui-Tlélat (Wilaya d'Oran).

Ce projet de recherche d'eau souterraine par le forage de Tafraoui II pour l'alimentation des régions voisines en eau potable a été réalisé par la direction des ressources en eaux. Le forage a une profondeur de 415m.

L'équipement du forage a pu être effectué dans de très bonnes conditions grâce à la lecture de l'enregistrement de la diagraphie en corrélation avec les cuttings.

Les essais de puits et de nappe réalisés sur le forage ont permis de déterminer ses caractéristiques hydrodynamiques, avec un débit d'exploitation de 10l/s est acceptable parce qu'il est inférieur au débit critique.

L'analyse physico-chimique met en évidence une eau avec une minéralisation élevée et un faciès Chloruré Sodique qui montre il y a une contribution de la nappe superficielle plio-quaternaire Sallé et gypseuse.

### **Recommandations**

Plusieurs mesures de protection peuvent être entreprises pour protéger les eaux de la plaine de la M'leta de la détérioration, nous proposons en l'occurrence :

- la mise en place des périmètres de protection (ou leur agrandissement s'ils existent)
- le raccordement aux réseaux d'assainissement
- la sensibilisation des principaux opérateurs dans la région.

Un suivi rigoureux de la qualité de l'eau aussi bien spatiale que temporelle doit être réalisé, aussi bien sur le plan physico-chimique que bactériologique afin de garantir une eau de bonne qualité.

# **Références Bibliographiques**

## Références Bibliographiques

**A.N.R.H** : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques.

**Benhammadi, H. (1998)** : Contribution de la géophysique à l'étude hydrogéologique de la plaine Tafraoui-Tlelat. Mémoire d'ingénieur d'Etat en hydrogéologie, Sciences de la terre. Univ. Oran.

**Bellaredj, A.E. (2013)** : Caractérisation des eaux souterraines de la plaine de la M'leta (Algérie, Nord-Ouest) par application de méthodes statistiques multivariées et modélisation géochimique. Mémoire de Magister. Univ. Oran.

**C.G.G, 1993** : Compagnie générale de géophysique.

**Douila, A. (2010)** : Implantation et suivi d'un forage de reconnaissance au niveau des piémonts d'Arzew. Sidi Benyebka (wilaya d'Oran). Mémoire d'ingénieur d'Etat en hydrogéologie. Science de la terre. Univ. Oran.

**D.R.E** : Direction des ressources en eau.

**E.R.E.M** : L'entreprise Nationale de l'Exploration Minière.

**Fenet, B. (1975)** : Recherche sur l'alpinisation de la bordure septentrionale du bouclier africain à partir de l'étude d'un élément de l'orogénèse Nord magrébine : les monts de djebel Tessala et les massifs du littoral Oranais. Thèse de doctorat Es Sciences. Université de Nice.

**Guerbouz, M. (2022)** : Implantation et suivi hydrogéologique des travaux de forage d'eau à la commune d'Ain Skhoua w-Saida. Mémoire master en hydrogéologie. Science de la terre. Univ. Oran.

**Hassani, M.I. (1987)** : Hydrogéologie d'un bassin endoréique semi-aride (Le bassin versant de la grande Sebkhia d'Oran-Algérie). Thèse de 3<sup>ème</sup> cycle, Univ. Grenoble.

**Mahamane mato, G. (2020)** : Contribution à L'étude Hydrogéologique et environnementale de la Zone des Hassi (aquifère plio-quadernaire). Oran Est. Mémoire master en hydrogéologie. Science de la terre. Univ. Oran.

**Perrodon, A. (1957)** : Etude géologique des bassins néogènes sublittoraux de l'Algérie occidentale. Publ. Serv.

**Thomas, G. (1985)** : Géodynamique d'un bassin du Chéelif occidental (Algérie) durant le (Moi-Plio-Quadernaire). Thèse de Doctorat Es Sciences. Université de PAU et Pays de l'Adour.