



**Master Sciences et Techniques : Hydrologie de Surface et Qualité des  
Eaux**

## **MEMOIRE DE FIN D'ETUDES**

**Pour l'Obtention du Diplôme de Master Sciences et  
Techniques**

# **Dégagement des Ressources en Eau Souterraine dans la Commune Rurale Ighzrane (Province Sefrou)**

**Présenté par:**

**Halima SOUSSI**

**Encadré par:**

- Aimad BOUAZIZ, ONEEP, RABAT
- Abderrahim LAHRACH, FST - Fès

**Soutenu le 25 Juin 2015 devant le jury composé de:**

- Pr. Abderrahim Lahrach
- Pr Abdel-Ali Chaouni
- Pr. Abdallah Dridri
- Pr. Lahcen Benaabidate
- Pr. Mohammed BENABDELHADI

**Stage effectué à : ONEE-BRANCHE-EAU, RABAT**



# DEDICACE

*Nous rendons grâce à DIEU.*

*Je dédie ce travail*

***À mes parents,***

*Source d'amours et de compréhension inépuisable. Aucune dédicace ne saurait exprimer mon grand amour, mon estime, ma vive gratitude, mon intime attachement et ma profonde affection.*

*Je ne saurais et je ne pourrais vous remercier pour tout ce que vous avez fait pour moi, et ce que vous faites jusqu'à présent.*

*Que DIEU vous garde.*

***À mes chers frères et sœurs,***

*Merci pour votre soutien et encouragement, Je vous souhaite une vie pleine de bonheur et de réussite.*

***À tous les membres de la famille SOUSSI et QASSEMI,***

*Que ce travail soit le témoignage de mon amour et de toute l'affection que je vous porte. Je vous souhaite tout le succès et le bonheur du monde.*

***À mes chers amis,***

*Salwa, Amina, Asmae, Smail, Mohammed, Hassan,*

*Mon profond respect. Je serai toujours présente pour vous soutenir comme vous le faites toujours pour moi.*

***À mon cher encadrant : M. Abderrahim LAHRACH***

***À tous ceux qui nous ont soutenus.***

***À tous ceux qui me sont chers.***

***À tous les universitaires***

**HALIMA SOUSSI**

# REMERCIEMENT

*Je tiens tout d'abord à exprimer mes vifs remerciements à M. Abderrahim LAHRACH, pour son encadrement, ses encouragements et ses précieux conseils dans le suivi de ce travail. Merci pour vos observations et appuis multiformes.*

*Je tiens à remercier aussi J'adresse également mes remerciements à M. MATNI, directeur de la division de dégagement de ressources souterraines pour m'avoir acceptée et accueillie au sein de la division*

*Ma sincère reconnaissance et ma vive gratitude s'adressent à Mon encadrant de stage Mr. Aimad BOUAZIZ pour la qualité de leur encadrement, pour le temps qui m'a consacré, et pour la confiance qui m'a fait.*

*Je tiens à remercier du fond du cœur, tous les agents de la division Mr Hassan QASSEMI de la société GeoAtlas qui m'ont soutenu tout au long de la période de mon stage.*

*Je remercie aussi tous les enseignants de l'FST de Fès et particulièrement le corps Professoral du Master Hydrologie de surface et qualité des eaux pour leurs efforts et leur contribution à notre formation M. LAHRACH, M. BENABIDATE, M. TABYAOUI, Mme RAIS, M. AZAB, M. BENABDELHADI, M. ASSOUIK, M. SOUID, M. CHAOUNI, M. GAROUANI, M. DRIDRI, M. KHALIL, M. CHETIOUI, M. DRAZ, M. HASSANI, M. DAROUICH et M. JEBRANE, Mme BENJELOUNE...*

*Je tiens à exprimer mes vifs remerciements aux membres de jury qui m'ont fait l'honneur de bien vouloir juger ce travail et l'enrichir par leurs différentes remarques, observations, critiques et suggestions.*

*Merci à tous ceux et celles qui ont participé de près ou de loin à l'élaboration de ce modeste travail, qu'ils trouvent ici l'expression de mes sentiments les plus sincères, Mlle Salwa AARABE, Mme Salwa MNISSAR,*

Table des matières

<b>LISTE DES TABLEAUX</b> .....	<b>8</b>
<b>LISTE DES FIGURES</b> .....	<b>9</b>
<b>LISTE DES ABREVIATIONS</b> .....	<b>10</b>
<b>INTRODUCTION GENERALE</b> .....	<b>13</b>
<b>PARTIE 1 : PRESENTATION DE LIEU DE STAGE, PROBLEMATIQUE, CADRE GENERAL DE LA ZONE D'ETUDE</b> .....	<b>14</b>
<b>CHAPITRE I : PRESENTATION DE L'OFFICE NATIONAL DE L'ELECTRICITE ET DE L'EAU POTABLE</b> .....	<b>15</b>
<b><i>I- Presentation de l'ONEE</i></b> .....	<b>15</b>
<b><i>II- Les principales missions</i></b> .....	<b>15</b>
<b><i>III- Division de dégagement des ressources en eaux souterraines</i></b> .....	<b>15</b>
<b>CHAPITRE II : PROBLEMATIQUE, CADRE ADMINISTRATIF ET DONNEES COMMUNALES</b> .....	<b>17</b>
<b><i>I- Problématique</i></b> .....	<b>17</b>
<b><i>1.1. Problématique d'eau au Maroc</i></b> .....	<b>17</b>
<b><i>1.2. Problématique d'eau dans la Commune Rurale d'Ighzrane</i></b> .....	<b>17</b>
<b><i>II- Cadre administratif et localisation géographique</i></b> :.....	<b>18</b>
<b><i>III- Aire de l'étude</i></b> .....	<b>20</b>
<b><i>IV- Topographie</i></b> .....	<b>20</b>
<b><i>V- Démographie</i></b> .....	<b>20</b>
<b><i>VI.1-Les ressources en eau</i></b> .....	<b>21</b>
<b><i>VI.1.1-Les besoin en eau de la population</i></b> .....	<b>21</b>
<b><i>VI.1.2Ressources exploitées</i></b> .....	<b>22</b>
<b><i>VI.1.3- Bilan besoins/ressources</i></b> .....	<b>22</b>
<b><i>VI- Infrastructure de base</i></b> .....	<b>23</b>
<b><i>VI.1.L'assainissement liquide</i></b> .....	<b>23</b>
<b><i>VI.2.L'assainissement solide</i></b> .....	<b>23</b>
<b><i>VI.3.Autres infrastructures</i></b> .....	<b>23</b>
<b><i>VII- Situation socio-économique</i></b> .....	<b>23</b>
<b><i>VIII- Cadre climatique</i></b> .....	<b>24</b>
<b><i>IX- Cadre hydrologique</i></b> .....	<b>24</b>
<b><i>IX. 1. Les Oueds</i></b> .....	<b>24</b>

IX. 2. Les sources .....	24
<b>X- Cadre géologique.....</b>	<b>25</b>
<b>XI. Cadre hydrogéologique.....</b>	<b>26</b>
<b>PARTIE 2 : ETUDE GEOPHYSIQUE ET REALISATION DE FORAGE D'EXPLOITATION D'EAU SOUTERRAINE.....</b>	<b>28</b>
<b>CHAPITRE I : ETUDE GEOPHYSIQUE .....</b>	<b>29</b>
<b>I- Les méthodes géophysiques .....</b>	<b>29</b>
<b>I.1.Les types de diagraphies .....</b>	<b>29</b>
I.1.1.Log PS : .....	29
I.1.2. Le log single point ou monoélectrode .....	30
I.1.3. Log de résistivité.....	30
I.1.4. Log de température et conductivité .....	30
I.1.5Log Gamma ray.....	31
I.1.6 Diamètreur.....	31
I.1.7 Déviation.....	31
<b>II- Résultats et discussions .....</b>	<b>32</b>
II.1 Sondage 1 .....	32
II.1.1 Conclusion.....	33
II.2 Sondage 2 .....	36
II.2.1 Conclusion.....	37
II.3 Sondage 3 .....	40
II.3.1 Conclusion.....	42
<b>CHAPITREII : REALISATION DE FORAGE D'EXPLOITATION D'EAU SOUTERRAINE</b>	<b>45</b>
<b>I- Situation géographique de forage :.....</b>	<b>45</b>
<b>II- Mode d'exécution et techniques utilisées .....</b>	<b>46</b>
II.1La Verticalité et l'inclinaison du forage .....	46
II.2Alésage de forage :.....	47
<b>III- Equipement de forage :.....</b>	<b>48</b>
III.1introduction.....	48
III.2Suivi géologique.....	48
III.3 Gravillonnage .....	50
III.4 Cimentation.....	50
<b>IV- Développement de l'ouvrage .....</b>	<b>51</b>
<b>V- Les Caractéristiques hydrodynamiques de la nappe.....</b>	<b>53</b>
V.1Essai par palier .....	53
V.2 Etude des pertes de charges :.....	56
V.3 Essai de longue durée.....	58

<i>V.3.1</i> Calcule de transmissivité .....	60
<b>CONCLUSION</b> .....	<b>63</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b> .....	<b>64</b>

## Liste des tableaux

---

**Tableau 1** : Cadre administratif de la commune Ighzrane

**Tableau 2** : Besoins en eau de la population en l/s

**Tableau 3**: Caractéristiques des ressources en eau de la commune rurale d'ighzrane

**Tableau 4**: Bilan besoins/ressources

**Tableau 5**: Les zones d'aménagement de la commune rurale et urbain

**Tableau 6**: Les principales sources de la CR Ighzrane

**Tableau 7**: Les coordonnées de localisation de forage

**Tableau 8**: Le rabattement en fonction de temps au cours de développement de forage

**Tableau 9** : La remonté de niveau de l'eau après développement

**Tableau 10** : Les résultats des trois paliers

**Tableau 11** : Caractéristiques des trois paliers

**Tableau 12** : Calcul des pertes de charge pour différents débits

**Tableau 13** : Les résultats de l'essai de longue durée

**Tableau 14**: La remonté de niveau d'eau après l'essai de longue durée

## Liste des figures

---

- Figure 1:** L'organigramme d'ONEE- BRANCHE EAU
- Figure 2:** Les Cartes de localisation de la zone d'étude
- Figure 3:** L'évolution de la population dans la commune d'Ighzrane
- Figure 4:** L'évolution des Besoins en eau de la population à l'horizon 2030
- Figure 5 :** Réseaux hydrographique de la zone d'étude (ABHS)
- Figure 6 :** Carte géologique simplifié du couloir Fés-Taza
- Figure 7:** La Situation de la zone d'étude dans la nappe du couloir Fés-Taza (ABHS)
- Figure 8:** L'origine de la polarisation spontanée
- Figure 9:** Représentation schématique de l'invasion
- Figure 10:** Log du Sondage 1
- Figure 11:** Diagraphie du sondage 1
- Figure 12:** Log du sondage 2
- Figure 13:** Diagraphie du sondage 2
- Figure 14:** Log du sondage 3
- Figure 15:** Diagraphie du sondage 3
- Figure 16:** Situation géographique a partir de la carte topographique de Ribat el kheir
- Figure 17 :** Principe du forage marteau fond du trou
- Figure 18 :** Les graphiques de déviation du forage
- Figure 19 :** Principe de la technique de forage rotary
- Figure 20 :** Log du forage
- Figure 21 :** Coupe technique de forage
- Figure 22 :** La courbe de descente de niveau d'eau pendant développement du forage
- Figure 23 :** La courbe de remonté de niveau de l'eau après développement
- Figure 24 :** La courbe caractéristique
- Figure 25 :** La remonté de niveau de l'eau après les paliers
- Figure 26 :** Calcule des termes de la fonction de Jacob
- Figure 27 :** Calcule des termes de la fonction de Jacob
- Figure 28 :** Le rabattement au cours de l'essai de longue durée
- Figure 29 :** Le rabattement après arrêt de pompage

## Liste des abréviations

---

**SAEP** : Système d'Alimentation en eau potable

**CR** : Commune rurale

**CU** : Commune Urbaine

**Qm** : Débit moyen

**Qpj** : Débit de pointe journalière.

**Qph** : Débit de pointe horaire



Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme de Master Sciences et Techniques

**Nom et prénom: Halima SOUSSI**

**Année Universitaire : 2015/2016**

**Titre: Dégagement des Ressources en Eau souterraine dans la Commune Rurale Ighzrane**

**(Province Sefrou)**

### **Résumé**

La disponibilité de la ressource en eau en quantité suffisante et en qualité adéquate constitue la principale limite pour l'approvisionnement en eau potable des populations dans le contexte des pays arides, notamment au Maroc. Le secteur de l'Alimentation en Eau Potable en milieu Rural (AEPR) n'a pas connu un développement comparable à celui du milieu urbain, à cause des difficultés liées essentiellement à la dispersion de l'habitat, à l'insuffisance des investissements publics dans le secteur.

Dans ce cadre notre étude s'appuie sur le dégagement des ressources en eau pour l'alimentation des douars relevant de la commune rurale Ighzrane de la province de Sefrou. Cette étude, qui sera fondée sur la synthèse de l'ensemble des données existantes sur la zone considérée, a pour buts essentiels :

✚ Une étude géophysique par la réalisation de trois opérations de diagraphe afin de déterminer la lithologie du sondage, les conditions hydrogéologiques des sondages (Existence et épaisseur et qualité chimique des aquifères)

✚ La réalisation d'un captage d'eau et détermination des conditions optimales d'exploitation (débit critique, débit d'exploitation, position de la pompe).

### **Mots clés :**

Commune rurale ighzrane - dégagement des ressources en eau - captage d'eau - Diagraphie -Sondage -Essai de pompage.

# *ABSTRACT*

The availability of sufficient water resources or adequate quality is the main limit for the supply of drinking water to the population in the context of arid countries, including morocco.

However, the food sector of drinking water in rural areas (AEPR) has not had a development comparable to that of urban areas, due to difficulties related primarily to the dispersion of the habitat, inadequate investment in the sector published and the weakness of the institutional framework.

In this context our study is based on disengagement of water resources for feeding douars under Ighzrane rural commune of Sefrou province. This study that will be based on the synthesis of all existing data on the area considered as essential aim:

✚ A geophysical study in the achievement of three logging operations to determine( Litho logy of the survey, he conditions for hydrogeological (Existence, Thickness and Chemical quality of the aquifers)

✚ The realization of a water collection and The optimal conditions (critical flow, operational flow, the pump position)

## **Keywords**

Ighzrane rural commune - degagement water resources - water catchment - logging -survey - pumping test.

## Introduction générale

---

Depuis la plus haute antiquité et dans beaucoup de régions du monde, les êtres humains ont su tirer du sous-sol une part notable, parfois majeure, de l'eau nécessaire à leurs besoins.

Partout où des eaux souterraines accessibles et exploitables ont été reconnues, il a été compris qu'elles étaient des sources d'approvisionnement plus extensives, les eaux de surface surtout dans les régions du monde où celles-ci sont rares et irrégulières, tout particulièrement en zones aride et semi-aride et plus à la portée de nombreux usagers. Aussi, l'exploitation et l'utilisation des eaux souterraines ont-elles une forte spécificité dans l'économie de l'eau

Le Maroc, très actif au plan régional dans les réflexions sur le secteur de l'eau, joue un rôle pionnier sur la gestion des eaux souterraines et la mise en place de contrats de nappe. Cet enjeu, majeur dans tout le bassin méditerranéen, représente un volet important du programme sur la gestion de la demande en eau.

L'objectif général du projet est le dégagement des ressources en eau souterrains dans la commune rural d'Ighzrane par la réalisation d'une étude géophysique essentiellement par la technique de diagraphie afin d'affiner la localisation de site sur laquelle seront effectués les travaux de forage d'exploitation d'eau.

Le présent travail comprend deux parties :

La première partie est consacrée au cadre général de la zone d'étude à savoir cadre administratif, démographie, besoin en eau, aspect socio-économique, cadre climatique hydrologique, géologique et hydrogéologique de la zone d'étude.

La deuxième partie est dédié à la réalisation de trois sondages géophysiques et la réalisation d'un forage d'eau souterraine.

## **Partie 1 : Présentation de lieu de stage, problématique, cadre général de la zone d'étude**

---

# Chapitre I : Présentation de l'Office National de l'Electricité et de l'Eau Potable

---

## *I- Présentation de l'ONEE*

L'**Office National de l'Electricité et de l'Eau Potable**(ONEEP) est un établissement public marocain, à caractère industriel et commercial doté de la personnalité civile et de l'autonomie financière.

Créé en 1972, est un établissement semi-public à caractère industriel et commercial doté de la personnalité civile et de l'autonomie financière, placé sous la tutelle du ministère des travaux de l'aménagement du territoire de l'eau et l'environnement et sous le contrôle financier du ministère des finances.

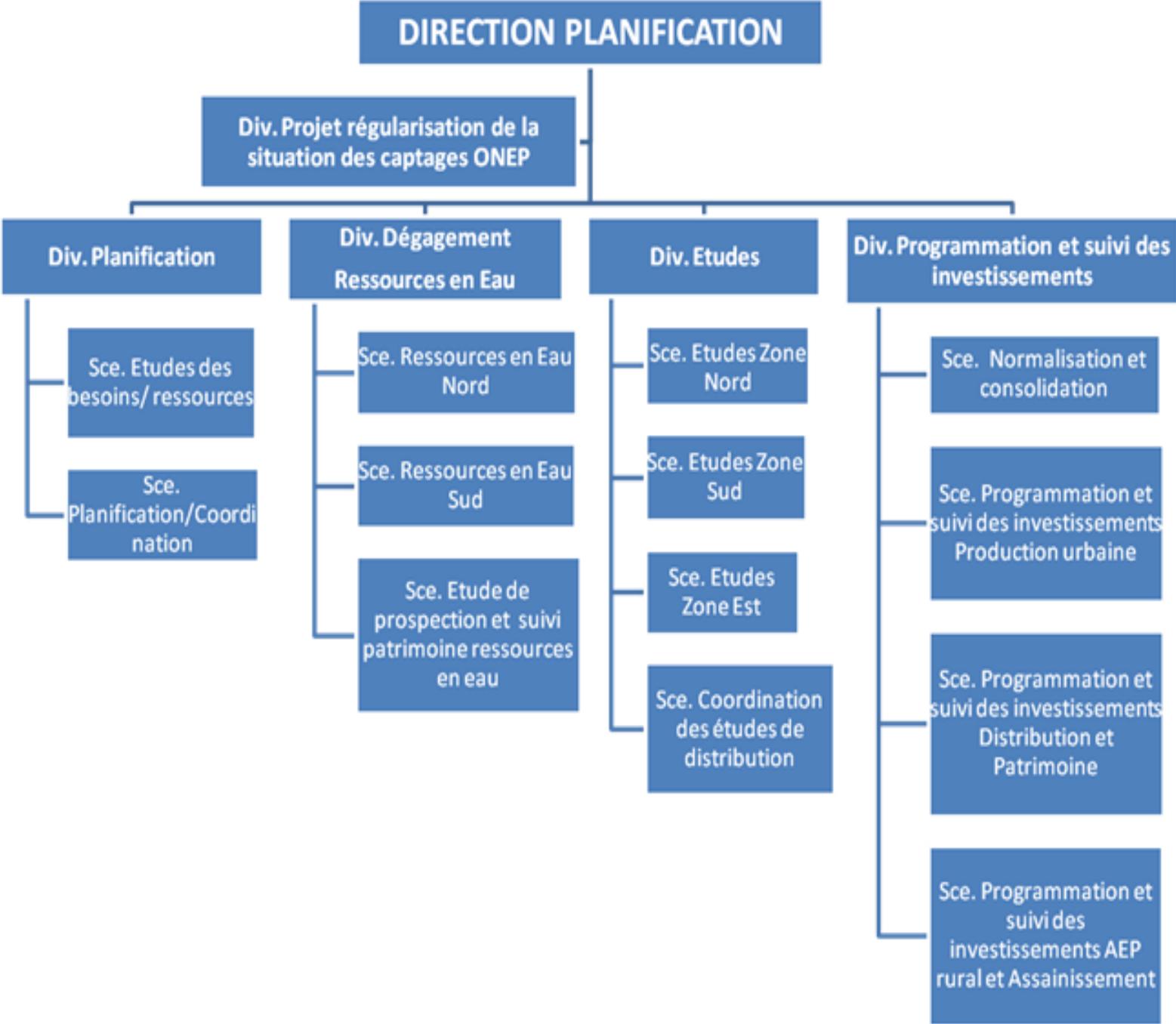
## *II- Les principales missions*

Les principales missions vont de la planification (figure 1) et de l'approvisionnement en eau potable jusqu'à sa distribution en passant par les phases de l'étude, conception, réalisation, gestion et exploitation des unités de production et de distribution et du contrôle de la qualité des eaux jusqu'à la protection de la ressource et ce en collaboration et coordination avec les autres organismes concernés intervenants dans ce domaine

## *III- Division de dégagement des ressources en eaux souterraines*

Je fût accueillie pour mon stage dans la division de dégagement des ressources en eau souterraine. Celle-ci à pour missions :

- Réaliser des études des ressources en eau souterraines.
- Assurer le suivi du patrimoine des ressources en eau souterraines de l'Office.
- Superviser la réalisation, la maintenance et la réhabilitation des captages d'eau.



**Figure 1 : L'organigramme d'ONEE- BRANCHE EAU**

## Chapitre II : Problématique, Cadre administratif et données communales

---

### *I- Problématique*

#### *I. 1. Problématique d'eau au Maroc*

Le Maroc dispose de ressources en eau relativement importantes, le potentiel hydraulique mobilisable est estimé à 21 milliards de m<sup>3</sup> (16 milliards de m<sup>3</sup> d'eaux de surface et 5 d'eaux souterraines). Mais l'appartenance du Maroc aux domaines semi-aride et aride et la croissance continue de la demande en eau sont à l'origine de l'insuffisance des ressources disponibles et de conflits entre utilisations dans les moments de pénurie. L'eau représente une ressource insuffisante en comparaison avec les besoins en progression rapide.

Les perspectives sont d'ores et déjà difficiles, encore plus si la tendance à l'irrégularité, si non même à l'assèchement climatique se confirme. La ressource en eau a déjà tendance à diminuer du fait de la croissance démographique. De 1990 à 2000, les ressources en m<sup>3</sup> par habitant et par an ont baissé de 1200 à 950. D'ici 2020, la ressource ne sera plus que de 632 m<sup>3</sup>/h/an, à un moment où la demande en eau totale aura atteint le plafond des 20 à 21 km<sup>3</sup> d'eaux mobilisables.

#### *I.2. Problématique d'eau dans la Commune Rurale d'Ighzrane*

Conscient des enjeux stratégiques liés au secteur de l'eau, la commune rurale d'Ighzrane fait face à une croissance continue et rapide de la demande globale en eau liée notamment à l'évolution démographique de l'agriculture et de l'industrie.

Cependant, la première contrainte est la forte évolution démographique attendue dans la région. Et d'autre part l'habitat en milieu rural est caractérisé par une grande dispersion. De ce cadre on va réaliser une étude dont l'objectif est d'évaluer, pour chaque douar, les besoins en eau et de réaliser trois sondages géophysique et un nouveau forage d'eau pour répondre à ces besoins.

## ***II- Cadre administratif et localisation géographique :***

La commune rurale Ighzrane se trouve sur l'unité géographique dite Couloir Fès-Taza. Elle se situe à 74 Km au Sud-Est de la ville de Fès, sur la route régionale R504 reliant la nationale N6, à proximité du centre Ras Tabouda, au centre Ribate El Kheir. (figure 2).

La commune Ighzrane est créée lors du découpage administratif de 1992 (tableau 1).

**Tableau 1 : Cadre administratif de la zone d'étude**

<b>Commune Rurale</b>	<b>Caïdat</b>	<b>Cercle</b>	<b>Province</b>	<b>Région</b>
<b>Ighzrane</b>	Ighzrane	El Menzel	Sefrou	Fès-Boulemane

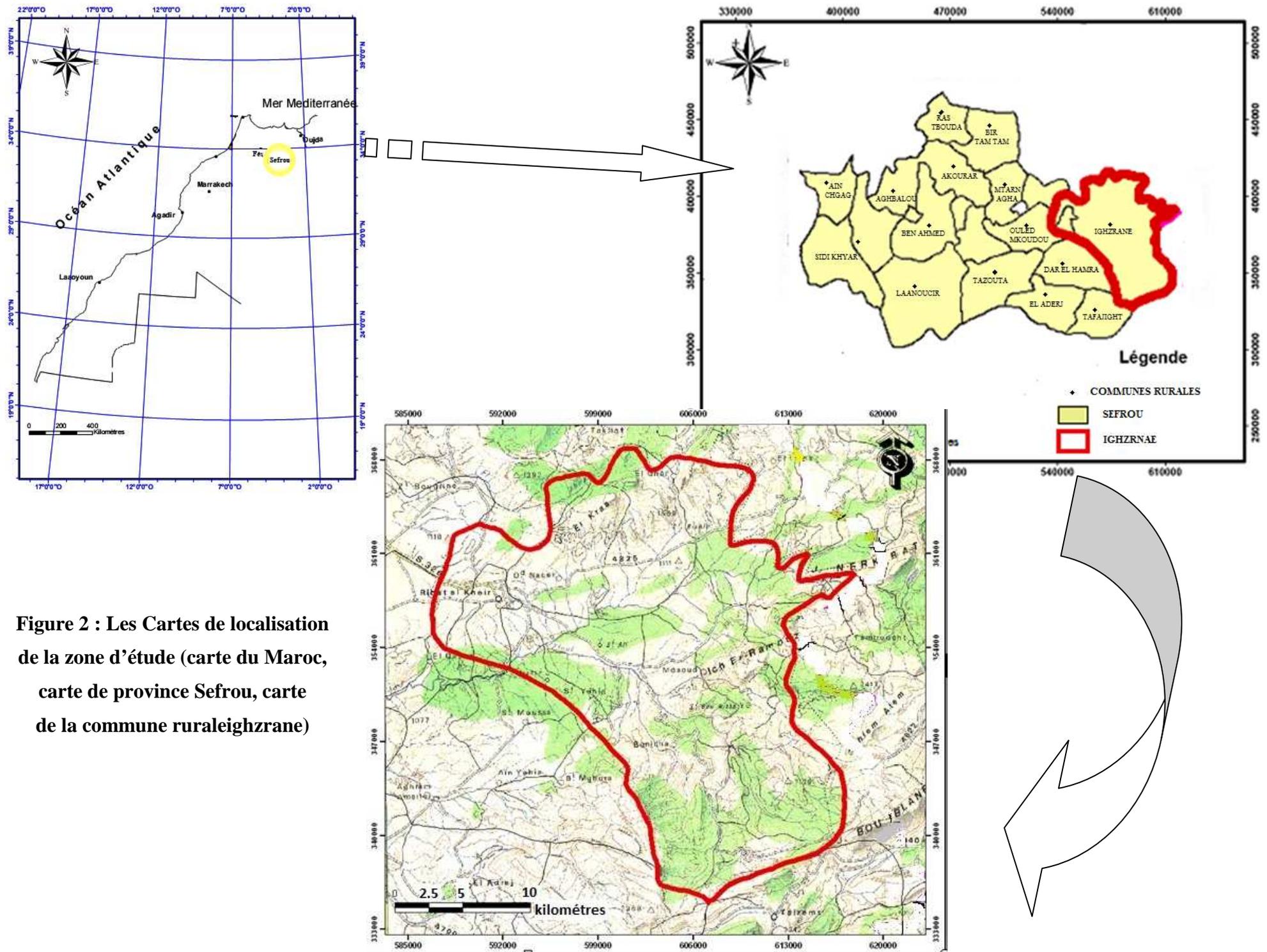


Figure 2 : Les Cartes de localisation de la zone d'étude (carte du Maroc, carte de province Sefrou, carte de la commune ruraleighzrane)

### ***III- Aire de l'étude***

L'aire de l'étude cerne tous les douars de la commune. Ces douars sont en majorité situés à l'Ouest aux alentours de la CU Ribate El Kheir. La surface totale de la commune est estimée à 576 Km<sup>2</sup>. L'horizon du projet est fixé à l'an 2030.

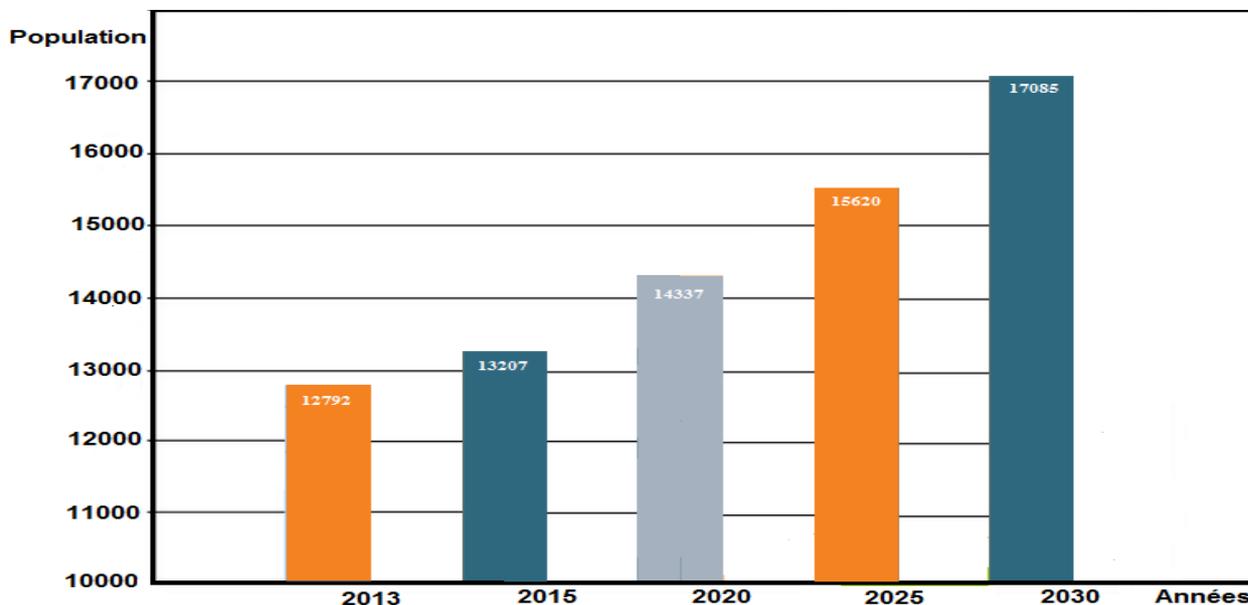
### ***IV- Topographie***

La commune Ighzrane se situe en projection Lambert entre les abscisses 584 Km et 620 Km et entre les Ordonnées 334 Km et 370Km. L'aire de la commune est caractérisée par la configuration montagneuse accidentée et se situe entre les altitudes 800 et 2800 m NGM.

### ***V- Démographie***

Le nombre total des habitants de la commune était de l'ordre de 11050 habitants en 2004 et a atteint 12792 habitants en 2013. En effet, l'exode rural fait que les douars périphériques à Ribate El Kheir reçoivent la population des douars lointains de la commune.

Pour s'approcher de l'évolution réelle tout en évitant les taux pessimistes (figure 3), on a proposées des taux par douar variant entre 1 et 4(annexe 1).



**Figure 3 : L'évolution de la population dans la zone d'étude**

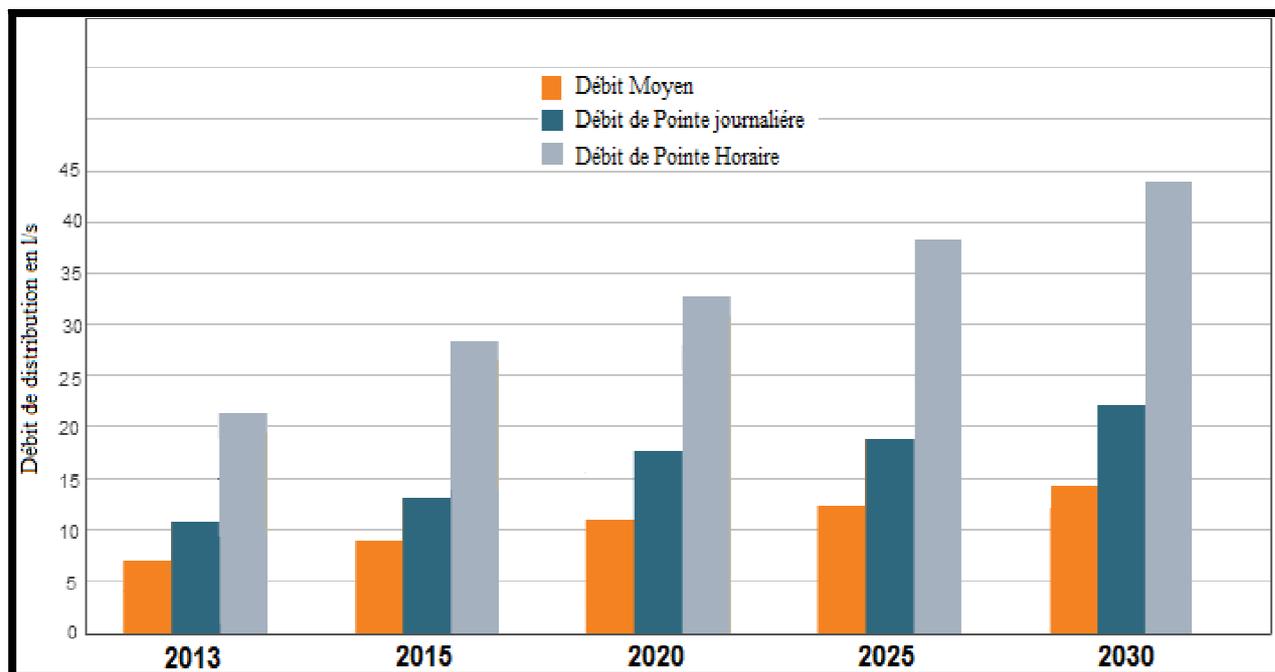
## VI.1-Les ressources en eau

### VI.1.1-Les besoin en eau de la population

Sur la base des paramètres de projection de population énoncés à l'horizon 2030. Le tableau 2 et la figure 4 présente le résumé des besoins de la population de la zone d'étude.

**Tableau 2 : Besoins en eau de la population en l/s**

CR Ighzrane	Débit moyen à la distribution				
	2013	2015	2020	2025	2030
Total débit moyen à la distribution Qm (l/s)	7.19	9.17	11.20	12.88	14.68
Total débit de pointe journalière à la distribution Qpj (l/s)	10.78	13.76	16.80	19.32	22.02
Total débit de pointe horaire à la distribution Qph (l/s)	21.57	27.51	33.60	38.64	44.05



**Figure 4 : L'évolution des Besoins en eau de la population à l'horizon 2030**

### VI.1.2 Ressources exploitées

La commune est alimentée en eau potable à partir du système adducteur du centre de Ribat el kheir. Afin de mieux connaître la situation actuelle, en matière d'eau potable dans la commune rurale d'Ighzrane,

Le tableau 3 englobe les ressources en eau exploitées actuellement pour l'approvisionnement en eau potable de la CR Ighzrane ainsi que la CU Ribate El Kheir.

**Tableau 3 : Caractéristiques des ressources en eau de la zone d'étude**

DÉSIGNATION	F IRE N° 955/16	P IRE N° 42/16	PIRE N° 58/23	PIRE N° 674/23	PIRE N° 640/23
<b>X(m)</b>	589 770	589715	586 985	598.042	599.05
<b>Y(m)</b>	360 480	360 230	358 090	354.900	350.88
<b>Z (m NGM)</b>	1060	1053	1010	1010	1015
<b>Débit exploité (l/s)</b>	4.5	11	11	3	8,37
<b>Profondeur Totale (m)</b>	<b>122</b>	<b>30</b>	<b>32</b>	<b>100</b>	<b>106</b>

### VI.1.3- Bilan besoins/ressources

Le bilan besoins/ressources prend en considération les besoin du centre Ribate El Kheire du fait que les systèmes d'AEP des deux communes sont reliés, et les forages et les puits pris en considération dans les calculs sont les ouvrages d'exploitation seulement.

**Tableau 4 : Bilan besoins/ressources**

	2013	2015	2020	2025	2030
<b>Besoins Pj CR Ighezrane</b>	14,98	19,11	23,33	26,84	30,59
<b>Besoins PjRibate El Kheire</b>	21	22	26	29	33
<b>Besoins PjRibate El Kheire+Ighezrane</b>	35,98	41,11	49,33	55,84	63,59
<b>Débit exploitables disponibles des forages</b>	37,87	37,87	37,87	37,87	37,87
<b>Bilan</b>	1,89	-3,24	-11,46	-17,97	-25,72

Le tableau 4 montre que les besoins en eau de l'aire étudiée dépassent largement les ressources de 3.24 l/s actuellement. Cette différence baisse à -25.72 en 2030.

## ***VI- Infrastructure de base***

### **VI.1.L'assainissement liquide**

Le réseau des eaux usées des douars de la Commune Rural ighzrane est prévu en deux systèmes, le premier concerne l'équipement de 15 douars par un réseau de collecte des eaux usées pour les évacuer dans des fosses septiques, le deuxième système consiste à collecter les eaux usées et les évacuer dans des puits perdus pour leur infiltration ou bien de jetée à l'extérieur, il concerne les douars restants.

### **VI.2.L'assainissement solide**

Il n'existe pas de décharge public contrôlée ni une collecte organisée des ordures ménagères, celles-ci sont en général soit recyclées en agriculture comme engrais, soit utilisées comme aliments complémentaires pour les animaux. La coutume des habitants des douars est l'incinération des ordures ménagères dans des lieux aménagés à proximité des habitations ou les rejeter au niveau de dépôts sauvages existants à la périphérie des différents douars et sur les rives des châabas et oueds au voisinage des douars; parfois les déchets solides sont mélangés avec les fumiers.

### **VI.3.Autres infrastructures**

Les différentes zones d'aménagement sont données dans le tableau 5 suivant :

**Tableau 5: Les zones d'aménagement de la zone d'étude**

Ecole	Collège	Lycée	Souk	Administration	Equipement de santé	Electricité	Equipement socio-sportif	Mosquées
4	3	1	1	2	2	80 %	2	4

## ***VII- Situation socio-économique***

Les activités économiques prédominantes dans la commune rurale sont l'agriculture et l'élevage, la superficie agricole utile dans la commune représente 7420 ha, et l'élevage constitue la seconde activité du monde rural et se pratique souvent en corrélation avec l'agriculture.

### ***VIII- Cadre climatique***

Le climat de la région est dans son ensemble un climat continental, chaud et sec en été et pluvieux en hiver dans la province de Sefrou où les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de 460 mm, les températures moyennes annuelles sont de 16 °C avec un maxima moyen de 25 °C et un minima de 9,5 °C. Les vents les plus dominants chauds et secs soufflent pendant l'été dans les directions Nord-Nord-Est.

### ***IX- Cadre hydrologique***

La zone d'étude est parcourue par plusieurs oueds dont principalement oued Zloul, Oued El Qarya. Ces oueds s'alimentent principalement dans le domaine atlasique où les précipitations sont importantes.

#### ***IX. 1. Les Oueds***

Les principaux oueds (figure 5) qui traversent la zone d'étude sont :

➤ Oued Zloul

Il prend naissance d'AïnTimedrine, ses apports en amont de la station de référence de Dar Hmra, dus aux fortes précipitations (715 mm par an), modifient sensiblement le régime du Sebou.

➤ Oued El Quarya

Comme oued zloul, les apports de oued el qarya dû aux fortes précipitations 85 Mm<sup>3</sup>/an.

#### ***IX. 2. Les sources***

Dans la zone du projet, il existe un nombre important de sources (tableau 6), mais avec des débits différents. Ces sources constituent les exutoires naturels des aquifères.

**Tableau 6: Les principales sources de la zone d'étude**

<b>Sources</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Douar</b>	<b>Q (l/s)</b>
<b>Bouamer</b>	603 950	366 800	El Ghar	4
<b>Mkhatsejra</b>	606 790	352 010	Lamdaoud	5
<b>Lamdaoud</b>	606 810	351 990	-	39

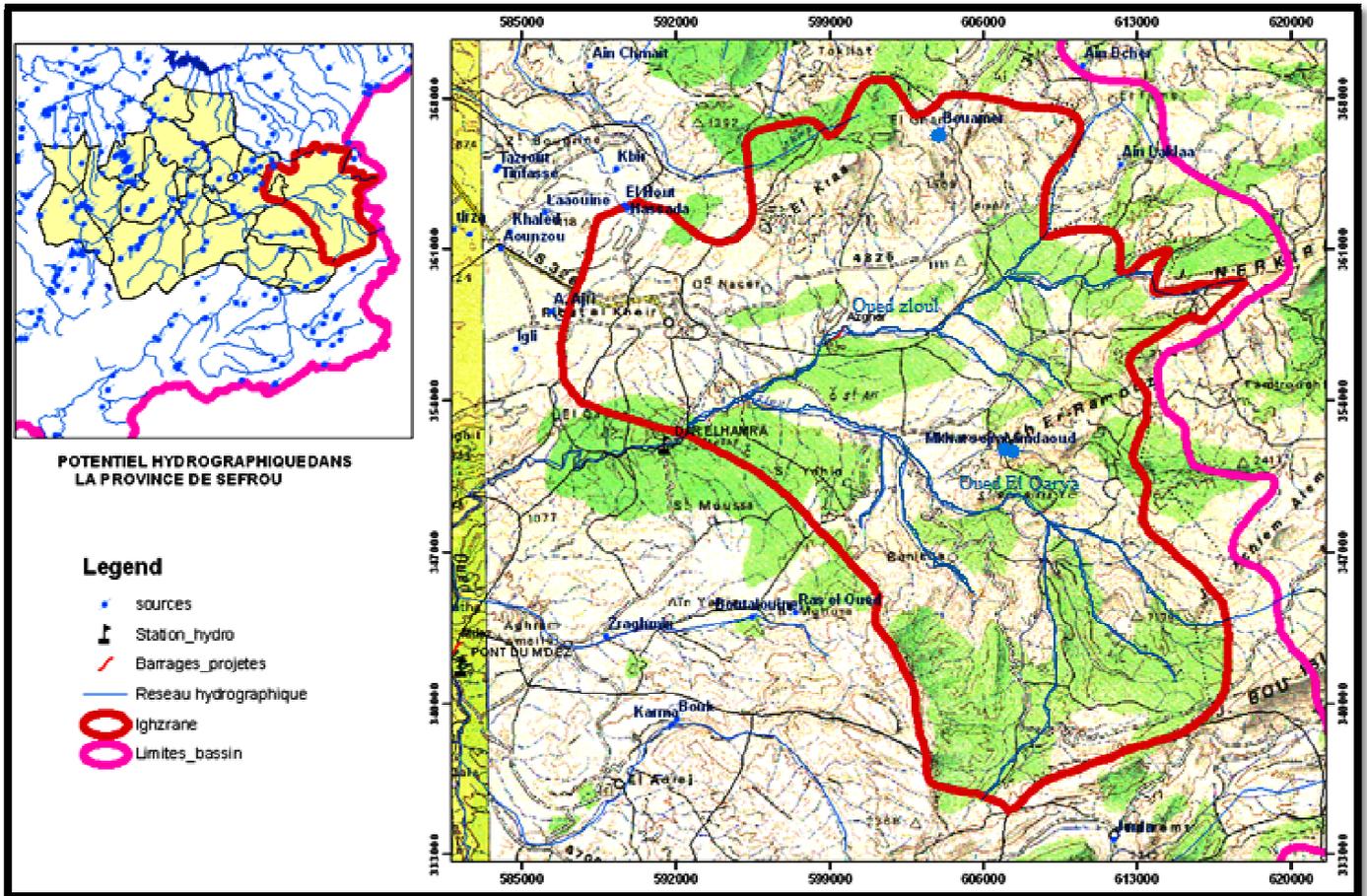


Figure 5 : Réseaux hydrographique de la zone d'étude (ABHS)

### *X- Cadre géologique*

La zone d'étude fait partie du couloir fés-taza (figure 6), un fossé de marnes miocènes, de formes triangulaire compris entre le Rif au Nord et le Moyen Atlas au Sud. Il se rétrécit progressivement d'Ouest en Est, pour disparaître vers l'Ouest de taza.

La zone d'étude comprend une série stratigraphique qui est constituée par les formations suivantes :

- Les terrains paléozoïques qui sont composés essentiellement de schistes, grés, pélites et de quartzites ;
- Les terrains du Trias-infra lias qui sont constitués d'argiles rouges (à traces de gypse et de sel) dans lesquelles une importante coulée de basaltes ;
- Le Lias inférieur et moyen sont caractérisé par les dolomies et les calcaires ;
- Les formations messéniennes (Miocène supérieur) reposent sur les dolomies liasiques les calcaires, les siltes et les marnes sableuses ;
- Le Plio-Quaternaire est caractérisée par des dépôts continentaux fluvio-lacustres et travertineux.

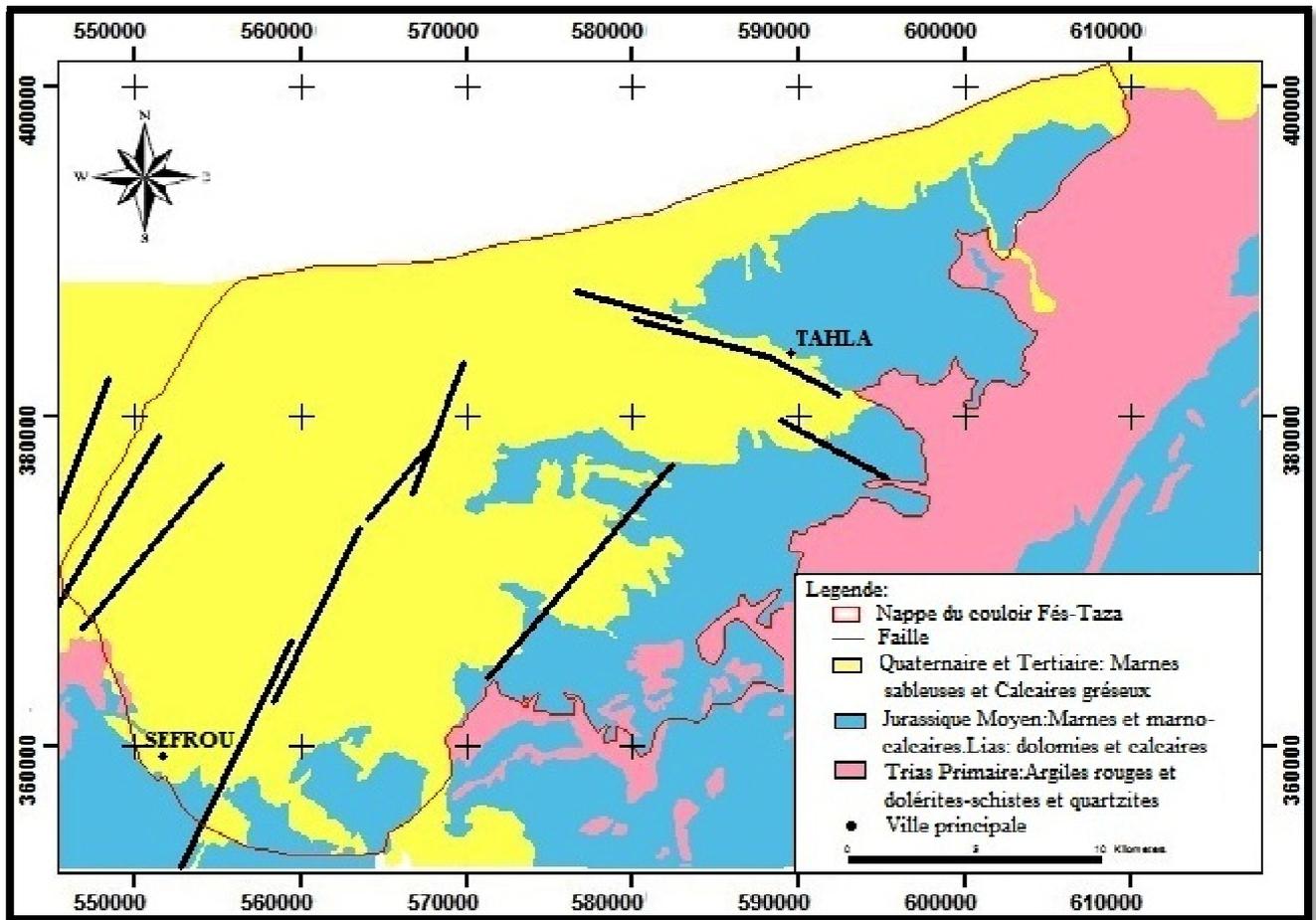


Figure 6 : Carte géologique simplifié du couloir Fés-Taza

### ***XI. Cadre hydrogéologique***

La nappe du couloir fés-taza couvre une superficie d'environ 1200 Km<sup>2</sup> et elle est constituée par deux niveaux aquifères d'importance inégale : le premier représenté par les grès du miocène de faible potentiel mobilisable et le second représenté par les carbonates liasiques constituant l'aquifère principal de la zone. La figure 7 montre la situation de la zone d'étude dans la nappe du couloir fés-taza.

Les niveaux géologiques susceptibles de jouer le rôle de réservoirs aquifères de grande importance sont:

- Les formations calcaire-dolomitiques perméables.
- Les formations continentales caillouteuses est un réservoir particulièrement intéressant lorsqu'il remplit les fonds de synclinaux.
- Les formations graveleuses des fonds de vallées d'oueds et des terrasses est susceptible d'être le siège de sous-écoulements intéressants.

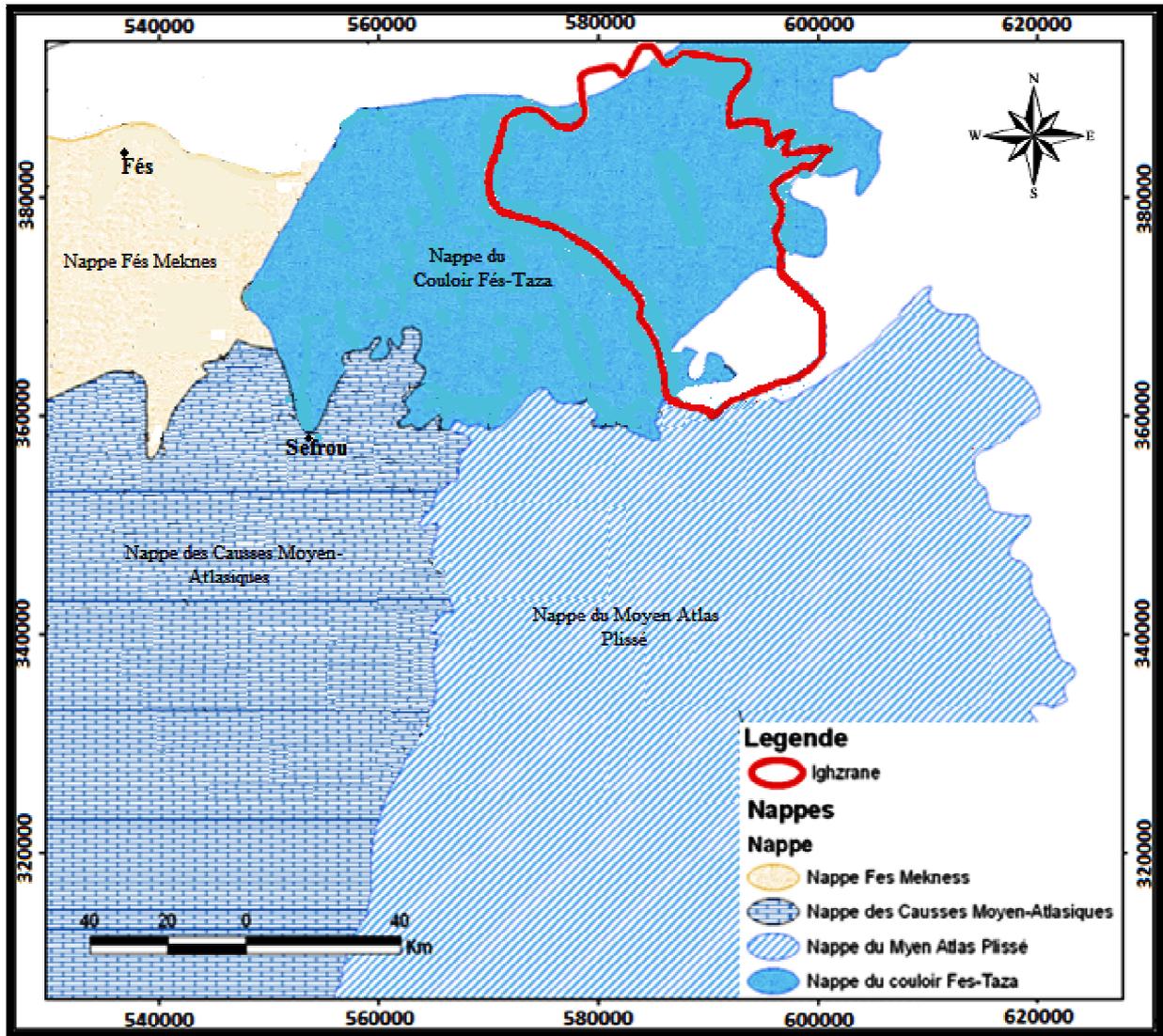


Figure 7: Situation de la zone d'étude dans la nappe du couloir Fés-Taza(ABHS)

**Partie 2 : Etude géophysique et réalisation de forage  
d'exploitation d'eau souterraine**

---

# Chapitre I : Etude géophysique

## I- Les méthodes géophysiques

Les diagraphies sont des techniques géophysiques mises en œuvre à l'intérieur d'un forage. Elles sont complémentaires des techniques géophysiques de surface qui, elles, permettent d'obtenir des informations représentatives d'importants volumes de terrain.

### I.1. Les types de diagraphies

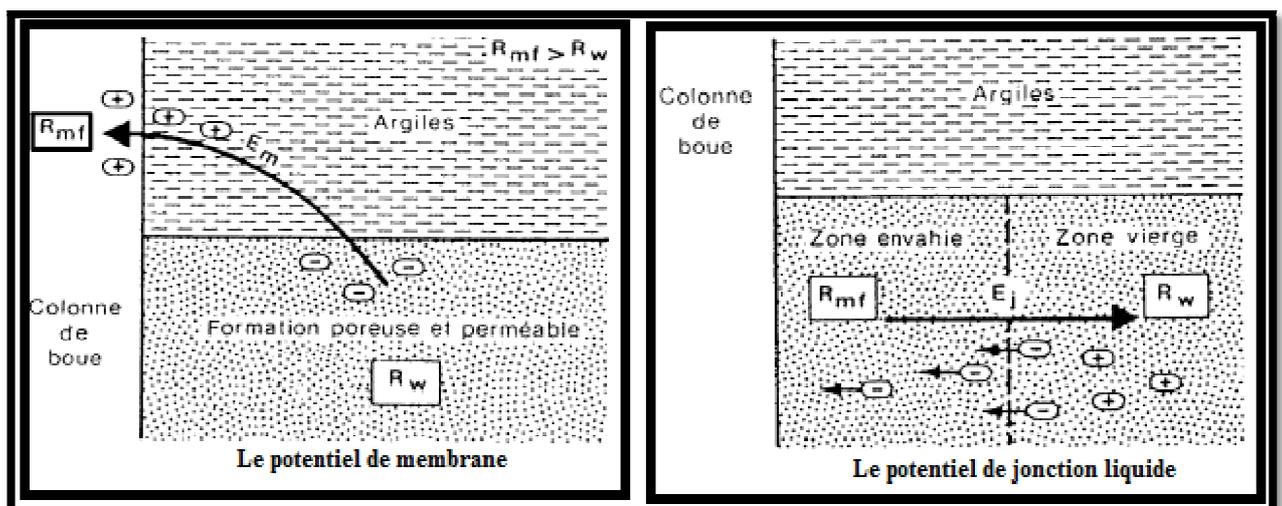
#### I.1.1. Log PS :

Le log de Polarisation spontanée enregistre des différences de potentiel électrique dues à des causes naturelles. Ces différences sont mesurées entre une électrode de référence fixe, placées en surface, et une électrode mobile qui parcourt toute la longueur du forage. (figure 8).

Le log PS est très utile à l'hydrogéologue car il permet :

- De mettre en évidence les bancs poreux et perméables
- De localiser certains niveaux imperméables.
- De calculer la résistivité de l'eau d'imbibition, ce qui permet d'obtenir la salinité et donc la qualité chimique de cette eau.

Figure 8 : L'origine de la polarisation spontanée



### 1.1.2. Le log single point ou monoélectrode

Le single point est une mesure de la résistance en ohms entre deux points, A (électrode descendue dans le trou de forage) et B (électrode de référence à la surface).

### 1.1.3. Log de résistivité

Parmi les paramètres mesurés par les outils de diagraphies, il en est un qui intervient à maintes reprises : La résistivité électrique des roches. (Figure 9)

La résistivité électrique des roches  $R$ , est dans la plupart des cas de type électrolytique, c'est-à-dire que les roches conduisent le courant électrique grâce aux fluides qu'elles contiennent.

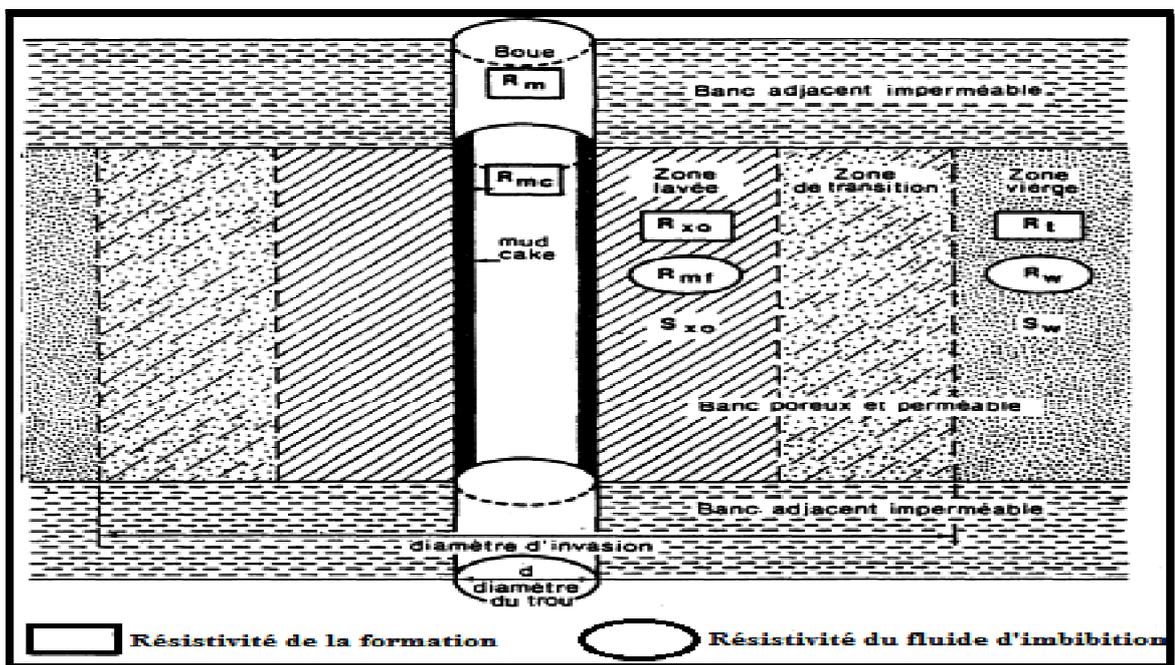


Figure 9 : Représentation schématique de l'invasion

### 1.1.4. Log de température et conductivité

On dispose d'un enregistrement continu qui permet de suivre l'évolution de la température et de conductivité, le long du forage.

➤ Température absolue :

On appelle température absolue une mesure de la température qui prend le zéro absolu des températures comme origine. L'échelle de mesure, elle peut être arbitraire et toutes les échelles sont équivalentes à un facteur multiplicatif près.

➤ Température différentielle :

Est un paramètre physique qui dépend de la variation de la température absolue.

➤ Conductivité

Grandeur physique caractérisant la capacité de conduction d'une substance, égale au rapport de la densité de courant électrique  $j$  traversant la substance au champ électrique appliqué  $E$  ( $j = \sigma E$ ). L'unité de conductivité est siemens par mètre  $S.m^{-1}$ .

### *1.1.5 Log Gamma ray*

Le gamma ray est une mesure de la radioactivité naturelle, qui est la transformation spontanée d'un noyau atomique au cours de laquelle ce dernier émet un rayonnement, existant dans certaines roches.

La mesure de la radioactivité gamma ray sert essentiellement pour :

- La détermination de la lithologie (argile, sels d'évaporites, minéraux lourds radioactifs), principalement la mise en évidence des niveaux imperméables qui sont souvent des bancs d'argiles qui constituent les limites du réservoir dans le sous-sol.
- La corrélation entre les sondages
- L'approche de la perméabilité.

### *1.1.6 Diamètreur*

C'est une sonde munie de trois bras palpeurs qui se ferment lorsque le diamètre diminue et qui s'ouvrent lorsque celui-ci augmente. Elle transmet à la surface un signal de fréquence variable directement proportionnelle à l'ouverture des bras de la sonde. La mesure s'effectue en continu à la remontée de la sonde.

Le diamètreur permet de détecter les zones de raccourcissement (roches dures, dépôts de boue sur couche poreuse, argile gonflante).

### *1.1.7 Déviation*

Le but de cette diagraphie est de déterminer la distance, par rapport à la verticale de la paroi de forage, afin de rectifier (alésage) dans le cas d'une importante déviation pour éviter d'éventuels incidents au cours de la pose du tubage

## ***II- Résultats et discussions***

Dans le cadre de la recherche et de la mobilisation d'une meilleure connaissance des ressources en eau souterrain, trois opérations de diagraphie ont été réalisés dans la zone d'étude.

Les principaux objectifs de ces trois sondages sont les suivants :

- Détermination de la lithologie du sondage
- Détermination des conditions hydrogéologique des sondages se référant à :
  - Existence d'aquifères.
  - Puissance et épaisseur des aquifères détectés.
  - La qualité chimique de l'eau existante dans les aquifères détectés.

### **II.1 Sondage 1**

#### **✚ Diamètreur**

On dispose d'un enregistrement continu qui permet de suivre l'évolution du diamètre du trou le long du forage. Les dimensions relevées sont comme suit :

- A 95m : fond actuel du forage correspondant.
- De 95 à 58.4m : le diamètre varie entre 31 et 35cm.
- De 58.4 à 57.8m : le diamètre passe à 43.7cm.
- De 57.8 à 18.8m : le diamètre est de 44.3cm en moyenne avec la présence d'une cave entre 28.2 et 27m où le diamètre atteint 63.2cm.
- De 18.8 à 17m : le diamètre varie entre 44.3 et 48.6cm.
- De 17 à 0.8m : le diamètre est de 47cm en moyenne.

#### **✚ Température**

Au début de l'enregistrement, à 26.4m, la température absolue est de 18.6°C. Elle subit une diminution lente et progressive le long du forage et indique 18.2°C au fond.

#### **✚ Conductivité**

A l'entrée dans la boue, la conductivité est de 1722µs/cm soit un équivalent NaCl de 0.98g/l. Elle reste constante le reste du forage.

#### **✚ Gamma – ray**

Dans l'ensemble, l'intensité du rayonnement gamma est comprise entre 08 et 61cps.

Le long de l'enregistrement de la radioactivité gamma naturelle, émise par les formations rencontrées le long du forage on distingue :

- Des niveaux à intensité du rayonnement gamma relativement élevée (28 à 61cps) pouvant correspondre à des marno-calcaires se situent entre 63.2 et 64.2m, 67.5m et le fond du forage.
- reste du forage, les formations sont moins radioactives.

### **✚ Résistivités 16N, 64N, latérale et monoélectrode (RES)**

Les valeurs des résistivités petites normales (16N), grande normale (64N) et latérale (48"), sont comprises entre 22 et 372Ωm.

Le long des enregistrements des résistivités on distingue :

- Des formations résistantes (120 à 372Ωm) pouvant correspondre à des calcaires se situent entre 28 et 67.5m avec une passée marno-calcaires entre 63.2 et 64.2m.
- Des formations moyennement résistantes (60 à 120Ωm) pouvant correspondre à des calcaires marneux se situent entre 68.8 et 70m et entre 84.2m et le fond du forage.

### **✚ Polarisation Spontanée**

La polarisation spontanée, n'est pas exploitable dans le présent forage vue la nature lithologique des terrains traversés (calcaires).

On se base donc sur les résistivités petites normales (16N) et grande normale (64N) pour déterminer la qualité de l'eau.

De 28 à 85m, les valeurs de la résistivité 64N sont supérieures à celles de la résistivité 16N traduisant une eau de formation plus douce que le filtrat boue devant ces niveaux, alors que dans le reste du forage les valeurs des deux résistivités sont proches, la salinité de l'eau de formation est voisine à celle du filtrat de boue.

### **II.1.1 Conclusion**

Les diagraphies réalisées dans le présent forage permettent de tirer les conclusions suivantes, (figure 10 et 11).

- Présence de formations résistantes (120 à 372Ωm) pouvant correspondre à des calcaires se situant entre 28 et 67.5m avec une passée marno-calcaires entre 63.2 et 64.2m.

- Présence de formations moyennement résistantes (60 à 120Ωm) pouvant correspondre à des calcaires marneux situés entre 68.8 et 70m et entre 84.2m et le fond du forage.
- L'eau de formation est plus douce que le filtrat de boue en face des niveaux situés entre 28 et 85m, alors que dans le reste du forage l'eau de formation à une salinité voisine de celle du filtrat de boue dont la conductivité est de 1722μs/cm.

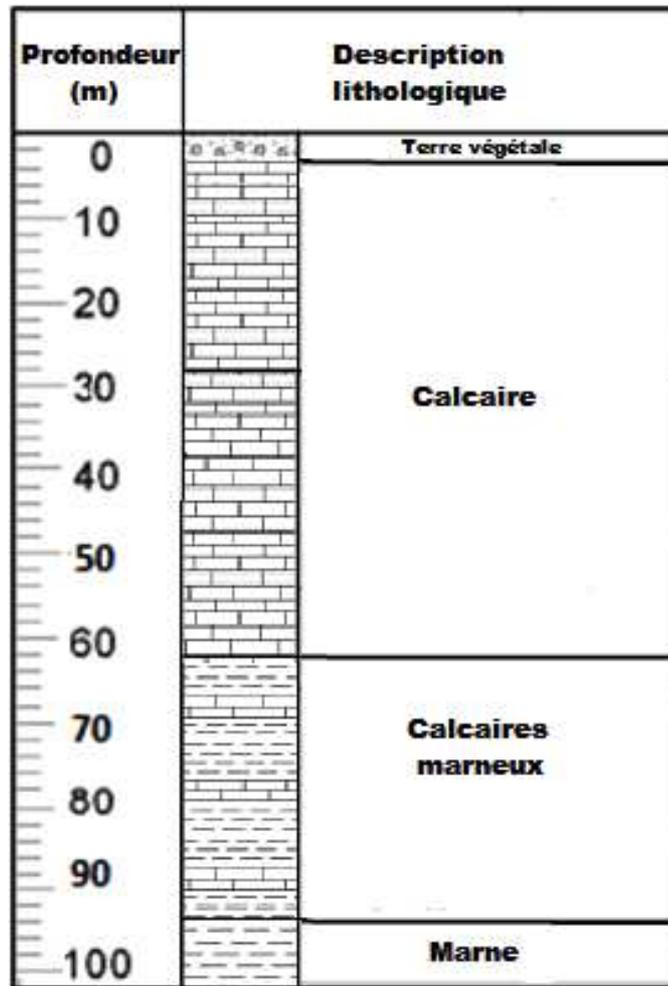
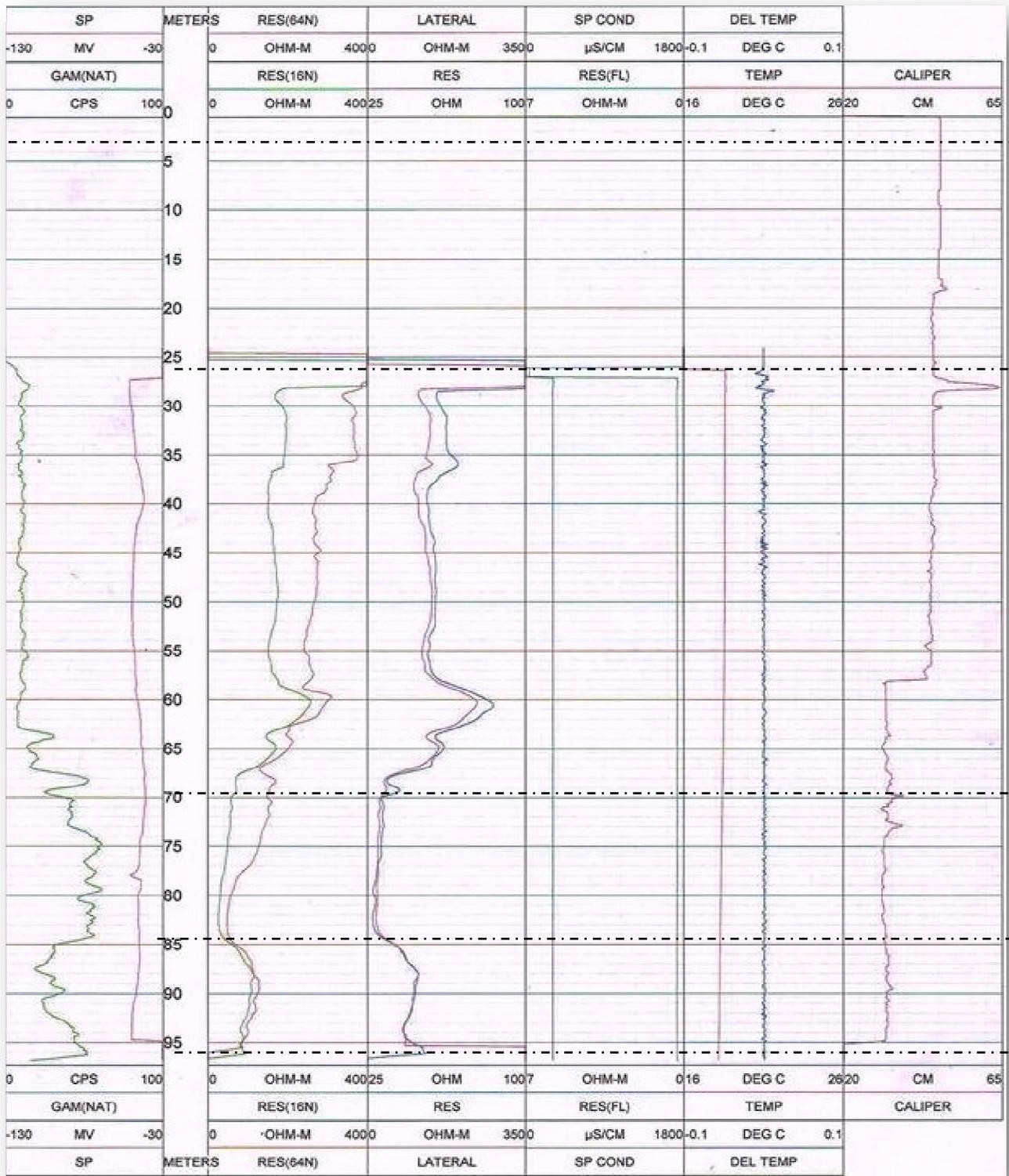


Figure 10 : Log du sondage 1



Le diamètre de forage est de 47 cm en moyenne

Cave de diamètre 63.2cm  
Des formations calcaires de résistivité entre 120 et 372Ωm avec une passée marno-calcaires

Venues d'eau

Zone imperméable

Calcaire marneux moyennement résistants

Venues d'eau

Toit de dépôts

Figure 11 : Diagraphie du sondage 1

## II.2 Sondage 2

### **Dia mètreur**

On relève les dimensions suivantes :

- À 194.5m: fond actuel du forage, ouverture progressive des bras de la sonde.
- De 194.5 à 58m : le diamètre du trou varie entre 18.6 et 22.6cm.
- De 58 à 54.4m : présence d'une cave dont le diamètre maximal atteint 45.6cm à 56.2m.
- De 54.4 à 04m : le diamètre du trou varie entre 20.7 et 23.8cm.
- De 04 à 01: le diamètre varie entre 23.8 et 37.5cm.

### **Températures**

Au début de l'enregistrement, la température absolue est de 21.6°C. Elle subit une diminution très lente et progressive en fonction de la profondeur et indique 21°C au fond du forage.

Les variations de la température différentielle ne sont pas significatives en l'absence de variations notables de la température absolue.

### **Conductivité**

A l'entrée dans la boue, à 32.5m, la conductivité est de 4080 $\mu$ s/cm qui a pour équivalent en NaCl 2.26g/l. Elle diminue très légèrement en fonction de la profondeur, elle est de 3850 $\mu$ s/cm (2.16g/l en NaCl) au fond du forage.

La sonde de conductivité est faite pour fonctionner dans des forages à eau claire et son utilisation en boue sert pour l'interprétation d'autres logs nécessitant la connaissance de la salinité du fluide du forage.

### **Gamma – ray**

Dans l'ensemble, l'intensité du rayonnement gamma varie entre 05 et 18cps.

Le long de l'enregistrement de la radioactivité gamma naturelle on distingue que les formations traversées ne renferment pas d'éléments radioactifs, en effet l'intensité gamma  $\leq$  18cps.

### **Résistivités 64N, 16N, latérale et monoélectrode (RES)**

Les valeurs des résistivités petites normales (16N), grande normale (64N) et latérale (48"), sont comprises entre 40 et 188 $\Omega$ m.

Les grandes valeurs des résistivités ( $>$  220 $\Omega$ m) enregistrées à l'entrée dans la boue sont dues à la présence de la gaine d'isolation.

Le long de l'enregistrement des résistivités, les principales formations résistantes (66 à 188 $\Omega$ m) pouvant correspondre à les calcaires dolomitique se situent entre 36 et 55.5m et entre 62m et le fond du forage.

### Polarisation Spontanée

La polarisation spontanée, qui est un potentiel naturel se manifestant entre deux fluides de salinité différente (eau de formation et filtrat de boue) n'est pas exploitable dans le présent forage en raison de la présence de formations résistantes telles que les calcaires dolomitiques.

En comparant les valeurs des résistivités 16N et 64N, on peut déterminer la qualité d'eau en effet entre : 69 et 72m, 85 et 87m et entre 90m et le fond du forage, les valeurs de la résistivité 16N sont supérieures ou égale à celles de la résistivité 64N, l'eau de formation est donc légèrement moins douce à salinité égale à celle du filtrat de boue. Alors que dans le reste du forage les valeurs de la résistivité 16N sont inférieures à celles de la résistivité 64N, l'eau de formation est donc plus douce que le filtrat de boue qui est de 2.21g/l en équivalent NaCl.

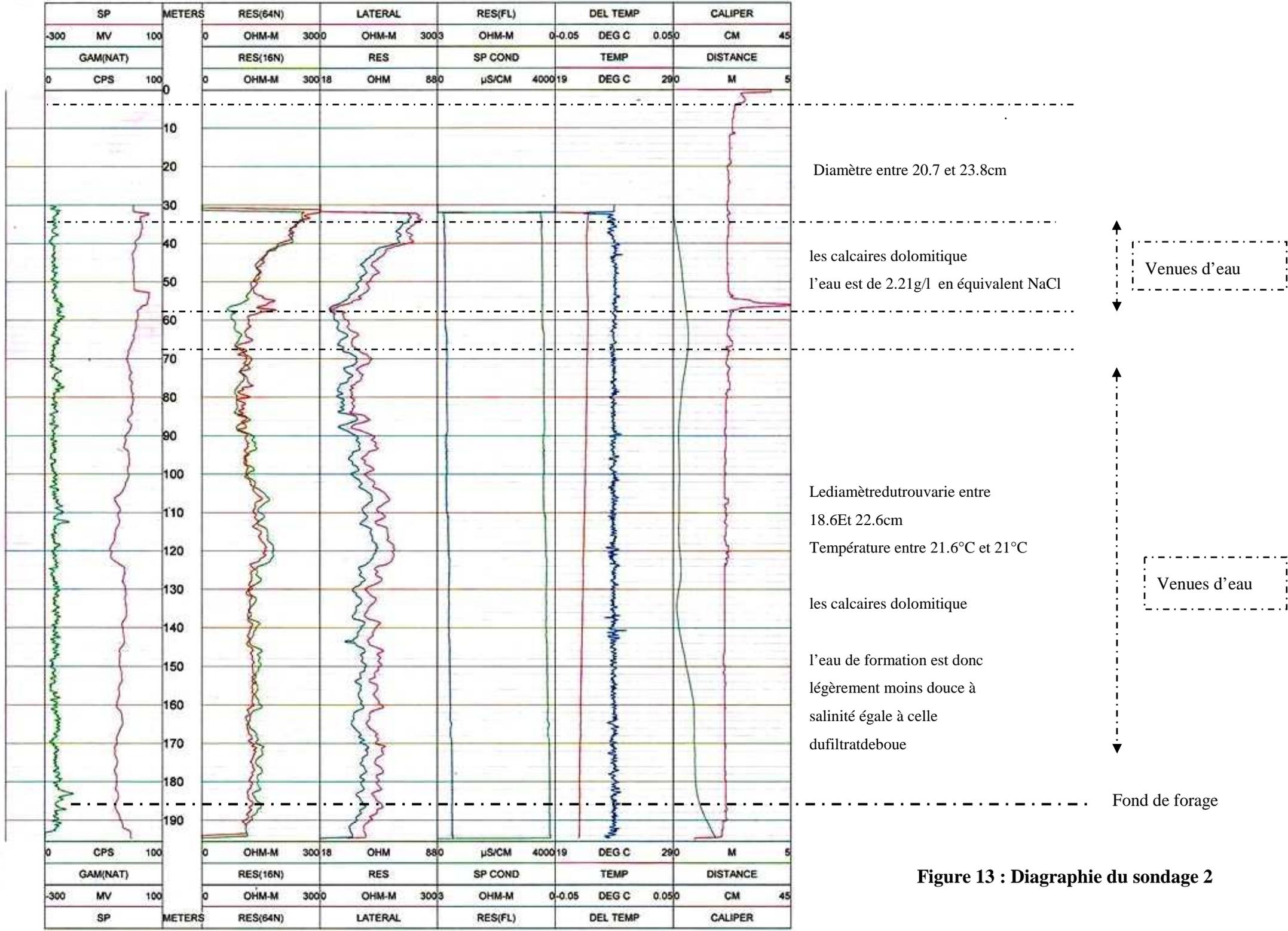
#### *II.2.1 Conclusion*

Les diagraphies réalisées dans le présent forage permettent de tirer les conclusions suivantes, (figure 12 et 13).

- Présence de formations résistantes (66 à 188 $\Omega$ m) pouvant correspondre à les calcaires dolomitique se situent entre 36 et 55.5m et entre 62m et le fond du forage.
  
- En comparant les valeurs des résistivités 16N et 64N, l'eau de formation est légèrement moins douce à salinité voisine à celle du filtrat de boue entre : 69 et 72m, 85 et 87m et entre 90m et le fond du forage, alors que dans le reste du forage, l'eau de formation est plus douce que le filtrat de boue qui est de 2.21g/l en NaCl. .

Profondeur (m)	Description lithologique
0	Terre végétale
10	Calcaires dolomitiques non fracturés
20	
30	
40	Calcaires dolomitiques
50	Dolomites
60	
70	Calcaires dolomitiques
80	
90	
100	

Figure 12 : Log du sondage 2



**Figure 13 : Diagraphie du sondage 2**

### II.3 Sondage 3

#### **Diamètreur**

On dispose d'un enregistrement continu de diamètreur qui permet de suivre l'évolution du diamètre du trou nu le long du forage.

On relève les dimensions suivantes :

- À 68m : fond actuel du forage.
- De 68 à 67.7m : ouverture progressive des bras de la sonde et passage à 31.9cm.
- De 67.7 à 64m : il est situé entre 31.9 et 73.6cm en face d'une importante fracture.
- De 64 à 42m : il varie entre 31.7 et 34.3 cm.
- De 42 à 02.5m : il varie entre 31.8 et 105.5 en raison de la présence d'importantes fractures dans les calcaires dolomitiques qui sont à l'origine des venues d'eau.

#### **Température**

Au début de l'enregistrement, la température absolue est de 18.7°C. Elle diminue progressivement entre 33 et 56m, où elle indique 17.2°C, puis varie peu pour le reste du forage et indique 17°C au fond.

Les variations de la température différentielle ne sont pas significatives en l'absence de variations notables de la température absolue.

#### **Conductivité**

A l'entrée dans l'eau, à 33m, la conductivité est de 590µs/cm, soit un équivalent NaCl de 0.32g/l. Elle diminue légèrement entre 33 et 40m, subit une légère augmentation entre 41 et 42m où elle indique 596µs/cm ( $\approx 0.34$ g/l NaCl), varie peu entre 42 et 65m, cote à partir de laquelle elle augmente sensiblement jusqu'au fond où elle indique 669µs/cm, correspondant à une salinité en équivalent NaCl de 0.38g/l.

#### **Gamma – ray**

Dans l'ensemble, l'intensité du rayonnement gamma varie entre 03 et 22cps

Le long de l'enregistrement de la radioactivité naturelle gamma, émise par les formations traversées par le forage, on distingue :

- des niveaux correspondant à une augmentation de l'intensité du rayonnement gamma, que l'on peut attribuer à des argiles situés entre : 54 et 55m, 65.5 et 68m,
- des niveaux de faible radioactivité, correspondant à des calcaires dolomitiques avec intercalations marneuses, situés entre : 32 et 54m, 55 et 65.5m.

### **Résistivités 16N, 64N, latérale et monoélectrode (RES)**

Les valeurs des résistivités électriques petite normale (16N), grande normale (64N) et latérale (48"), sont comprises entre 58 et 741Ωm.

Le long de l'enregistrement des résistivités électriques, on distingue :

- Des formations très résistantes que l'on peut attribuer à des calcaires dolomitiques avec des intercalations marneuses, situées entre : 32 et 54m, 55 et 65.5m,
- Des formations pour lesquelles les valeurs des résistivités électriques sont relativement faibles, qui peuvent correspondre à des argiles, sont situées entre 54 et 55m, 65.5 et 68m.

### **Polarisation spontanée**

Dans le cas de ce forage réalisé à l'air, la polarisation spontanée n'est pas nécessaire pour déterminer la qualité de l'eau de formation. En effet, il suffit de lire directement la conductivité et la température absolue du fluide de forage et d'en déduire sa salinité en équivalent NaCl, qui est d'ailleurs comprise entre 0.32 et 0.38g/l.

### **Déviations**

La trajectoire suivie par la sonde, illustrée par le plan de visualisation et la projection 3D (cylindre), montre que le forage est légèrement dévié à partir de 10m. La déviation totale, qui est de 0.65m, avec un azimut de 240degrés dans la direction sud-ouest, correspond à une pente de 0.97% qui est inférieure à la norme admise de 1%. Cette inclinaison est progressive et ne présente pas de variation brusque qui correspond à un changement de direction et qui peut gêner la descente du tube.

La déviation en 3d, sa projection dans le plan, les angles de déviation, les azimuts correspondant et les vraies profondeurs en tenant compte de la déviation sont présentés sur une feuille listing de données.

### *II.3.1 Conclusion*

Les diagraphies réalisées dans le présent forage permettent de tirer les conclusions suivantes, (figure 14 et 15).

les formations traversées par le forage qui présentent un intérêt hydrogéologique et qui peuvent être aquifères, correspondent à :

- Des calcaires dolomitiques avec intercalations marneuses situés entre 32 et 54m, 55 et 65.5m,
- L'eau du forage est de très bonne qualité chimique, sa salinité en équivalent NaCl est comprise entre 0.32 et 0.38g/l,
- La déviation totale du forage, qui est de 0.65m correspond à une pente de 0.97% qui est inférieure à la norme admise de 1%, sa direction est sud-ouest avec un azimut de 240 degrés. Elle est plus accentuée entre 35m et le fond du forage,
- Les parties du forage les plus fracturées sont situées entre : 27 et 42m, 64 et 68m
- Le fond actuel du forage, déterminé par la sonde diamètreur, se situe à 68m.

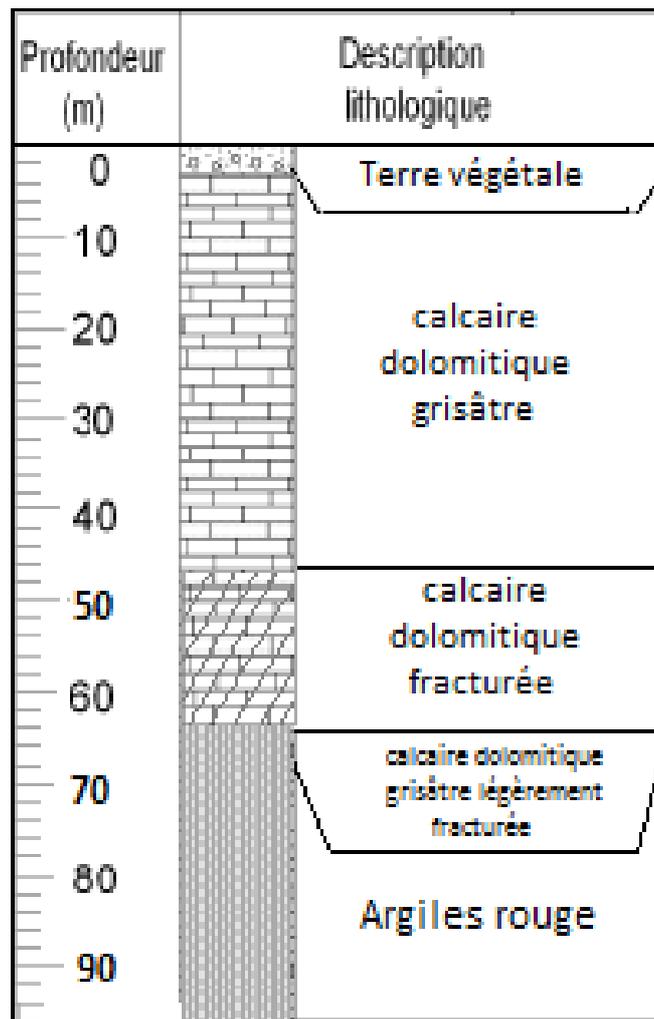


Figure 14 : Log du Sondage 3

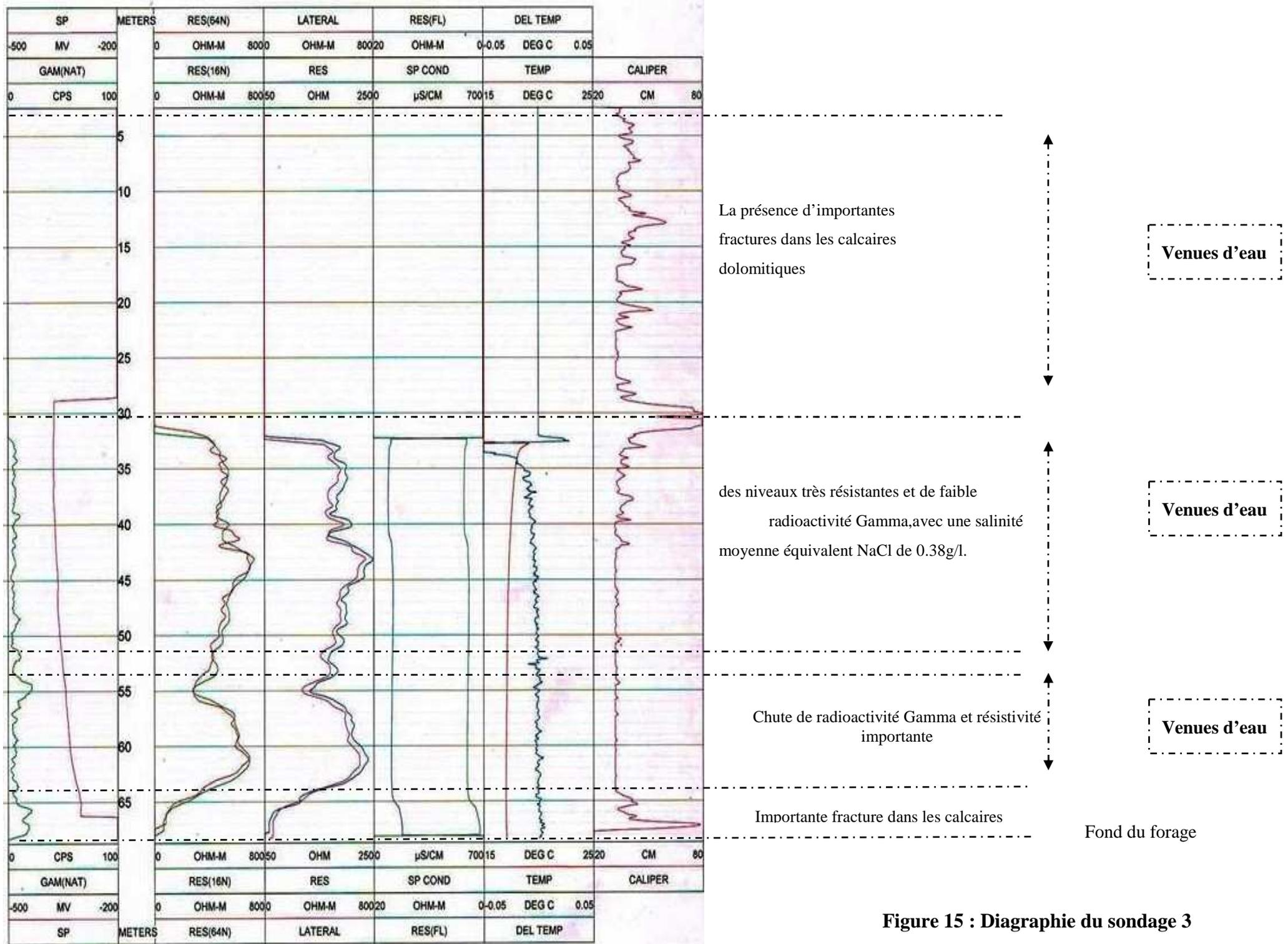


Figure 15 : Diagraphie du sondage 3

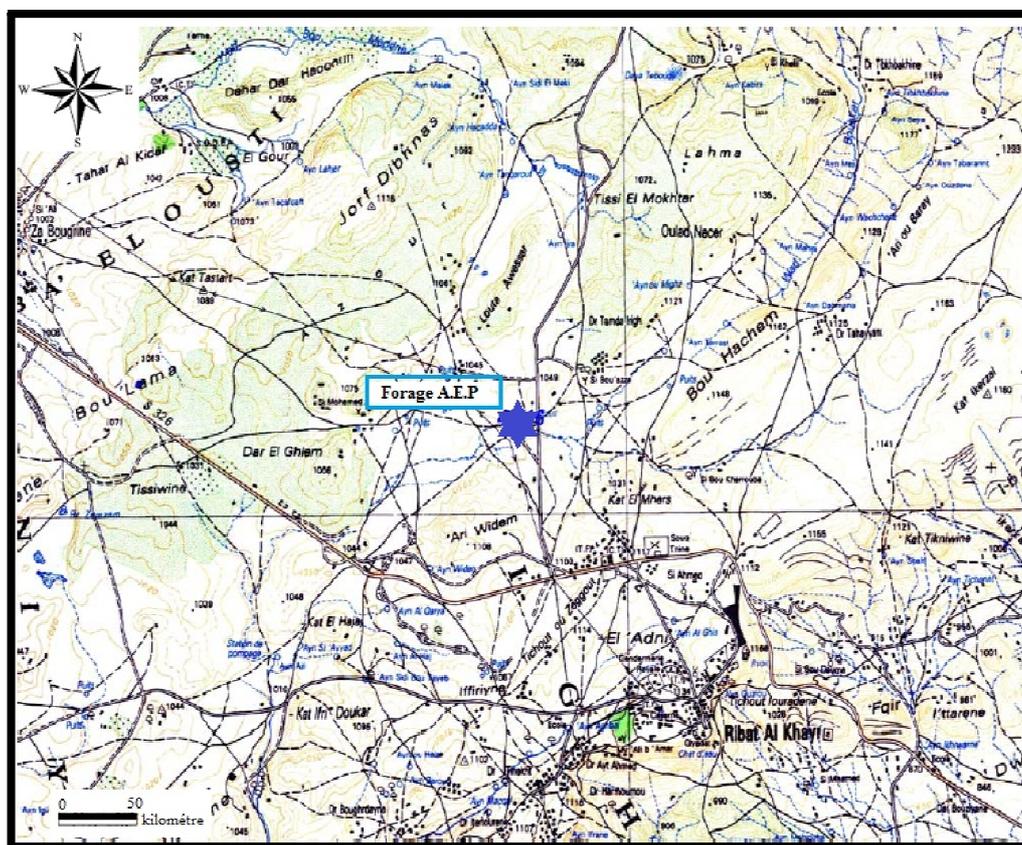
## Chapitre II : Réalisation de forage d'exploitation d'eau souterraine

### I- Situation géographique de forage :

Le site sur laquelle sont effectués les travaux de forage d'exploitations se situe dans la commune rurale d'ighzrane, la localisation géographique est donnée par le tableau 7 et la figure 16.

**Tableau 7: les coordonnées de localisation de forage**

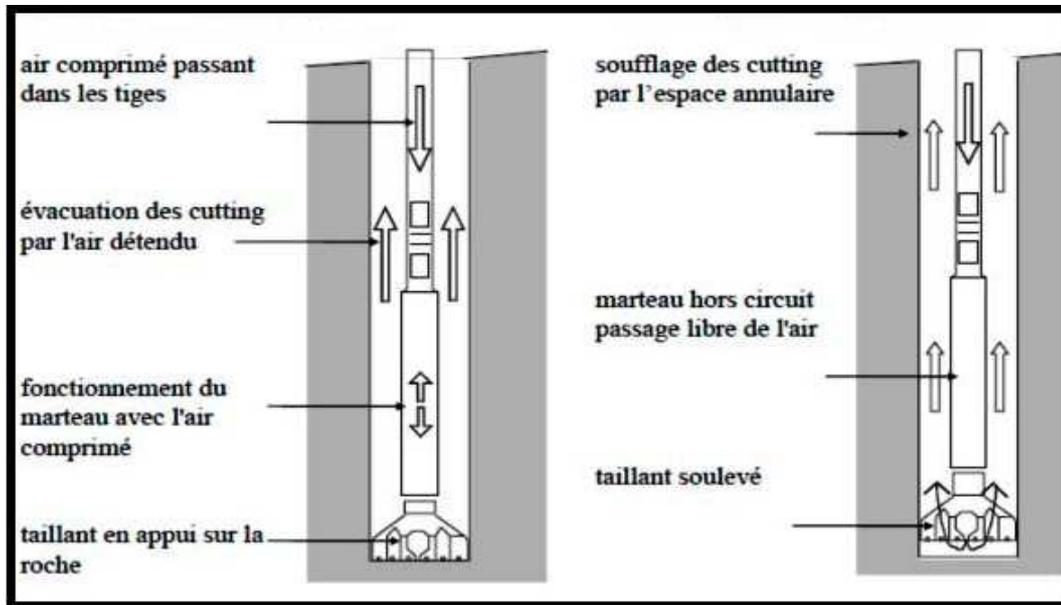
Province	Commune Rural	Commune Urbain	Coordonnées Lambert		
			X (KM)	Y(KM)	Z(m)
SEFROU	IGHZRANE	Ribat EL kheir	589,97	360,51	1060



**Figure 16 : Situation géographique du forage a partir de la carte topographique de Ribat El Kheir**

## II- Mode d'exécution et techniques utilisées

Compte tenu de la nature des terrains, La méthode de foration préconisée est celle du marteau fond du trou (MRT) avec un diamètre de Foration 8''½ de 0 à 96 m adaptée pour les terrains sédimentaires et durs uniquement.



**Figure 17 : Principe du forage marteau fond du trou**

La méthode est basée sur un outil que l'on appelle marteau fond de trou qui fonctionne comme un brise béton en frappant sur un taillant ou sont insérés des pointes en carbure de tungstène pour détruire le rocher.

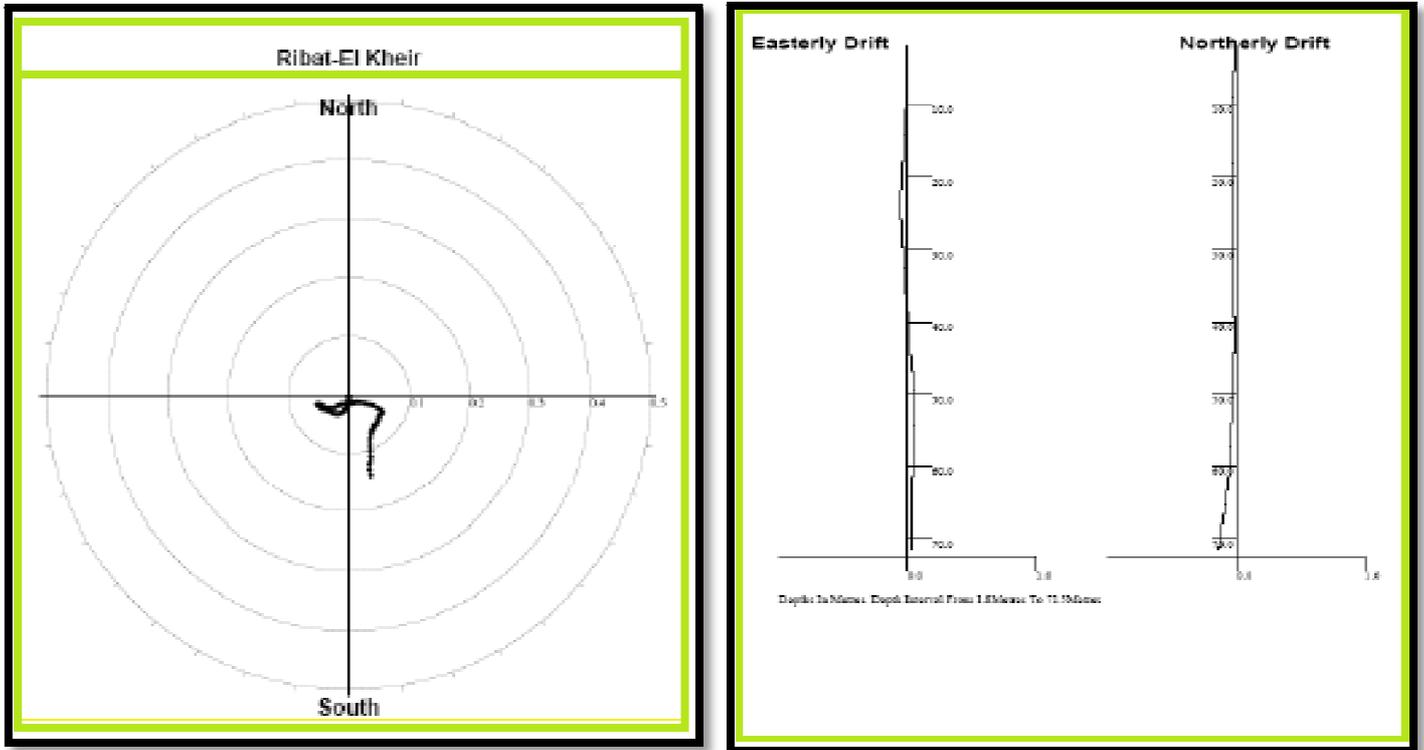
Il s'agit d'un système combiné de mouvement de rotation et de translation assurés par un train de tiges. La perforation s'effectue par percussion et soufflage au moyen d'un marteau situé au fond du trou et de l'air comprimé fourni par un compresseur.

L'outil de percussion est le taillant qui se fixe directement sur le marteau fond de trou par lequel est entraîné dans un mouvement rapide de va et vient vertical.

### II.1La Verticalité et l'inclinaison du forage

A partir des registres d'inclinaison (figure 18), d'orientation et d'azimut, il peut être observé que :

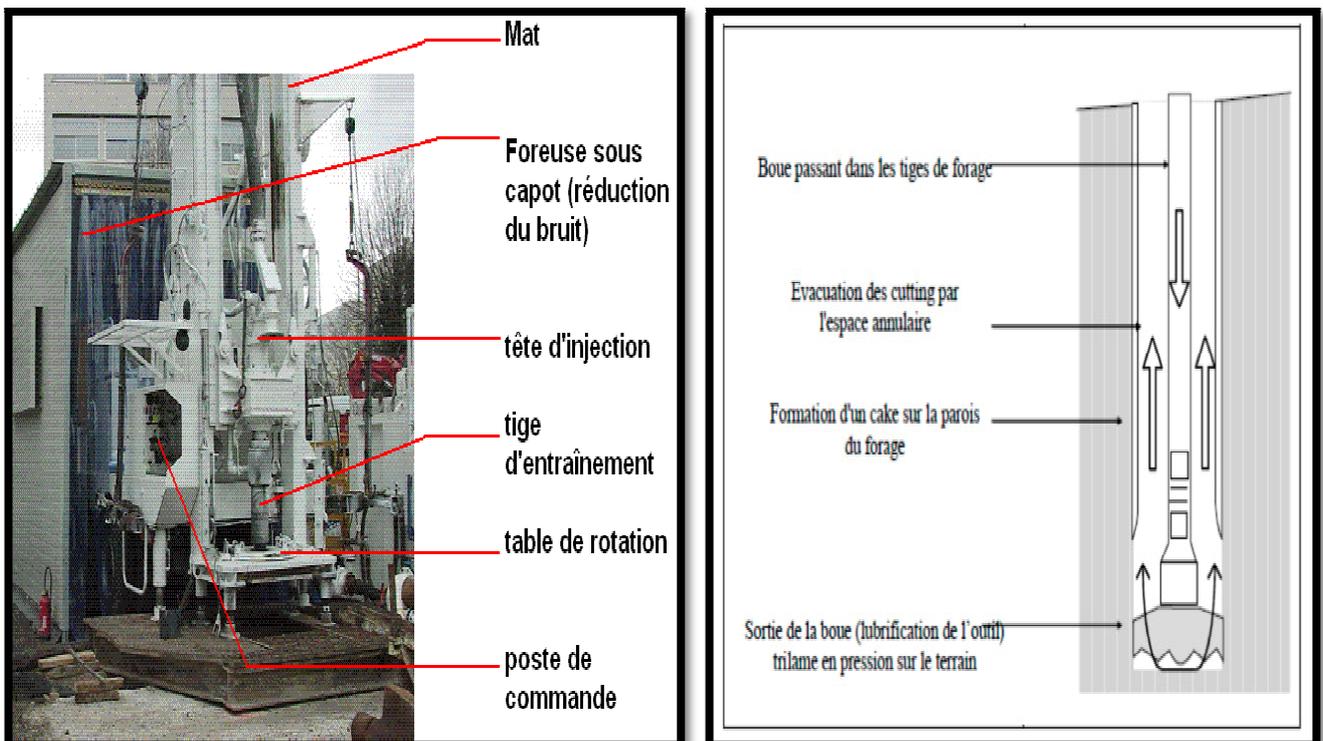
- ❖ La direction est de 175°.
- ❖ Dans la base du sondage l'inclinaison enregistrée correspond à 0.5 °
- ❖ La déviation de 0.15 mètres suppose une pente du sondage de 0.21%.



**Figure 18 : Les graphiques de déviation du forage**

### II.2 Alésage de forage :

Après détermination de la distance par rapport à la verticale de la paroi de forage, on a alésé par la méthode de rotary (figure 19) avec un diamètre final  $17\frac{1}{2}$  de 0 à 80 m, permettant d'éviter d'éventuels incidents au cours de la pose du tubage.



**Figure 19 : Principe de la technique de forage rotary**

### ***III- Equipement de forage :***

#### **III.1 introduction**

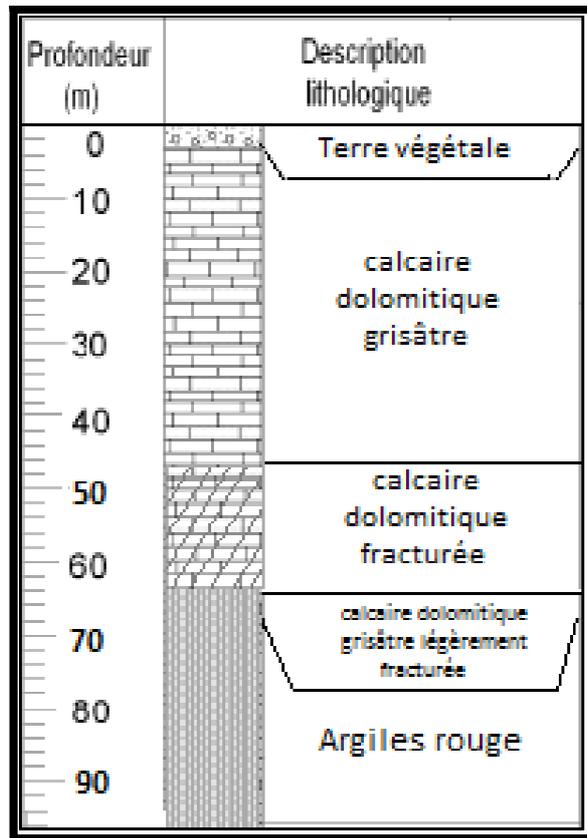
L'équipement des forages comprend deux parties principales qui sont :

- La chambre de pompage : tubage plein dans lequel sera descendue la pompe destinée à l'exploitation du forage. La chambre de pompage est cimentée aux terrains.
- La colonne de captage : tubage perforé, ou crépine destinée à laisser passer l'eau de l'aquifère. Les crépines peuvent être en contact direct avec l'aquifère ou par l'intermédiaire d'un massif filtrant (Gravier additionnel). Le revêtement des ouvrages de captage a pour objet :
  - le maintien en place des parois de l'ouvrage au cours des travaux de sa réalisation et de son exploitation,
  - d'isoler les parties de terrain comportant des risques pour l'ouvrage (éboulement, niveau d'eau salé),
  - d'abriter les équipements de pompage et les protéger contre les risques d'éboulement des terrains des parois.

#### **III.2 Suivi géologique**

On a mis à disposition des caisses pour stocker les cuttings prélevés tous les mètres forés, dans le but d'établir une bonne coupe géologique de l'ouvrage réalisé.

Les terrains rencontrés de haut en bas au cours de la foration de ce forage sont présentés dans la figure 20 suivante :

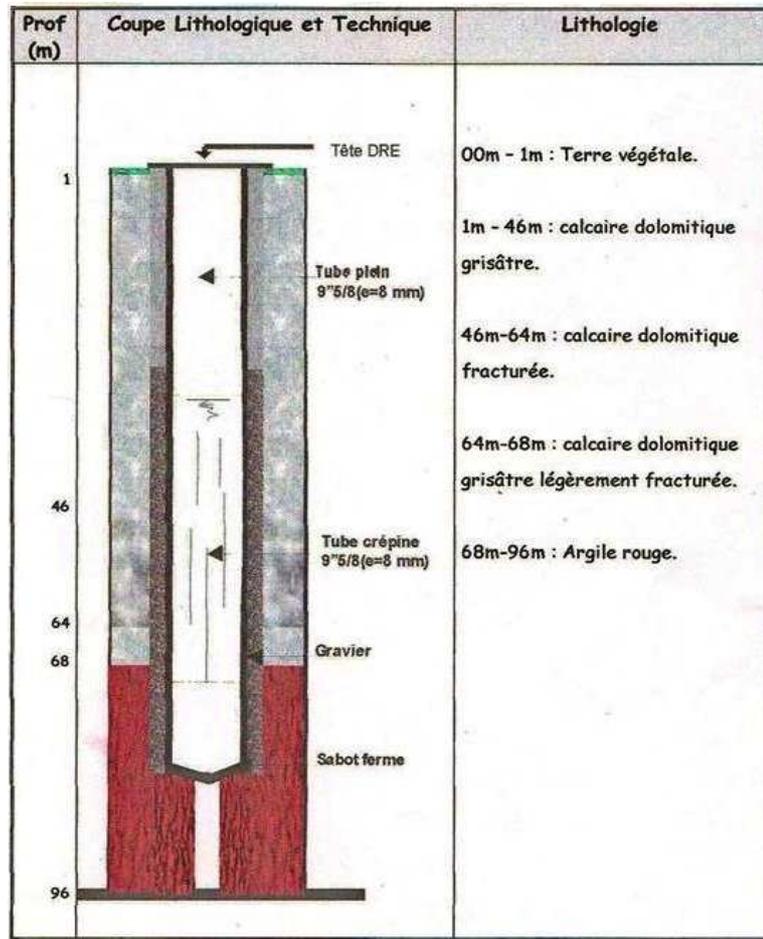


**Figure 20 : Log du forage**

L'ouvrage prévu est conçu de manière à ne pas capter que la nappe de la formation. Pour ce forage un tubage TRS plein et crépiné au diamètre 9"5/8 (e=8mm) et mise en place.

Au passage du tubage plein au tubage crépiné, est mis un bouchon d'argile constituant un joint d'étanchéité, d'1 m de haut, cela évitera au ciment d'envahir l'aquifère et le massif filtrant .Au fond du forage sera également disposé un bouchon de fond.

Les tubages pleins ont été fournis en élément unitaires plein de 6 m, les crépines ont été fournies également en éléments unitaires de 6 m.la coupe lithologique du forage est présenté dans la figure 21 suivante :



**Figure 21 : Coupe technique du forage**

### III.3 Gravillonnage

Le gravier filtrant a pour fonction essentielle de retenir la formation exploitée tout en augmentant la perméabilité dans la zone annulaire comprise entre l'aquifère et le tubage de captage

Injection de volume de 5 m<sup>3</sup> de gravier calibré de diamètre (2-4mm) dans l'espace annulaire au niveau de tubage crépine de 15m jusqu'au fond.

### III.4 Cimentation

Le but de la cimentation est de rendre étanche l'espace annulaire entre le tubage et les parois du trou foré afin d'empêcher une éventuelle pollution de l'aquifère par les eaux de surface. Cette cimentation a pour but également ; de fixer solidement une colonne de soutènement et de la protéger contre la force de poussée, l'artésianisme et la corrosion du tubage.

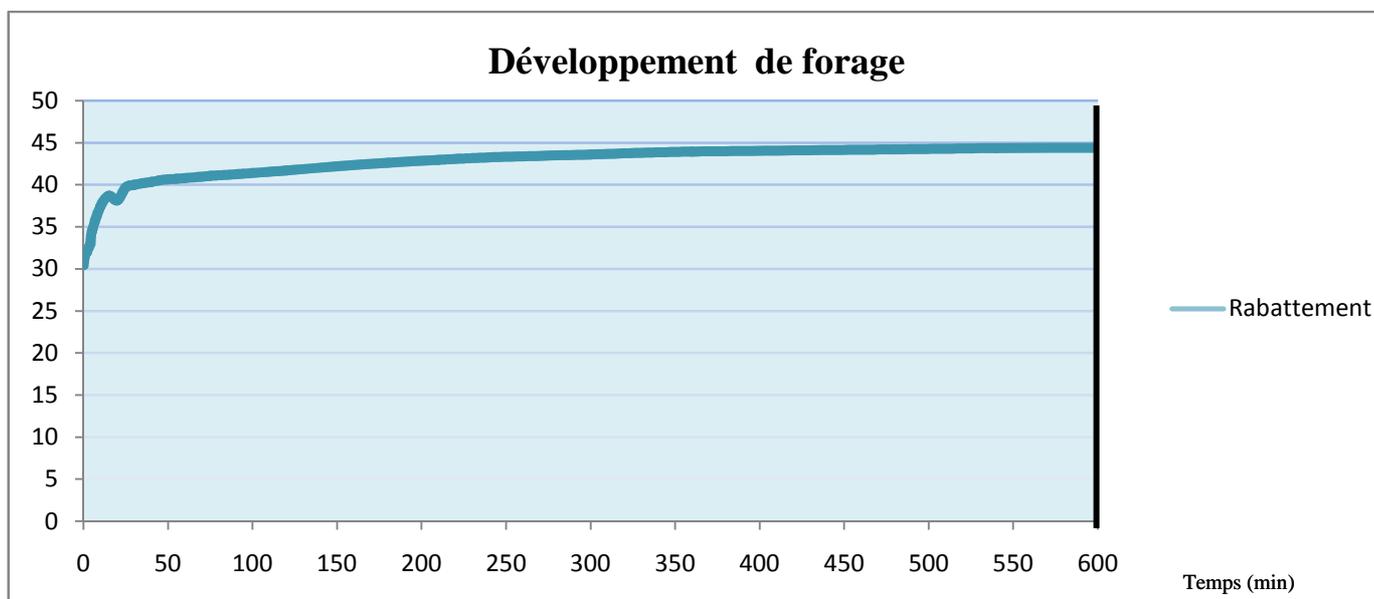
Mise en place d'un colis de ciment dans l'espace annulaire à la cote 15 m selon la technique suivante :un bouchon de sable sur un mètre a été mis au dessous de massif filtrant après développement ,et il a été comblé par un bouchon d'argile de 2 m puis sur une faible tranche par le tout venant qui comporte

Que des éléments inférieur a 5 mm de diamètre puis injection d'un laitier de ciment dans l'espace annulaire au niveau de tubage plein selon les règles d'art. la cimentation a été effectuée depuis la surface : avec un laitier de ciment CPJ 45 constitué de 60 l d'eau pour 100 kg de ciment chargé des ingrédients nécessaire pour assurer sa palpabilité pendant le temps de sa mise en place et sa résistance aux agression des fluides contenue dans le sol.

#### ***IV- Développement de l'ouvrage***

Le développement d'un forage consiste à entreprendre les opérations nécessaires permettant l'obtention d'une eau exempte de particules solides et de turbidité au débit maximum escompté pouvant être fourni par l'ouvrage.

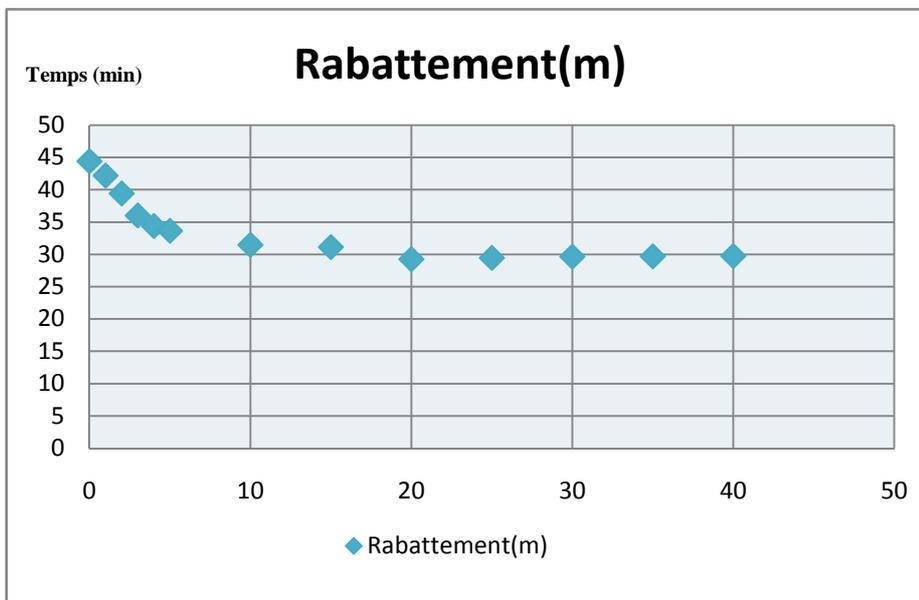
Un développement est effectué par un air lift pendant 10 heures avec un débit entre 10 et 6 l/s jusqu'à l'obtention d'une eau claire. La figure 22 et le tableau 8 présente les résultats de développement.



**Figure 22 : La Courbe de descente de niveau d'eau pendant développement du forage**

**Tableau 8 : Le rabattement en fonction de temps au cours de développement de forage**

Temps(min)	Rabattement	Débit (l/s)	Observation	
0	30,45		Eau troublé	
1	31,80			
2	32,00			
3	32,50			
4	33,00	10		
5	34,48			
10	37,40			
15	38,70			
20	38,15			
25	39,70	6		
30	40,00			Eau peu claire
35	40,20			
40	40,34			
45	40,52			
50	40,65	6		
55	40,70			
60	40,80			
75	41,05		Eau claire	
90	41,25			
120	41,70	6		
150	42,20			
180	42,62			
210	42,95			
240	43,25	6		
300	43,62			
360	43,95			
480	44,22	6		
540	44,35			
600	44,39	6		



Temps(min)	Rabattement(m)
0	44,39
1	42,20
2	39,40
3	36,00
4	34,40
5	33,65
10	31,45
15	31,10
20	29,25
25	29,42
30	29,65
35	29,70
40	29,75

**Figure 23 : La courbe de remonté de niveau de l'eau après développement**

### ***V- Les Caractéristiques hydrodynamiques de la nappe***

Un pompage d'essai est réalisé afin de déterminer les paramètres hydrodynamiques de l'aquifère.

Les essais sont réalisés à l'aide d'une pompe immergée à la cote de 64 m avec un tube piézométrique de diamètre  $\frac{3}{4}$  pouce pour les mesures de niveau, plus une conduite de refoulement.

Les essais de pompages sont de deux types :

- ❖ Essai par palier
- ❖ Essai de longue durée

#### **V.1 Essai par palier**

Après développement du forage, on a exécuté des essais par paliers pour évaluer le débit d'exploitation de l'ouvrage.

Un essai par paliers à 3 débits différents de valeurs croissantes d'une durée de 2 h chacun, avec suivi en continu des niveaux dynamique d'eau. Chaque palier de pompage est réalisé à un régime de débit constant durant toute sa durée. (tableau 10)

L'interprétation des essais se fait graphiquement en traçant le graphe représentant le rabattement en fin de chaque palier (en m) en fonction du débit de ces paliers (en  $m^3/h$ ).

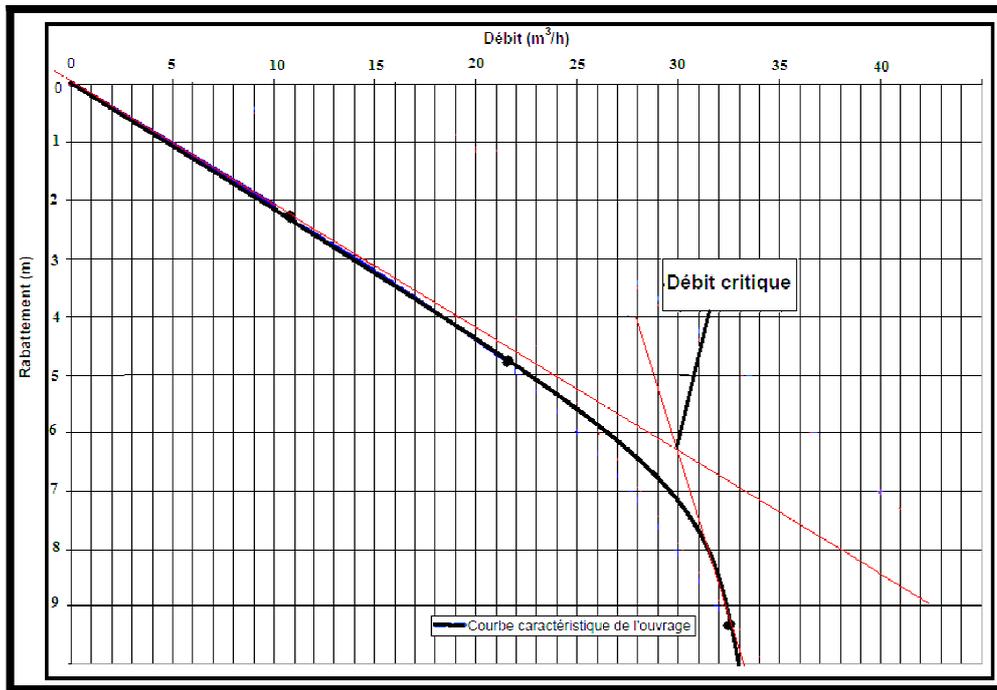
**Tableau 10 : les résultats des trois paliers**

Temps (min)	Niveau (m)	Débit (l/s)	Temps (min)	Niveau (m)	Débit (l/s)	Temps (min)	Niveau (m)	Débit (l/s)
0h00mn	31	3	2h00mn	33,28	6	4h00mn	38,13	9
1 mn	31,11		1 mn	34,96		1 mn	38,09	
2 mn	31,2		2 mn	35,25		2 mn	38,88	
3mn	31,34		3mn	35,68		3mn	40,3	
4 mn	31,42		4 mn	36,27		4 mn	40,77	
5 mn	31,51		5 mn	36,65		5 mn	41,21	
6 mn	31,75		6 mn	36,8		6 mn	41,61	
7 mn	31,8		7 mn	36,96		7 mn	41,85	
8 mn	31,87		8 mn	37,13		8 mn	42	
9 mn	32,06		9 mn	37,28		9 mn	42,22	
10 mn	32,15		10 mn	37,4		10 mn	42,62	
12 mn	32,27		12 mn	37,52		12 mn	43,02	
14 mn	32,42		14 mn	37,58		14 mn	34,4	
16 mn	32,6		16 mn	38,13		16 mn	43,73	
18 mn	32,77		18 mn	38,13		18 mn	44,05	
20 mn	32,86		20 mn	38,13		20 mn	44,35	
25 mn	32,93		25 mn	38,13		25 mn	44,98	
30 mn	33,04		30 mn	38,13		30 mn	45,46	
35 mn	33,1		35 mn	38,13		35 mn	45,7	
40 mn	33,17		40 mn	38,13		40 mn	45,88	
45 mn	33,24		45 mn	38,13		45 mn	46,1	
50 mn	33,28		50 mn	38,13		50 mn	46,26	
55 mn	33,28		3 h 00 mn	38,13		55 mn	46,33	
1 h 00 mn	33,28		10 mn	38,13		5 h 00 mn	46,74	
10 mn	33,28		20 mn	38,13		10 mn	46,66	
20 mn	33,28		30 mn	38,13		20 mn	46,65	
30 mn	33,28		40 mn	38,13		30 mn	46,8	
45 mn	33,28		50 mn	38,13		40 mn	47,1	
2 h 00 mn	33,28	4 h 00 mn	38,13	50 mn	47,4			
				6 h 00 mn	47,4			

**Tableau 11 : Les caractéristiques des trois paliers**

Niveau Statique (m)	Palier	Durée	Débit pompé (m³/h)	Rabattement en fin de palier (m)	Rabattement spécifique m/m³/h)	Débit spécifique (m³/h/m)
31	Palier n°1	2 heure	10,8	2,28	0,21	4,74
	Palier n°2	2 heure	21,6	4,85	0,22	4,45
	Palier n°3	2 heure	32,4	9,27	0,27	3,50

Les résultats des essais sont reportés sur la courbe caractéristique qui représente l'évolution du débit en fonction du rabattement (voir figure 24). Cette courbe permet d'évaluer le débit d'exploitation et le débit critique.



**Figure 24 : La courbe caractéristique**

A partir du graphe :

Débit d'exploitation est égal : 28.8 m<sup>3</sup>/h.

Débit critique à ne pas dépasser dans ce cas de l'ordre de : 30 m<sup>3</sup>/h.

L'expression de Jacob représente l'équation de la courbe caractéristique et permet de calculer les

Pertes de charges de l'ouvrage. Cette expression est de la forme :

$$S = BQ + CQ^2$$

Avec :

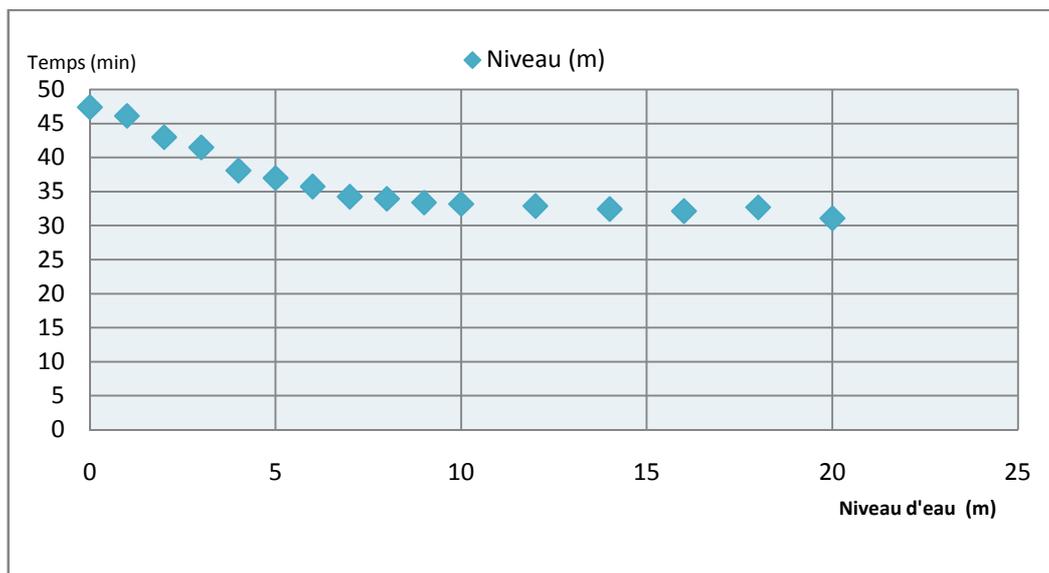
**S** : est le rabattement dans le puits en m,

**Q** : est le débit de pompage en m<sup>3</sup>/h,

**BQ** : représente les pertes de charges linéaires, provoquées par l'écoulement laminaire dans l'aquifère au voisinage du puits,

**CQ<sup>2</sup>**: représente les pertes de charges quadratiques, provoquées par l'écoulement turbulent dans l'ouvrage, les crépines et le tubage.

Schématiquement, et d'une manière générale, les points représentant les premiers paliers s'alignent selon une droite, caractérisée par les pertes de charge linéaires (premier membre de l'équation). Lorsque les pertes de charges quadratiques deviennent plus importantes que ces dernières, on observe une brusque rupture de pente de la courbe à partir de la valeur de 28 m<sup>3</sup>/h (second membre de l'équation). Ce passage en régime d'écoulement turbulent est atteint pour un débit d'exploitation égal au débit critique. Le débit critique est caractéristique de l'ouvrage pour un niveau de nappe donné. La figure 25 présente la remontée de niveau de l'eau après les paliers.



**Figure 25 : La remontée de niveau de l'eau après les paliers**

V.2 Etude des pertes de charges :

Le report des rabattements spécifiques S/Q en fonction des débits Q donne une droite (figure 26).

L'équation de la droite est :

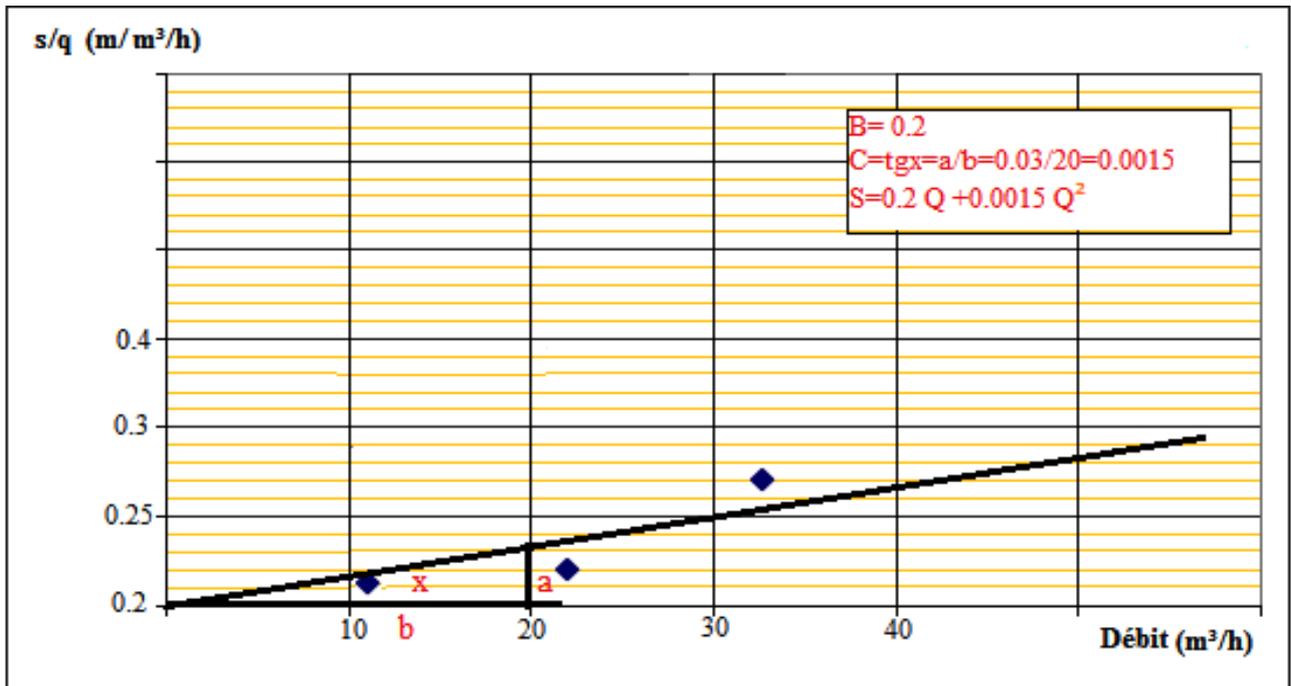
$$S/Q = B + CQ$$

$$C = \text{tg } X = a/b$$

Nous pouvons déduire du graphique S/Q=f(Q) :

**B** : intersection de la droite avec l'axe S/Q.

**C** : constante de perte de charge.



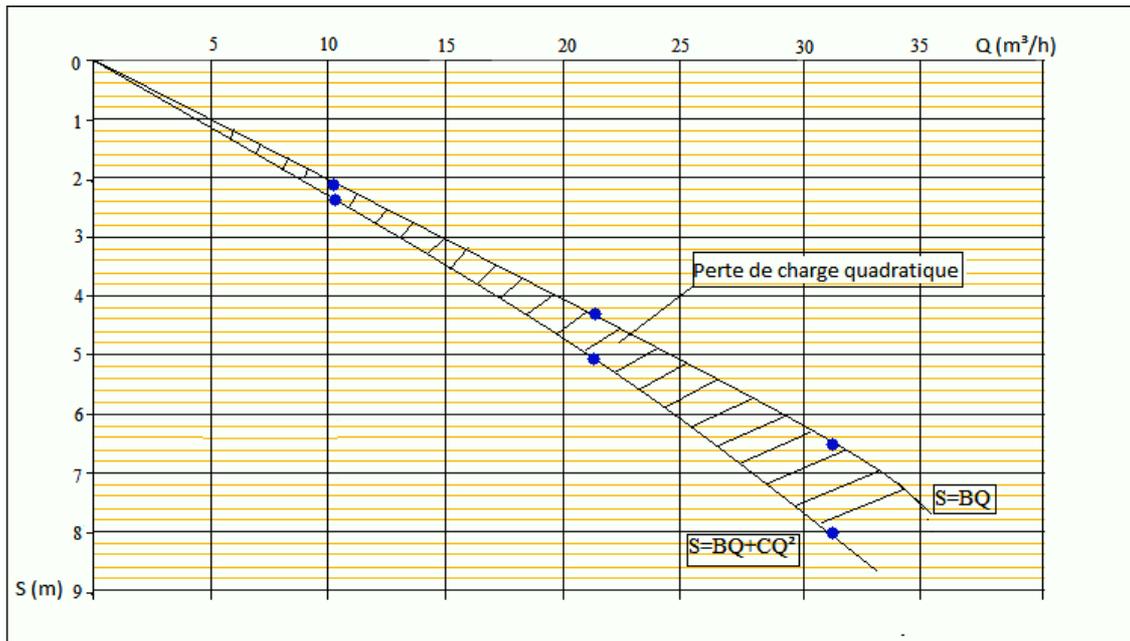
**Figure 26 : Calcule des termes de la fonction de Jacob**

Le tableau 12 présente les pertes de charges calculées par l'équation de Jacob.

**Tableau 12 : Calcul des pertes de charge pour différents débits**

Débit (m³/h)	10,8	21,6	32,4
Pertes de charges linéaires BQ (m)	2,16	4,32	6,48
Pertes de charges quadratiques CQ² (m)	0,17	0,7	1,57
Rabattement théorique s (m)	2,33	5,02	8,05

La différence entre la courbe  $S = f(Q)$  tracée dont l'équation est  $S = 0.2 \cdot Q + 0.0015 \cdot Q^2$  et la droite  $S = BQ = 0.2 \cdot Q$  rapportée également sur la (figure 27) donne pour chaque débit les valeurs de pertes de charges quadratiques dues au régime turbulent dans les fissures et au travers l'équipement mis en place dans le forage .



**Figure 27 : Calcul des termes de la fonction de Jacob**

### V.3 Essai de longue durée

Cet essai est destiné à reconnaître les caractéristiques hydrogéologiques de l'aquifère et permet d'extrapoler le comportement de la nappe à un pompage continu.

Le pompage longue durée a été réalisé à un débit défini au préalable (débit inférieur au débit critique de l'ouvrage tel que défini à la suite des débits par paliers) pendant 72 heures de pompage au débit de 8 l/s pour un rabattement final de 22.51 m. la remonté est suivi pendant 10 heures.

Tableau 13 : Les résultats de l'essai de longue durée

Temps (min)	Niveau(m)	Rabattement	Débit (l/s)
0h00mn	30,1	0	8
1mn	31,72	1,62	
2mn	33,23	3,13	
3mn	34,85	4,75	
4mn	35,92	5,82	
5mn	36,31	6,21	
6mn	37,13	7,03	
7mn	37,56	7,46	
8mn	38,08	7,98	
9mn	38,46	8,36	
10mn	39,02	8,92	
12mn	39,43	9,33	
14mn	39,71	9,61	
16mn	40,09	9,99	
18mn	40,53	10,43	
20mn	40,95	10,85	
25mn	41,12	11,02	
30mn	41,75	11,65	
35mn	41,93	11,83	
40mn	42,36	12,26	
45mn	42,86	12,76	
50mn	43,21	13,11	
55mn	43,5	13,4	
1h00mn	43,86	13,76	
10mn	44,37	14,27	
20mn	44,72	14,62	
30mn	44,98	14,88	
40mn	45,21	15,11	
50mn	45,43	15,33	
2h00mn	45,65	15,55	
15mn	46,95	16,85	
30mn	47,23	17,13	
45mn	47,48	17,38	
3h00mn	47,7	17,6	
30mn	48,12	18,02	
4h00mn	48,53	18,43	
30mn	48,92	18,82	
5h00mn	49,63	19,53	
6h00mn	50,13	20,03	
7h00mn	50,64	20,54	
8h00mn	50,99	20,89	
9h00mn	51,28	21,18	
10h00mn	51,23	21,13	
11h00mn	51,9	21,8	
12h00mn	52,12	22,02	
13h00mn	52,24	22,14	
14h00mn	52,4	22,3	
15h00mn	52,52	22,42	
16h00mn	52,6	22,5	
17h00mn	52,61	22,51	
.....	.....	.....	
72h00mn	52,61	22,51	8

### V.3.1 Calcul de transmissivité

La productivité d'un captage dans un aquifère est fonction de son coefficient de perméabilité,  $K$  et de son épaisseur,  $b$ . C'est pourquoi la transmissivité, notée  $T$ , a été créée. Il régit de débit d'eau qui s'écoule, par unité de largeur,  $L$ , d'un aquifère, sous l'effet d'une unité de gradient hydraulique,  $i$ . Il évalue la fonction conduite de l'aquifère par la relation suivant.

$$T = K * B$$

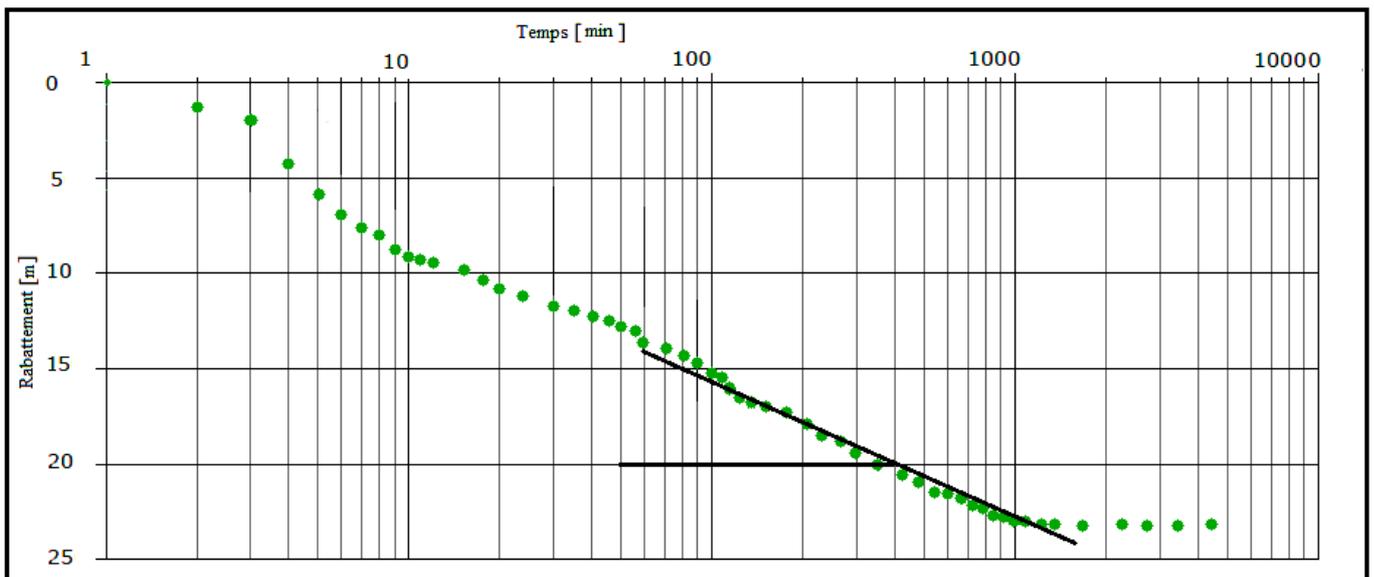
Avec :

**K** : la perméabilité d'un aquifère

**B** : l'épaisseur de l'aquifère

#### ❖ Transmissivité après la descente de niveau de l'eau

Le calcul de la transmissivité consiste à apporter les valeurs de rabattement observée, en fonction de temps de pompage et à tracer la droite qui passe par le maximum de point et de relever sur le graphe la pente de la droite  $S=f(t)$ .



**Figure 28 : Le rabattement au cours de l'essai de longue durée**

Le report des points des couples rabattement-temps sur un graphique à l'échelle semi-logarithmique (figure 28) détermine la droite passant par le lieu d'alignement des points (Méthode de Jacob).

La pente de la droite permet de calculer la transmissivité de l'aquifère par la méthode de Jacob :

Méthode de Jacob :

$$T=0.183*Q/C$$

Avec :

Q= 28.8 m<sup>3</sup>/h est le débit de pompage de longue durée

C= 5 m, est la pente de la droite

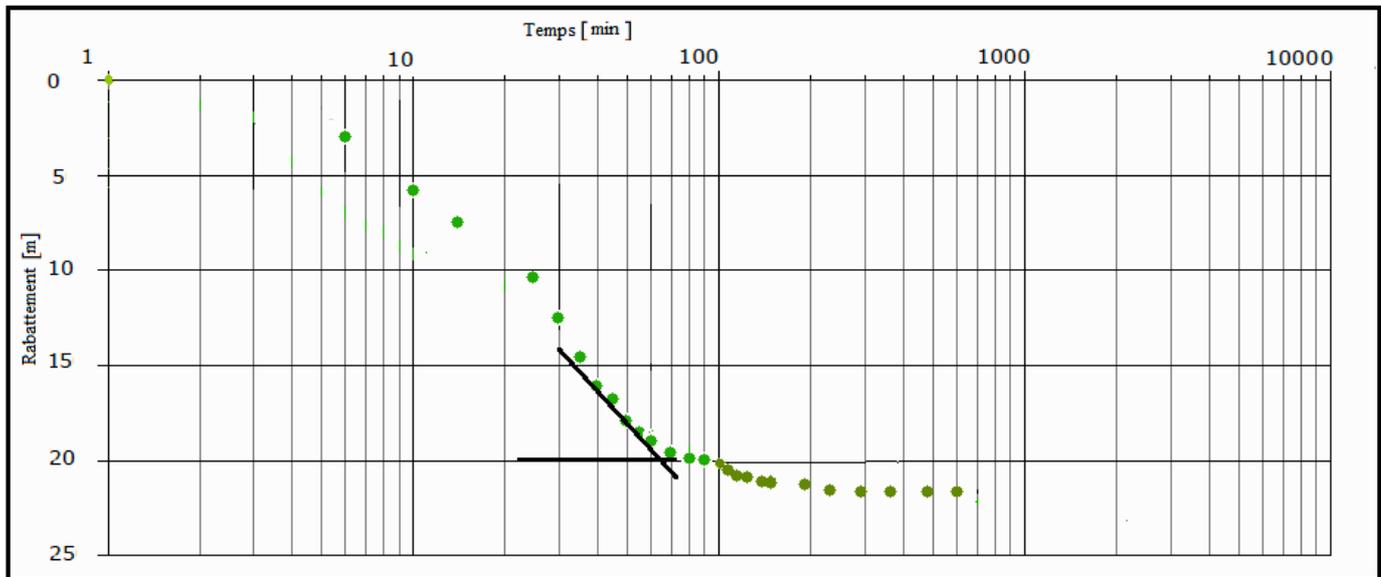
$$T=2.92*10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$$

❖ **Transmissivité après remonté de niveau de la nappe :**

L'observation de la remontée du niveau dynamique après l'arrêt de la pompe en fonction de temps est présenté dans le tableau 14.

**Tableau 14 : La remonté de niveau de l'eau**

Temps(mn)	Niveau(m)
00h00mn	52,61
05mn	49,1
10mn	47,3
15mn	45,25
25mn	42
30mn	39,88
35mn	38,2
40mn	36,58
45mn	35,44
50mn	34,53
55mn	33,87
1h00mn	33,67
10mn	33
20mn	32,85
30mn	32,7
40mn	32,58
50mn	32,49
2h00mn	32,4
15mn	32,28
30mn	32,17
45mn	32,07
3h00mn	32
4h00mn	31,94
5h00mn	31,9
6h00mn	31,86
8h00mn	31,82
10h00mn	<sup>61</sup> 30,8



**Figure 29 : Le rabattement après arrêt de pompage**

Le repert des rabattement en fonction du temps de remonté de niveau dynamique après arrêt de la pompe sur un graphique semi-logarithmique donnent un alignement des point permettant de calculer une nouvelle valeur de la transmissivité (figure 29 ).

La pente de la droite permet de calculer la transmissivité de l'aquifère par la méthode de Jacob après arrêt de pompe est :

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

La valeur calculée après l'arrêt de la pompe est très proche de celle calculée pendant le pompage.

## Conclusion

---

L'étude a pour objet le dégagement des ressources en eau souterraine et l'implantation d'un captage d'eau pour l'approvisionnement en eau potable des populations rurale. La zone d'étude se trouve sur l'unité géographique dite Couloir Fés-Taza, elle se caractérise par une croissance continue et rapide de la demande globale en eau liée notamment à l'évolution démographique totalisant 14337 à l'horizon 2020. Elle se place dans un ensemble de climat continental, et les formations calcaire-dolomitiques perméables jouent le rôle de réservoirs aquifères de grande importance. Ce travail a abouti aux résultats suivants :

❖ La diagraphie du sondage 1 montre Présence de formations résistantes (120 à 372 $\Omega$ m) pouvant correspondre à des calcaires avec une passé marno calcaire et la Présence de formations moyennement résistantes (60 à 120 $\Omega$ m) pouvant correspondre à des calcaires marneux.

❖ La diagraphie du sondage 2 montre la Présence de formations résistantes pouvant correspondre à les calcaires dolomitique

❖ La diagraphie du sondage 3 montre la présence des calcaires dolomitiques avec intercalations marneuses

La prospection géophysique montrent donc l'existence d'un aquifère constitué par des dolomies et calcaires et repose sur un substratum imperméable constitué par des argiles et des marnes.

A la base de la prospection géophysique, le forage d'exploitation a été réalisé sur le même emplacement que le sondage 3 de l'étude géophysique. La méthode de foration préconisée est celle du marteau fond du trou avec un diamètre de Foration 8''½, la coupe géologique de l'ouvrage décrit un aquifère essentiellement de calcaire et plus argileuse à la base.

A partir des registres d'inclinaison et de verticalité, le forage à été aléser par la méthode de rotary avec un diamètre final 17''½ de 0 à 80 m. et par la suite un développement à l'air lift a été poursuivi pendant 10 heures avec un débit entre 10 et 6 l/s. Enfin l'interprétation des essais de pompage nous a permet de déterminer les caractéristiques hydrodynamiques de la nappe dont le débit critique à ne pas dépasser est 30 m<sup>3</sup>/h, et la transivité de l'aquifère est  $T=3*10^{-4}$  m<sup>2</sup>/s.

Enfin nous recommandans d'exploiterr ce forage à un débit maximum de 28.8m<sup>3</sup>/h au dela les pertes de charges quadratiques sont plus élevées entrainant un régime turbulent .

## Références bibliographiques

---

- AGOSSINE M. 2010.** Techniques de Forage. Maitrise des sciences et Techniques Hydrogéologie. Université Cadi Ayad. Faculté des Sciences et Techniques de Marrakech.
- AZILI M. 2003.** Généralisation de l'Eau : Eléments de Stratégie d'Action en Matière de Dégagement des Ressources en Eau.
- CHAPUIS P. 2007.** Guide des essais de pompage et leurs interprétations.
- CHAPELLIER D. 1990.** Diagraphies aquifères. Cours online de géophysique. Université de lausanne. Institut français de pétrole.
- DULICA C. 1981.** Le matériel de forage. Adapte au captage des eaux souterraines et l'équipement des ouvrages.
- HADDOUCHI B. 2004.** Méthodologie Opérationnelle d'Etudes Pour le Dégagement des Ressources en Eaux Souterraines en Milieu Rural. ESSAIS DE POMPAGE.
- HADDOUCHI B. 2004.** Méthodologie Opérationnelle d'Etudes Pour le Dégagement des Ressources en Eaux Souterraines en Milieu Rural. PROSPECTION GEOPHYSIQUE.
- HADDOUCHI B. 2004.** Méthodologie Opérationnelle d'Etudes Pour le Dégagement des Ressources en Eaux Souterraines en Milieu Rural. DEGAGEMENT DES RESSOURCES EN EAU.
- JALLOW S. 2010.** Projet d'alimentation d'eau potable en milieu rural.
- LAUGA R.1990.**Pratique du forage d'eau et utilisation des crépines en génie civil et en forage profond
- MARTIN J. 1981.** Note et Mémoires du service Géologique : Le moyen atlas central étude Géomorphologique 267-324.
- MARGAT J & CASTANY G. 1977.** Dictionnaire français d'hydrogéologie, BRGM France.
- PHILIPPE M. 2009.** Interprétation du Pompage d'essai. Ressources en eau du Maroc, Domaine Atlasique et Sud-Atlasique Tome 3.p 67-94.
- RICHARD C. 2008.** Connaissances des méthodes de captage des eaux souterraines aux forages manuels

## *Annexe*

---

# Annexe 1

N°	Localité	Population				
		2013	2015	2020	2025	2030
1	MATINE	133	136	143	150	157
2	BENI ABBAD	125	128	134	141	148
3	AIT AHMED	140	143	150	158	166
4	SIDI BRAHIM	40	41	43	45	47
5	LAKLYAA	120	122	128	135	142
6	ANSEM	100	102	107	113	119
7	FAJ AZRAR	90	92	96	101	106
8	EL KARIA	115	117	123	130	136
9	S.ALI BENKHATOUR	70	71	75	79	83
10	LACHRAF	70	71	75	79	83
11	SIDI YAHYA	600	612	643	676	711
12	TIRBITINE	325	332	349	367	385
13	AOUJA	70	72	75	79	83
14	AHMMAR	80	82	86	90	95
15	LAMDAOUAD	70	72	75	79	83
16	TAFJIGHT	140	143	150	158	166
17	BENI SOUHANE	400	408	429	451	474
18	MALOUSSE	100	102	107	112	118
19	OD MIMOUNE	225	229	241	253	266
20	BENI RETOUANE	55	56	59	62	65
21	EL BATHA	250	255	268	282	296
22	ARRAMANA	90	92	97	101	107
23	ARRAKAA	65	66	69	73	77
24	TIBAKHBAKHINE	125	128	134	141	148
25	AIN ÄALA	100	102	107	113	118
26	IHAFRAOUNE	65	66	69	73	77
27	SAKIA-BOURBAH	155	158	166	175	184
28	DCHAR-BNI MKOUD	265	270	284	298	314
29	LAKRARECH	170	173	182	191	201
30	ZAOUIA-BNI MKOUD	70	72	75	79	83
31	AL GHAR	450	459	483	508	533
32	NAS DAOUD	1424	1540	1873	2279	2773
33	BENI BOUHASSANE	410	443	539	656	798
34	IBERKIKEN-TIKEN	190	205	250	304	370
35	AHL MATINE	100	102	107	113	118

36	ICHEMLALENE-EL BACHMA	500	510	536	564	593
37	ICHEMLALENE-EL MASREH	250	255	268	282	297
38	BENI LACHAA	300	306	322	338	355
39	TAGHZA	520	530	558	586	616
40	TICHOUTE TAMALLALT	160	163	171	180	189
41	TASSAOUNTE OUAARAAR	100	102	107	113	118
42	NASS SAÏD	301	307	322	339	356
43	TAHIYANTE	280	286	300	316	332
44	BAB MSILA	299	311	343	379	418
45	TISSI	550	561	590	620	651
46	IFRAH	950	969	1018	1070	1125
47	SIDI BOUAZZA	280	286	301	316	332
48	LAHMA-OULAD NACER	270	281	310	342	378
49	AIN AJRI	250	256	269	282	297
50	AIN BAROUD-BOUGHARDAYANE	350	378	460	560	681
51	TAFFERT	110	112	118	124	130
52	TAFZA	15	16	16	17	18
53	IMZZOUGEN	150	153	161	169	177
54	TAHFOURT	100	102	107	112	118
55	AGHBAL	60	61	64	68	71
<b>Total Population</b>		<b>12792</b>	<b>13207</b>	<b>14337</b>	<b>15620</b>	<b>17085</b>

**Photo 1 : Equipement de diagraphie**



**Photo 2 : Treuil**



**Photo 3 : Appareil de forage Rotary**



**Photo 4 : Outil de vérification de l'ouverture des crépine**



**Photo 5 : Tubage crépine**



**Photo 6 : Outil de vérification de l'épaisseur de tubage**



**Photo 7 : Sonde combinée de diagraphie**



**Photo 8 : les tiges de foration**



**Photo 9** : deux types de tubage :

Tubage crépiné (premier tube vers le bas), et tubage plein (5 tubes vers le haut)



**Photo 10** : Le gravier filtrant



**Photo 11** : Programme de diagraphie assisté par ordinateur



**Photo 12** : les caisses de cuttings



**Photo 13 : Le gravier filtrant**



**Photo 14 : Retirement de l'outil d'alésage**



**Photo 15 : Les types de sonde de diagraphie**



**Photo 16 : Table de recommandation**

