

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
جامعة 8 ماي 1945 قالمة  
Université 8 Mai 1945 Guelma  
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Sciences de la terre et de l'Univers



## Mémoire En Vue de l'Obtention du Diplôme de Master

**Domaine :** Sciences de la terre et de l'Univers  
**Filière :** Géologie  
**Spécialité/Option:** Hydrogéologie et Géothermie  
**Département:** Sciences de la Nature et de la Vie

---

### Thème :

**Caractérisation hydrogéologique et géophysique de la région  
Héliopolis-El Fedjoudj-Hammam Oulad Ali**

---

**Présenté par :** MAHIEDINE Fatima Zahra

**MIHOUB Mebarka**

**Devant le jury composé de :**

**Président:** T.Nouar

**Examineur :** L.Benacer

**Encadreur :** A.BRAHMIA

**Université de Guelma**

**Université de Guelma**

**Université de Guelma**

**Juin 2016**

## **Résumé**

Les études hydrogéologiques et géophysique permettent de déterminer les divers structures et formations géologique qui construire la structure de notre sous-sol et leur potentialités aquifères.

D'après les études géologiques, hydrogéologiques et géophysiques nous constatons que nos résultants sont concordants et montre bien la structure des calcaires par leur affleurement dans la région de Hammam Bradaâ, Bouzitoune, Nord de Héliopolis et El Fedjoudj ou par leur plongement vers le Nord et vers le Sud, cette structure est mise en place par la tectonique cassante (des failles), ce qui nous montre l'intérêt hydrogéologique de cette zone favorable à la formation des aquifères.

## ملخص

الدراسات الهيدروجيولوجية والجيوفيزيائية تسمح بالتعرف على مختلف الهياكل والتكوينات الجيولوجية المكونة لهيكل المياه الجوفية, زيادة على ذلك امكانياتها.

وفقا للدراسات الجيولوجية والهيدروجيولوجية والجيوفيزيائية نجد أن نتائجنا تتفق حيث تظهر لنا ان هنالك نتوء الحجر الجيري في المناطق التالية: حمام برادع, بو زيتون, قلعة بوصبع. التي تنغمس في الشمال و الجنوب , هذه الهياكل تتأثر بالانكسارات التكتونية. التي تظهر لنا الاهمية الهيدروجيولوجية لهذه المنطقة القابلة لتكوين هياكل مياه جوفية.

### **Summary:**

Hydrogeological and geophysical studies identify the various structures and geological formations that build the structures of our underground aquifers and their potential.

According to the geological, hydrogeological and geophysical studies, we find that our results are consistent and show the structure of the limestone outcrop in their area Hammam Bradaâ, Bouzitoune, Northern Heliopolis and El Fedjoudj or their dipping north and South, this structure is implemented by the brittle tectonics (breaks), which shows the interest of this favorable hydrogeological training area aquifers.

## *Remerciement*

*Avant toute chose, je remercie dieux le plus puissant, pour  
m'avoir donné la force et la patience.*

*J'exprime toute mes gratitudes au docteur BRAHMIA Ali  
pour l'effort fourni, les conseils prodigue, sa patience et son  
persévérance dans le suivi.*

*Je remercie très sincèrement les membres de jury ; a d'avoir  
bien voulu accepter d'examineur ce travail.*

*Je remercie tous mes amis qui m'ont aidé : Fayçal,*

*Abd El Hafid...etc.*

*J'adresse également mes remerciements à tous les  
enseignants qui m'ont donnée les bases de l'Hydrogéologie  
et à toute personne qui a participé de près ou loin pour  
l'accomplissement de ce modeste travail et tous les personnes  
qui m'ont aidé.*

## *Dédicace*

*J'ai le grand plaisir de dédier ce modeste travail à ceux  
m'ont encouragé dans la vie et qui m'ont donnée tant  
d'amour, la lumière de mes yeux mes très chers parents.*

*A ma sœur et mon amie Fatima*

*A mes sœurs à mes frères à tous les amies que j'ai eu la  
chance d'avoir.*

*A tous mes amis et collègues : Houda, Hafid, Hayçal, Salah  
Eddine, Issaka, Levy, Ibrahim, Saddik, Mouhamedsalah ...*

## *Dédicace*

*J'ai le grand plaisir de dédier ce modeste travail à ceux  
m'ont encouragé dans la vie et qui m'ont donnée tant  
d'amour, la lumière de mes yeux mes très chers parents.*

*A ma sœur et mon amie Mebarka*

*A mes sœurs à mes frères à tous les amies que j'ai eu la  
chance d'avoir.*

*A tous mes amis et collègues : Houda, Hafid, Hayçal, Salah  
Eddine, Issaka, Levy, Ibrahim, saddik, mouhamedsalah ...*

## **TABLE DE MATIRES**

<b>Résumé</b>
<b>ملخص</b>
<b>Abstract</b>
<b>Remerciement</b>
<b>Dédicace 1</b>
<b>Dédicace 2</b>
<b>Table des matières</b>
<b>Liste des tableaux</b>
<b>Liste des figures</b>
<b>Liste des abréviations</b>

### **INTRODUCTION GENERALE**

#### **CHAPITRE I : CADRE PHYSIQUE**

**Page**

I. Situation géographique de la wilaya de Guelma	4
II. Situation géographique de la zone d'étude	4
III. La géomorphologie	6
IV. Aspect socio-économique	7

#### **CHAPITRE II : CADRE GEOLOGIQUE**

Introduction	8
I. Stratigraphie des différentes unités structurales	9
I.1. Les formations récentes	9
I.1.1. Le Quaternaire	9
I.1.2. Le Mio-Pliocène	10
I.2. Les formations anciennes	10
I.2.1. La nappe numidienne	10
I.2.2. La nappe des Flyschs	10
• Flysch de type Guerrouch	11



II.2.3. La nappe ultra –tellienne	11
II.2.4. La nappe ultra-tellienne du Djebel Haouara	11
II.2.5. La nappe ultra- tellienne de Djebel Bou Sbaâ	11
II.2.6. La nappe tellienne	12
II.2.6.1. La nappe tellienne de Hammam Oulad Ali	12
II.2.6.2. La nappe tellienne de la région de Ras El Ägba-Sellaoua Announa	12
II.2.7. La nappe néritique constantinoise	12
II.2.7.1. A l’Est de Djebel Debagh	12
II.2.7.2. A Hammam Oulad Ali	13
II.2.7.3. Au Douar Bouzitoune-Héliopolis	13
II.1.7.4. A la station Nador	13
III. Schéma structural	13
Conclusion	15

### **CHAPITRE III : L’HYDROCLIMATOLOGIE**

Introduction	16
I. Les précipitations	16
I.1. Les précipitations inter-annuelles	16
I.2. Répartition mensuelle des précipitations	19
II. Les températures	20
III. Bilan hydrique	21
III.1.L’évapotranspiration potentielle (ETP)	21
III.2.L’évapotranspiration réelle (ETR)	22
IV. L’interprétation du Bilan hydrique	24
V. Estimation du ruissellement	25
VI. Estimation de l’infiltration	25
VII. Calcul d’indice d’aridité	26
Conclusion	26

## CHAPITRE IV : HYDROGEOLOGIE

Introduction	27
I. Aperçu hydrogéologique de la région de Guelma	27
II. Hydrogéologie de la zone d'étude	28
II.1. La nappe de Hammam Bradaâ	28
II.2. La nappe de Héliopolis (Bouzitoune)	28
II.3. La nappe d'El Fedjoudj et Oulad Ali	28
III. Inventaire des points d'eaux	28
III.1. Les sources de la nappe des calcaires néritiques et Sénoniens d'Héliopolis	28
III.2. Les forages d'eau	29
IV. Identification des aquifères	31
Conclusion	36

## CHAPITRE V : ETUDE GEOPHYSIQUE

Introduction	37
A. La prospection électrique	37
Généralités sur la méthode des résistivités	37
A.I. Principe de la méthode de prospection électrique	39
A.II. Principe de la méthode du sondage électrique vertical SEV	40
A.III. Théorie d'interprétation des sondages électriques	41
A.IV. Prospection de la zone d'étude	41
A.IV.1. Etalonnage des données	43
A.IV.2. Echelle des résistivités	47
A.IV.3. Coupes géoélectriques et leurs interprétations	48
A.V. Carte d'isoprofondeur du toit de l'aquifère	56
A.VI. Carte structurale	58
B. La prospection gravimétrique	59
B.I. Rappels théorique	59
B.II. Méthode d'élaboration du calcul de l'anomalie gravifique	60
B.II.1. les corrections de $g_{\text{mesuré}}$	60
B.II.1.1. La correction Luni-solaire	60
B.II.1.2. La correction de la hauteur du trépied	61

B.II.1.3. La correction de la dérive Instrumentale	61
B.II.2. $g$ modèle	61
B.II.2.1. La correction à l'aire libre	62
B.II.2.2. La correction du plateau	62
B.II.2.3. La correction topographique	62
B.III. Interprétation qualitative	62
B.III.1.Généralités sur les cartes gravimétriques	62
Conclusion	65

## **CONCLUSION GENERALE**

## **BIBLIOGRAPHIE**

## **ANNEXES**

## LISTE DE TABLEAUX

N <sup>o</sup> de Tableau	Titre de tableau	page
1	Coordonnées de la station météorologique de Guelma.	16
2	Précipitations annuelles à la station de Guelma.	17
3	Moyennes mensuelles des précipitations station de Guelma (2002-2015).	19
4	Température moyennes mensuelles station de Guelma (2002-2015).	20
5	Coefficients d'ajustement mensuel.	22
6	Calcul du bilan hydrique.	23
7	Estimation des paramètres du bilan hydrique.	26
8	Inventaire des forages de la zone d'étude	29
9	Coordonnées topographiques des SEV.	42
10	Echelle de résistivité.	47

## LISTE DE FIGURE

N <sup>o</sup> de figure	Titre de figure	page
1	Limite administrative de la wilaya de Guelma.	4
3	La zone d'étude (extrait de la carte topographique de Guelma (1/50 000)).	5
2	Géomorphologie.	6
4	Carte du réseau hydrographique de la moyenne Seybouse (Guelma).	7
5	Les unités paléogéographiques de la chaîne alpine en Algérie.	8
6	Carte géologique de Guelma.	9
7	Situation de la coupe géologique.	14
8	Extraire de la coupe géologique sur la carte géologique de Guelma 1/50 000.	14
9	Réparation graphique des Variations interannuelles des précipitations station de Guelma (2002-2015).	18
10	Moyennes des précipitations mensuelles (mm).	19
11	Histogramme des températures moyennes mensuelles en mm.	20
12	Courbe pluviothermique.	24
13	Carte d'implantation des points d'eau.	30
14	Coupe Hydrogéologique I.	32
15	Coupe Hydrogéologique II.	33
16	Coupe Hydrogéologique III.	34
17	Coupe Hydrogéologique IV.	35
18	Propagation du courant électricité dans un sous-sol homogène.	40
19	Carte d'implantation des SEV.	43
20	Interprétation de forage BOUZITOUNE.	44
21	Sondage étalon « G6 ».	45
22	Sondage étalon « N8 ».	46

23	Sondage étalon « H7».	47
24	Coupe géo-électrique « F ».	49
25	Coupe géo-électrique « G ».	50
26	Coupe géo-électrique « H ».	51
27	Coupe géo-électrique « I ».	52
28	Coupe géo-électrique « J ».	53
29	Coupe géo-électrique « K».	54
30	Coupe géo-électrique « L ».	55
31	Carte d'iso-profondeur du toit de l'aquifère.	56
32	Carte structurale.	58
33	Carte Anomalie résiduelle de la zone d'étude.	64

## Liste des abréviations

**AB** : Anomalie de Bouguer.

**ANRH** : Agence Nationale des ressources hydriques.

**An. Exc** : Année excédentaire.

**An. Défi** : Année déficitaire.

**BH** : Le Bilan hydrique.

**CL** : Coefficient d'ajustement.

**CRAAG** : Centre de Recherche en Astronomie et Astrophysique et Géophysique.

**CP** : Coefficient pluviométrique.

**DA** : Le déficit agricole.

**E** : Est.

**ENAGEO** : L'entreprise nationale Algérienne de géophysique.

**ETP** : L'évapotranspiration mensuelle.

**ETR** : L'évapotranspiration réelle.

**Exc** : L'excédent.

**DHW** : La direction de l'hydraulique de la wilaya de Guelma

**I** : L'infiltration, d'indice d'aridité..

**K** : Le coefficient d'ajustement mensuel.

**N** : Nord.

**O, W** : Ouest.

**Pr** : La précipitation.

**R** : Le ruissellement.

**RFU** : Réservoir d'eau facilement utilisable.

**S** : Sud.

**T** : La température.

# Introduction



# Introduction

---

## INTRODUCTION GENERALE

Ce mémoire a pour thème : « Les caractéristiques hydrogéologique et géophysique de la région de Héliopolis, El Fedjoudj, et Hammam Oulad Ali »

L'étude qui suit, fait partie d'un travail d'ensemble sur les études Hydrogéologique et géophysique. Elle a pour but d'approfondir les connaissances géologique, Hydrogéologique.

Des nombreuses études antérieures (Hydrogéologique et Géophysique), orientées vers la recherche d'eau, ont montré que les aquifères possible semblent se localise dans la région investiguée. Aussi, il nous a paru nécessaire et intéressant d'introduire dans notre étude les mesures gravimétriques réalisées auparavant par le CRAAG.

Les levés gravimétriques et électriques ont pour but de suivre les horizons favorables à une accumulation d'eau, d'apporter des éléments nouveaux à l'approfondissement des connaissances géologique de la région.

Dans cette étude on essaiera de présenter les caractéristiques Hydrogéologiques des forages et la relation qui existe entre eux au point de vue lithologique.

Notre mémoire comporte cinq chapitres :

**Chapitre I** : Il traite le contexte Physico-géographique de la région investiguée.

**Chapitre II** : L'étude géologique

**Chapitre III** : L'Hydroclimatologie qui permet d'étudier le climat de la région. Le bilan hydrique qui permet l'estimation rapide de l'ETR et d'étudier la variation de la répartition spéciale des précipitations dans la région d'étude.

**Chapitre VI** : L'Hydrogéologie pour avoir une idée sur les caractéristiques du système aquifère de la région investigue.

**Chapitre V** : c'est la partie principale qui traite l'étude géophysique (prospection électrique et la gravimétrie) : les résultats de l'interprétation sont présentés sous forme des coupes géoélectriques, l'élaboration d'une échelle de résistivité nous a conduits à suivre la profondeur du toit des formations calcaires et réaliser une carte structurale. Cette étude géophysique nous à parmi de mieux appréhender la géologie locale.

## Introduction

---

### **Le but de cette étude est :**

D'arriver à délimiter les zones susceptibles de présenter un intérêt hydrogéologique, de préciser les structures et la répartition des formations géologiques du sous-sol et de se prononcer sur l'éventuel emplacement de forages d'exploitation. En d'autres termes :

- Caractériser les terrains constitutifs du sous-sol de notre zone.
- Déterminer la géométrie des terrains géologiques et les aquifères dans la région étudiée.
- Délimiter les zones potentiellement aquifères.
- Déceler les accidents tectoniques qui peuvent avoir un intérêt hydrogéologique.
- Déterminer les endroits d'intérêt aquifère favorable à l'implantation de forages d'exploitation.

Chapitre I :

Cadre physique

**CHAPITRE I : CADRE PHYSIQUE.****I. Situation géographique de la wilaya de Guelma :**

La wilaya de Guelma est située au Nord-Est Algérien, à 65 km au Sud de la ville d'Annaba, au Nord-Est d'El-Taraf, à 80km au Sud-ouest Skikda, à 116 km à l'Est de Constantine, à 120km au Nord-Ouest d'Oum-El-Bouaghi, et à 77km au Nord-Est de Souk-Ahras, et enfin au Sud par une ramification de chaînes montagneuses de l'Atlas Tellien

(figure1).

La wilaya de Guelma s'étend sur une superficie de 9089,10 km<sup>2</sup> fait partie du bassin versant de Oued Seybouse, ce dernier est limitée par les coordonnées Lambert suivantes :

- $X_1=913$   $X_2=941$
- $Y_1=359$   $Y_2=957.5$

La plaine de Guelma constitue la moyenne Seybouse qui s'étend depuis Medjez Ammar à l'Ouest jusqu'au village de Nador à l'Est sur 26 km.

Les reliefs les plus importants qui constituent les limites du sous bassin de la moyenne Seybouse sont :

Au Nord: massif de Haouara et Djebel Bou Sbaâ.

Au Nord-Ouest: djebel Debagh.

Au Sud : massif de Mahouna.

A l'Est : les formations triasique de Nador et N'bails.

La plaine de Guelma est constituée en effet, par deux plaines alluviales d'altitudes différentes raccordées par gradin

- La plaine de la vallée actuelle de l'Oued Seybouse (Oued formé par la confluence des Oueds Cherf et Bouhamdane) présente une largeur moyenne de 1 km, une altitude variable entre 220 m à Medjez Ammar(Ouest) et 120m à Nador(Est).

- La plaine de la vallée ancienne, qui domine la précédente dont l'altitude varie entre 230 et 280m, et s'étend entre la ville de Guelma à l'Ouest et la ville de Boumahra Ahmed à l'Est.

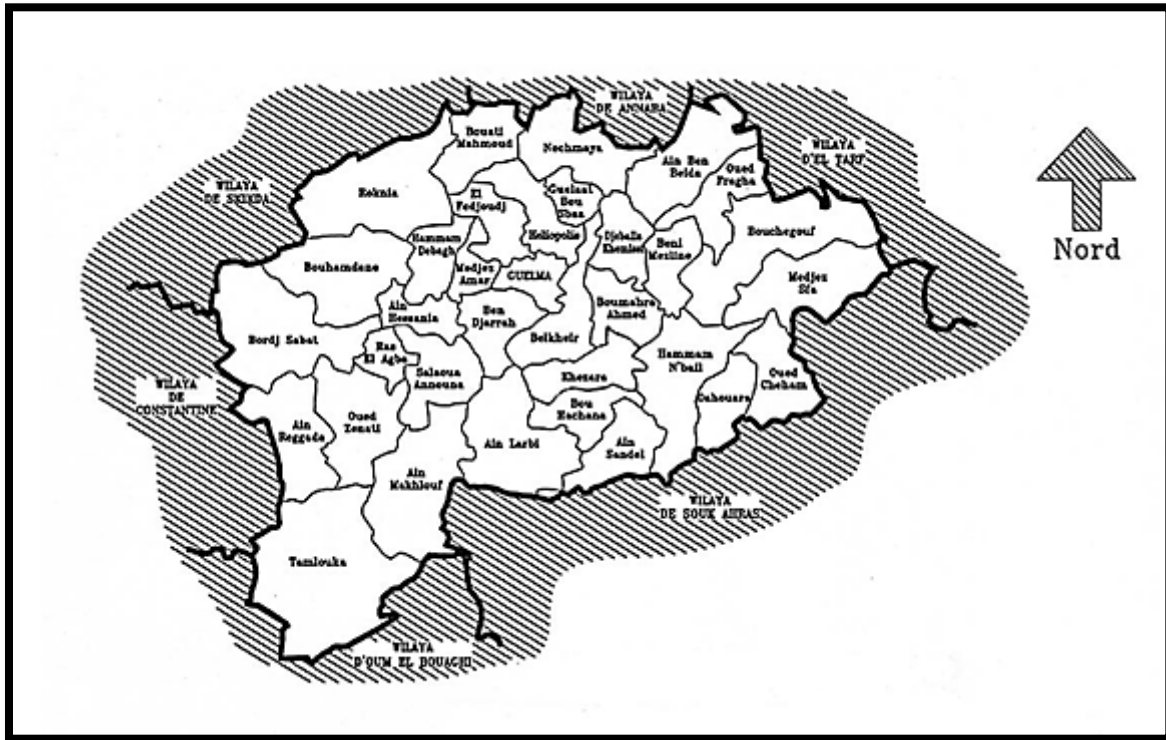


Fig.1. Limite administrative de la wilaya de Guelma.

## II. Situation géographique de la zone d'étude:

La zone d'étude (figure 2) est située dans la partie Nord de la commune de Guelma, fait partie du bassin versant de la Seybouse, administrativement est limitée par:

- La commune de Héliopolis au Sud-Est.
- La commune de Galâat Bou Sbaâ et Hammam Bradaâ au Nord-Est.
- Hammam Oulad Ali au Nord-Ouest.
- El Fedjoudj au Sud- Ouest.

Ses limites naturelles sont :

Au Sud, Oued Seybouse.

A l'Est, l'alignement de crête : djebel Chattah.

A l'Ouest, par ligne de crête : Djebel Ragouba,

Au Nord par : oued Hammam Oulad Ali

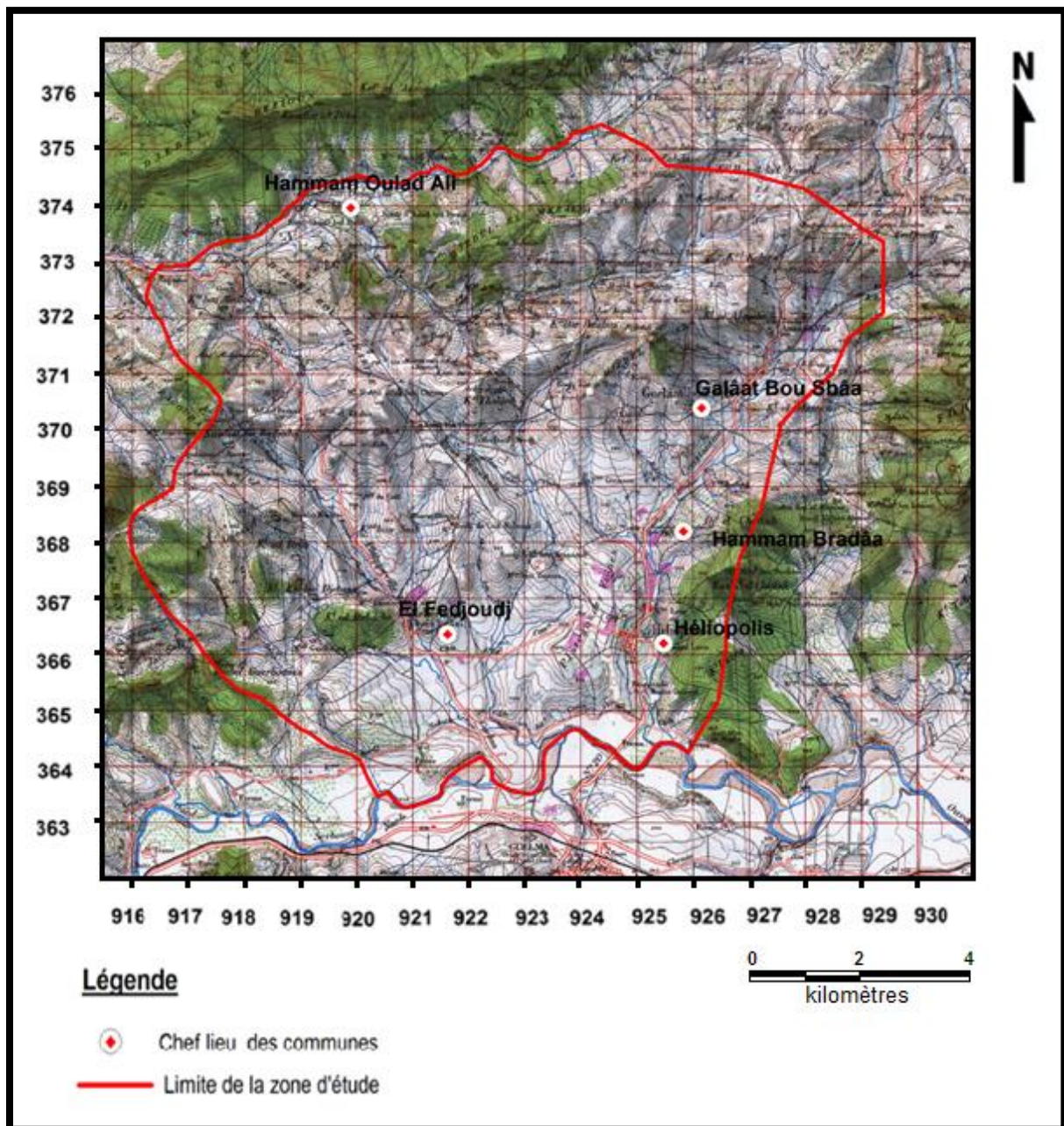


Fig.2.La zone d'étude (extrait de la carte topographique de Guelma 1/50 000).

### III. La géomorphologie :

La géomorphologie de la Wilaya se caractérise par un relief diversifié dont on retient essentiellement une couverture forestière importante, la Seybouse constitue le principal cours d'eau avec ces affluents qui sont : Oued Maiz, Oued Zimba, Oued Skhouné, Oued Bou Sorra, Oued Fragha, Oued Djefeli, Oued Meboudja...etc. (figure 3)

Ce relief se décompose comme suit:

**Les montagnes** de la région constituent 37,82% du relief, essentiellement :

1-Mahouna (Ben Djerrah) : 1411 m d'altitude.

2- Haouara (Ain Ben Beidha) : 1292m d'altitude.

3-Taya (Bouhamdane):1208 m d'altitude.

4-Debagh (Hammam Debagh):1060m d'altitude.

**Plaines et Plateaux** : 27,22%.

**Collines et Piémonts** : 26,29%.

**Autres** : 8,67%.

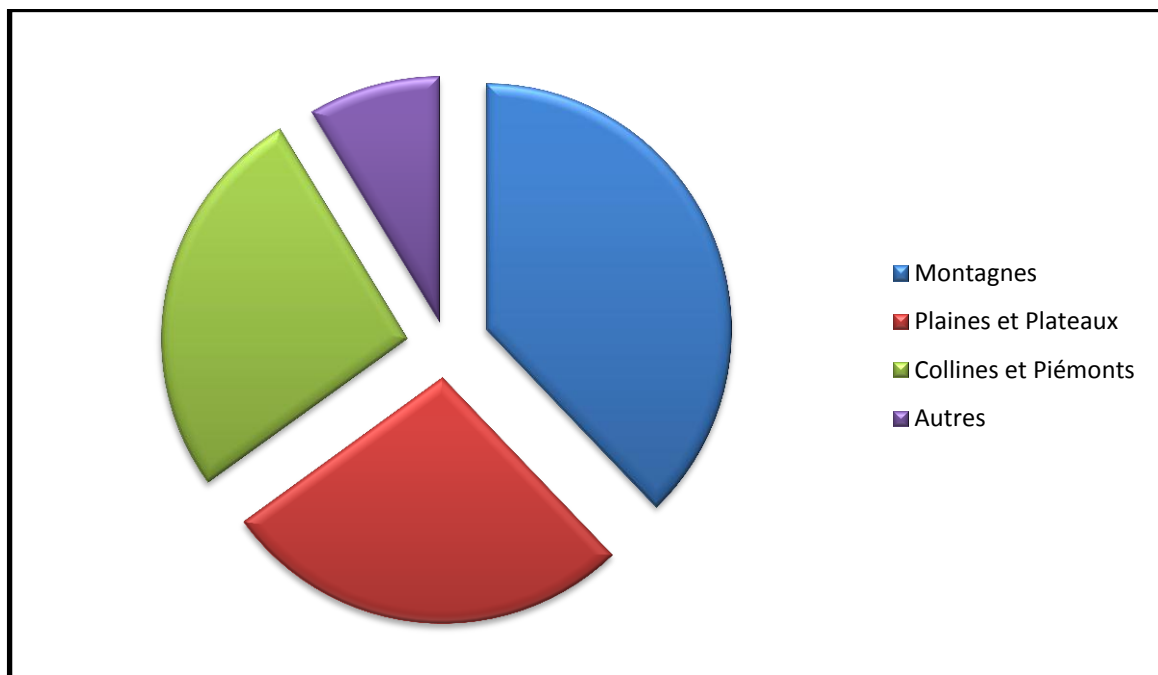


Fig.3. Géomorphologie

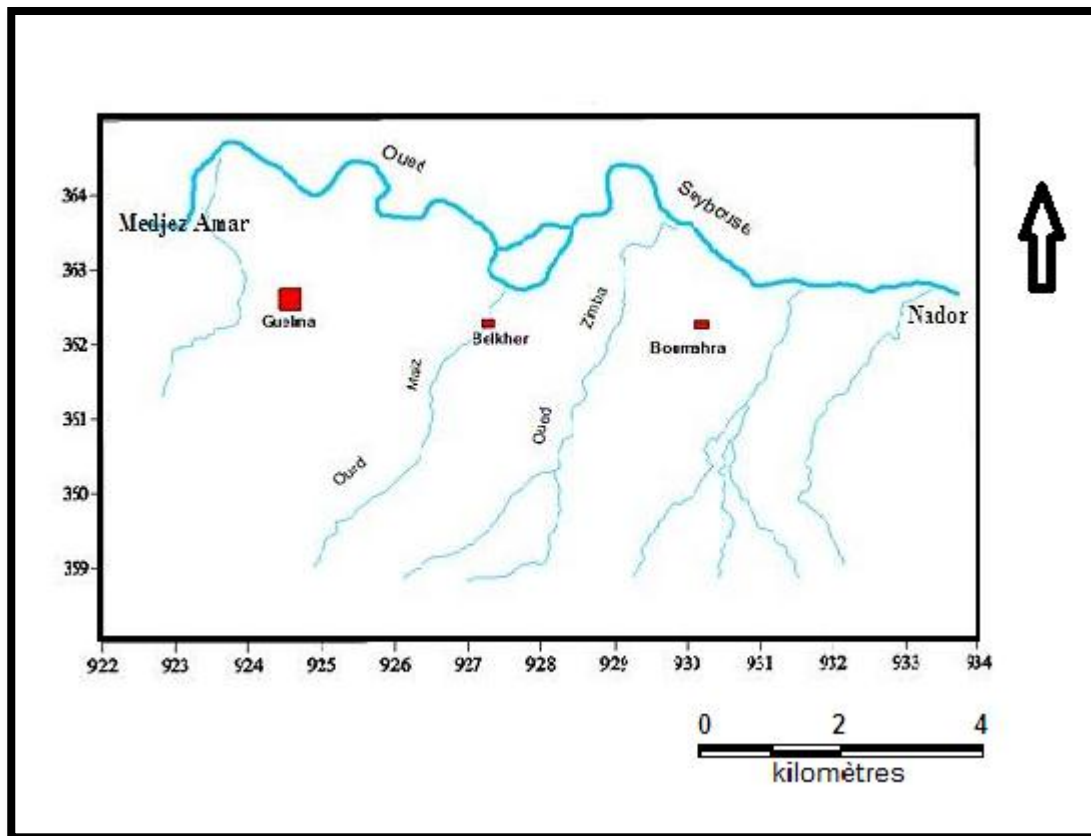


Fig.4.Carte du réseau hydrographique de la moyenne Seybouse.

#### **IV. Aspect socio-économique :**

La région de Guelma est une région à vocation agricole. L'activité industrielle n'est pas assez négligeable. Plusieurs unités ont été implantées, à titre d'exemple : la sucrerie, l'unité de la céramique, SONACOME, la laiterie, unité de fabrication des pâtes, conserverie de tomates industrielles. En plus, il existe un nombre intéressant de mines et de carrières comme celle du Kaolin du djebel Debagh, de marbres utilisés par unité de l'ENMARBRE de Boumahra Ahmed, qui nécessitent une mobilisation d'une quantité importante d'eau d'un côté et qui peuvent être une source de pollution des eaux de surface et souterraines de l'autre côté.



# Chapitre II:

## Cadre géologique.

**CHAPITRE II : CADRE GEOLOGIQUE:****Introduction :**

L'Algérie comprend quatre domaines du Nord au Sud :

\* **l'Atlas tellien (ou le Tell)**, constitué de reliefs escarpés et de plaines littorales dont les plus riches d'Algérie sont la Mitidja

\* **les hautes plaines**, le Chélif à l'Ouest et le Seybouse à l'Est et les Hauts Plateaux;

\* **l'Atlas saharien**, forme une longue suite de reliefs orientés Nord Est –Sud Ouest s'étendant de la frontière marocaine à celle de la Tunisie;

\* **le Sahara**, qui recèle l'essentiel des ressources en hydrocarbures, est un désert formé de grandes étendues de dunes (Erg Oriental et Erg Occidental), de plaines caillouteuses (regs) et parsemé d'oasis, qui sont autant de centres urbains comme El Oued, Ghardaïa et Djanet. Le massif des Eglab à l'Ouest et le massif du Hoggar à l'est forment, pratiquement, la limite méridionale le du Sahara algérien (figure 5).



Fig.5. Les unités paléogéographiques de la chaîne alpine en Algérie.

La région d'étude fait partie des zones externes de la chaîne des maghrébines de l'Algérie orientale.

### I. Stratigraphie des différentes unités structurales :

D'après (Vila, 1980), on distingue du terrain le plus récent au plus ancien : le quaternaire, le Mio-pliocène, la nappe numidienne, les nappes des Flyschs, la nappe ultra-tellienne, la nappe tellienne et la nappe néritique constantinoise (figure 6).

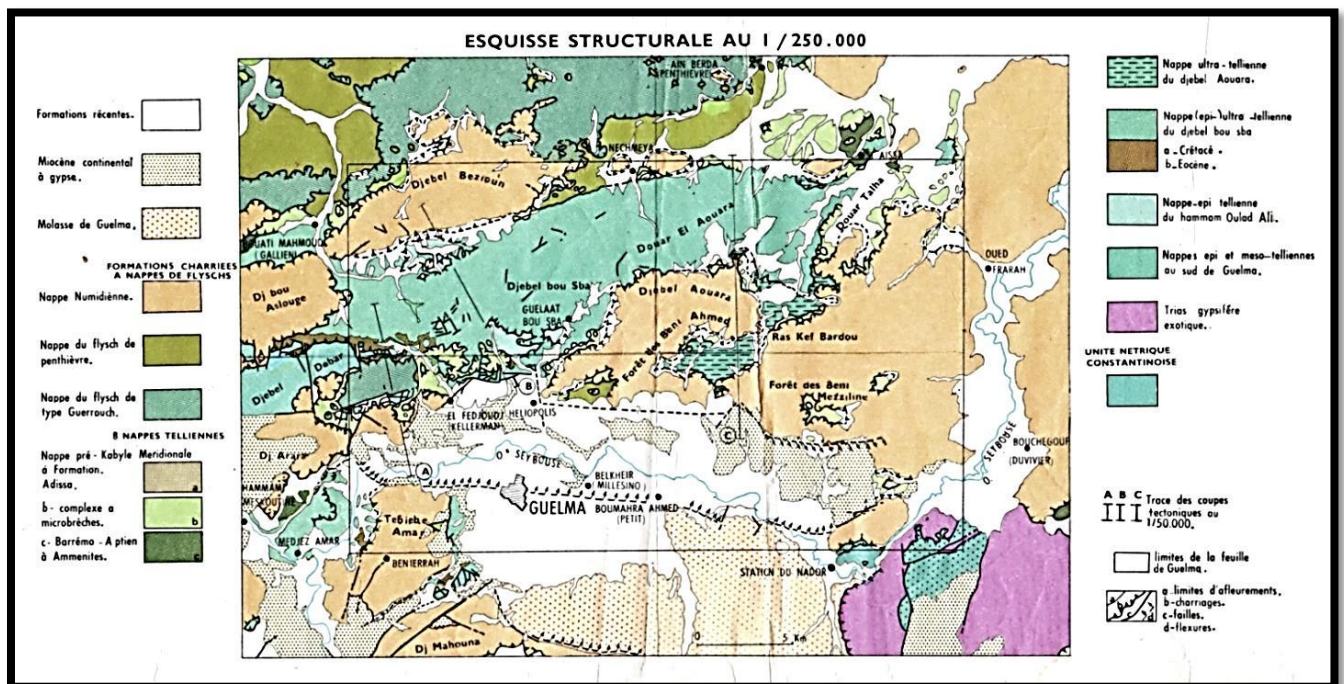


Fig.6. Carte géologique de Guelma.

### I.1. Les formations récentes

#### I.1.1. Le Quaternaire :

D'Ouest en Est, l'Oued Seybouse a déposé des quantités importantes de matériaux détritiques. De haut en bas, on distingue les terrasses suivantes :

1. La basse terrasse (d'âge Soltanien) : elle est constituée des alluvions du lit de l'Oued actuel avec 15 m d'épaisseur. Ce sont essentiellement des limons et cailloux enroulés brun clairs ou grisâtres formant des terres arables favorables aux cultures maraîchères et agrumes.
2. La moyenne terrasse (d'âge Tensifien) : elle est située surtout entre 30 à 50 m d'altitude par rapport à l'Oued Seybouse et constituée de sable et limons et des blocs roulés dans une matrice argileuse de couleur ocre.

3. La haute terrasse (d'âge Salétien) : ce sont des formations qui présentent un épandage en pente douce vers le Nord. Elles sont constituées de gros galets de type *Ranà* dans le djebel Zemzouma au Nord et peuvent atteindre les 100 m d'épaisseur. Au Sud ce sont des calcaires lacustres et tufs d'âge Quaternaire ancien à Pliocène supérieur qui occupent de grandes surfaces. Les croûtes calcaires qui apparaissent aussi au centre d'Héliopolis sont parfois tuffacés ou massifs gris à blanc rosé riches en oogones de *Charophytes* (Vila ,1980).

### **I.1.2. Le Mio-Pliocène :**

Ce sont des argiles grises avec intercalations de marno-calcaires et gypse en couches minces. Elles surmontent des argiles et des conglomérats rouges.

La mollasse de Guelma : c'est une épaisse série d'intercalations d'argile marneuse et de grès jaunâtres friables bien développée au Sud de Guelma.

### **I.2. Les formations anciennes :**

#### **I.2.1. La nappe numidienne :**

Elle constitue les sommets des reliefs en l'occurrence de Djebel Haouara, Beni Mezline et Mahouna. Elle est marquée par la présence d'un faciès gréseux et argileux à *Tubotomaculum* (Lahondère, 1987).

#### **II.2.2. La nappe des Flyschs :**

Les affleurements sont dispersés à la périphérie des vastes radeaux numidiens qui ceinturent la cuvette de Guelma. Vila (1980) distingue:

- Cénonanien-Turonien : Il est représenté par des niveaux bréchiques clairs bien classés en bancs à bandes silicifiées blanches. Ces formations sont datées par : *Rotalipona sp*, *Thalmaninella sp* et *Globotruncana helvética*.

- Sénonien : C'est une série conglomératique et argileuse d'une cinquantaine de mètres d'épaisseur. Les bancs les plus épais (50 à 60cm) montrent des figures de convoluté "bedding". Ce sont les faciès les plus méridionaux du flysch. Dans les affleurements des talus Ouest de la route Guelma-Annaba, la microfaune est représentée par : *Globotruncana Sheegansi* et de rares *orbitoides* Tissoti.

- **Flysch de type Guerrouch :**

Le Crétacé inférieur : c'est une série gréseuse à intercalations argilo- schisteuses grises ou brunâtres. Elle affleure à Ain Sefra au pied- mont de Mahouna. A la base, elle montre quelques bancs calcaires à *Nannoconus*.

-Le complexe de base avec calcaires fins: c'est une série argilo-gréseuse à intercalations de biomicrites claires en bancs centimétriques très froissés à *Nannoconus*.

### **II.2.3. La nappe ultra –tellienne :**

Ce terme a été proposé par Durand Delga pour désigner dans la région de Guelma, les séries superposées anormalement au **Crétacé néritique constantinois du Djebel Debagh** et du **Douar Bouzitoune** (Vila, 1980). Ces séries sont définies par le critère simple de dominance des faciès clairs durant tout le Crétacé.

### **II.2.4. La nappe ultra-tellienne du Djebel Haouara :**

Ce sont de vastes affleurements qui se situent entre la forêt des Beni Ahmed et celle des Beni Mezline, au Nord du Kef Ras Bardou et du Djebel Haouara. Les formations sont constituées par l'alternance de marnes claires beiges ou jaunes et de marno-calcaires en petits bancs de même teinte, riches en *Rosaline*.

L'âge de la série est compris entre le Sénonien inférieur et le Barrémien supérieur qui contient *Phyllopachyceras Barodeuse Cop*.

### **II.2.5. La nappe ultra- tellienne de Djebel Bou Sbaâ :**

L'âge de la série est compris entre l'Aptien et le Lutétien. Elle est développée essentiellement au Nord de la zone d'étude, dans la région de Guelâat Bou Sbaâ. On trouve aussi des témoins de cette série près de Medjez Amar au Tebiebe Amar, au Sud-Ouest de Guelma et près de la station de Nador à l'Est. Les microfaunes ayant servi à la datation sont variées. On peut citer entre autres, une microfaune à *Truncorotaliagr*, visible sur la berge est de l'Oued Seybouse près de Medjez Amar, *Globorotalia rex Martin* et *G.aff.Velascoensis* (CUSH) dans les marno-calcaires à cassure noire fétide et bitumineuse au Nord de Djebel Debagh (Vila et al, 1968).

**II.2.6. La nappe tellienne :**

La nappe tellienne correspond au domaine tellien externe constitué de formations paléogènes.

**II.2.6.1. La nappe tellienne de Hammam Oulad Ali :**

Elle affleure au pied du Djebel Bou Sbaâ et autour du pointement néritique du djebel Debagh.

Cette unité regroupe tous les terrains situés sur la série néritique constantinoise et la nappe ultra-tellienne du djebel Bou Sbaâ (Vila, 1980). La microfaune est représentée par *Globotruncana stuartiformis* DALB, *Rotalipora sp* et *Hedbergella Washitensis* Carsey.

**II.2.6.2. La nappe tellienne de la région de Ras El Ägba-Sellaoua Announa :**

Elle correspond au domaine tellien externe constitué de formations paléogènes où l'on distingue :

- 1- L'unité tellienne inférieure à nummulites qui comprend un Paléogène à marnes noires et un Eocène calcaire massif à nummulites.
- 2- l'unité tellienne supérieure à *Globigérines* qui comprend un Paléocène constitué de marnes, un Eocène à calcaires en bancs à lumachelles et un Lutétien inférieur à marnes noires à débris d'huîtres et à boules jaunes carbonatées.

**II.2.7. La nappe néritique constantinoise :**

Les affleurements néritiques dans la région de Guelma, représentent la terminaison orientale du domaine néritique. Ces affleurements sont isolés et de tailles variables (Vila, 1980). Ils apparaissent au sommet oriental du djebel Debagh, s'annoient à l'Est sous les nappes précédemment citées pour réapparaître en fenêtres à Hammam Oulad Ali, au Douar Bouzitoune, à la piscine romaine d'Hammam Bradaâ et enfin à l'Ouest de la station Nador.

**II.2.7.1. A l'Est de Djebel Debagh :**

On distingue de haut en bas :

- Les niveaux siliceux : ce sont des roches très minéralisées et mal stratifiées résultant d'une silicification au niveau d'une zone de broyage entre les calcaires à silex du sommet du Sénonien supérieur et les calcaires à silex de l'Eocène allochtone tellien.
- Les calcaires massifs organo-détritiques à *orbitoides* cf. *Média* D'ARCH attribués au Campanien.

-A la base, les dolomies noires épaisses de 250 à 300 m largement cristallines supportent toute la série.

#### **II.2.7.2. A Hammam Oulad Ali :**

A l'Est de la station thermale, affleure une fenêtre d'une série à faciès carbonatés biodétriques d'âge sénonien sous les marno-calcaires de la série ultra –tellienne.

#### **II.2.7.3. Au Douar Bouzitoune-Héliopolis:**

Ces affleurements présentent une série complète où sont datés : l'Aptien supérieur à *Orbitolina Subconcava Parocoskinolina Sunnilandensis*, le Vraconien Cénomaniens inférieur à *Orbitolines* roulées et à *Mélobésiées*, le Sénonien transgressif sur des niveaux à *orbitoides Medina*, *Sidérolites Vidali*, *Globotruncana Linnei* du Campanien ou du Maestrichtien basal.

#### **II.2.7.4. A la station Nador:**

Sous les calcaires massifs à *Rudistes* du Barrémien, l'existence des niveaux à *Favreina Salevensis* et *F.Prusensis* au-dessus d'un ensemble de couches pélitiques ou gréseuses rouges attribués au Trias moyen et supérieur témoigne du passage Jurassique Crétacé.

### **III. Schéma structural :**

La structure actuelle de la région d'étude est la conséquence d'une série de mouvements tectoniques. Les différentes phases mises en évidence peuvent se résumer ainsi :

Les effets tectoniques de la région d'étude se sont manifestés surtout par des phénomènes de compression et refoulement intense des plis qui situées à la partie Nord, avec des contacts anormaux qui peuvent être résumé comme suit :

**Les contacts par les failles :** qui répartie au niveau de toute la zone d'étude avec une direction de Nord, Est - Sud, Ouest et surtout à Bouzitoune et Djebel BOUCHAHARINE.

**Les chevauchements :** situés à Djebel Bou Sbaâ et Hammam Bradaâ et au Nord de la commune d'El Fedjoudj.

Notre zone d'étude est traversée par un champ de faille très important, pour illustrer ces accidents tectoniques qui peuvent être un lieu favorable à la circulation des eaux souterraines nous avons choisi, un extrait de la coupe géologique (B sur la figure 8) de la carte géologique de Guelma, (figure 7)

Sur cette coupe on peut voir les formations plissées au niveau du calcaire avec des failles verticales à Hammam Oulad Ali qui traduisent une tectonique cassante importante, On peut voir aussi des contacts anormaux à Bouzitoune.

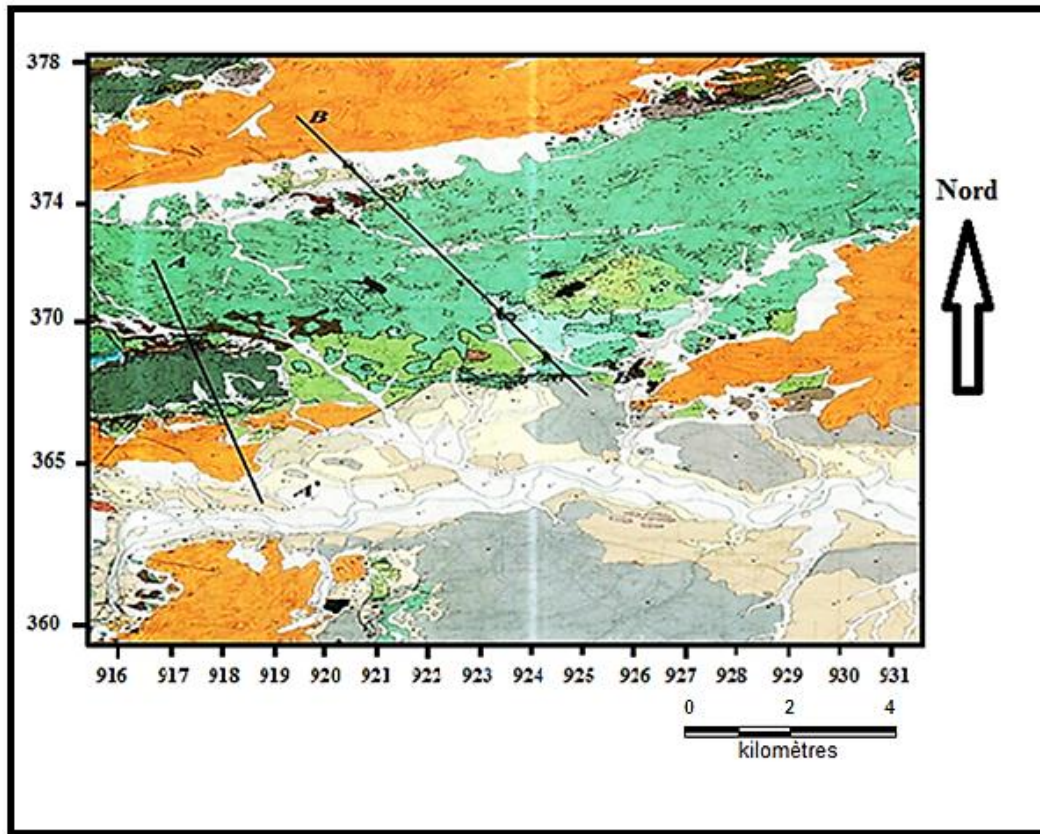
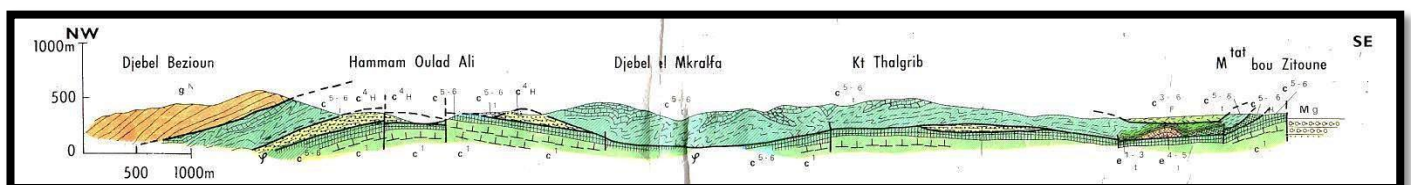


Fig.7.situation de la coupe géologique.



Echelle. 1/50.000

Fig.8.Extrait de la coupe géologique sur la carte géologique de Guelma 1/50 000.



### **Conclusion :**

La géologie de notre zone d'étude affectée l'étude hydrogéologique dont laquelle, elle nous donne des informations brèves qui sont favorables d'être une aquifère.

Elle marque que notre zone investigue constituée des formations carbonatées qui affleure C Hammam Bradaâ et surtout au niveau de Bouzitoune (Héliopolis) et au Nord de la commune d'El Fedjoudj.

# Chapitre III : Hydroclimatologie.

**CHAPITRE III : HYDRO CLIMATOLOGIE****Introduction**

L'étude climatologique est une opération indispensable dans toute approche hydrogéologique, car elle facilite la compréhension des mécanismes d'alimentation et de circulation des eaux naturelles.

En plus elle permet d'avoir une idée sur la répartition des différents paramètres du bilan hydrologique notamment, les précipitations (P), l'évapotranspiration réelle (ETR), le ruissellement (R), et surtout l'infiltration (I).

La zone d'étude est caractérisée par un climat de type méditerranéen.

Les coordonnées de la station météorologique de Guelma sont conclure dans le tableau 1 :

Tableau.1. Coordonnées de la station météorologique de Guelma.

Station	Longitude	Latitude	Altitude	Période d'observation	
				Précipitation	Température
<b>Guelma</b>	07°28'E	36°26'N	227	2002/2015	2002/2015

**I. Les précipitations:**

Les précipitations sont l'élément le plus important dans l'établissement du bilan hydrique parce qu'elles reflètent la circulation des eaux de surface et souterraines. De plus, toute étude climatologique nécessite une analyse bien détaillée des précipitations, car la pluie est un facteur qui conditionne l'écoulement saisonnier et par conséquent, le régime des eaux de surface et souterraines.

**I.1.Les précipitations inter-annuelles:**

L'étude des variations interannuelles des précipitations a été réalisée sur une série de 14ans (2002-2015), les données sont consignées dans le tableau 2 :

Tableau.2. Précipitations interannuelles à la station de Guelma (station de Guelma).

Année	P (mm)	CP	Remarque
<b>2002</b>	503.8	0.78	<b>An. Défi</b>
<b>2003</b>	938.5	1.46	<b>An.Exc</b>
<b>2004</b>	804.8	1.25	<b>An. Exc</b>
<b>2005</b>	541.0	0,84	<b>An. Défi</b>
<b>2006</b>	478.3	0.74	<b>An. Défi</b>
<b>2007</b>	723.0	1.12	<b>An. Exc</b>
<b>2008</b>	381.8	0.59	<b>An. Défi</b>
<b>2009</b>	890.3	1.38	<b>An. Exc</b>
<b>2010</b>	614.1	0.95	<b>An. Défi</b>
<b>2011</b>	711.0	1.10	<b>An. Exc</b>
<b>2012</b>	571.0	0.89	<b>An.Défi</b>
<b>2013</b>	630.6	0.98	<b>An. Défi</b>
<b>2014</b>	511.7	0.79	<b>An. Défi</b>
<b>2015</b>	668.6	1.04	<b>An. Exc</b>

L'analyse du tableau montre que :

P moyenne interannuelle = 640.60mm.

L'année la plus pluvieuse (2003) a une précipitation P = 938.5mm.

L'année la moins pluvieuse (2008) est caractérisée par une précipitation P = 381.8 mm.

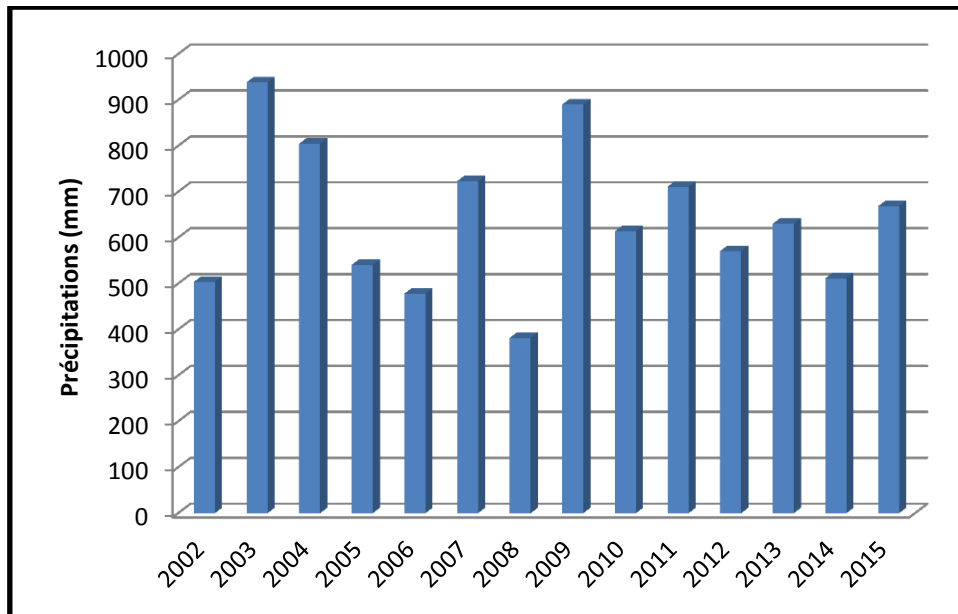


Fig.9.Représentation graphique des variations interannuelles des précipitations station de Guelma (2002-2015).

### **Le coefficient de précipitation:**

La variabilité interannuelle des précipitations est exprimée par le coefficient pluviométrique (CP) qui permet de déterminer les années excédentaires des années déficitaires.

Le coefficient pluviométrique est calculé par la formule suivante :

$$CP = P / P'$$

Avec : P : Pluviométrie de l'année considérée en mm

P' : Pluviométrie moyenne.

Nous avons deux cas : Si  $CP > 1 \Rightarrow$  année excédentaire

$CP < 1 \Rightarrow$  année déficitaire.

$P' = 640.60\text{mm}$ .

**I.2.Répartition mensuelle des précipitations :**

La répartition mensuelle des précipitations, au cours de l'année ainsi que leur variabilité nous permet de déterminer les périodes humides pendant laquelle les aquifères se rechargent (période des hautes eaux), les périodes sèches pendant lesquelles les réserves en eaux souterraines sont à leur niveau bas (basses eaux), le régime des cours d'eau et les fluctuations des niveaux piézométriques des nappes phréatiques.

Le tableau 3 montre la moyenne mensuelle des précipitations pour une période de 14 ans (2002-2015).

Tableau.3. Moyennes mensuelles des précipitations station de Guelma(2002-2015).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
<b>P(mm)</b>	<b>43.39</b>	<b>51.35</b>	<b>71.61</b>	<b>88.67</b>	<b>90.79</b>	<b>78.76</b>	<b>81.9</b>	<b>60.25</b>	<b>39.33</b>	<b>3.08</b>	<b>3.55</b>	<b>16.70</b>

On peut conclure que le mois le plus pluvieux est le mois de janvier avec 90.79mm, et le mois le moins pluvieux c'est le mois de Juin avec 3.08 mm.

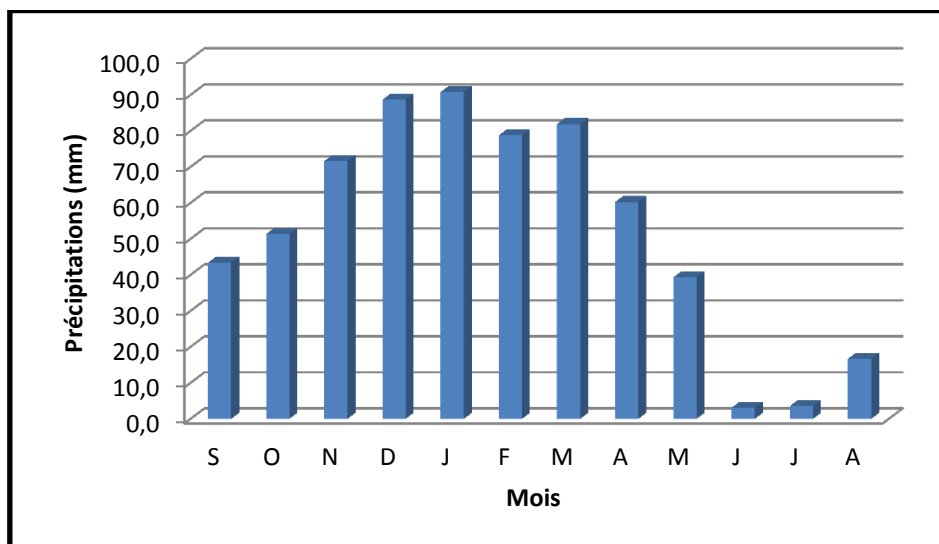


Fig.10. Moyennes des précipitations mensuelles (mm)

L'histogramme des précipitations moyennes mensuelles montre que le mois de janvier est le plus pluvieux avec 90.79 mm, alors que le mois de Juin est le moins pluvieux avec 3.08mm.

**II. Les températures:**

La température est le facteur qui agit directement sur le phénomène de l'évapotranspiration et par conséquent le déficit d'écoulement annuel et saisonnier. Les variations des moyennes mensuelles des températures pour la même période des précipitations sont regroupées dans le tableau 4.

Tableau.4. Températures moyennes mensuelles station de Guelma (2002-2015).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
T(C°)	23.64	21.69	14.70	10.84	9.65	11.55	14.51	15.52	19.21	24.07	27.45	27.3

On constate que le mois de Janvier est le plus froid avec une température de 9.65°, et le mois le plus chaud est le mois de Juillet avec 27.45°, la figure 10 est une illustration graphique de ces variations.

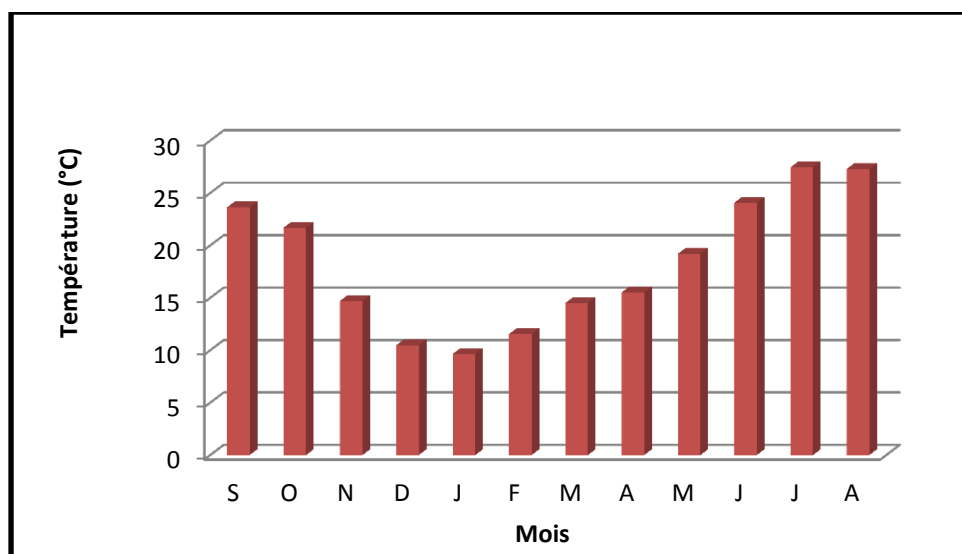


Fig.11. Histogramme des températures moyennes mensuelles en mm.

**III. Bilan hydrique :**

L'étude du bilan hydrique permet d'évaluer la répartition des quantités d'eau reçues par un bassin versant entre ses différents composants (écoulement, infiltration et évapotranspiration). Il est calculé par la formule suivante :

$$P = ETR + R + I$$

Avec :

**P** : précipitations en mm

**ETR** : évapotranspiration réelle en mm

**R** : ruissellement en mm

**I** : infiltration en mm

Le bilan hydrique pour la station de Guelma et pour la période indiquée ci-dessus a été calculé par la méthode de (CW) THORNTHWAITE :

La formule de l'évapotranspiration potentielle (ETP) selon C.W.THORNTHWAITE tient compte de l'indice thermique et de température moyenne mensuelle.

Vu les caractéristiques intermédiaires du climat méditerranéen, cette formule est applicable dans le bassin. La méthode de THORNTHWAITE (1948) consiste à déterminer l'ETR en se basant sur les températures (°C), les précipitations (mm), le coefficient thermique mensuel (K), l'indice thermique mensuel (I) et la variation de stock en eau du sol.

**III.1.L'évapotranspiration potentielle ETP :**

L'évapotranspiration potentielle c'est la somme des quantités d'eau pouvant s'évaporer et transpirer par les plantes sur une surface donnée, et pendant une période bien définie en considérant les apports d'eau suffisants. Elle est donnée par la relation suivante :

$$ETP = 1.6 (10t/I)^a . K$$

Avec:

$$i = (t/5)^{1.514}, I = \sum i$$

$$a = (1.6. I / 100) + 0.5$$

**ETP** : évapotranspiration mensuelle en mm.



**t** : température moyenne mensuelle (°C).

**i** : indice thermique mensuel.

**I**: indice thermique annuel.

**K** : Coefficient d'ajustement mensuel.

Les valeurs de l'ETP calculées pour chaque mois sont corrigées au moyen d'un coefficient qui tient compte du nombre de jours et d'heures réelles entre le lever et le coucher de soleil, ces coefficients sont reportés dans le tableau suivant :

Tableau.5. Coefficients d'ajustement mensuel.

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
<b>K</b>	<b>1,03</b>	<b>0,97</b>	<b>0,86</b>	<b>0,81</b>	<b>0,87</b>	<b>0,85</b>	<b>1,03</b>	<b>1,10</b>	<b>1,21</b>	<b>1,22</b>	<b>1,24</b>	<b>1,16</b>

### III.2.L'évapotranspiration réelle ETR :

Pour le calcul de l'ETR, Thornthwaite a considéré deux cas possibles :

Si  $P \geq \text{l'ETP}$   $\rightarrow$   $\text{ETP} = \text{ETR}$  dans ce cas on parle d'excédent de précipitations qui sera emmagasiné dans le sous-sol participant ainsi à l'augmentation des réserves en eau souterraines jusqu'à ce que ces dernières soient maximales, le surplus constitue l'excédent qui va être disponible pour l'alimentation de l'écoulement de surface et des nappes profondes.

Si  $P < \text{ETP}$   $\rightarrow$  dans ce cas l'ETR dépend de toutes les pluies mensuelles et le déficit est comblé par les réserves du sol (RFU) jusqu'à l'épuisement, ( $\text{ETR} = P + \text{RFU}$ )

Si la réserve facilement utilisable (RFU) contient l'eau nécessaire pour satisfaire le déficit, l'ETR est égale à l'ETP (1<sup>er</sup> cas), dans le cas contraire la (RFU) est vide, l'ETR est liée aux précipitations mensuelle et le déficit constitue le déficit agricole (DA) qui représente la quantité d'eau qu'il faudrait apporter aux plantes pour qu'elles ne souffrent pas de sécheresse.

$$\text{DA} = \text{ETP} - \text{ETR}.$$

Le calcul des différents paramètres du bilan hydrique pour la station de Guelma est résumé dans le tableau 6.

Tableau.6. Calcul du bilan hydrique.

Mois	T	CL	ETPC	Pr	RFU	ETR	DA	Exc
S	23,64	1,03	98,1	43,38	0,0	43,38	54,72	0,0
O	21,69	0,97	78,9	51,35	0,0	51,35	27,55	0,0
N	14,7	0,86	34,2	71,61	37,41	34,2	0,0	0,0
D	10,84	0,81	18,4	88,67	100,0	18,4	0,0	7.68
J	9,65	0,87	15,9	90,79	100,0	15,9	0,0	74.89
F	11,55	0,85	21,7	78,76	100,0	21,7	0,0	57.06
M	14,51	1,03	40,0	81,9	100,0	40,0	0,0	41.9
A	15,52	1,10	48,3	60,25	100,0	48,3	0,0	11.95
M	19,21	1,21	78,7	39,33	60.63	78.7	0,0	0,0
J	24,07	1,22	120,1	3,08	65,0	63.71	56.39	0,0
J	27,45	1,24	155,5	3,55	0,0	3.55	151,95	0,0
A	27,3	1,16	144,0	16,7	0,0	16,7	127,3	0,0
Annuel	18.3		853.8	629.37		289.93	361.52	193.48

Afin de déterminer les périodes sèches et les périodes humides nous avons réalisé une courbe pluvio-thermique pour la station de Guelma figure 12

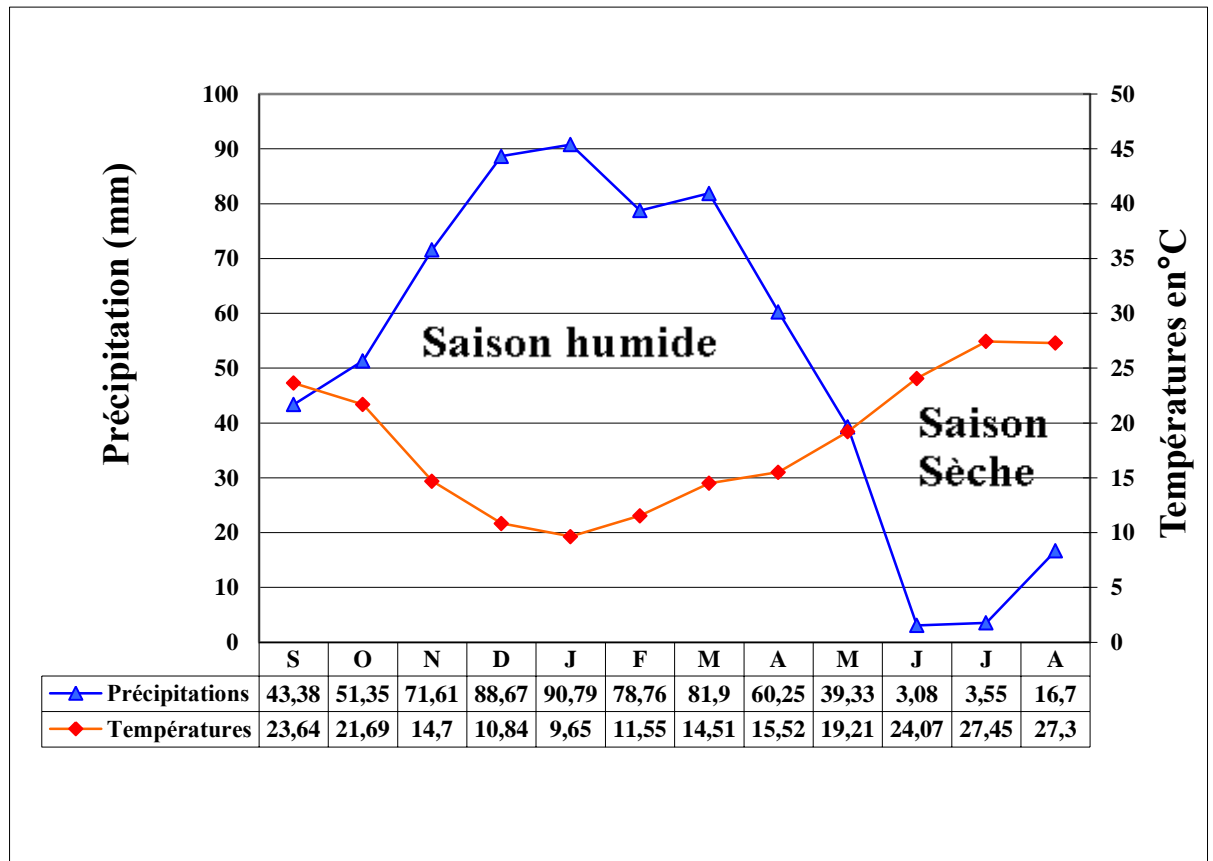


Fig.12.Courbe pluviothermique.

#### IV. Interprétation du Bilan hydrique :

Le Bilan hydrique(BH) a été établi selon la méthode de Thornthwaite parce qu'il est la plus appropriée au climat semi-aride et la plus proche de la réalité.

Les observations et les conclusions suivantes peuvent être tirées :

- Quand les précipitations sont au maximum (Hiver), l'évapotranspiration potentielle (ETP) est à minimum, et vice versa.

-A l'échelle mensuelle, notre région d'étude accuse une période de sécheresse qui traduit par un déficit agricole de valeur 361.52mm, réparti sur quatre mois en allant du mois de Juin ou mois d'Octobre avec une valeur maximale de 151, 95 mm au mois de Juillet.

- L'écoulement dure cinq mois, du mois de décembre jusqu'au mois d'Avril, avec une valeur maximale au mois de janvier de 74.89mm. Elle se produit après que la RFU soit satisfaite (RFU=100).

-Pour la période de recharge de la RFU, elle dure depuis le mois de Novembre jusqu'au mois de Juin, et reste remplie pendant ces mois, qui correspond à la période de l'écoulement.

- La Température et l'ETP sont au minimum au mois de Janvier, avec respectivement des température de 9,65 C° et une ETP de 15,9 mm, avec précipitation maximale de 90,79 mm.

#### **V. Estimation du ruissellement :**

Le coefficient de ruissellement « R » renseigne sur quantité d'eau ruisselée durant la période 2002/2015. Il est calculé par la formule Tisxeront Berkaloff :

$$R = P^3 / 3 \cdot (ETP)^2$$

**R:** Ruissellement (mm).

**P:** Pluviométrie annuelle moyenne (mm).

**ETR:** Evapotranspiration potentielle (mm).

#### **VI. Estimation de l'infiltration :**

L'infiltration est difficile à calculer quand on n'a pas des mesures faites sur le terrain, elle a été estimée de l'équation du Bilan hydrique de l'eau :

$$I = P - ETR - R$$

**I:** infiltration (mm).

**P:** Précipitation moyenne annuelle (mm).

**ETR :** Evapotranspiration réelle selon Thornthwaite.

**R :** Ruissellement (mm).

**VII. Calcul d'indice d'aridité :**

$$I = P / (T + 10)$$

**P** : Précipitation mm.

**T** : Température moyenne annuel en °C

$$I = 629.37 / (18.3 + 10) \rightarrow I = 22.23$$

**NB** : Quand  $20 \leq I \leq 30$  → Le climat est humide

Selon le calcul d'indice d'aridité, le climat est **humide**.

Les éléments du bilan hydrologique de la station de Guelma sont regroupés dans le tableau 7.

Tableau.7. Estimation des paramètres du bilan hydrique.

Paramètres	P mm/an	ETP mm/an	ETR mm/an	R mm/an	I mm/an
Guelma	629.37	853.8	289.93	113.99	185.38

**Conclusion :**

La région d'étude est, appartenant au domaine humide avec une température moyenne annuelle est de l'ordre 18.3°C, une pluviométrie moyenne annuelle est de l'ordre de 629.37mm.

La lame d'eau ruisselée constituée 113.99 mm des précipitations avec une infiltration de 185.38 mm qui pourra jouer un rôle important dans la recharge des nappes souterraines.

L'estimation du bilan d'eau par la méthode de Thornthwaite a montré qu'à partir du mois de Novembre, l'apport est considérable de la pluie, la chute de température et la diminution de l'évapotranspiration permet la recharge du sous-sol mais avec un déficit agricole enregistré à partir de mois du juin jusqu'au mois d'octobre.

# Chapitre IV : Hydrogéologie.

---

**CHAPITRE IV : HYDROGEOLOGIE****Introduction :**

L'étude hydrogéologique d'un bassin est nécessaire pour une meilleure connaissance des ressources en eaux souterraines, leurs caractéristiques Hydrodynamiques et leur mode de gisement.

**I. Aperçu hydrogéologique de la région de Guelma:**

La région de Guelma est constituée de terrains sédimentaires d'âge Crétacé Oligocène Mio-Pliocène-Quaternaire. Le fond du bassin de Guelma est occupé par une plaine alluviale de structure synclinale comblé par des argiles des conglomérats marno-calcaires des grès numidiens et des calcaires lacustres.

Au Sud de Guelma, les formations géologiques dominantes sont les calcaires Yprésiens, les grès Numidiens.

L'ensemble est fortement tectonisé, ce qui favorise la présence de plusieurs unités aquifères.

Les bancs de calcaires Yprésien de la région Sud de Guelma affleurent largement jusqu'à la région de Sedrata. Ces calcaires sont fortement fissurés, ce qui permet aux ressources aquifères d'être entre alimentées par infiltration des eaux de précipitations. Des travertins se relèvent sur les bords du bassin et surtout sur la bordure Sud, épousant ainsi les formes de la topographie de ruissellement. On peut les suivre sans discontinuité depuis Guelma jusqu'au pied du massif de Mahouna.

Au Nord de la commune de Guelma (Héliopolis, d'El Fedjoudj et de Guelâat Bou Sbaâ) nous constatons un affleurement des formations marneuses et schisteuses pauvres en eaux souterraines, alors qu'à l'Ouest de cette zone s'élèvent les calcaires Sénoniens du djebel Debagh et Taya, avec des affleurements du calcaires néritiques de Bouzitoune qui font partie du groupe Nord oriental des séries néritiques.

## **II. Hydrogéologie de la zone d'étude :**

Les formations dominantes dans la région d'étude sont représentées dans leur totalité par du calcaire néritiques et de marno-Calcaire du Campanien et Maéstrichien. Ces formations fissurées et Karstifiées forment un milieu favorable à l'accumulation des eaux souterraines.

On peut distinguer trois **zones d'affleurement** de ces formations potentiellement aquifères :

### **III.1. La nappe de Hammam Bradaâ :**

Les calcaires Néritiques formant le Djebel Debagh. Ils prolongent en profondeur vers le Nord-Est pour réapparaître sous forme de fenêtre au niveau de Hammam Oulad Ali et Hammam Bradaâ.

### **III.2.la nappe de Héliopolis (Bouzitoune) :**

Les affleurements calcaires néritiques qui font partie du groupe Nord oriental des séries néritiques, sont isolés et de tailles variables.

### **III.3.la nappe d'El Fedjoudj et Oulad Ali.**

Dans la région de Hammam Oulad Ali, les formations carbonatées sont représentées par quelques dizaines de mètres d'un calcaire Sénonien supérieur, calcaire biodétritique ou micritique analogue à celui de Douar Bouzitoune (Héliopolis). Ces formations plongent en profondeur vers l'Est, sous les nappes de charriage pour réapparaître d'abord dans la région de Bouzitoune, puis en petite fenêtre près de la source romaine. Elles sont exploitées par un seul forage de 173 m de profondeur qui donne un débit de 20 l/s alimentant le village.

## **III. Inventaire des points d'eaux :**

### **III.1.Les sources de la nappe des calcaires néritiques et Sénoniens d'Héliopolis :**

Dans notre zone d'étude nous avons noté plusieurs sources:

- La source de Ras EL Fedj située au Nord de Galâat Bou Sbaâ.
- La source de Bouchiha au Sud de Héliopolis.
- La source de El Fedjoudj qui située au Nord de la commune d'El Fedjoudj.



**III.2. Les forages d'eau :**

Dans notre région d'étude nous avons recensé huit forages qui recoupent essentiellement les calcaires karstifiés avec souvent une perte totale de la boue pendant la réalisation, la majorité sont imparfaits, et par conséquent l'épaisseur exacte de ces calcaires est mal connue. Le forage F2 est parfait avec une épaisseur de 123m, ce qui nous laisse supposer que ces formations sont des aquifères potentielles.

L'établissement des coupes hydrogéologiques nous a permis de déterminer l'extension de l'aquifère des calcaires.

Dans le tableau 8 nous avons recensé les différents forages implantés dans notre zone d'étude. La figure 13 montre l'implantation des différents points d'eaux.

Tableau.8. Inventaire des forages de la zone d'étude (fiches techniques de la direction d'hydraulique)

Commune	Nom	X(Km)	Y(Km)	Z(m)	Prof (m)	Q L /s	Le toit (m)	Le mur (m)	Lithologie de l'aquifère
<b>Héliopolis</b>	Hamam Bradaâ N3 (PiscineHB2)	925.25	368.20	280	50	114	10	/	Calcaires fissurés
	Hamam Bradaâ N5 HB1 (carrière)	924.75	368.15	285	146	40	18	/	Calcaire fissurés, Karstifiés
	Bouzitoune=B1 EPED	923.55	368.10	320	242	28	102	/	Calcaires fissurés, Karstifiés
	Hamam BradaâHB4	925.50	368.50	282	177	45	110	/	Calcaire Karstifiés
	Bouzitoune 1=B2 EPED	923.65	367.55	322	202	60	102	/	Calcaire fissuré, Karstifiés
	Bouzitoune 2=B3 EPED	923.35	368.55	325	400	60	350	/	Calcaire fissuré, karstifiés
	Maâcha N2 HB3	925.90	369.10	360	410	60	399	/	Calcaire fissuré, Karstifiés
<b>El Fedjoudj</b>	El Fedjoudj F2	919.01	369.05	290	180	10	44	125	Calcaire Karstifiés

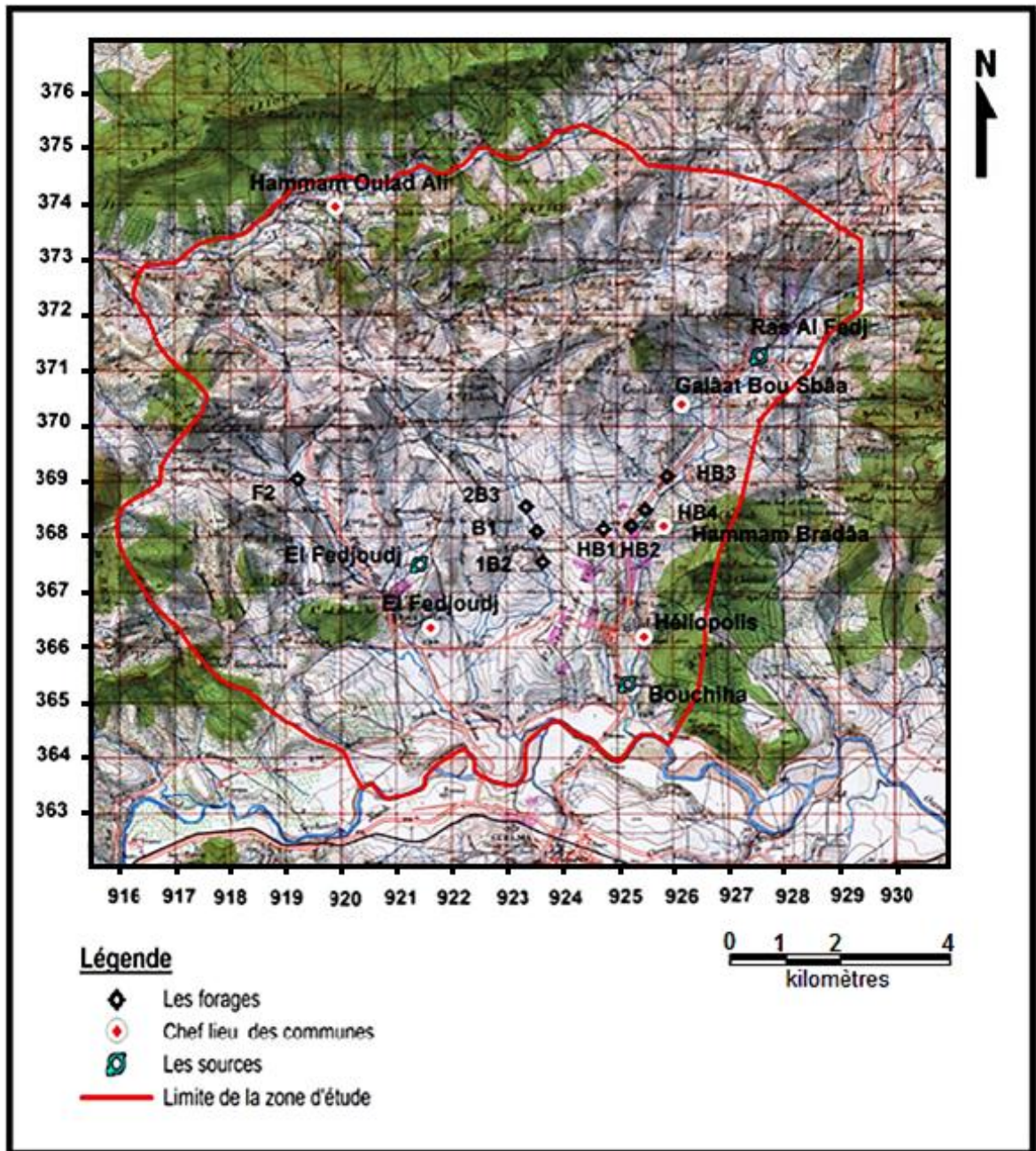


Fig.13. Carte d'implantation des points d'eau.

**IV. Identification des aquifères:**

Dans le but d'identifier les aquifères et leur extension dans l'espace, nous avons utilisé les données lithologiques des forages réalisés dans la zone d'étude en élaborant quatre coupes hydrogéologiques.

**- La coupe hydrogéologique I (figure 14)**

Elle est d'orientation Nord Est-Sud Ouest reliant les forages HB3, HB4 et HB2 ce qui nous a permis de mettre en évidence la nappe des calcaires néritiques avec des profondeurs variables (HB2= 10m, HB4=20met HB3=218m) caractérisée par une formation fissurée, qui plonge vers le NE, Elle est identifiée au niveau de Hammam Bradaâ par le forage Maâchou (HB3).

Dans cette coupe, aux environs de HB4, nous constatons la présence de formation lenticulaire alluvionnaire galet, gravier et sable.

Cette coupe montre un degré important de la karstification plus profond dans les trois forages ce qui nous expose une perte totale de la boue, donc une présence d'un aquifère.

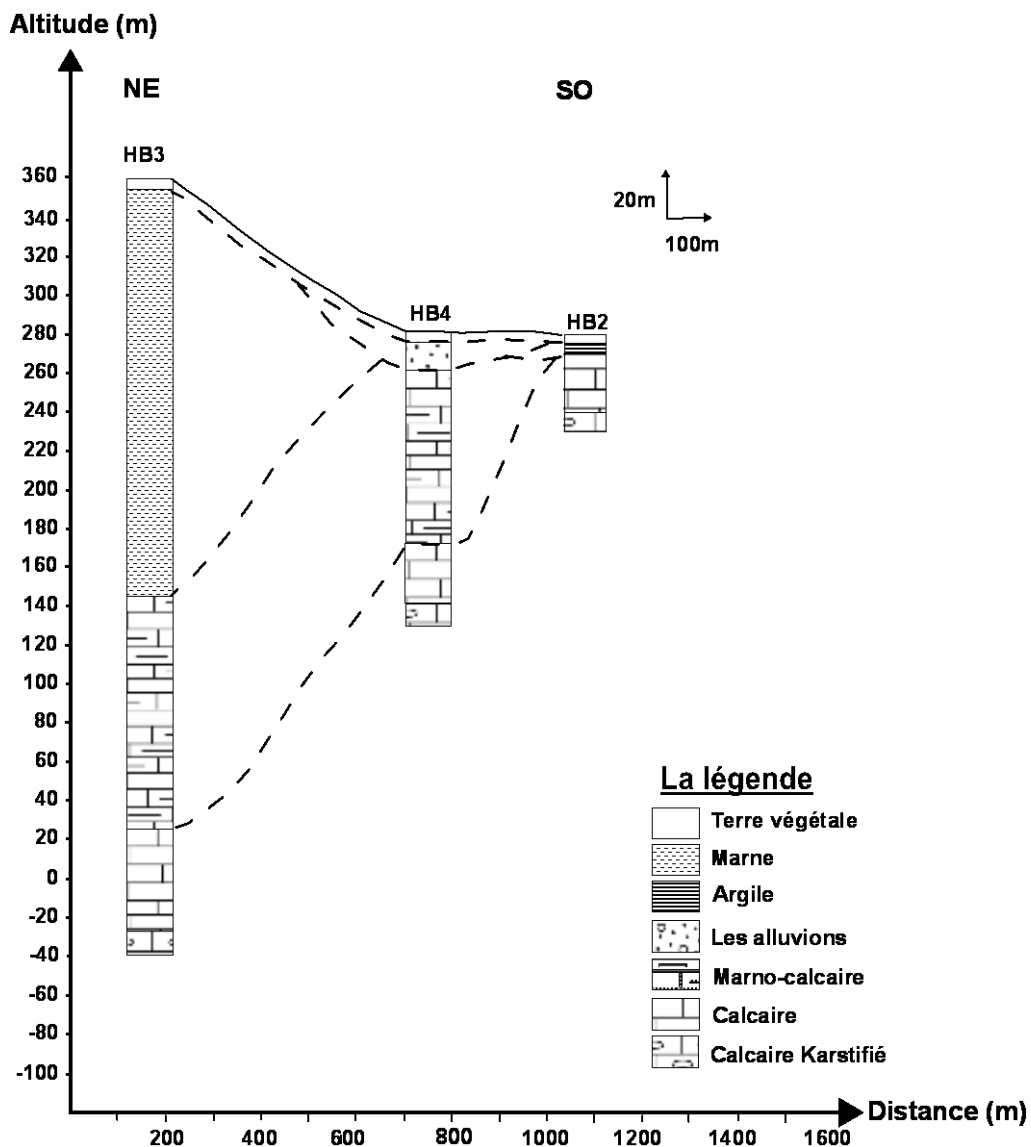


Fig.14. La coupe Hydrogéologique I.

- **La coupe hydrogéologique II** (figure 15)

Elle est orientée NNO-SSE (dans la zone entre 2B3, B1, et 1B2), cette coupe montre que le toit des calcaire devient plus profond en allant du Nord vers le Sud pour atteindre 300m au niveau du forage 1B2. Cette aquifère est surmontée par une couche marneuse qui a son tour devient plus en plus épaisse dans la même direction.

Nous avons noté une karstification dans le forage 1B2 confirmée par une perte totale de la boue (présence d'un aquifère potentiel).

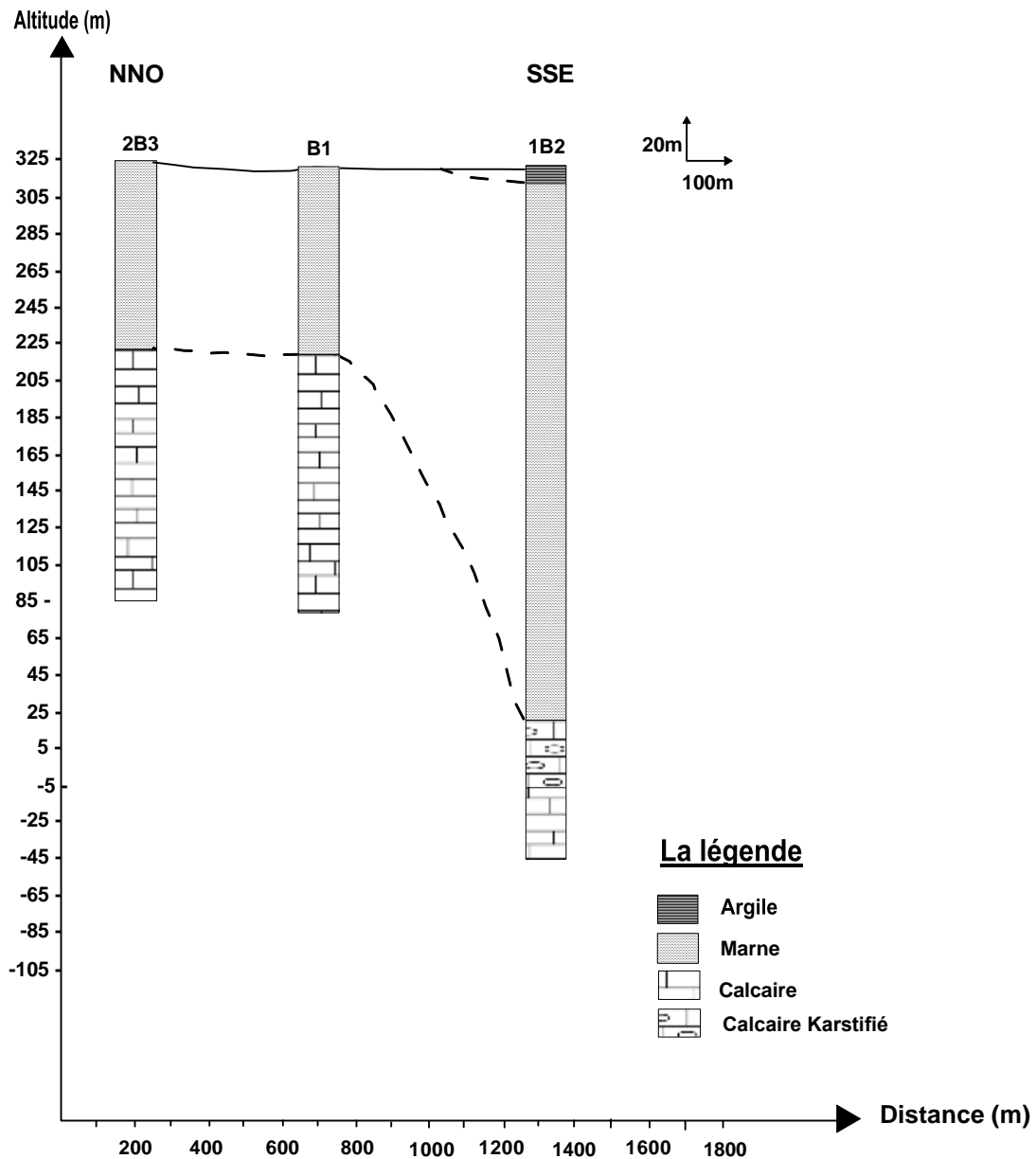


Fig.15.Coupe Hydrogéologique II.

- **La coupe Hydrogéologique III** (figure 16),

Elle est d'orientation Est-Ouest (entre HB2, HB1 et B1) nous constatons que les calcaires fissurés dans la partie Est de la zone d'étude sont à quelques mètres de profondeur et plongent progressivement en allant vers l'Est (102m au forage B1).

Cette coupe montre une karstification importante plus profonde dans les forages HB2 et HB1 ce qui nous explique la perte totale de la boue.

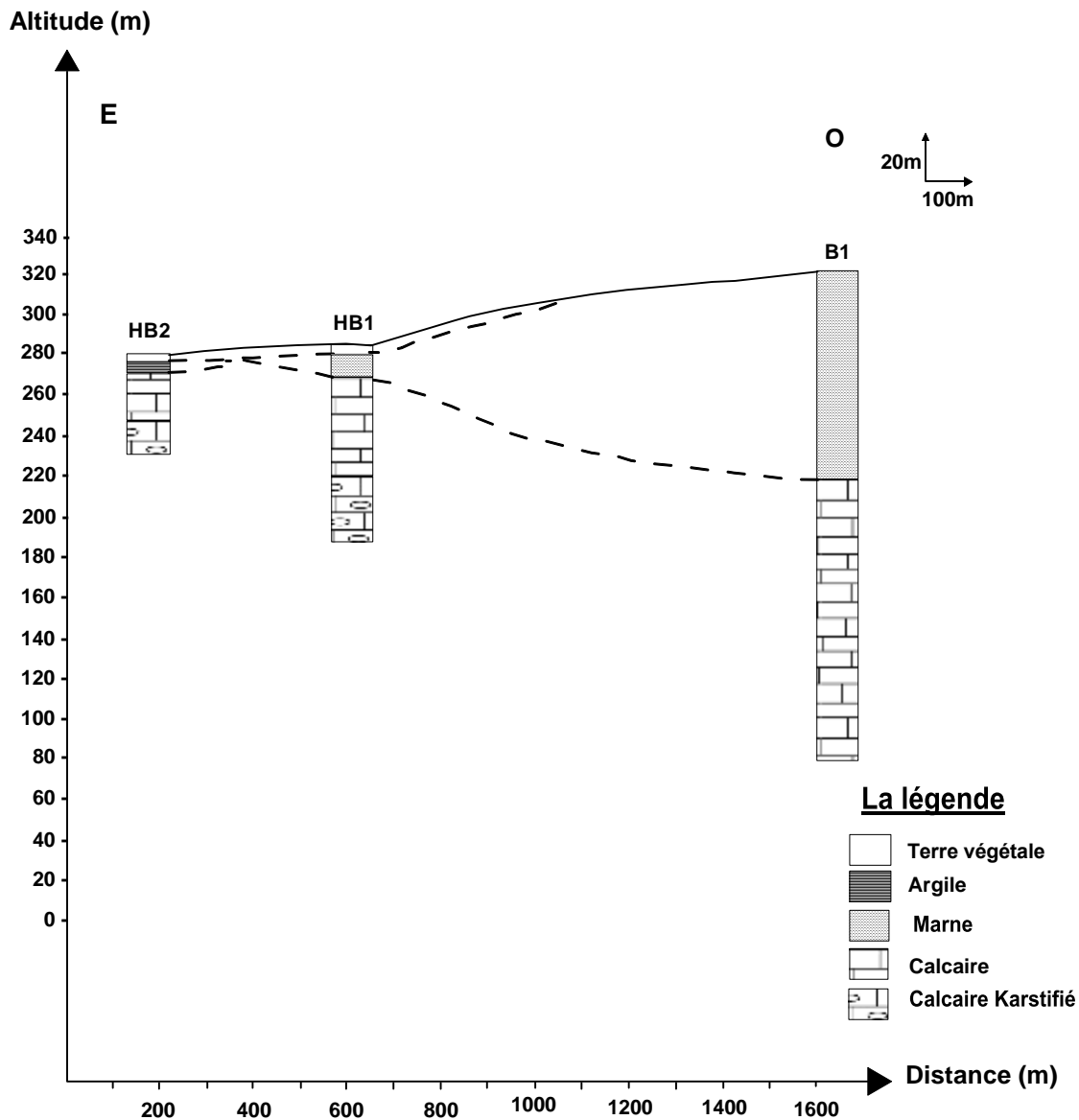


Fig.16.Coupe Hydrogéologique III.

- **La coupe Hydrogéologique IV** (figure 17) :

Elle est orientée NOO-SEE entre les forages F2, 2B3, et HB2, nous constatons que le toit du calcaire devient plus profond en allant du Est-Ouest pour atteindre 220m au niveau du forage 2B3.

Cette coupe montre une karstification moins profonde au niveau du forage HB2 ce qui nous traduit par une perte totale de la boue, par contre pour les deux autres forages 2B3 et F2, la karstification est superficielle. Au forage 2B3 le calcaire karstifié devient compact en profondeur et surmonté par une couche argileuse ce qui rend l'aquifère captive.

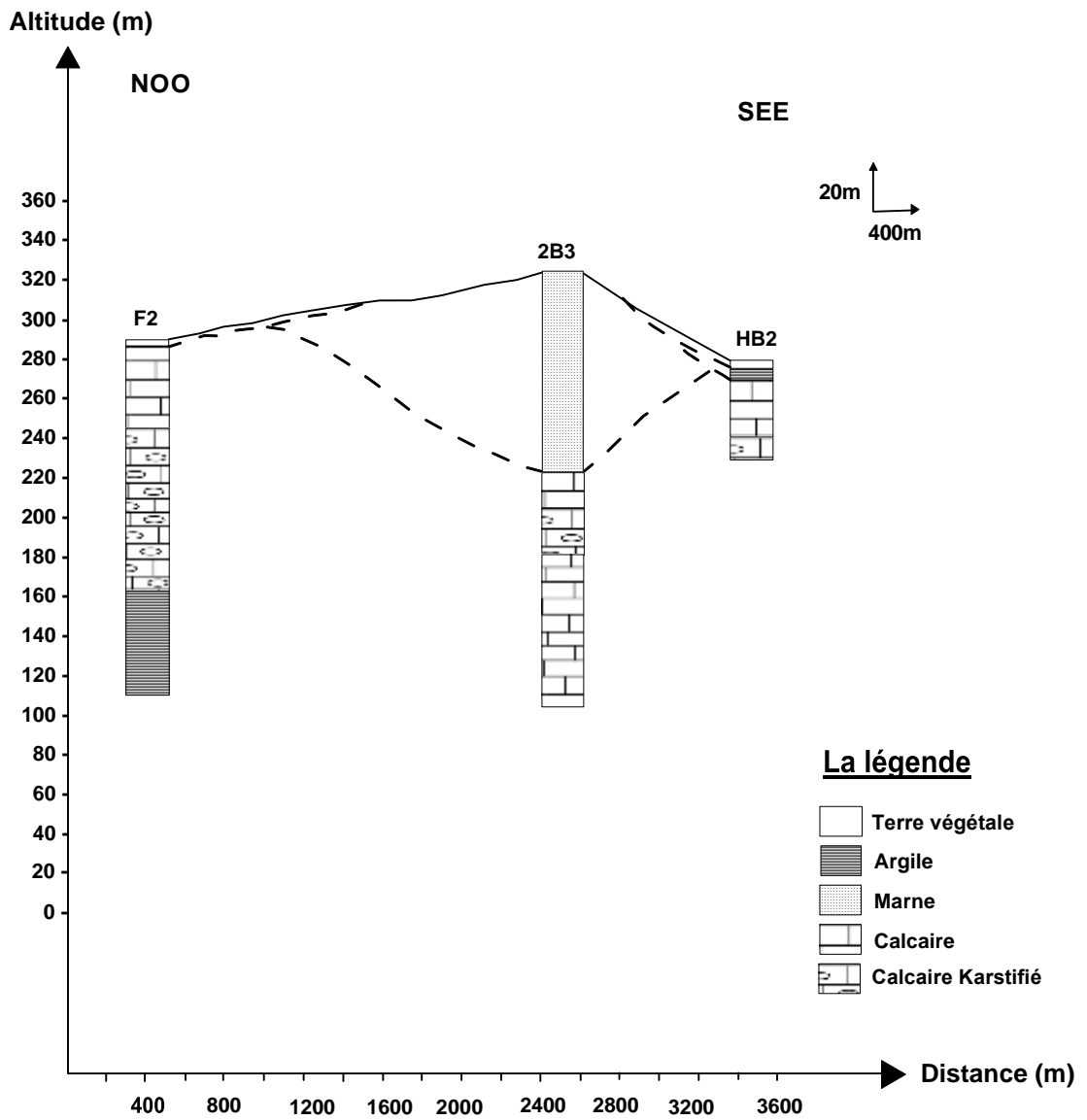


Fig.17.La coupe Hydrogéologique IV.

**Conclusion :**

Dans ce chapitre nous avons montré les différentes sources qui émergent dans la région d'Héliopolis, El Fedjoudj et au Nord de Galâat Bou Sbaâ avec huit forages répartis dans la zone d'étude. La majorité de ces forages sont imparfaits par contre le forage F2 il est parfait.

La zone d'étude recèle des potentialités hydriques importantes réparties sur deux aquifères importants :

- Aquifère alluvionnaire d'âge Mio-Plio-Quaternaire situé entre le forage HB3et HB2 aux environs du forage HB4, de forme lenticulaire alluvionnaire constitué de galet, graviers et sable.

-Aquifère néritique constitué essentiellement par des calcaire bio-détritiques et calcaire dolomitiques des sénonien supérieur, susceptible d'être aquifère, le néritique du secteur d'étude présente une karstification très importante qui varie d'un endroit à un autre. Selon les études hydrogéologiques et géophysiques la profondeur de ces calcaires karstifiés est située entre 50m et 350 m.

D'après les coupes hydrogéologiques que nous avons réalisés affleurent sur l'axe Hammam Bradaâ- Héliopolis- EL Fedjoudj, et s'approfondissent sous une formation marneuse avec une forte pente de part et d'autre dans les directions du Nord et Sud. Par contre l'approfondissement est progressif dans les deux directions Est et Ouest.

On note aussi que la karstification des calcaires, parfois est superficielle et parfois elle est profonde.



Chapitre V :

Etude géophysique.

**CHAPITRE V : ETUDE GEOPHYSIQUE****Introduction :**

Les différents champs physiques qui assurent cette interaction sont la pesanteur, la gravitation, l'électricité terrestre et atmosphérique, le champ magnétique (naturel de la terre et induit), le champ électromagnétique naturel ou artificiel, la propagation des ondes sismiques (ondes élastiques), la radioactivité et les radiations (naturelle et artificielle), le champ thermique (énergie solaire, géothermie).

Les propriétés physiques de la roche sont la densité, la résistivité électrique, la susceptibilité magnétique, la vitesse de propagation des ondes élastiques.

Les méthodes géophysique que nous allons développer dans ce chapitre sont :

- 1- La méthode électrique basée sur la relation «résistivité».
- 2- la méthode gravimétrique basée sur la relation «densité des roches» et « force de gravitation »

**A. La prospection électrique :****Généralités sur la méthode des résistivités:**

La prospection électrique est l'identification des structures et des caractéristiques des terrains à partir de mesures de leur paramètre physique qui est : **la résistivité électrique.**

La résistivité électrique dépend de la nature pétrographique, de la structure des roches et de la teneur en eau et sa salinité. En fait, ce dernier joue le rôle le plus important dans la conductivité du sous-sol.

La résistivité électrique d'une roche sera ainsi fonction de la porosité, du degré de cimentation de la roche, du degré de saturation en eau des pores et la résistivité de l'eau d'imbibition. Cette relation est exprimée par la loi d'Archie (1942) :

$$\rho_r = a \rho_w \phi^{-m} S_w^{-2}$$

$\rho_r$  = résistivité électrique de la roche, en  $\Omega.m$

$\rho_w$  = résistivité électrique de l'eau d'imbibition, en  $\Omega.m$ .

$\phi$  = porosité en %

$S_w$  = degré de saturation des pores, en %

$m$  = facteur de cimentation ; il dépend de la forme de pores, des liaisons entre les pores et varie entre 1.3 à 2.2.

$\alpha$  = facteur caractérisant la lithologie et varie entre 0.6 à 2

Si la formation complètement saturée en eau, c'est-à-dire  $S_w=1$ , alors on aura plus simplement

$$\rho_r = \alpha \rho_w \phi^{-m}$$

On a l'habitude de regrouper sous terme de **facteur de formation** :  $F = \alpha \phi^{-m}$  ce qui donne :

$$\rho_r = 0.62 \phi^{-2.15} \rho_w$$

Et pour les roches bien cimentées :

$$\rho_r = \phi^{-2} \rho_w$$

Il faut noter que pour les formations argileuse la formule d'Archie est peu fiable et ne peut être utilisée telle qu'elle.

Lorsque le facteur de formation  $F$  est inférieur à 2,5 la présence d'argile est quasi certaine.

Les mesures de résistivité permettent donc de repérer facilement les formations les plus poreuses. Ce qui permet de constituer des réservoirs utilisables, encore faut-il qu'elles présentent une bonne perméabilité.

D'autres facteurs interviennent dans la résistivité d'une roche dont il faudra souvent tenir compte, tels que la température, la répartition géométrique des pores et leurs mode de communication.

**A.I.Principe de la méthode de prospection électrique :**

Les méthodes de prospection électrique utilisent le passage d'un courant électrique naturel ou artificiel dans le sous-sol. Ces diverses méthodes sont utilisées surtout pour des études hydrogéologiques ou de génie-civil. La méthode employée pour la mesure de la résistivité électrique utilise divers dispositifs.

Le principe de la méthode (Figure 17), consiste à injecter dans le sous-sol un courant électrique continu d'intensité  $I$ , entre deux électrodes d'injection A et B et à mesurer une différence de potentielle  $\Delta V$  provoquée par le passage du courant, entre deux électrodes de réception Met N. La résistivité est obtenue grâce la formule :

$$\rho_a = K \cdot \frac{\Delta V}{I}$$

Déduite de la loi d'Ohm, ou  $K$  est un coefficient qui dépend de la géométrie du dispositif.

Pour le dispositif de Schlumberger :

$$K = \pi \cdot \frac{AM \cdot AN}{MN}$$

La profondeur d'investigation d'un tel dispositif est fonction de l'écartement des électrodes d'émission A et B, ainsi que des épaisseurs et des résistivités des terrains rencontrés.

Dans la pratique cette profondeur d'investigation est proportionnelle à la longueur du dispositif dans le rapport approximatif et empirique de 1/4 à 1/10. Généralement, on continue les mesures jusqu'à ce que la formation géologique recherchée soit atteinte.

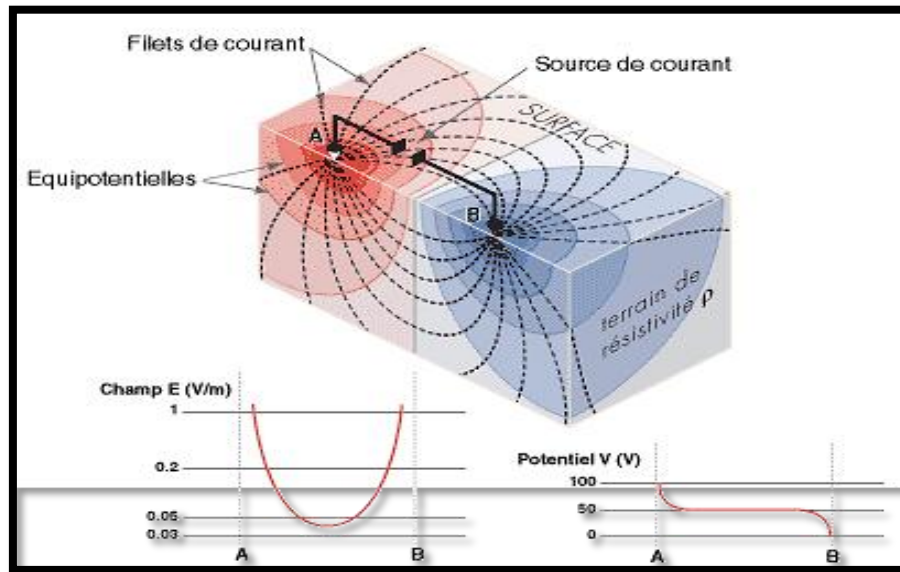


Fig.18. Propagation du courant électrique dans un sous-sol homogène.

Dans cette étude on a procédé à la méthode du sondage électrique vertical SEV, dispositif Schlumberger.

### A.II. Principe de la méthode du sondage électrique vertical SEV :

L'objectif du SEV c'est l'étude des variations de la résistivité électrique (variation lithologique) à la verticale d'un point (le centre dispositif).

Pour la réalisation d'un SEV, on effectue à partir d'un même point une série de mesures de  $\Delta V$  et  $I$  (Pour les mesures de l'intensité du courant et la différence de potentiel, on a utilisé un résistivimètre) en augmentant progressivement les dimensions du dispositif AB. La ligne maximale utilisée est de 5000 m la distance entre les électrodes de potentiel M et N restant constant tant que la différence de potentiel est supérieure à 1 millivolt.

Au fur et à mesure qu'A et B s'éloignent  $\Delta V$  diminue, dans ce cas on augmente la distance MN ce qu'on appelle **débrayage**.

Les résultats de mesure sont représentés sur un papier bi logarithmique ou l'on reporte, en abscisses, les longueurs  $AB/2$  en mètres et en ordonnées les valeurs des résistivités apparentes correspondantes exprimées en  $\Omega.m$  qu'on appelle la courbe de SEV.

**A.III. Théorie d'interprétation des sondages électriques :**

L'interprétation des sondages électriques verticaux consiste à essayer de déterminer les résistivités varies ( $\rho_i$ ) et les épaisseurs ( $h_i$ ) des couches composant la coupe géologique.

Plusieurs méthodes d'interprétation des SEV ont été élaborées par les géophysiciens on peut citer.

- La méthode de superposition à l'aide des abaques
- La méthode comparative à l'ordinateur

**A.IV. Prospection électrique de la zone d'étude :**

Pour notre étude nous avons utilisé les données de la campagne géophysique menée par l'entreprise nationale Algérienne de géophysique (ENAGEO) pour le compte de la direction de l'hydraulique de la wilaya de Guelma (DHW). Le but de cette étude est d'évaluer, les potentialités en eau de la région en réinterprétant les données des SEV à l'aide des données de sondages mécaniques situés dans la région.

Les mesures géophysiques ont comporté l'exécution de **40 SEV** répartis sur 7 profils : F, G, H, I, J, K, L, dont l'orientation est Nord Ouest-Sud Est tableau 9.

Tableau.9. Coordonnées topographiques des SEV.

SEV	X (km)	Y (km)	Z (m)	SEV	X (km)	Y (km)	Z (m)
<b>F1</b>	922.69	369.15	340	<b>H6</b>	925.08	368.8	315
<b>F2</b>	922.95	368.75	320	<b>H7</b>	925.33	368.42	300
<b>F3</b>	923.10	368.5	320	<b>H8</b>	925.55	368.27	279
<b>F4</b>	923.35	368.3	300	<b>I1</b>	924.8	369.8	368
<b>F5</b>	923.65	368	300	<b>I2</b>	925.3	369.35	330
<b>F6</b>	923.8	367.75	315	<b>I3</b>	925.53	369	300
<b>F7</b>	924.12	367.4	333	<b>I4</b>	925.7	368.83	293
<b>F8</b>	924.35	367.15	322	<b>I5</b>	925.85	368.65	282
<b>G1</b>	923.3	369.9	390	<b>J1</b>	925.8	369.95	390
<b>G3</b>	923.85	369.25	375	<b>J2</b>	926	369.7	380
<b>G4</b>	924.03	369	343	<b>J3</b>	926.23	369.4	310
<b>G5</b>	924.27	368.7	320	<b>J4</b>	926.33	369.25	300
<b>G6</b>	924.5	368.48	326	<b>J5</b>	926.5	396.1	310
<b>G7</b>	924.8	368.2	305	<b>K1</b>	926.35	370.38	360
<b>G8</b>	925.15	367.9	285	<b>K2</b>	926.6	370.1	325
<b>H1</b>	923.98	370.05	430	<b>K3</b>	926.83	369.83	306
<b>H2</b>	924.10	369.88	405	<b>K4</b>	927	369.55	335
<b>H3</b>	924.3	369.63	380	<b>L1</b>	927	370.88	355
<b>H4</b>	924.55	369.4	370	<b>L2</b>	927.37	370.52	355
<b>H5</b>	924.83	369.05	340	<b>L3</b>	927.53	370.3	375

La position des profils électriques est illustrée sur la figure 19.

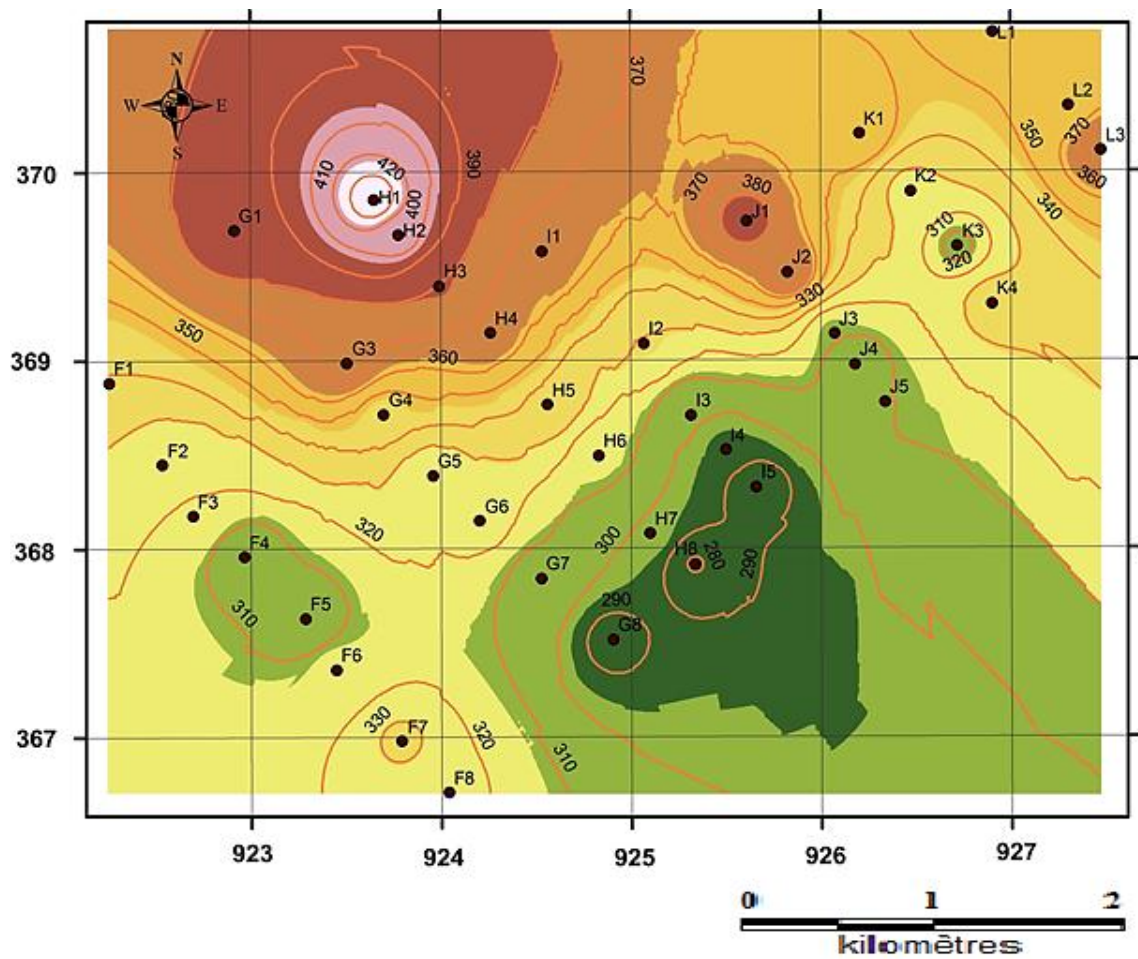


Fig.19. Carte d'implantation des SEV.

#### A.IV.1.Etalonnage des données :

Un certain nombre de sondage électriques étalons ont été réalisés sur les lieux des forages mécaniques existants sur le terrain. La simple corrélation de la coupe lithologique fournie par le forage et de la courbe du sondage électrique vertical réalisé au voisinage du forage permet facilement d'affecter les couches électriques décelées par SEV, à des couches géologiques du forage mécanique.

Des valeurs moyennes de la résistivité des formations géologiques peuvent être déduites en réalisant plusieurs sondages étalons. Nous présentons ci-dessous quelques sondages étalon :

1-Forage « **BOUZITOUNE I**»:

La lithologie du forage « Bouzitoune » (F3) est la suivante :

0-100m= marnes grises.



100-132m= Calcaire compact, gris clairs résistant.

132-240m= Calcaire gris friable facilement.

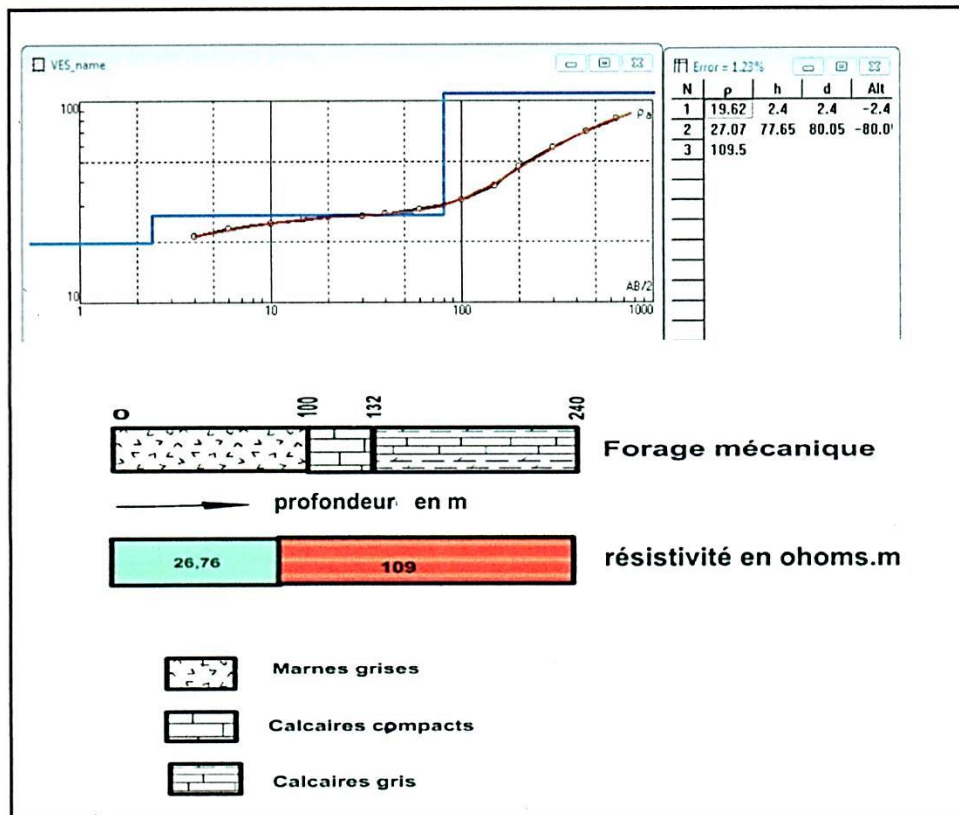


Fig.20. Interprétation de forage BOUZITOUNE.

#### Interprétation du SEV « **BOUZITOUNE** »

- Un premier terrain de 80m d'épaisseur et de résistivité (18-27 $\Omega$ .m) que l'on associer aisément aux marnes grises du sondage mécanique.
- Un substratum résistant de résistivité de l'ordre 209  $\Omega$ .m que l'on attribue aux calcaires compacts

#### .2-Forage « **HAMMAM BRADAA** » sondage électrique (G6)

Ce forage recoupe les formations suivantes

- 0-18m ; Argile rouges végétale marneuse et plastiques à la base avec passage de niveau calcaires gris clairs : zone d'alternance.
- 18-28m : calcaire francs très résistants et abrasifs de teinte gris foncé.
- 28-35m : zone d'alternance de marnes grises et de calcaires.
- 35-50m : Calcaire noirs très durs à cassure rugueuse très fissurées avec présence de perte totale de boue à 40 m

L'interprétation du SEV G6 montre :

- Une couche d'une épaisseur de 12.5m et de résistivité variant de 19-36  $\Omega.m$  que l'on fait correspondre argiles marneuses.
- Un substratum résistant 56  $\Omega$ , que l'on assimile aux calcaires fissurés.

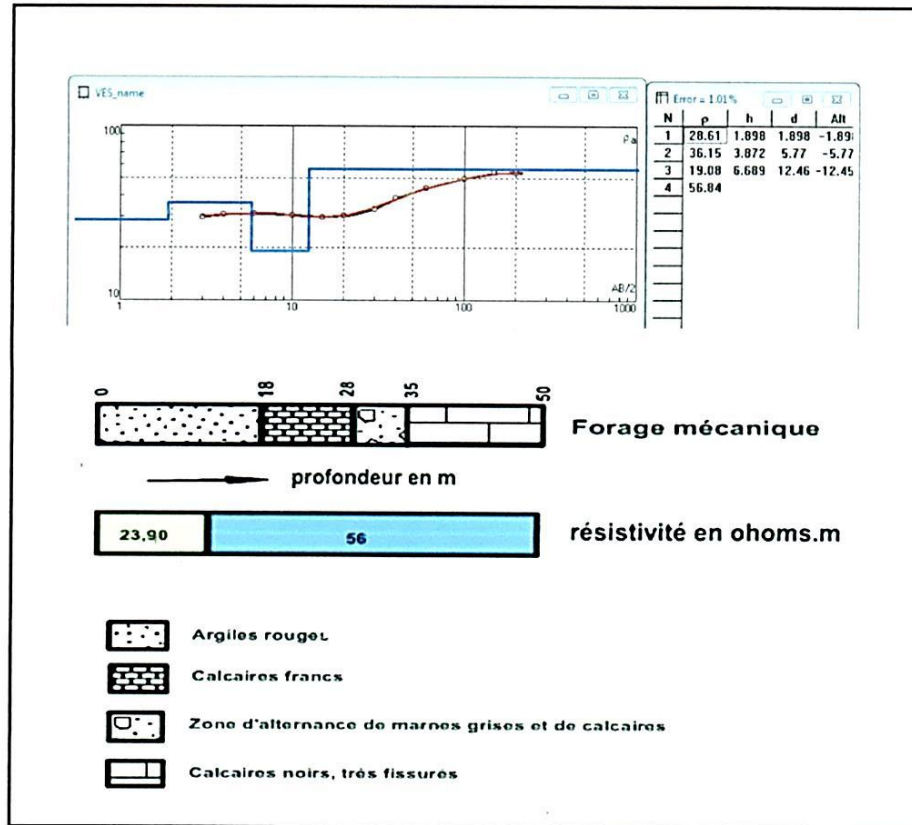


Fig.21. Sondage étalon « G6 ».

### 3-Forage « **HAMMAM BRADAA** » sondage électrique (N8)

Ce forage présente les formations suivantes :

- 0-30m : Terre végétale, argiles noires plastiques.
- 30-228m : Marnes noires feuilletées dures et riche en microfaunes.
- 228-270m : Marnes grises plastiques avec des débris calcaires (5% de calcaire)
- 270-350m : Marnes grises passage de niveaux calcaires gris clairs, avec présence de filament calcites.
- 350-395m : calcaires noirs bleutés, très résistants et abrasifs.

L'interprétation du SEV N8 montre :

- Une première couche d'une épaisseur de l'ordre de 32m et de résistivité 13.9  $\Omega.m$  que l'on peut associer aux argiles.
- Une seconde couche d'une épaisseur de 304m et de résistivité de 79  $\Omega.m$  que l'on rattache en marnes grises des débris de calcaires.
- Enfin, un substratum résistant 177  $\Omega.m$ , que l'on rattache aisément aux calcaires.

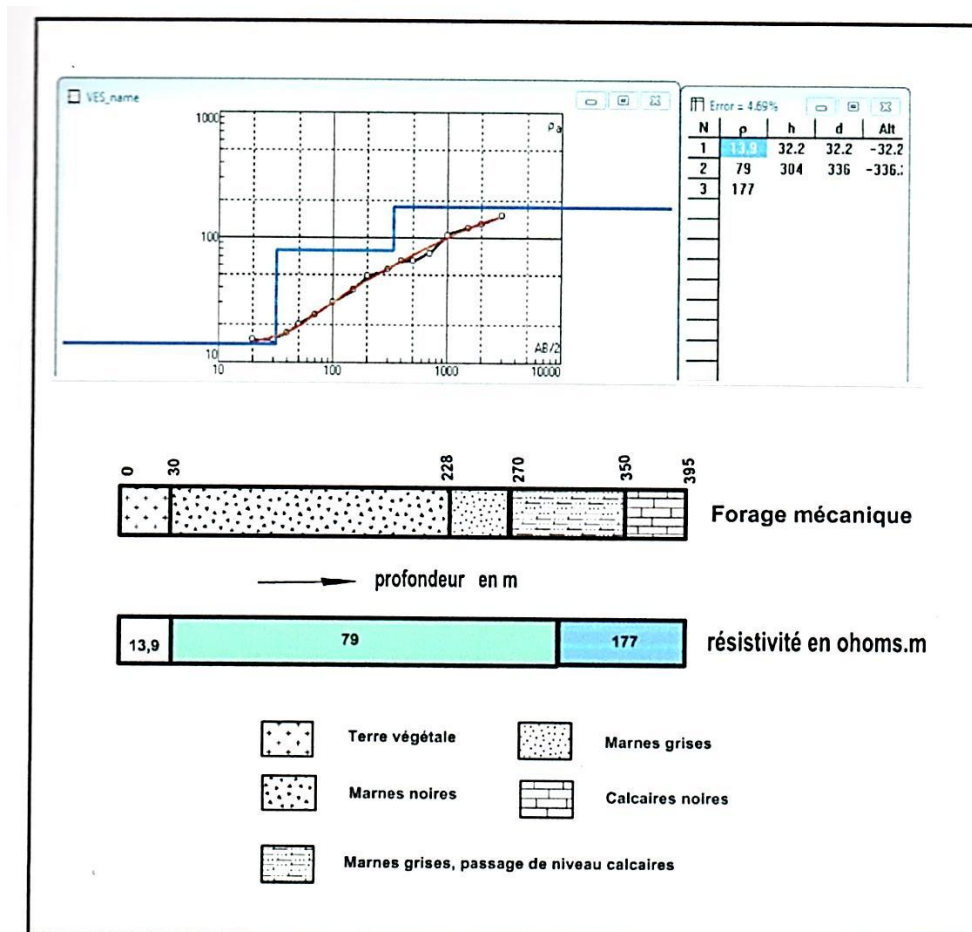


Fig.22.Sondage étalon « N8 ».

4-Forage « **HAMMAM BRADAA** » sondage électrique :

- 0-10m : Terre végétale, argile noires plastiques.
- 10-30m : Calcaires gris clairs, compacts riche en microfaunes.
- 30-38m : Calcaires noirs bleutés, très résistants à cassure rugueuse et fissurés.

La coupe de SEV H7 a donné la série suivante :

- Une couverture conductrice 12-19  $\Omega.m$  et d'épaisseur 11m. On l'associe aux Argiles.

- Sous la couverture, une couche épaisse (69m) avec une résistivité de l'ordre de 46  $\Omega.m$ . Il s'agit probablement de calcaires à cassure rugueuse et fissurés.
- A la base, un substratum peu résistant, non atteint par le forage. La description géologique indique la présence de zone caverneuse d'où absence de cuttings.

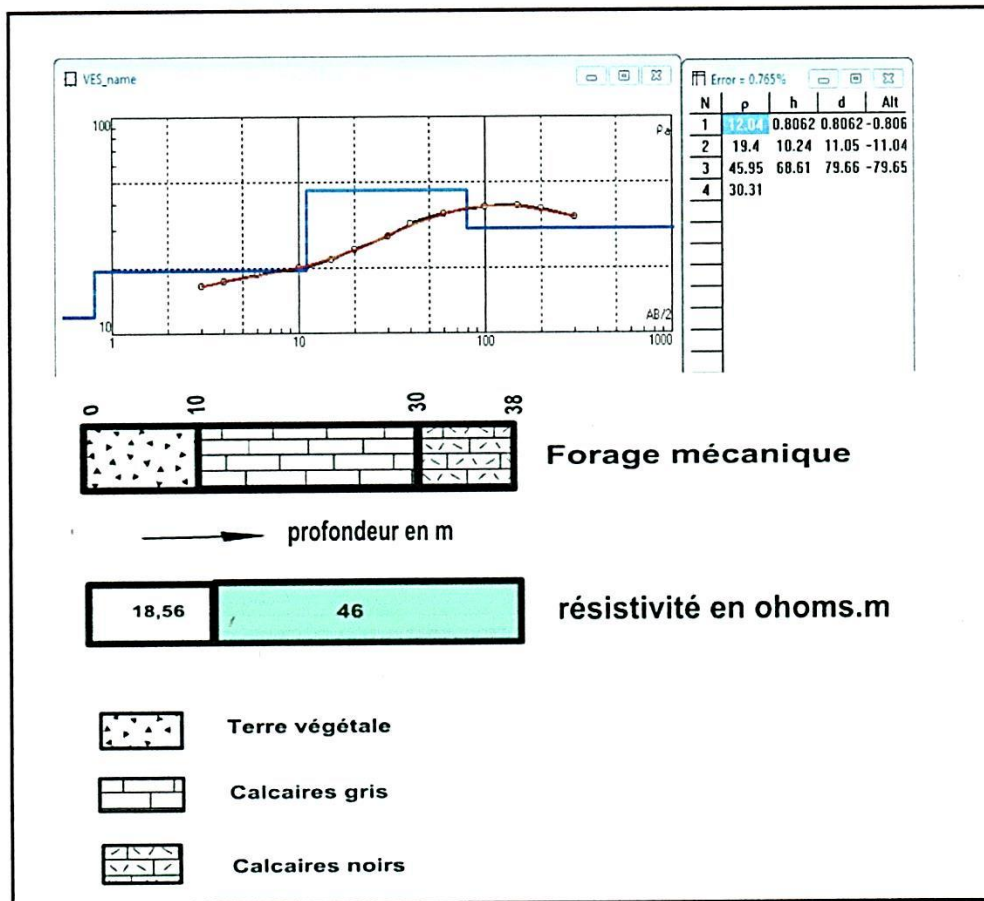


Fig.23.Sondage étalon « H7».

**A.IV.2.Echelle des résistivités :**

L'examen de ces sondages électriques étalons nous a permis d'élaborer une échelle de résistivité présentée dans le tableau (10) :

Formations	Résistivité ( $\Omega m$ )
Marne grises, Argile Marneuse	19-36
Calcaire résistants	190
Calcaire fissurés	46-56
Argile	13-16

D'après l'échelle de résistivité, on peut dire que les calcaires compacts se distinguent par leurs résistivités élevées (supérieures à 190  $\Omega\text{m}$ ). Les calcaires fissurés présentent des résistivités au voisinage de (56  $\Omega\text{m}$ ).

Les contrastes de résistivités sont suffisants pour pouvoir différencier les marnes (19-36  $\Omega\text{m}$ ), des argiles.

#### **A.IV.3.Coupes géoélectriques et leurs interprétations:**

Pour mieux suivre les formations géologiques favorables à la formation des aquifères, nous avons réalisé sept coupes géo-électriques d'orientation Nord Ouest-Sud Est, et ce en utilisant les résultats d'interprétation des SEV de l'ENAGEO (figure 18) :

- **Coupe F :**

Cette coupe située au Sud Ouest de la région d'étude, montre au niveau de Bordj Moh Ben Messaoud un bloc de calcaires fissurés et karstifiés sur une profondeur de 15m (F4, F6 et F7) et au niveau F5 il affleure à la surface, présentant des résistivités allant de 44 à 77  $\Omega\text{m}$ , qui devient compact en profondeur avec des résistivités allant de 100 à 200  $\Omega\text{m}$  superposée sur une couche de marne avec une résistivité de 22 à 42  $\Omega\text{m}$  à une profondeur d'environ 60m.

Dans la zone située au Berdj du Caid Mabrouk les calcaires compacts deviennent plus profond, par contre au niveau de Machtat Bou Zitoune remontent à une profondeur de 2m à 15m cela peut être interprété par un jeu de failles (figure 24)

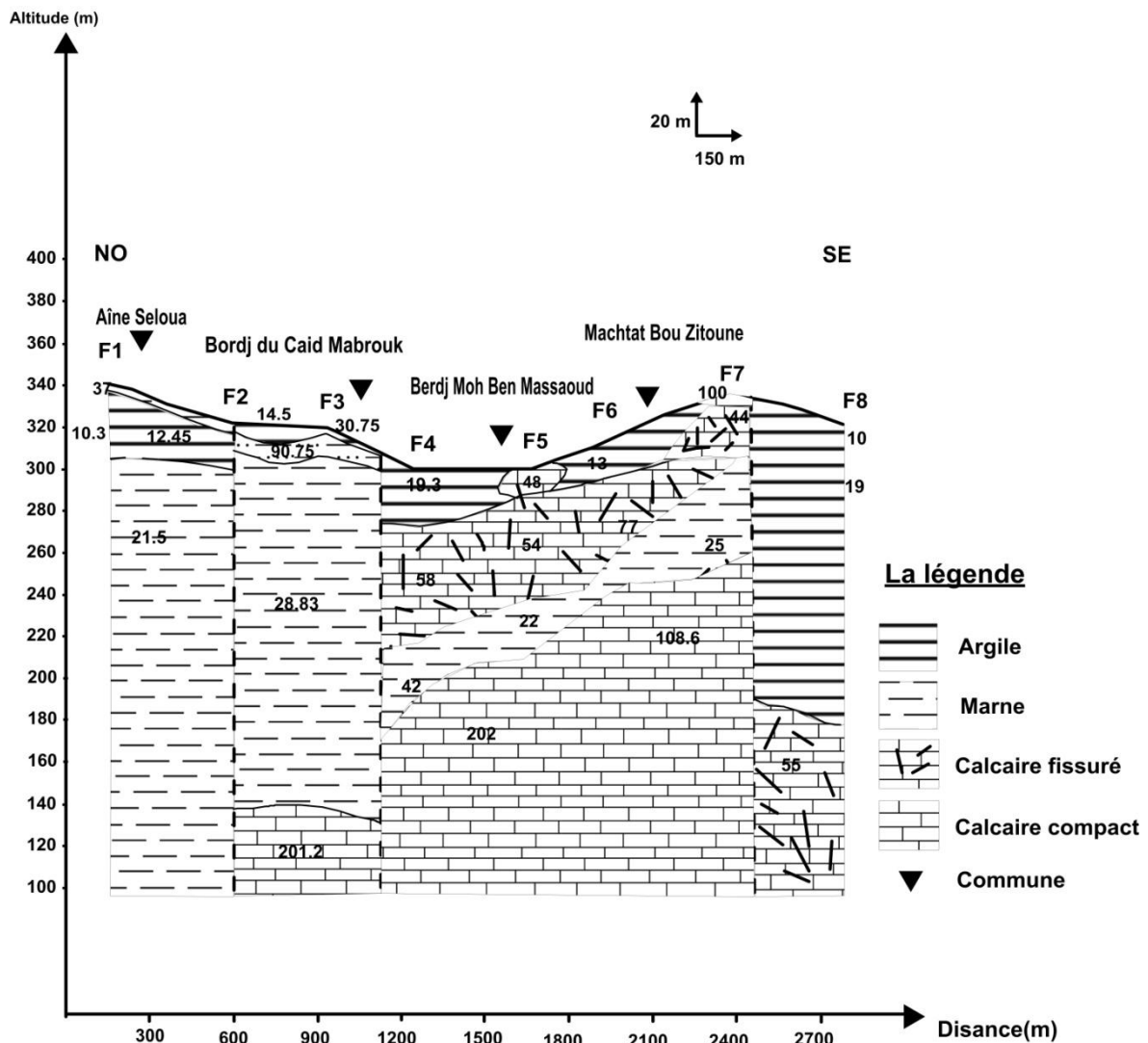


Fig.24.Coupe géoélectrique F.

**Coupe G:**

Cette coupe située au centre de la région d'étude, montre au niveau des SEV G4, G5, G6, G7, G8 (à l'ouest de Hammam Bradaâ) un bloc de calcaires fissurés et karstifiés sur une épaisseur supérieure à 120m avec une profondeur d'environ 10 m, présentant des résistivités allant de 42-68  $\Omega$ .m, avec une alternance d'une couche d'argile avec une résistivité de 18 $\Omega$ .m qui devient compacts en profondeur avec une résistivité de 270 $\Omega$ .m, à l'ouest de la ferme de Génisson .

Dans la zone située au G3 on a des calcaires compacts superficiels d'une résistivité de 243  $\Omega$ .m et 27m d'épaisseur, à Machtat el Mardj et G3 (à l'ouest de la ferme de Génisson) on retrouve les calcaires karstifiés d'une épaisseur de 60m et à une profondeur de 60 m et une résistivité de 89.29 à 41.8  $\Omega$ .m. On note la présence d'une faille entre G3 et G4 (figure 25)

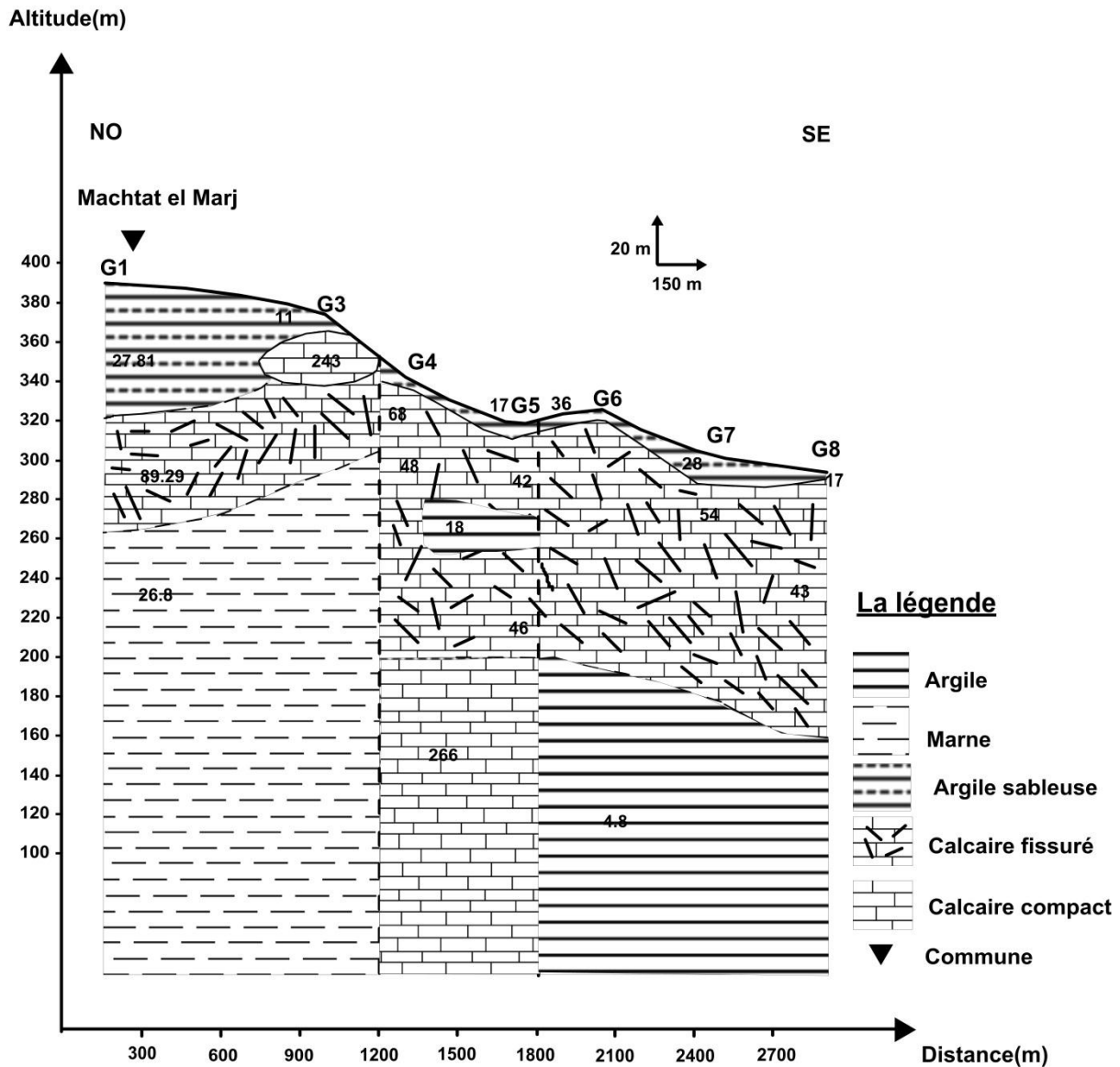


Fig.25. Coupes géoélectrique G.

**Coupe H :**

La coupe est située au centre de la région d'étude, elle montre à l'Est de Machtat el Marj (SEV H1, H4) des calcaires compacts superficielle de résistivité 198Ω.m et 120Ω.m

Dans la zone située entre Machtat el Marj (H1, H2, H3, H4, H5, H6) un bloc de calcaires fissurés et karstifiés, présentant une résistivité de 42 à 120 Ω.m des épaisseurs variable, avec des profondeurs de 80 à 2 m au Ferme Génission (H5) (figure 26).

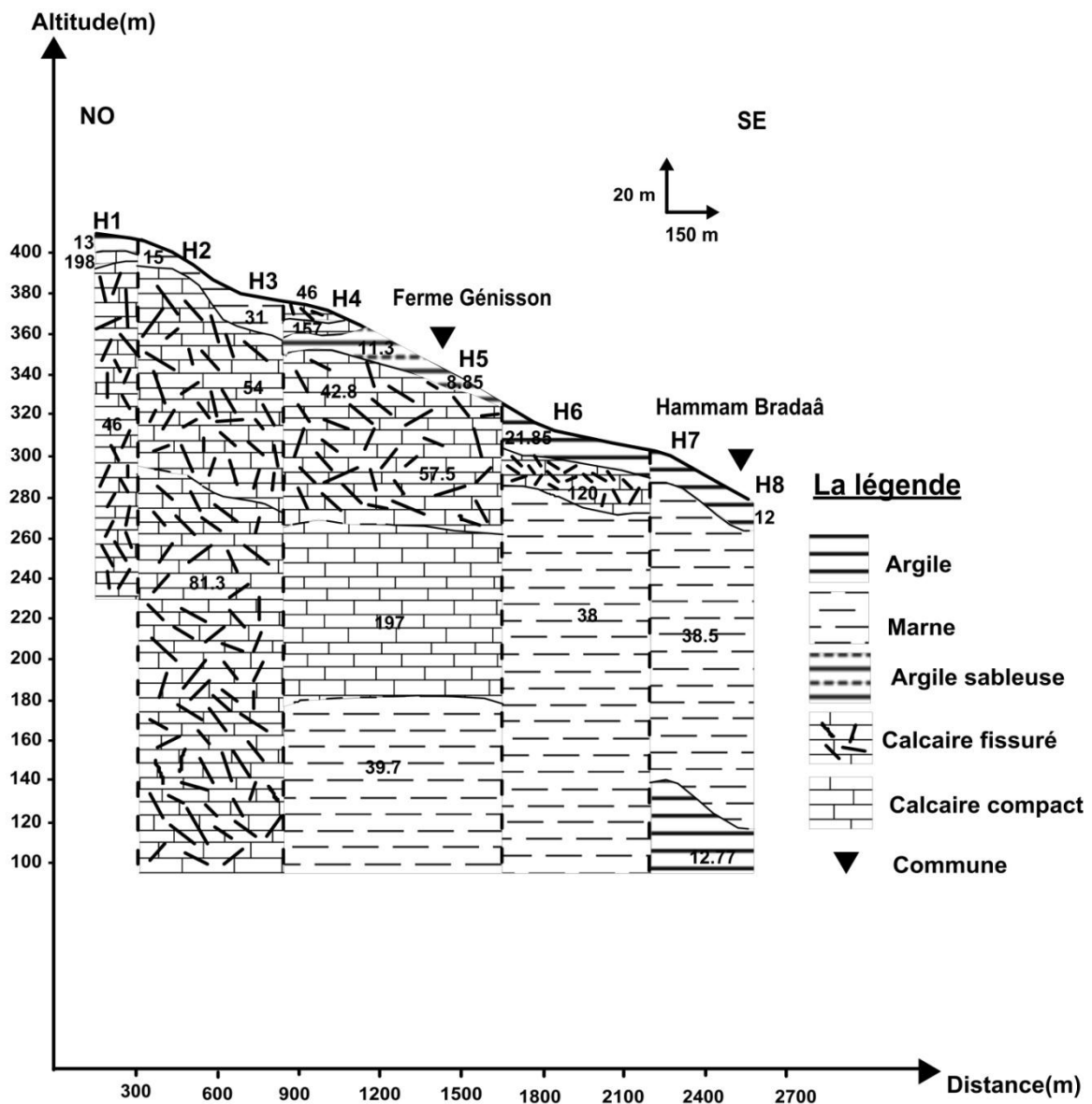


Fig.26.Coupe géoélectrique H.

**Coupe I :**

Cette coupe située au centre de la région d'étude et parallèle à l'oued El Kabir ; montre au niveau de l'Oued El Kabir (SEV I1) une couche de calcaires fissurés et karstifiés à une profondeur de 17m d'une épaisseur de 30m, avec une résistivité de  $54\Omega.m$ .

D'une couche de calcaires fissurés et karstifiés en surface d'une épaisseur de 20m, avec une résistivité de  $52\Omega.m$  à I2, un deuxième niveau I2 à une profondeur de 110m.

Au niveau d'I1 on a des marnes superficielles avec une épaisseur de 17 m qui superposent une couche de calcaire fissuré à une épaisseur de 17 m (figure 27).



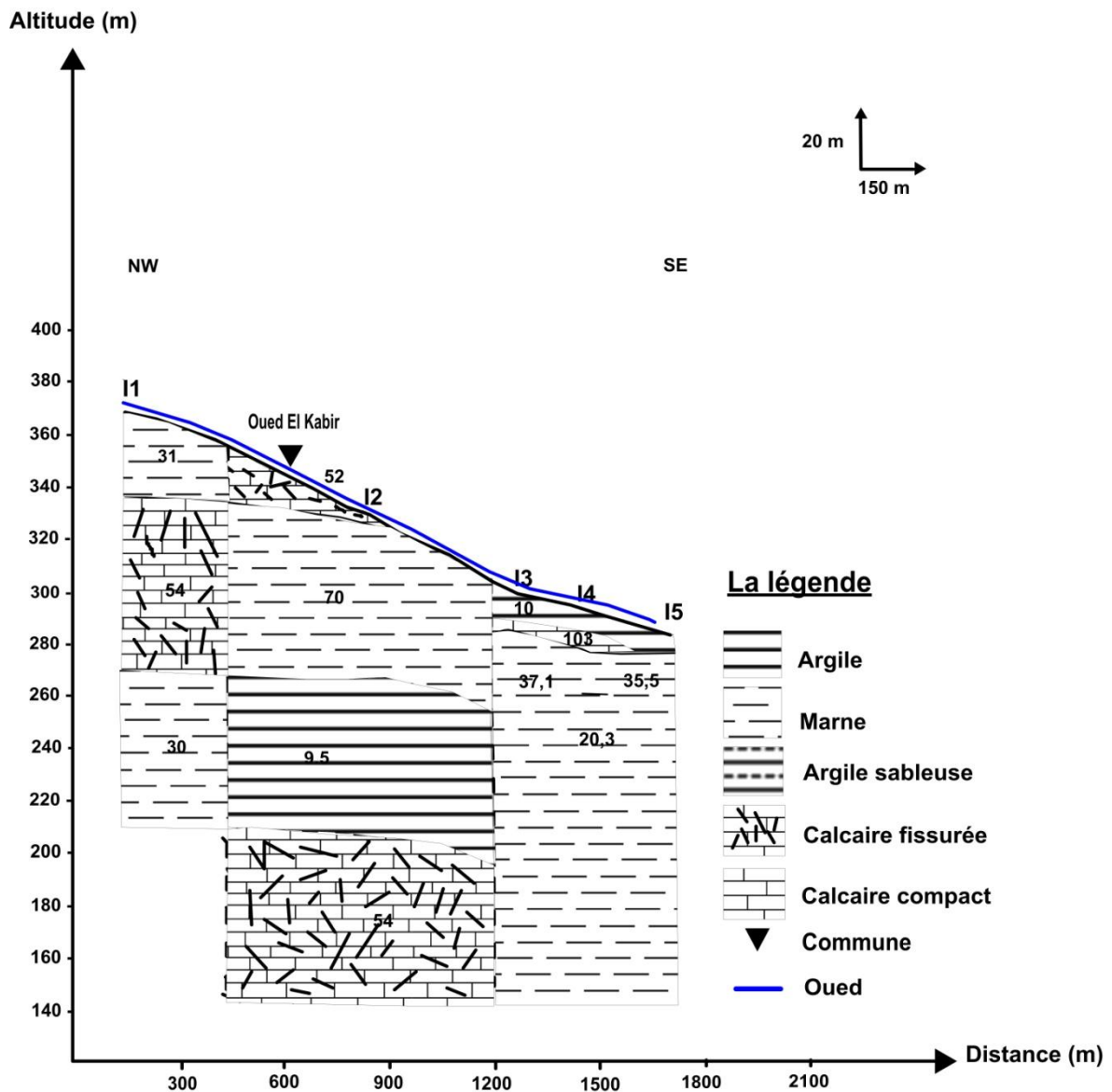


Fig.27. Coupe géoélectrique I.

**Coupe J :**

Cette coupe située au Nord Est de la région d'étude, montre au niveau la route de Constantine (SEV J3, J4, J5) une couche de calcaires compact sur une épaisseur de 20m, profonde de 15m présentant des résistivités allant de 75 à 169,5 $\Omega$ .m, qui devient fissurée en profondeur 200m avec des résistivités allant de 87,7  $\Omega$ .m au niveau de la ferme de Bailleul.

Dans la zone située au Ferme Sigal (SEV J1, J2) on a des calcaire fissurée de résistivité de 60,51 $\Omega$ .m à une profondeur de 350m cela peut être interprété par un jeu de failles (figure 28).

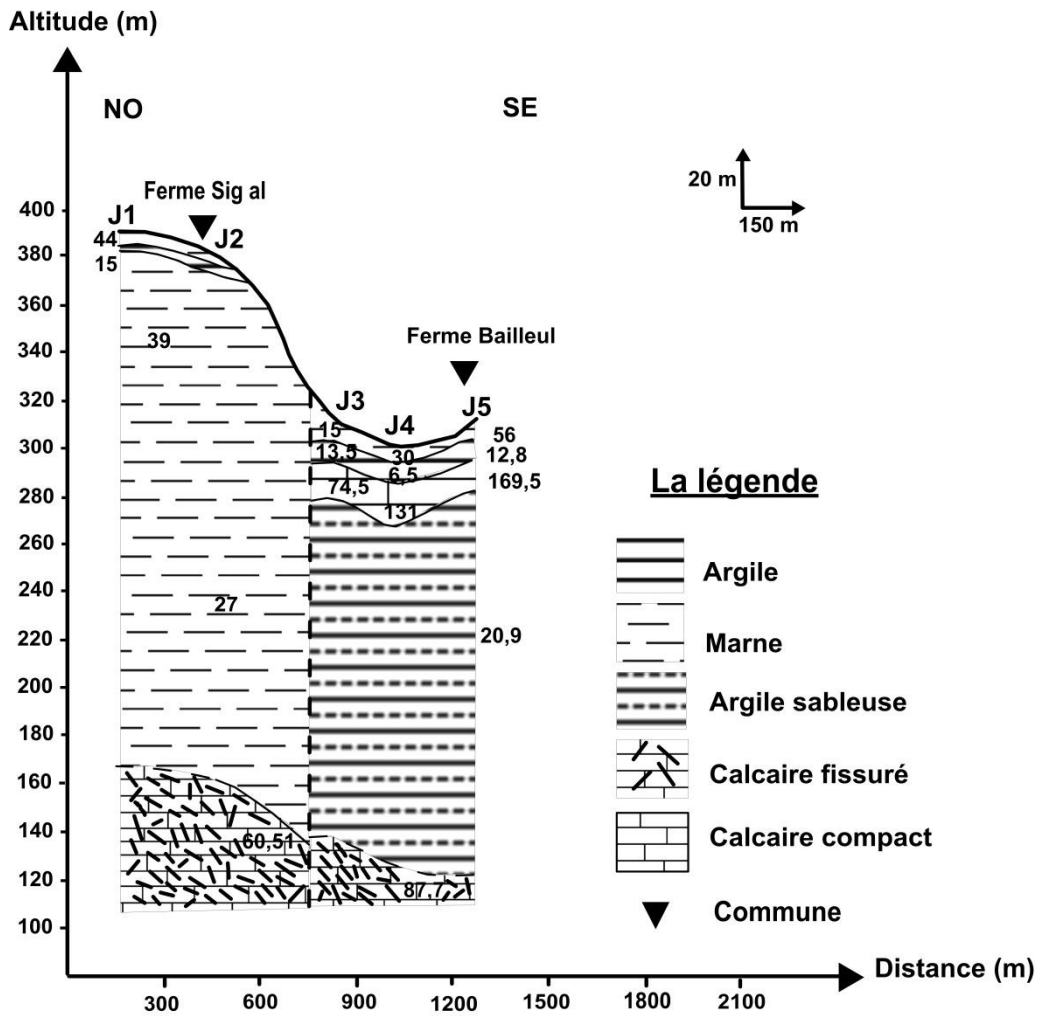


Fig.28.Coupe géoélectrique J.

**Coupe K :**

Cette coupe située au Nord Est de la région d'étude cette coupe montre au niveau de Sud de Galâat Bou Sbaâ (SEV K4) , une mince couche de calcaires fissurés et karstifiés sur une épaisseur de 5-30m , présentant un résistivités de 42à 85Ω.m, qui devient compact à une profondeur de 300 m au niveau de K4 et385m au niveau de K2 avec des résistivités allant de 106 (K1)à 180 (K4) S.M., cela peut être interprété par un jeu de failles (figure 29).

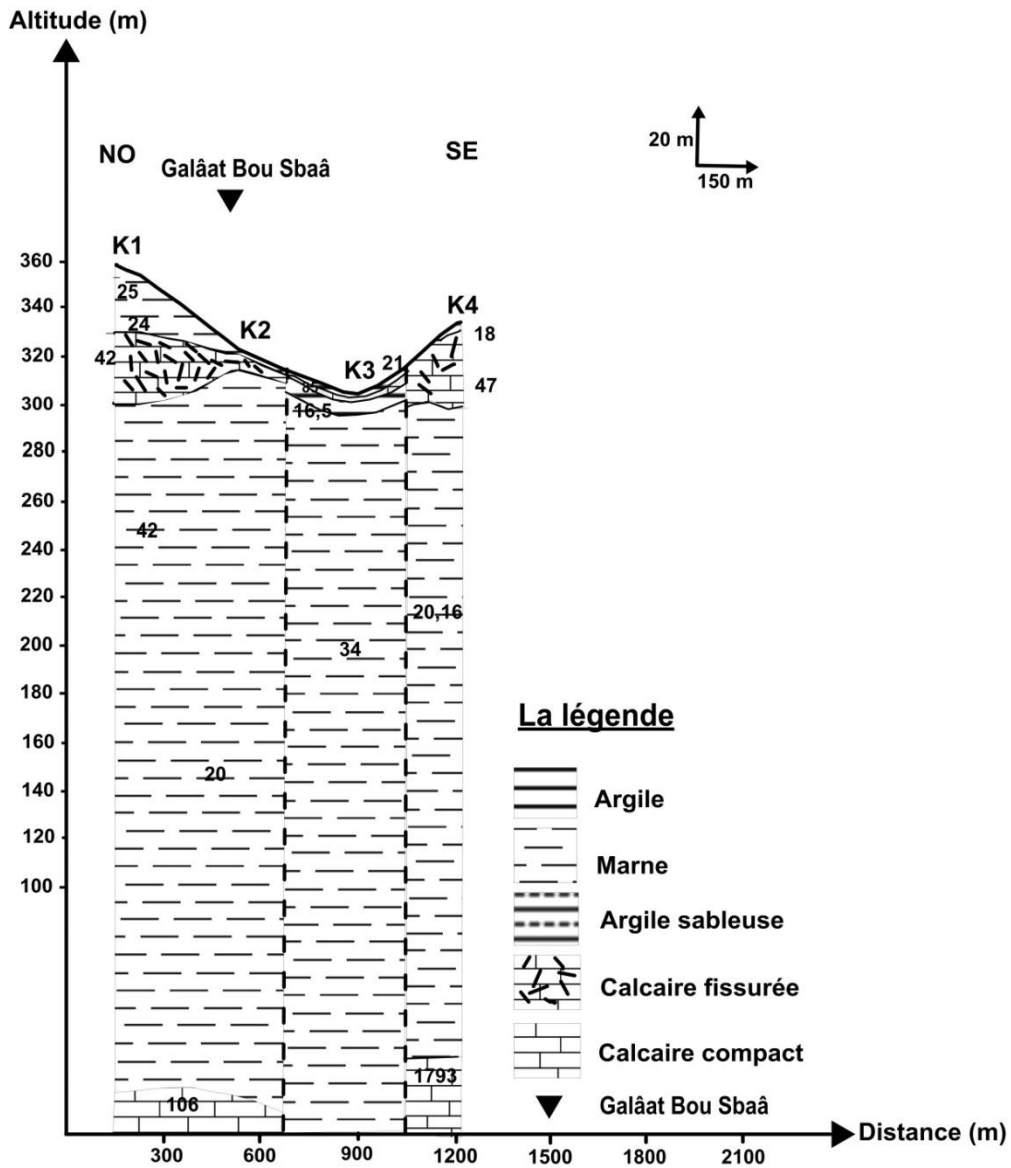


Fig.29.Coupe géoélectrique K.

**Coupe L :**

La coupe située au Nord Est de la région d'étude, Cette coupe montre que les calcaires sont probablement plus profonds figure (figure 30).

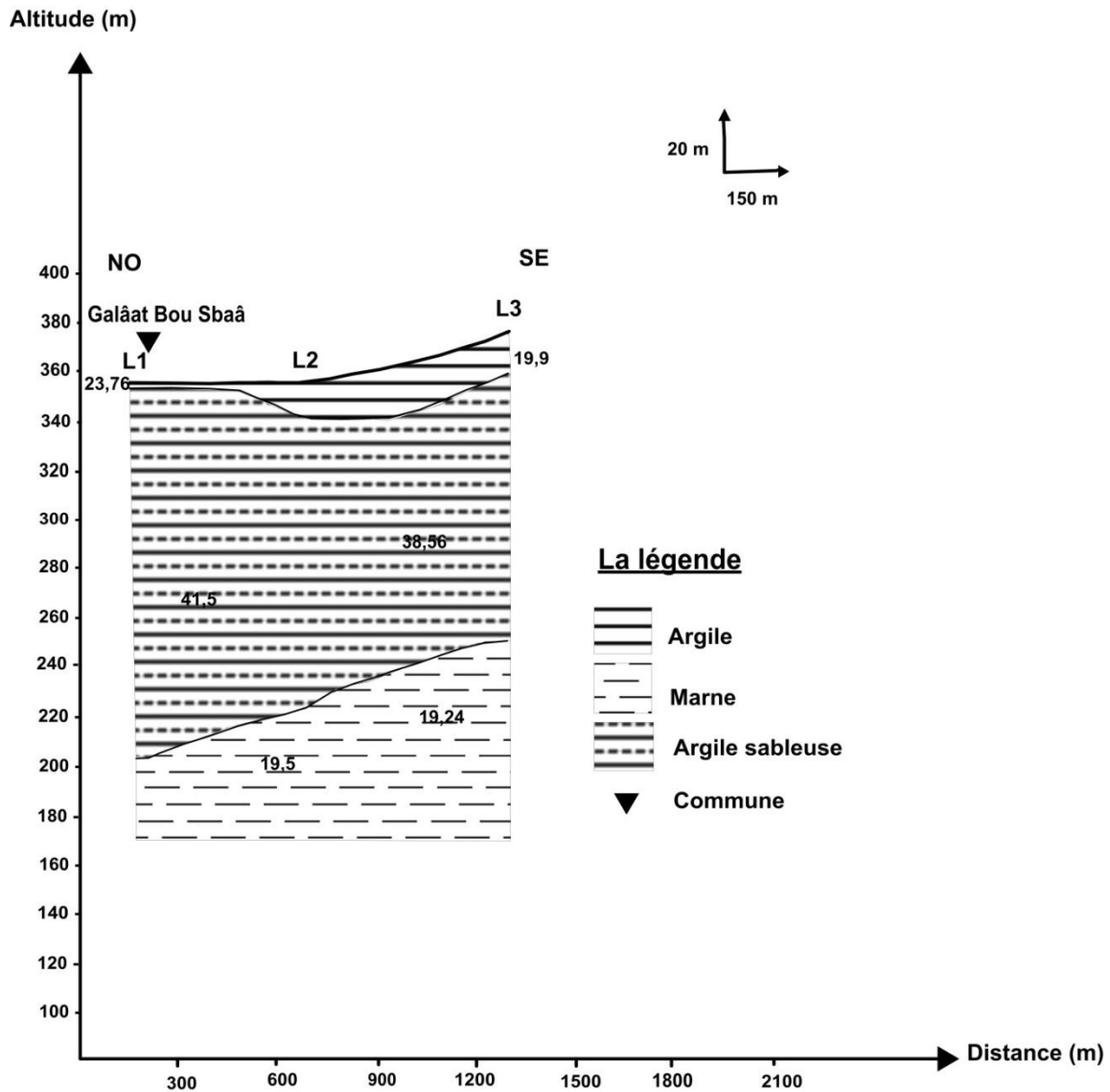


Fig.30. Coupes géoélectrique L.

▪ **Conclusion sur les coupes géo-électriques :**

Au point de vue hydrogéologique et d'après l'interprétation des coupes géoélectriques on peut conclure que la région est affectée par des systèmes des failles, qui favorisent la présence des formations aquifères ajoutées à la karstification des calcaires.

Nous déterminons que les terrains aquifères s'étendent du NNO de Héliopolis avec une profondeur de 10m, jusqu'à Galâat Bou Sbaâ, passé par Hammam Bradaâ en tenant la profondeur de 10m ou il affleure.

**A.V. Carte d'isoprofondeur du toit de l'aquifère:**

La combinaison des données de la profondeurs des calcaires au niveau des forages mécaniques et au niveau des coupes géoélectriques, nous a permis de réaliser une carte d'iso-profondeur (figure31)

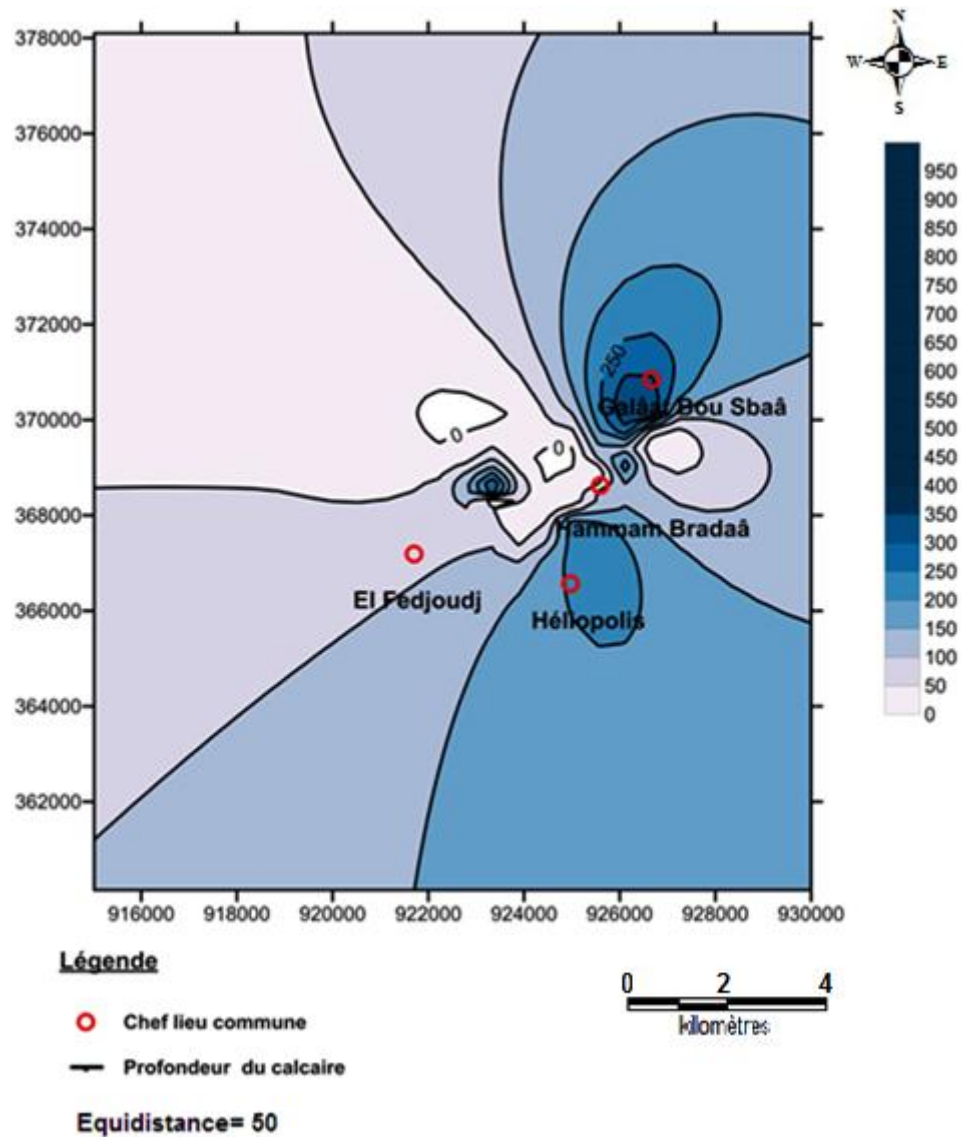


Fig.31. Carte d'isoprofondeur du toit de l'aquifère.

---

- **Interprétation de la carte :**

D'après la carte isoprofondeur nous ne constatons que la zone d'étude caractérisée par l'affleurement néritique de calcaire qui apparaît en Dour Bouzitoune, à la piscine romaine de Héliopolis et Hammam Bradaâ puis devient plus profonde dans la zone Galâat Bou Sbaâ.

- **Comparaison entre coupe hydrogéologique et géophysique :**

D'après les coupes hydrogéologiques et géoélectriques nous constatons que :

Il y a une concordance entre la coupe hydrogéologique I avec la partie de coupe géoélectrique G(G7) et H(H8), ainsi la coupe hydrogéologique II avec la coupe F(de F3 à F7), la coupe Hydrogéologique III avec les coupes géoélectriques F(F5), G(G7), et H(H8), et La coupe IV avec F(F3, F4), G, et H(H8).

Dont laquelle les coupes hydrogéologiques, montre que la profondeur de calcaires est située entre 50m et 350 m, et des coupes géoélectriques montre que la profondeur est entre 10m à 300 m.

On conclure que la profondeur moyenne du toit du calcaire est située approximativement de 10m à 350m. Ce qui exprime que la profondeur de toit des calcaires est posée à des enfoncements presque les mêmes.

Nous constatons que la Géophysique concorde bien avec l'Hydrogéologie.

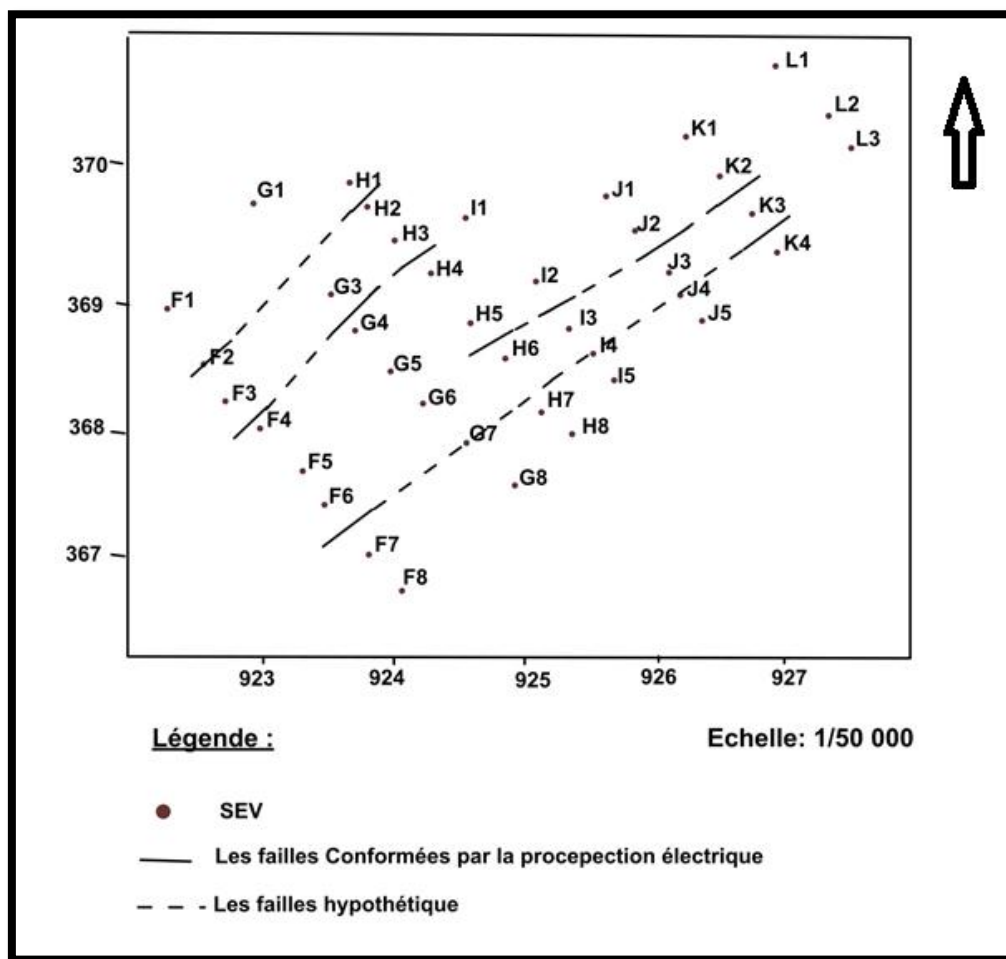
**A.VI. Carte structurale :**

Fig.32. Carte structurale.

- **Interprétation de la carte structurale :**

A partir de l'interprétation des coupes géoélectriques, et la mise en évidence de la présence de failles affectant les formations calcaires, nous avons établi une carte structurale de la zone d'étude.

L'interprétation de cette carte montre un système des failles d'orientation Sud Ouest-Nord Est.

Ces failles semblent relier les plus important accidents traversé la zone d'étude.

**B. La prospection gravimétrique :****B.I.Rappels théorique :**

Le but de la méthode est la détermination de la nature géologique du sous-sol à l'aide de la variation du champ gravifique terrestre. Une déformation géologique quelconque, tels que anticlinaux, synclinaux, faille ou remplissage quaternaire mettant en jeu des roches de densités différentes peut être décelée par l'étude du champ gravifique terrestre.

Si la terre était isolée dans l'espace, parfaitement ronde, immobile et formée de couche concentrique latéralement homogène, g aurait partout la même valeur.

$$g = -G.M/R^2$$

M : Masse de la terre  $5,977.10^{24}$  Kg.

R : Rayon de la terre 6370 Km.

g : Accélération de la pesanteur =  $9,81 \text{ m/s}^2$ .

Or il n'en est rien, la pesanteur varie d'un point à l'autre. Ces variations ont des cause diverse a que l'on peut énumérer :

- L'altitude de la station de mesures,
- La forme du géoïde.
- La topographie ou les irrégularités de la surface du sol au voisinage du point de mesure.
- La position du point de mesure par rapport à la lune et au Soleil.
- Les hétérogénéités du sous-sol.

Bien entendu, lors de la prospection le géophysicien on s'efforce de ne conserver que les variations liées aux hétérogénéités du sous-sol en éliminant celles provoquées par les causes non géologiques.

En élimine par le calcul les variations provoquées par les causes non géologiques, il ne subsiste, enfin de compte que les variations liées aux hétérogénéités du sous-sol qui constituent les anomalies gravifique que l'on essaye de leur faire correspondre une interprétation géologique.



- **Définition de l'anomalie de Bouguer :**

La mise en évidence des formations géophysique se fait par comparaison des valeurs de  $g$  mesuré et corrigées sur le terrain avec celles des modèles théoriques. L'anomalie de Bouguer se définit alors comme différence entre les valeurs réelles de la pesanteur ( $g$  mesuré et corrigée) et la valeur théorique déterminé par le modèle de Bouguer.

$$\text{Anomalie de Bouguer} = g_{\text{mesuré (corrigé)}} - g_{\text{modèle}}$$

## **B.II. Méthode d'élaboration du calcul de l'anomalie gravifique :**

### **B.II.1.les correction de $g_{\text{mesuré}}$ :**

Sur le terrain, les mesures exécutées à l'aide d'un gravimètre sont des mesures relatives. On effectue d'abord une lecture en un point où la valeur de  $g$  est connue puis une autre lecture au point où elle à déterminer. La différence des deux lectures devrait être égale à la différence  $\Delta g$  de l'accélération de la pesanteur entre ces deux points. Or ce n'est pas exactement le cas, car la valeur du champ  $g$  varie non seulement avec le lieu mais également avec le temps, il y a deux raisons à cela :

- L'une naturelle, due à l'influence de la lune et Soleil.
- L'autre instrumente, due au vieillissement du ressort du gravimètre, aux légerschocs provoqué par le transport, la manipulation de l'appareil et aux faibles variations de températures.

Afin d'avoir des résultats qui sont indépendants des conditions de mesures, il faut effectuer des corrections qui tiennent compte :

- De l'influence luni-solaire.
- De l'effet de la hauteur du trépied.
- De la dérive instrumentale.

#### **B.II.1.1. La correction Luni-solaire :**

La mesure de la pesanteur à chaque station est affectée par une valeur que due à l'attraction entre la terre et la lune d'une part et l'attraction du soleil et la terre d'autre part, donc des effets non géologique qu'il faut éliminer.

Cette correction se faire grâce à les tableaux.

**B.II.1.2. La correction de la hauteur du trépied :**

Les corrections ne sont pas affectées directement sur le sol, mais sur un trépied d'une hauteur dh. Pour les rabattre ou sol il faut leur apporter une correction dite dh Statif à l'aide de la relation (aire libre) :

$$\Delta g_{\text{statif}} = 0,3086 \cdot dh \text{ mgal}$$

dh : hauteur du trépied (m).

**B.II.1.3. La correction de la dérive Instrumentale :**

L'existence de cette dérive impose un mode opératoire particulier. On effectue toutes les mesures en cycles de la façon suivante :

- Ouverture à la base
- Mesures aux différentes stations
- Fermeture à la base

Le retour à la base permet alors d'évaluer la dérive. La différence entre la valeur finale et la valeur initiale à la base, corrigée de la luni-solaire, correspond à la dérive instrumentale, valeur qu'on distribue linéairement en fonction du temps écoulé entre lecture à la base et la station donnée.

**B.II.2. g<sub>modèle</sub> :**

Il s'agit de calculer une valeur de la pesanteur pour chaque station du cycle gravimétrique pour cela il faut apporter à valeur théorique de la pesanteur plusieurs corrections, ces corrections sont :

$$g_{\text{modèle}} = g_{\text{théorique}} + \Delta g_{\text{air libre}} - \Delta g_{\text{plateau}} - \Delta g_{\text{topographique}}$$

$$AB = g_{\text{mesurée théorique}} + \Delta g_{\text{air libre}} - \Delta g_{\text{plateau}} + \Delta g_{\text{topographique}}$$

Où : AB= Anomalie de Bouguer.

**B.II.2.1. La correction à l'aire libre**

Elle tient compte de l'altitude du point de mesure, sans tenir compte des terrains entre le point de mesure et le niveau de mer.

$$\Delta g_{AI} = 0,3086 \cdot dh \text{ mgal}$$

Cette valeur est soustraite de la valeur pour chaque point.

**B.II.2.2. La correction du plateau:**

On remplit l'espace entre le point de mesure et le niveau de géoïde en lieu donne une densité approprié (2,67). Cette correction est donnée par la relation suivant :

$$\Delta g_{PI} = 0.0419 \cdot \rho \cdot h$$

$\rho$  : la densité = 2.67.

**B.II.2.3. La correction topographique:**

Les reliefs autour du point de mesure affect la valeur de la pesanteur leur influence et de temps plus important qu'ils sont plus proches. C'est pour cette raison qui il est souhaitable toujours de choisir les stations du mesure dans des zones aussi plat que possible.

La correction topographique est la somme des contributions des creux et des basses.

Cette correction ce fait à l'aide de couronnes de la réticule de Hammer. Pour corrige les effets du relief dans certain étude ils sont allés jusqu'à 160km autour de la station du mesure.

**B.III. Interprétation qualitative :****B.III.1. Généralités sur les cartes gravimétriques :**

Les cartes gravimétriques de Bouguer représentent les anomalies dues aux hétérogénéités du sous-sol. La forme de l'anomalie sera différente selon la profondeur, la forme et la densité.

L'Anomalie de Bouguer est composée d'une anomalie régionale et anomalie résiduelle.

$$\text{Anomalie de Bouguer} = \text{Anomalie régionale} + \text{Anomalie résiduelle.}$$

En effet l'anomalie de Bouguer met en évidence de façon qualitative en même temps les variations gravifiques à grands rayons de courbure d'origine profonde et les variations locales à petits rayons de courbure d'origine proche de la surface.

L'anomalie régionale, d'origine profonde et étendue, est une anomalie où les isolignes ont de grands rayons de courbure. À la contraire, l'anomalie résiduelle est provoquée par des phénomènes.

L'anomalie régionale peut être calculée de diverses façons le sens donné au terme « grand rayon de courbure ». La méthode employée ici est l'ajustement par un polynôme du troisième degré en x et y.

L'anomalie résiduelle de la zone d'étude est obtenue par la soustraction de la valeur de l'anomalie de Bouguer, la valeur de la régionale (figure 33).

$$\text{Anomalie résiduelle} = \text{L'Anomalie de Bouguer} - \text{Anomalie régionale}$$

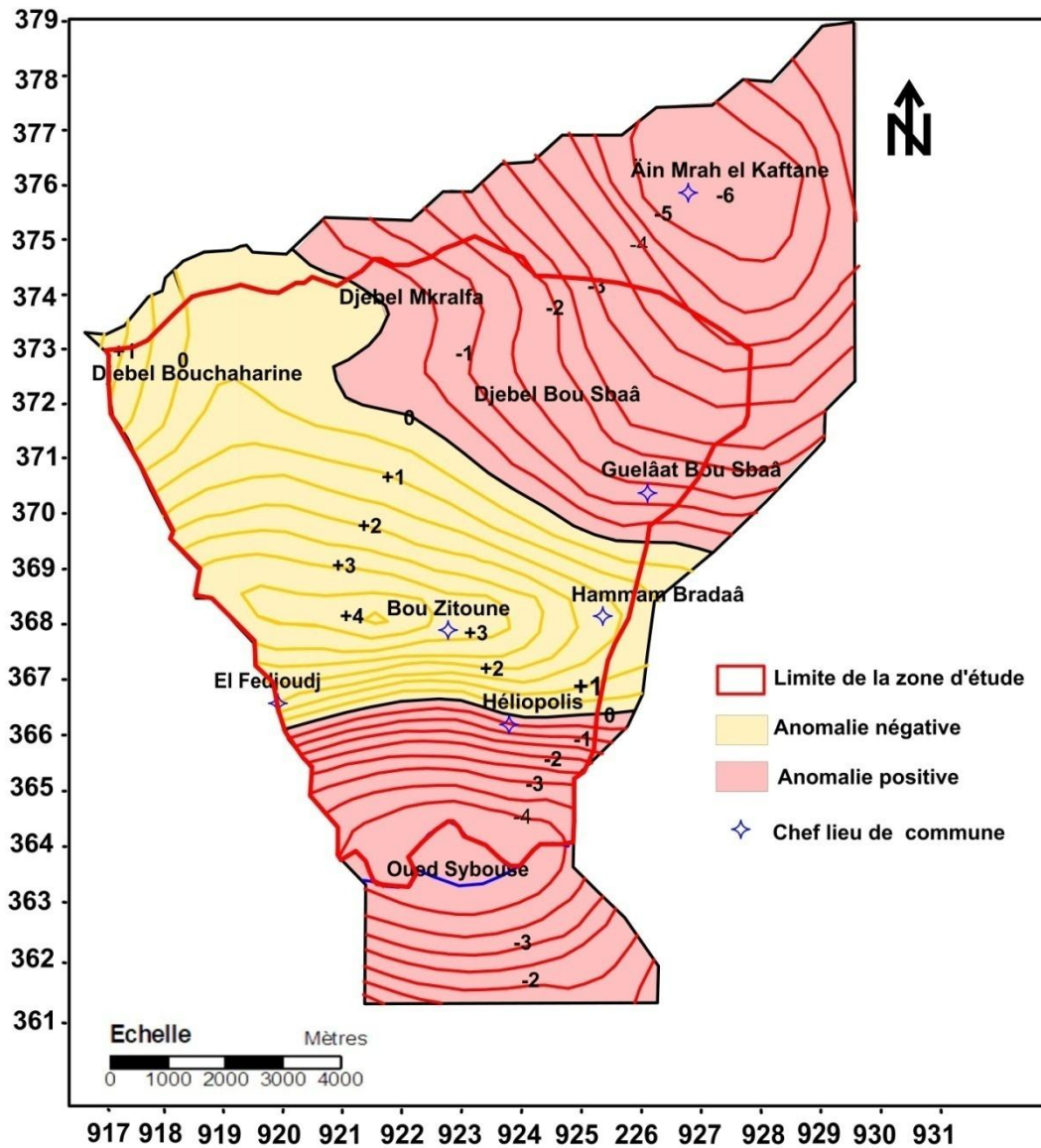


Fig.33. Carte Anomalie résiduelle de la zone d'étude.

**Interprétation de la carte :**

C'est cette carte résiduelle qui présente un intérêt particulier lorsque l'on s'intéresse aux premières centaines de mètres de sous-sol (cas des aquifères par exemple).

La carte résiduelle reproduit de l'étude du CRAAG figure 32, qui a été établie à la même échelle soit 1/100 000, avec une équidistance de 0,5 mgals. L'amplitude des anomalies de cette carte varie de -5 à 4mgals.

Cette carte montre principalement deux zones anormales situées respectivement au Nord (région d'Ain Mrah et Kaftane), au centre (région Hammam Bradaâ) et Sud (région sud de Héliopolis).

1) L'anomalie négative -5 mgals d'Ain Mrah et Kaftane et la région Sud de Héliopolis correspondraient à des zones de faible densité (zone de subsidence comblée par des matériaux légers (marnes).

2) L'anomalie positive 4 mgals située dans la partie centrale de la carte (région de Hammam Bradaâ et Bou Zitoun) correspondraient à des zones de densité plus élevée qui est attribuée probablement aux affleurements de roches calcaires néritiques qui constituent notre principal aquifère de la région. On observe un fort gradient dans la partie sud de cette anomalie positive qui peut être expliquée par les failles.

**Conclusion :**

A partir de l'interprétation des coupes géoélectriques, des coupes hydrogéologiques, de la carte de la profondeur du toit des calcaires et de la carte résiduelle, nous constatons que nos résultats sont concordants et montrent bien la structure des calcaires par leur affleurement dans la région de Hammam Bradaâ, Bouzitoune, Nord de Héliopolis et El Fedjoudj ou par leur plongement vers le Nord et vers le Sud, cette structure est mise en place par la tectonique cassante (des failles), ce qui nous montre l'intérêt hydrogéologique de cette zone favorable à la formation des aquifères.

Conclusion

générale

## **Conclusion**

---

### **CONCLUSION GENERALE:**

Sur le plan géologique, Notre région d'étude est caractérisée par des formations du Trias jusqu'au Quaternaire, présentant ainsi une lithologie très variée qui comprend essentiellement: les alluvions, les marnes, les argiles, les flysch et surtout les calcaires fissurés et Karstique.

C'est une région soumise à climat méditerranéen caractérisé par deux saisons distinctes, l'une humide et froide et l'autre sèche et chaude.

La température moyenne annuelle est de 18.3°C et la précipitation moyenne annuelle est de l'ordre de 629.37mm. Le bilan hydrologique montre qu'au niveau de la station de Guelma le ruisselée constituée 113.99mm de précipitation, avec une infiltration de 185.38mm.

Le traitement des données de forages réalisés dans notre région d'étude, et l'élaboration des coupes hydrogéologiques, nous a permis d'identifier deux aquifères :

-Une nappe superficielle alluvionnaire de moindre importance à cause de son extension limitée.

- Une nappe profonde importante caractérisée par des formations calcaires karstifiés et fissurés dans l'unité stratigraphique des calcaires néritiques.

Nous avons essayé, dans ce travail de réinterpréter les données de prospection géophysique (électrique et gravimétrique), réalisées auparavant par l'ENAGEO et le CRAAG.

La prospection électrique par sondages électriques nous a permis d'élaborer des coupes géo-électriques et de localiser la profondeur des calcaires néritiques dans les endroits où les forages mécaniques sont inexistant.

En combinant les données de prospection électrique et les données de forage nous avons élaboré une carte d'isoprofondeur du toit et avons identifié les divers formations



## Conclusion

---

lithologiques en profondeur ainsi la localisation du système de failles bien visible dans la formations de blocs des calcaires fissurés avec des différents rejets.

L'analyse de la carte d'anomalie résiduelle montre deux anomalies, négative d'environ -6 mgals au Nord et -4 mgals au Sud, une anomalie positive importante de +4 mgals dans la région de Hammam Bradaâ- Bouzitoune-El Fedjoudj, ce qui correspond bien avec les affleurements des calcaires néritiques et confirmée aussi par les coupes géoélectriques.

# Bibliographie

## BIBLIOGRAPHIE

---

- Agence Nationale des ressources hydriques(ANRH).
- Astier, J.L. (1971) : « Géophysique appliquée à l'hydrogéologie » Edition- Masson-Paris.
- BEN BOURICH : Contexte Administratif publié(Internet)
- BRAHMIA Ali Cours de la Géophysique (2013) Université 8 Mai 1945 de Guelma.
- Carte de référence :
- 1- L'INSTITUT NATIONAL DE CARTOGRAPHIE ALGER (1988), Carte Géologique, 1/50 000 Guelma.
- 2- Service Géographique de l'Armée(1959), Carte Topographique, 1/50 000 Guelma.
- 3- Vila (1980) : carte géologique de l'Algérie Guelma au 1/50 000.
- Centre de Recherche en Astronomie et Astrophysique et Géophysique(CRAAG), « étude gravimétrique de la région de Guelma (2004) (Rapport inédit) ».
- Centre de Recherche en Astronomie et Astrophysique et Géophysique(CRAAG), « étude gravimétrique de la région de Guelma (2004) (Rapport inédit) ».
- Chapellier et Mari (2005) : Cours en ligne de Géophysique, université de Lausanne (internet).-Entreprise nationale Algérienne de géophysique (ENAGEO) pour le compte de la direction de l'hydraulique de Guelma « Prospection électrique par SEV dans la région de HAMMAM BRADAA (W.Guelma).(Rapport inédit).
- Entreprise nationale Algérienne de géophysique(ENAGEO) pour le compte de la direction de l'hydraulique de Guelma « Prospection électrique par SEV dans la région de HAMMAM BRADAA (W.Guelma).(Rapport inédit).
- L'INSTITUT NATIONAL DE CARTOGRAPHIE ALGER (1988), (Carte Géologique): La nappe néritique constantinoise : élément majeur de la chaîne alpine d'Algérie orientale.
- Lahondère J. C. (1987) : La série ultra tellienne d'Algérie nord orientale et les formations environnantes dans leur cadre structural. Th. Doct. Es sciences. Université Paul Sabatier, Toulouse.
- Projet de recherche (2001-2002): Contribution à la mise en valeur agricole du périmètre irrigué de la plaine de Guelma. (M. BOUCHIHEB, K.CHABBI).

## BIBLIOGRAPHIE

---

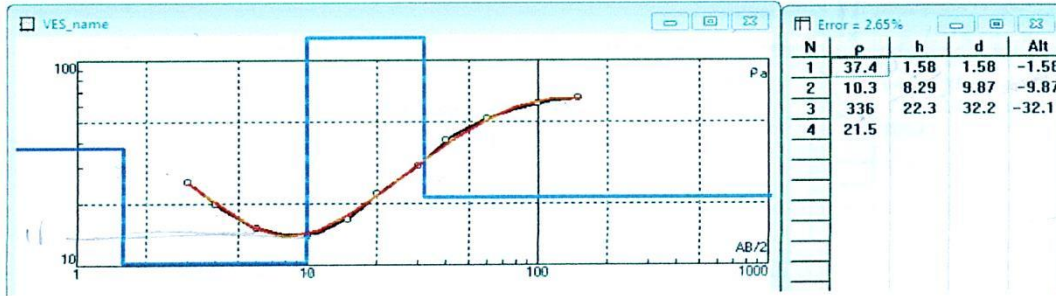
-Projet de recherche (N° G 2301/01/2001) : Prospection, évaluation, protection de ressources en eaux souterraines du bassin de Guelma et des zones avoisinantes.(A.BOULEDROUA ; A.ZERDAZI, et K.NAFFA) « Université Badji-Mokhtar, Annaba ».

-Schoeffler.J(1975)- Gravimétrie appliqué en recherche structurale et la prospection Pétrolière minière édition Téchinp.

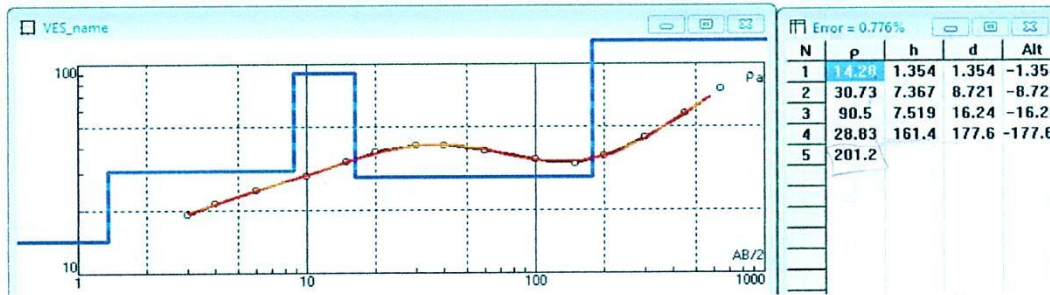
# Annexes

# Annexes

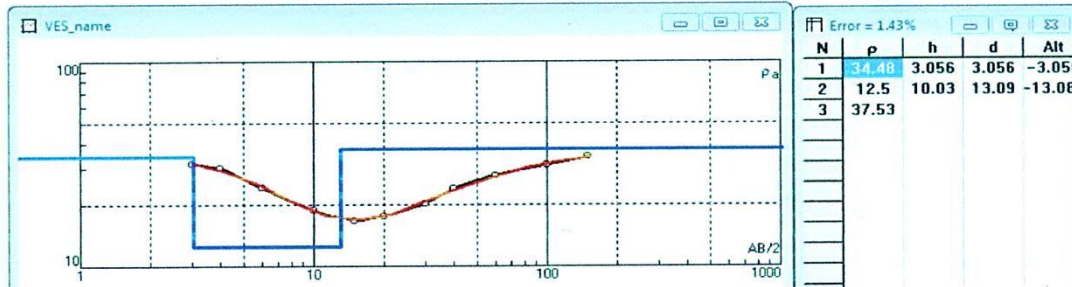
## F1



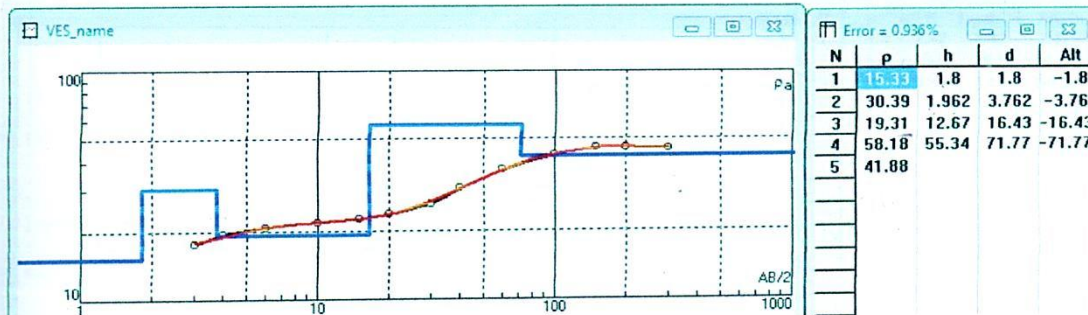
## F2



## F3

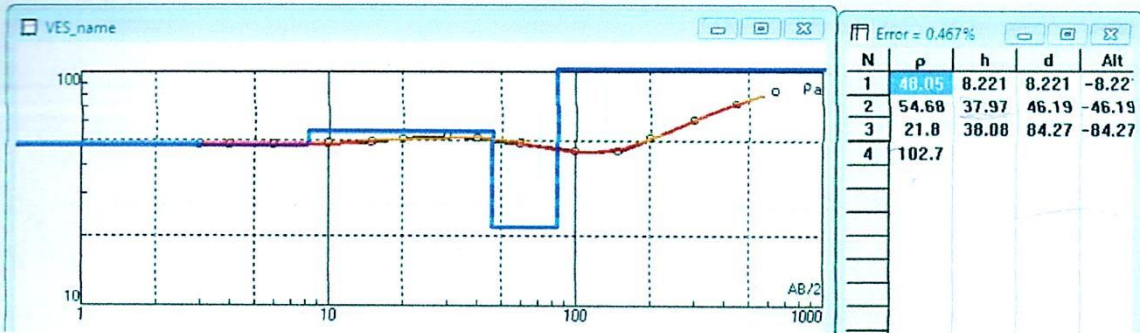


## F4

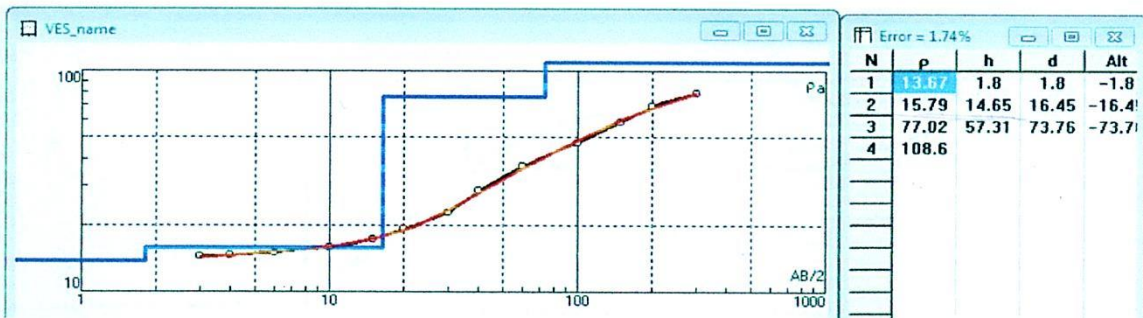


# Annexes

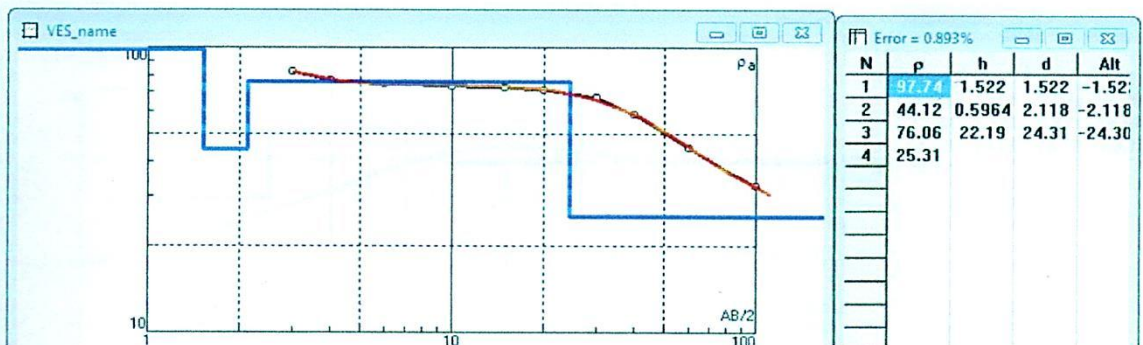
## F5



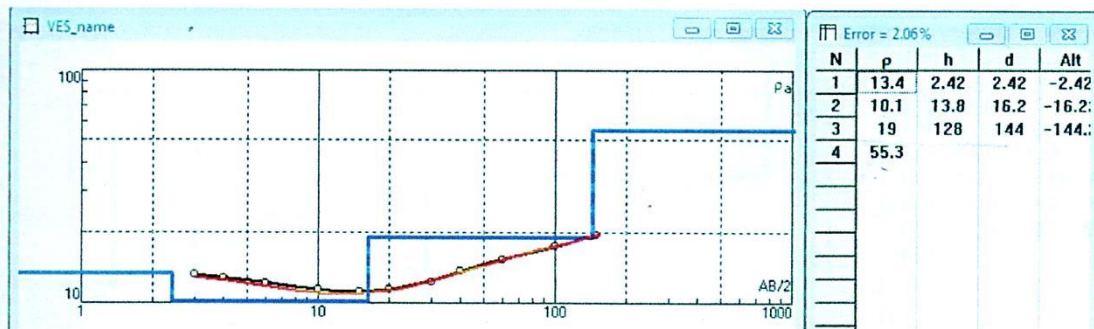
## F6



## F7

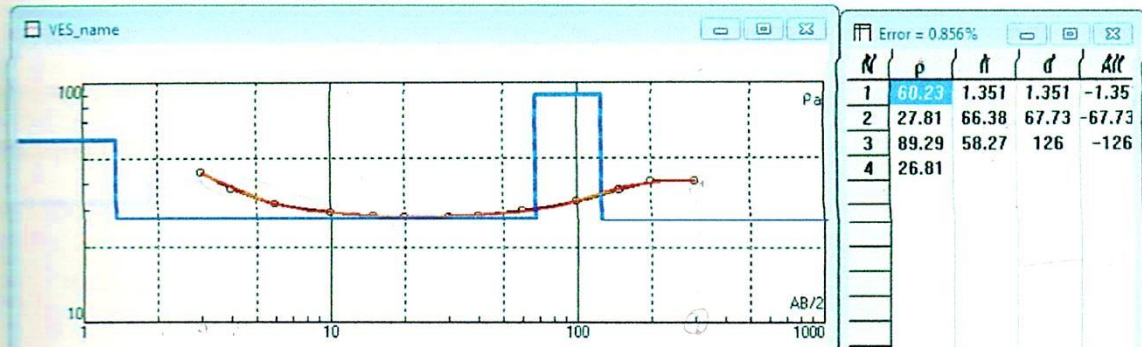


## F8

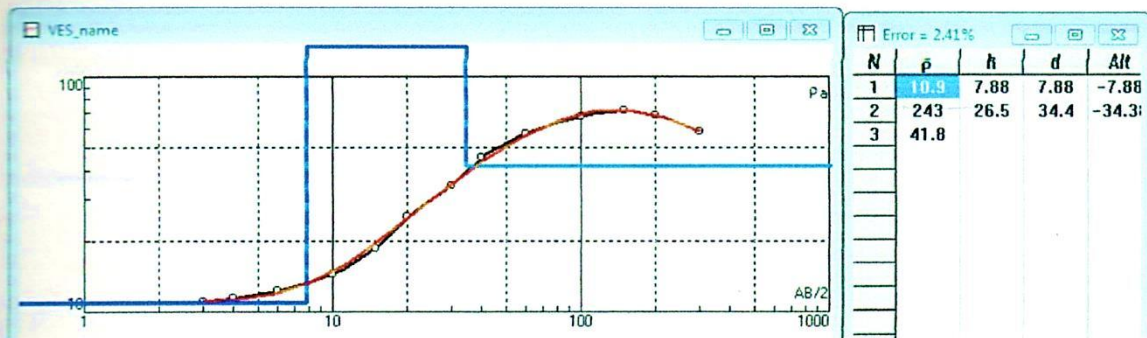


# Annexes

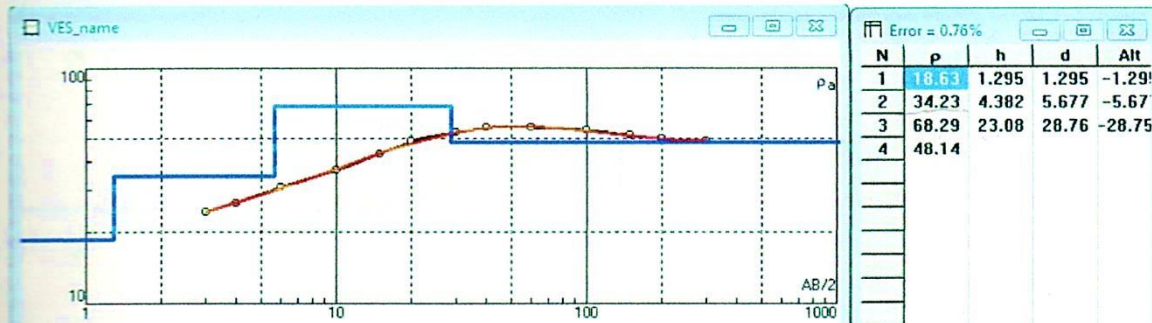
## G1



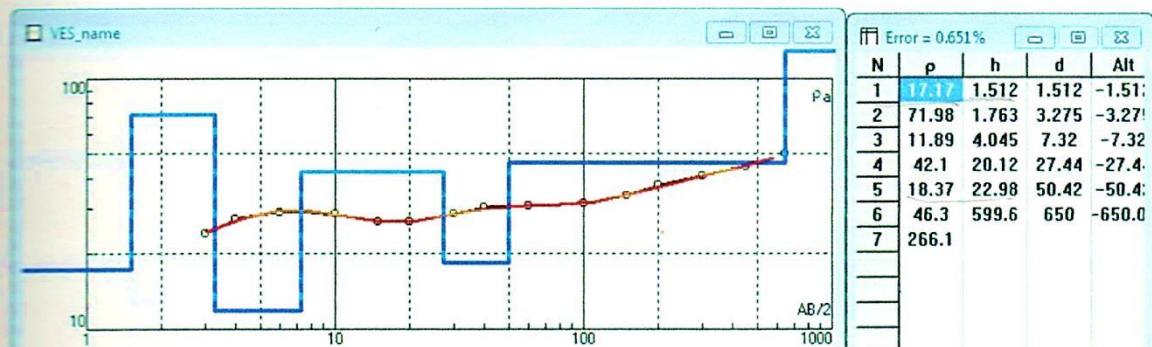
## G3



## G4



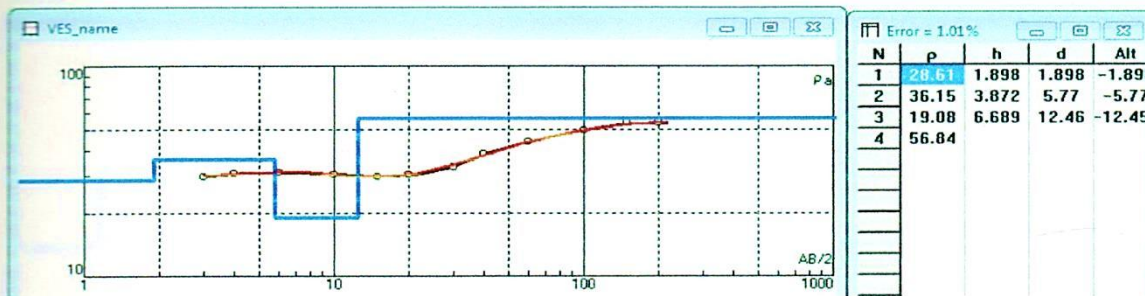
## G5



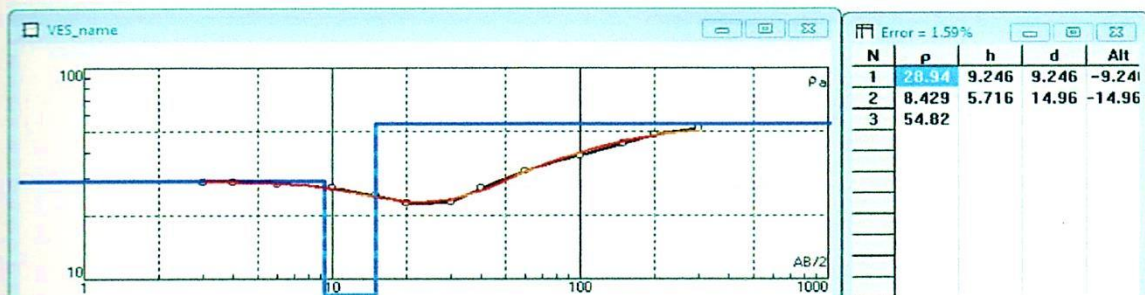


# Annexes

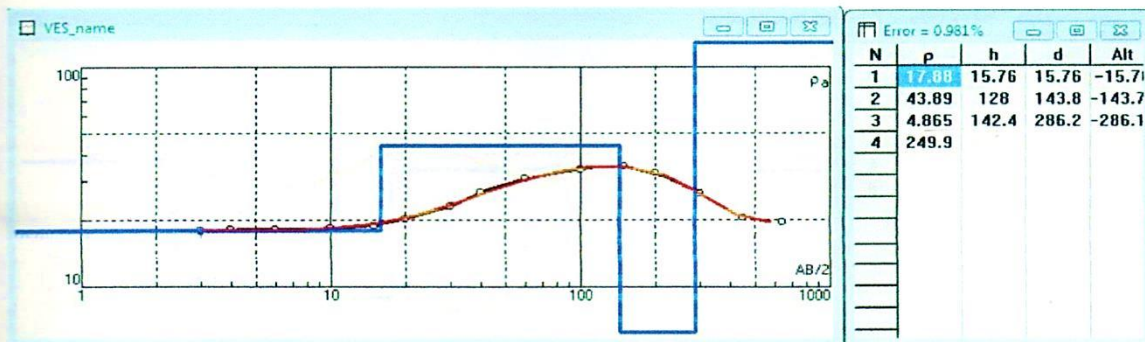
## G6



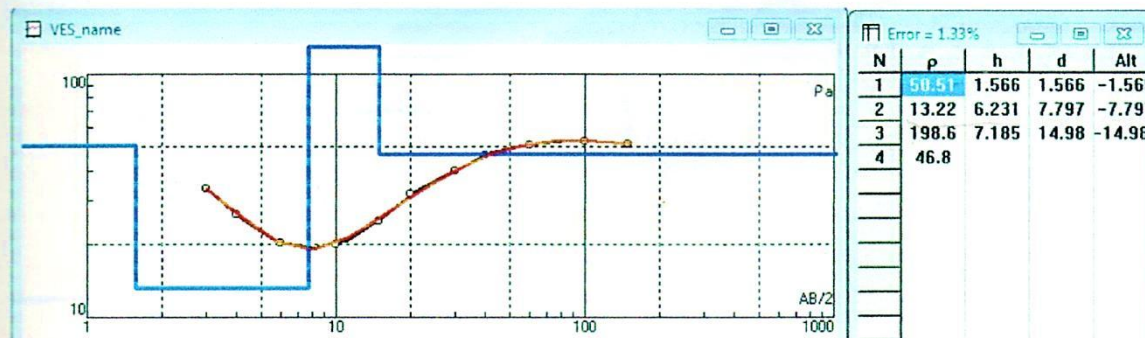
## G7



## G8

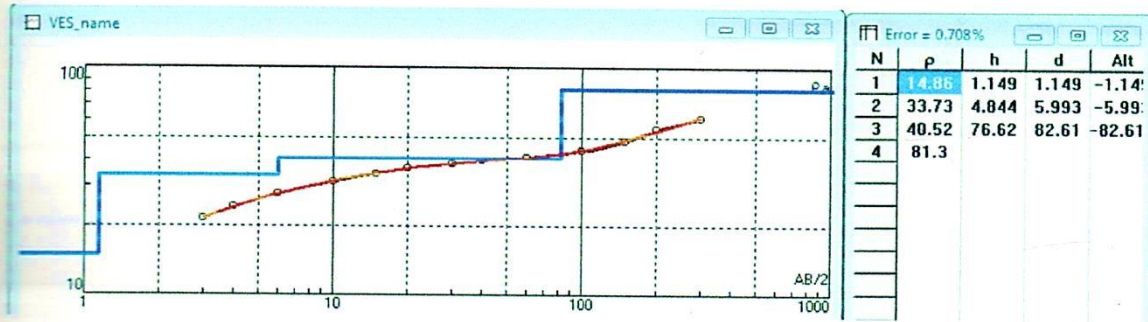


## H1

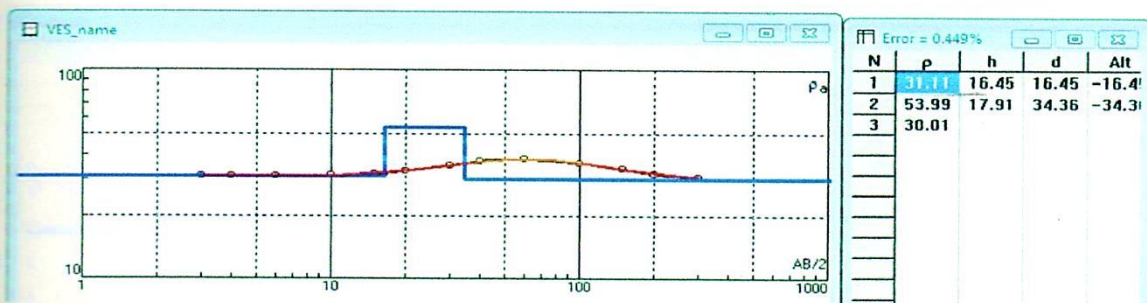


# Annexes

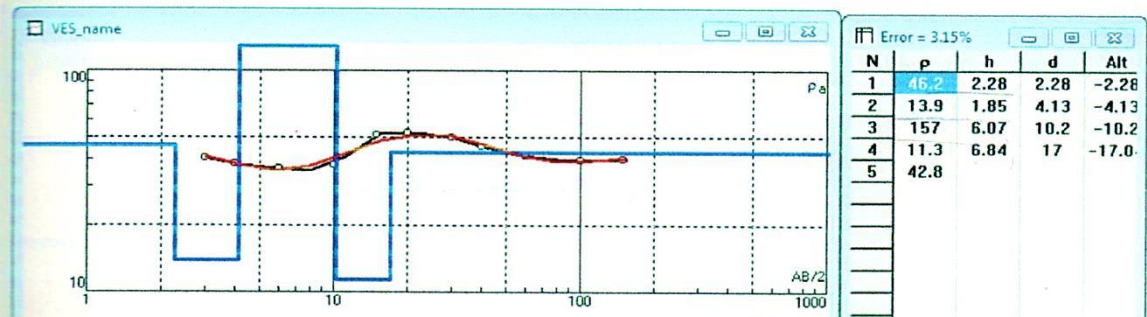
## H2



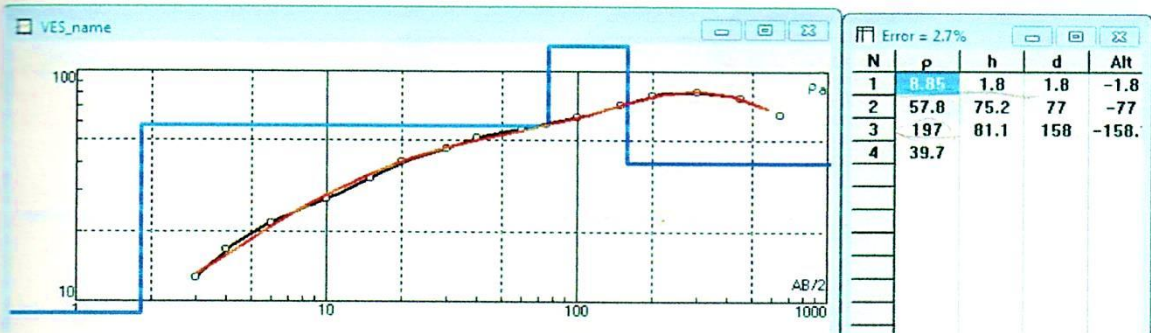
## H3



## H4

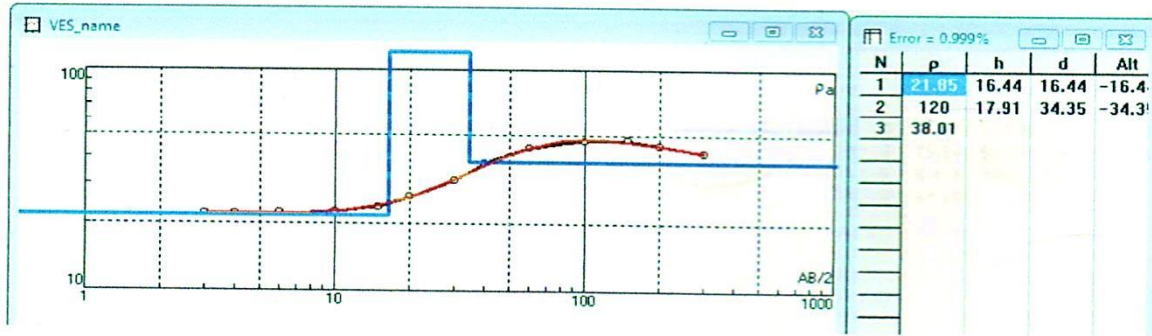


## H5

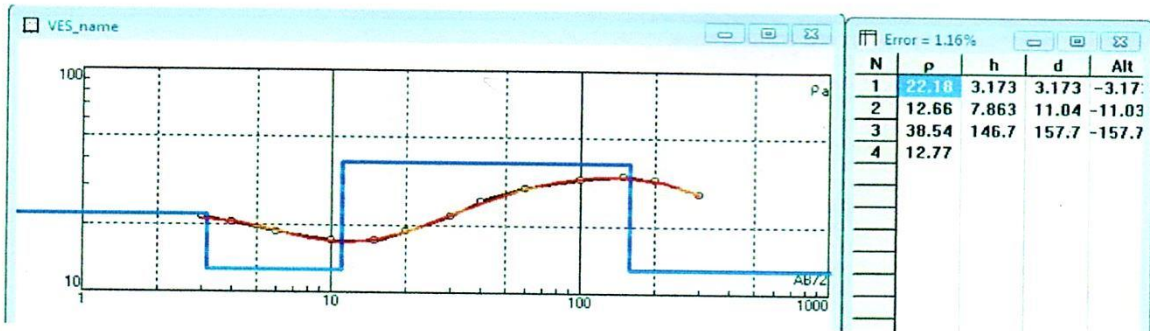


# Annexes

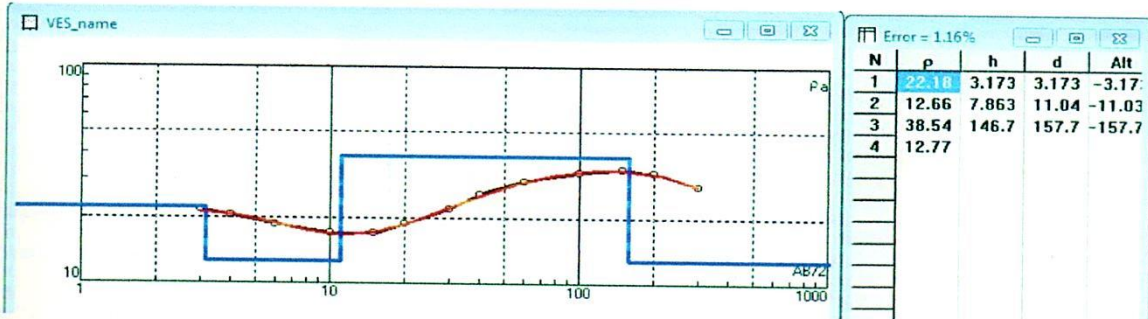
## H6



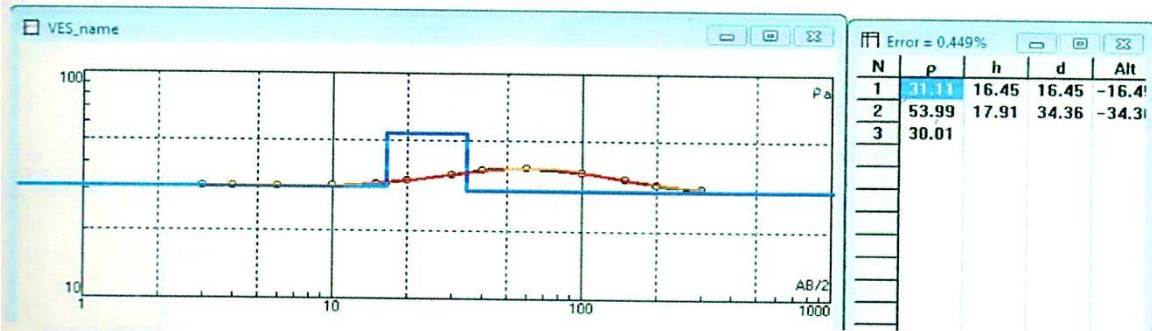
## H7



## H8

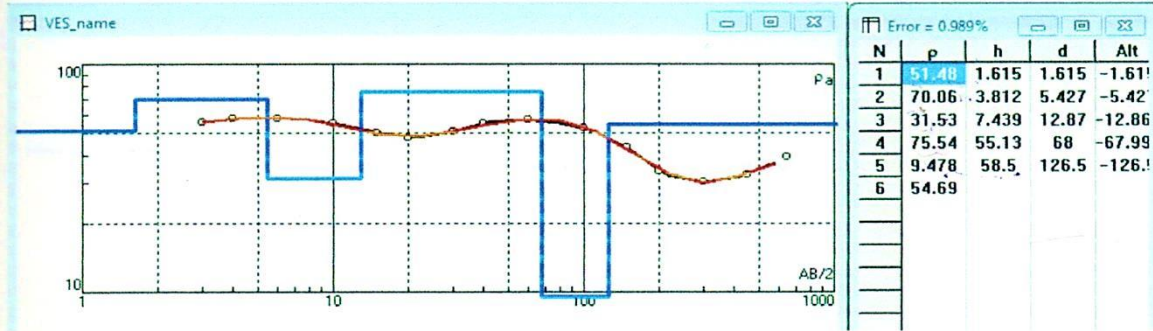


## I1

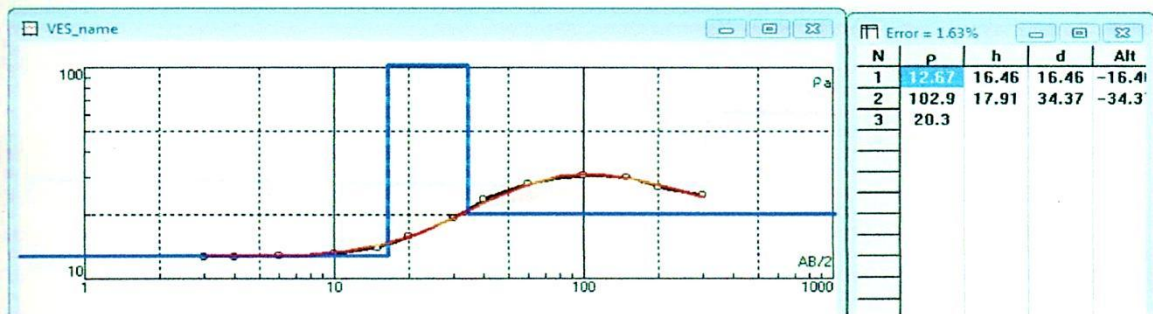


# Annexes

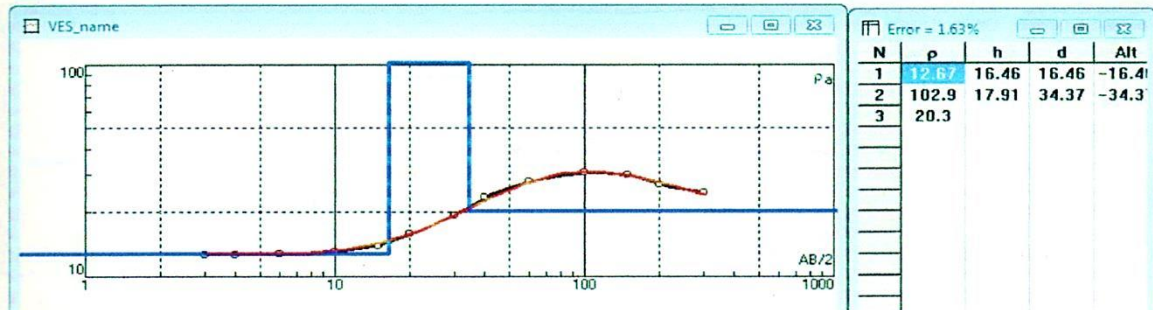
12



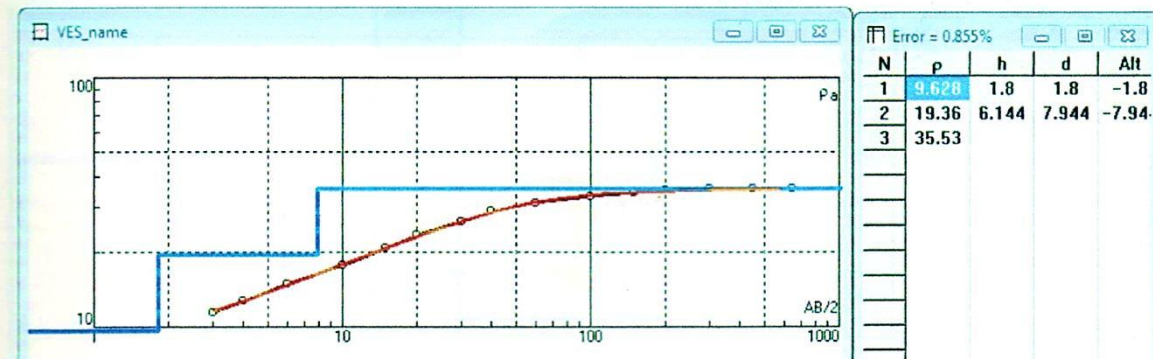
13



14

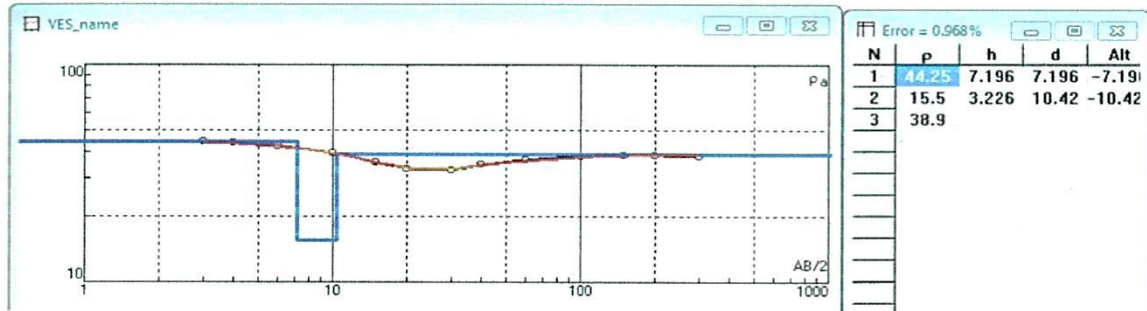


15

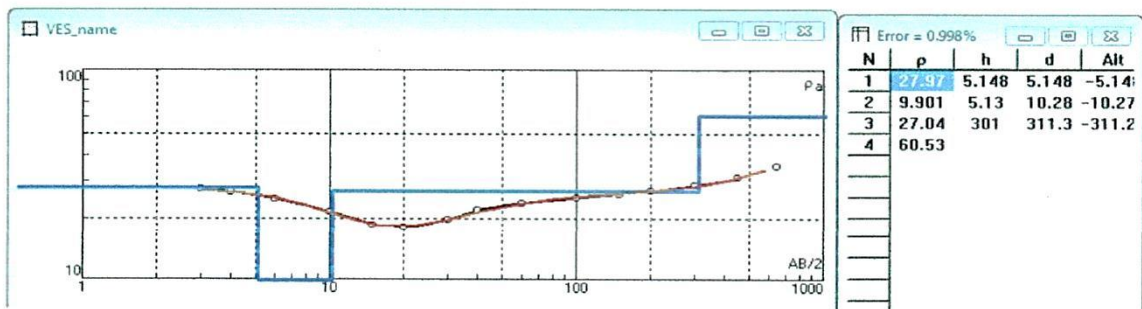


# Annexes

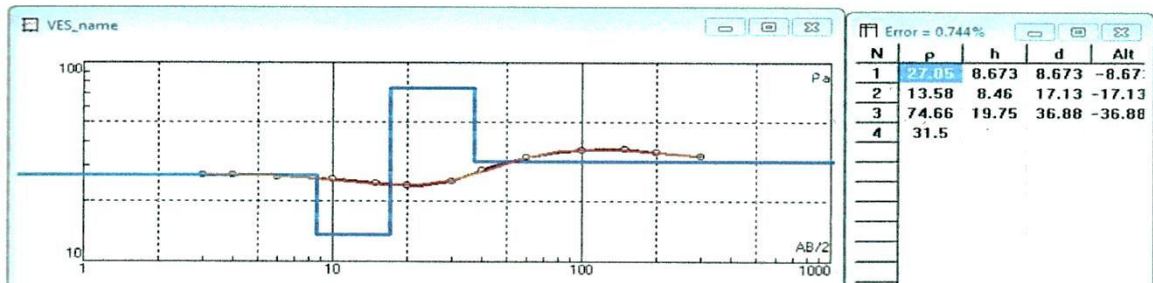
*J1*



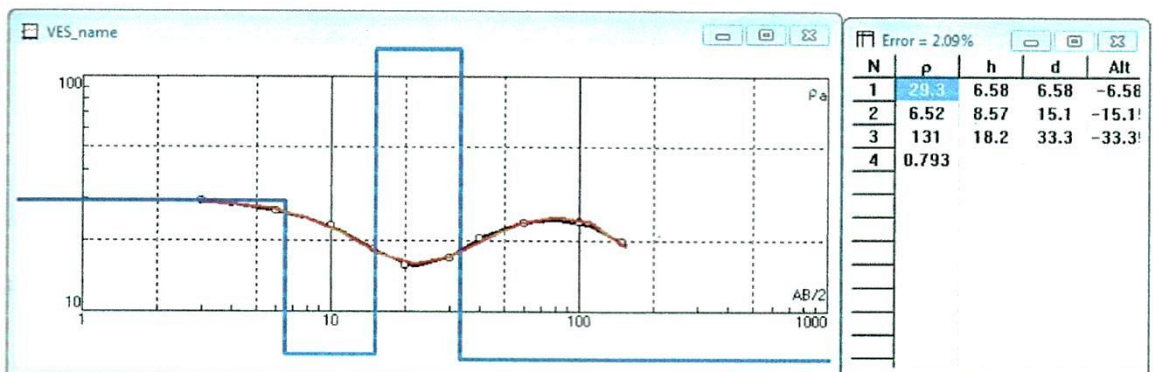
*J2*



*J3*

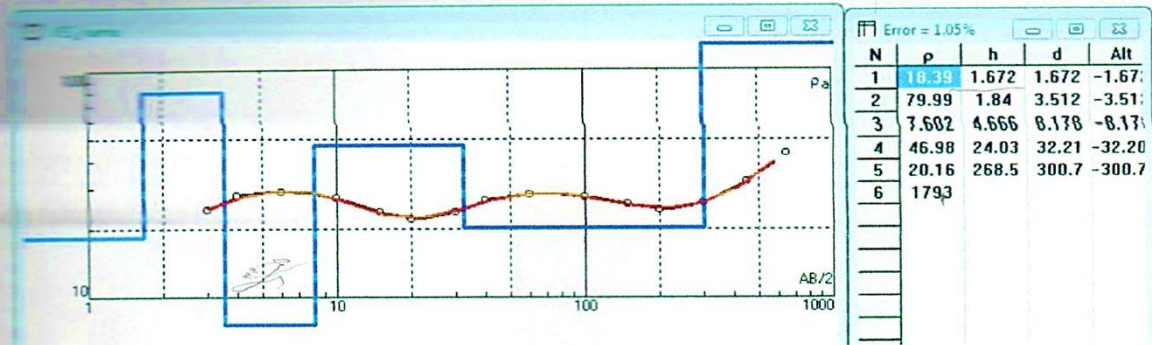


*J4*

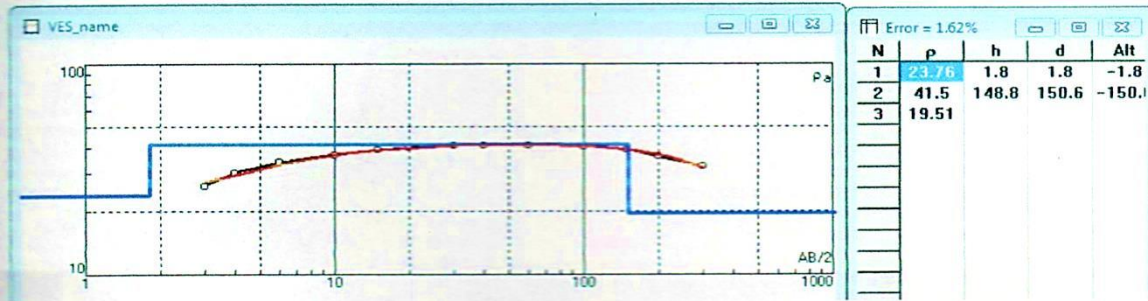


# Annexes

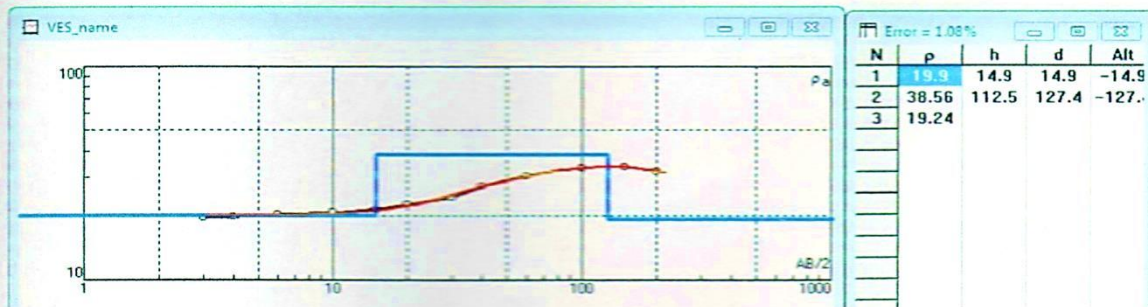
## K4



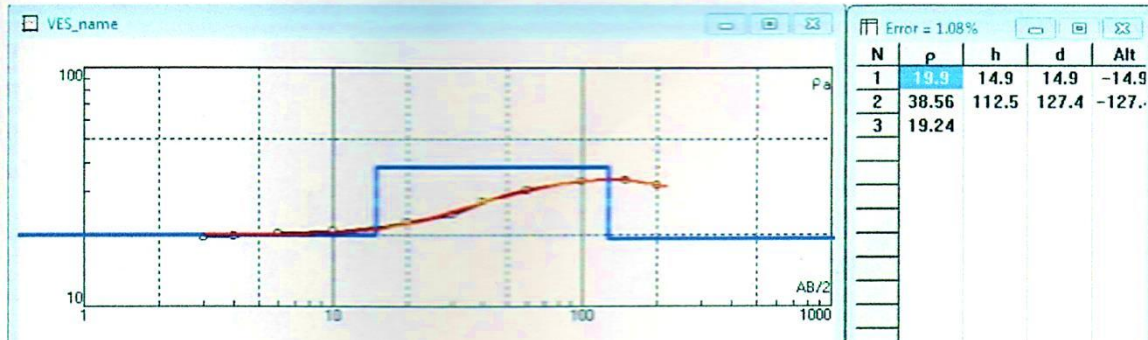
## L1



## L2



## L3



# Annexes

LW 11112 NS

**SONDAGE** Forage de Hammam Brejaa  
 Carte: Guelma Vich 1150 000  
 Date des travaux: 07/11/1968 - 17/02/1968 Long: 924,750 X ~~924,117~~ 200,30  
 Echelle de la coupe: Lat: 368,150 Y ~~367,607~~ 200,30

Profondeurs et cotes	Tubages et Cimentation	Plans d'eau	Echant.	Coupe	DESCRIPTION GEOLOGIQUE	Etage
0					Angle moupe végétale	
10					Substrat marneuse et plâtrée à la base avec pompes de niveau calcaire gris clair: zone d'alternance	
20	11"4	NS - 15m			Calcaire franc très résistant et abrasif déformé fin.	
30	20"				zone d'alternance de marnes grises et de calcaire	
40					Calcaire noir, très dur à cassure rugueuse, très fissuré avec présence de petits totales de boue à l'emp.	
50					Absence de Colting - avec passage de un niveau de marne fouillée forte, probablement marneuse.	
60	11"4				Forage de un niveau très résistant très probablement Calcaire absence de Colting	
70						
80						
90						
100						

mis à jour par \_\_\_\_\_ le \_\_\_\_\_

# Annexes

1B<sub>2</sub>

## SONDAGE...FORAGE. Bouzioune III

Carte : 14.212 P. 01. 5. (Nord de la Corne)

Date des travaux : .....

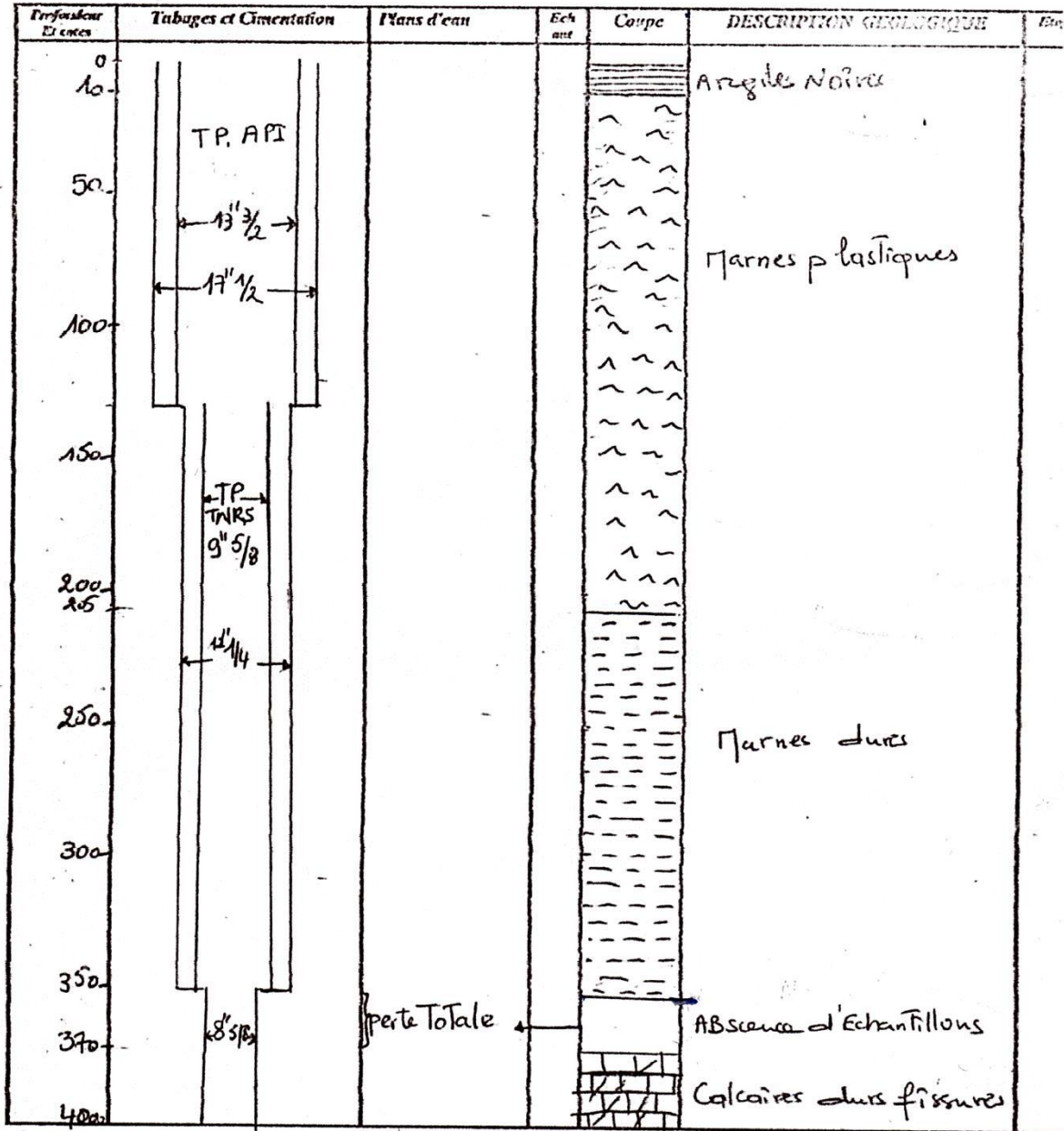
N° .....

Long : ..... N. 923.82

Z. 960

Latit : ..... Y. 361.86

Echelle de la coupe : .....





# Annexes

## SONDAGE BOU ZITOUNE I

Carte : GUELMA 1/50000

N° Fichier Forages

N° Inventaire

Date des travaux : 26/05/88 - 20/08/88 Long : 923,50 X

Echelle de la coupe : 1/2000 Lat : 369,50 Y

Z 270,0

Profondeurs et cotes	Tubages et Cimentation	Plans d'eau	Echant.	Coupe	DESCRIPTION GEOLOGIQUE	Litige
0						
20						
40		N.S. = 21m			Marnes grises	
60						
80		N.D. = 71m				
100						
120					Calcaires compacts, gris clairs résistants	
140	F. φ 15"					
160	112-160m					
180					Zone fissurée présence de perte totale de boue bentonique	
200	F. φ 12"					
220	160-220m				Calcaires gris friables facilement broyable à l'outil.	
240						

Barrémien : Cim : Marnes à Ammonites pyriteuses.

mis à jour par ..... le .....

# Annexes

**SONDAGE** Forage de Hamonq. Bredaa HB4

Carte Guelmaq ech. 1/50 000

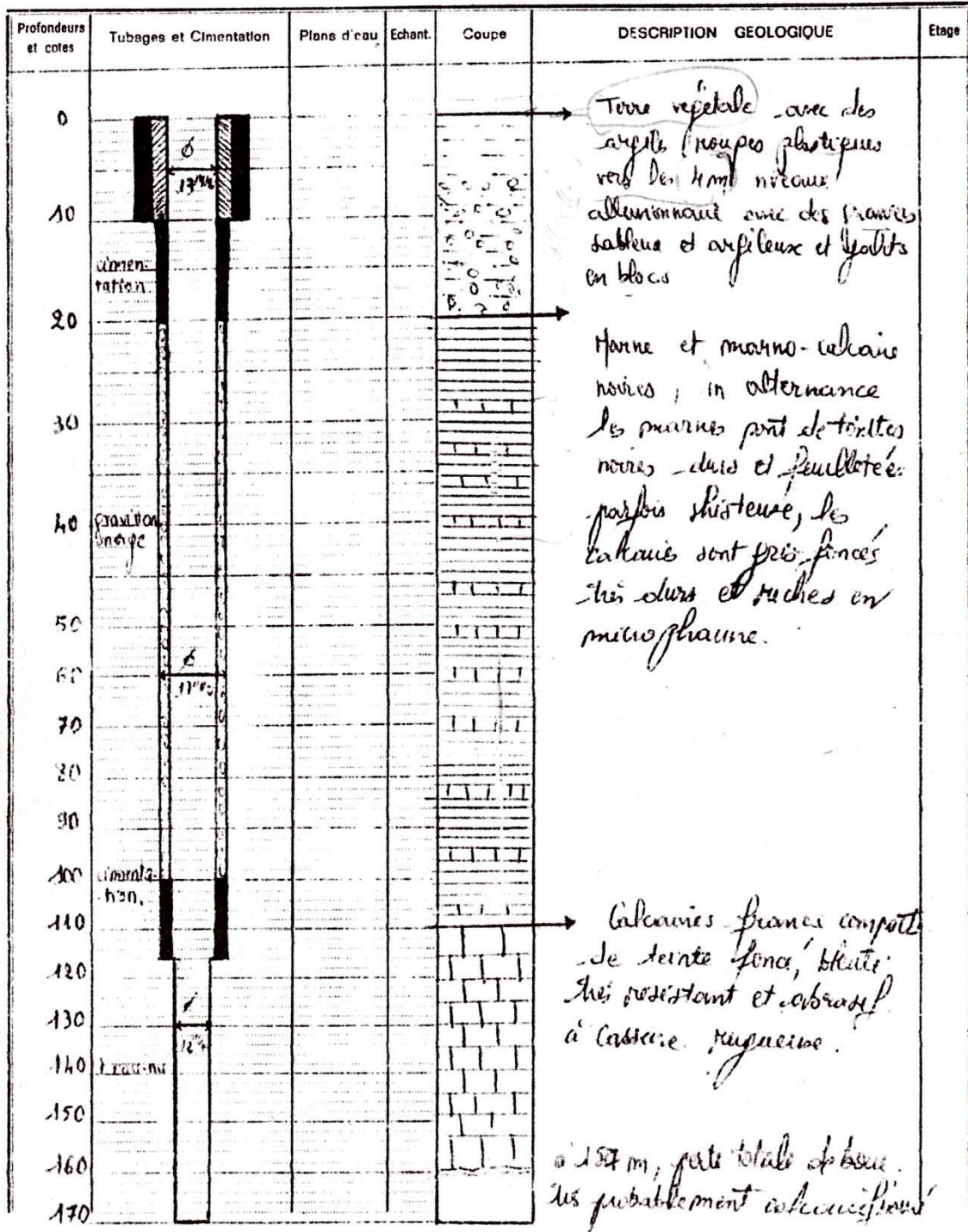
No Fichier Forages No Inventaire

Date des travaux 11/1993

Long 925,500 X 925,60

Lat 368,500 Y 368,50 Z 282

Echelle de la coupe



mis à jour par \_\_\_\_\_ le \_\_\_\_\_

Annexes

N<sup>o</sup> 3 Piscine H 162

**SONDAGE Forage de Hammam Bradan**

Carte : Guilma

Date des travaux : 15/08/1966 au Long : 925,250 X 925,250

Echelle de la coupe : \_\_\_\_\_ Lat : 368,950 Y 368,950 z 460

N<sup>o</sup> Fichier Forages \_\_\_\_\_ N<sup>o</sup> inventaire \_\_\_\_\_

Profondeurs et cotes	Tubages et Cimentation	Plans d'eau	Echant.	Coupe	DESCRIPTION GEOLOGIQUE	Etage
0					→ Terre végétale Argile noire plastique	
10					→ calcaire gris clair dans et compact riche en microphane	
20						
30					→ Calcaire noir blanchâtre très résistants à cassure rugueuse et fissuré	
40					38,50 - 40,80 m zone carbonifère absence de cutinifère (petite teneur de base)	
50						

mis à jour par ..... le .....

# Annexes

## SONDAGE EL FEDJOUTJ NF

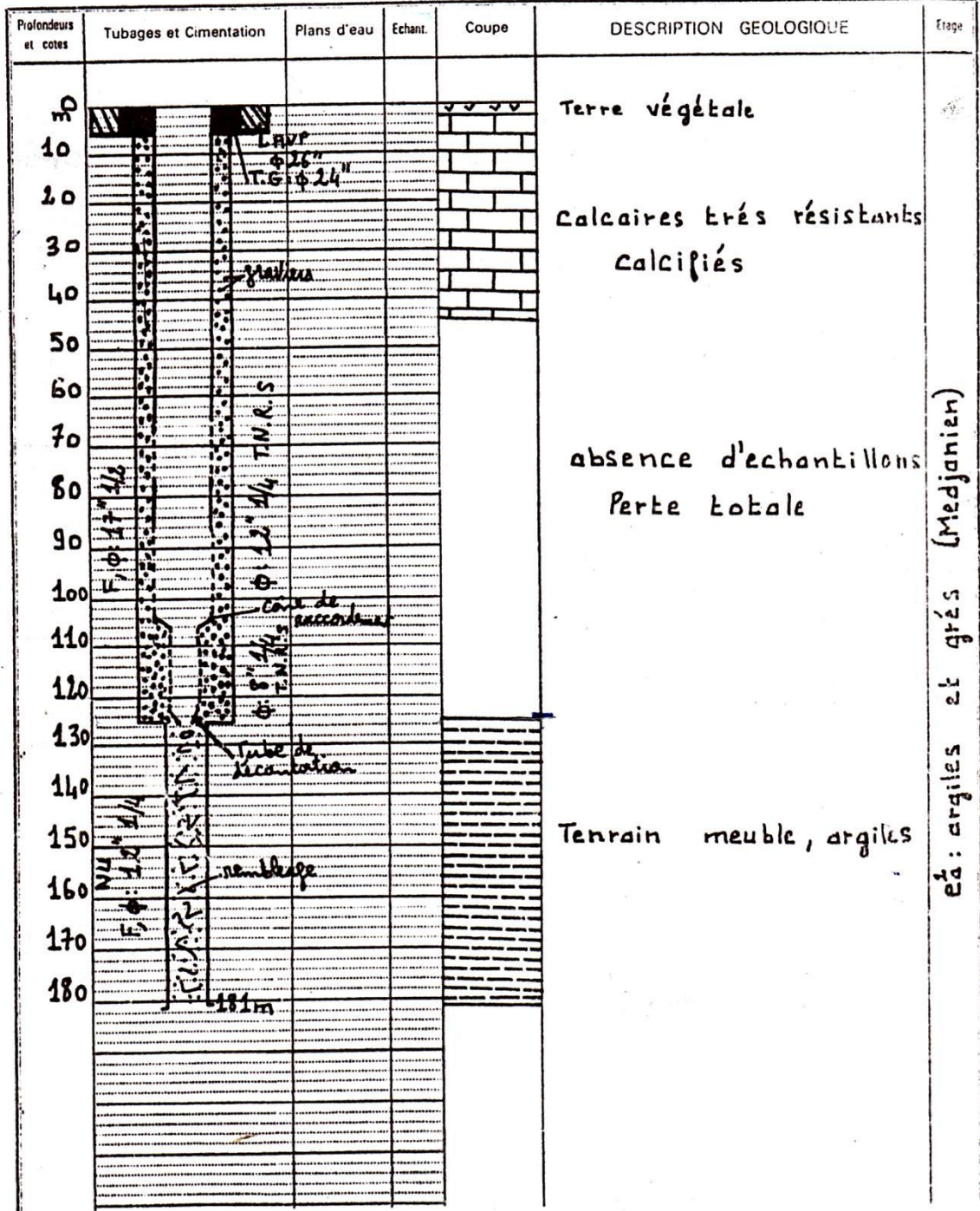
Carte : GUELMA 1/50.000

Date des travaux : 03/06/1989 - 28/11/89 Long : 917,90 X

Echelle de la coupe : 1/10.00 Lat : 366,80 Y Z 360

N° Fichier Forages

N° Inventaire



mis à jour par ..... le .....

# Annexes

X: 923,550 Y: 368,100

## SONDAGE BOU ZITOUNE

Carte: **GUELMA 1/50,000**

Date des travaux: **26/05/88 - 20/08/88** Long: **923,500 X**

Echelle de la coupe: **1/2000**

Lat: **368,500 Y**

N° Fichier Forages:   N° Inventaire:  

Z: **309,00**

Profondeurs et cotes	Tubages et Cimentation	Plans d'eau	Echant.	Coupe	DESCRIPTION GEOLOGIQUE	Etage
0	M.P. Ø 26"					
20	T.C. Ø 24"					
40	Ciment Ø 24"	N.S. = 31m 40				
60	F. Ø 12" Ø 16"	N.D. = 71m			Marnes grises	
80						
100						
120					Calcaires compacts, gris clairs résistants	
140	F. Ø 15" 112 - 160m					
160						
180					Zone fissurée présence de perte totale de boue bentonique	
200	F. Ø 12" 160 - 240m				Calcaires gris friables facilement broyable à l'outil.	
220						
240						

Barrémien : Ciu: Marnes à Ammonites pyriteuses.

562  
- 242  
= 320

# Annexes

