



## Table des matières

LISTE DES FIGURES .....	7
Liste des Photos .....	8
<b>INTRODUCTION GENERALE</b> .....	9
<i>Objectif</i> .....	9
Méthodologie .....	10
<b>PARTIE I</b>	
<b>CHAPITRE I : GEOLOGIE DE LA ZONE</b> .....	12
I-CONTEXTE GENERALE DE LA ZONE .....	12
I-1 Situation Géographique.....	12
I-1-1 Cadre géographique.....	12
I-1-2 Cadre géomorphologique .....	14
I-2) Cadre géologique.....	14
I-2-1) Lithostratigraphie .....	14
II- ETUDE STRUCTURAL .....	18
<b>CHAPITRE 2: ETUDE HYDROCLIMATOLOGIQUE</b> .....	19
I- PRECIPITATION .....	19
II- TEMPERATURE:.....	20
a):Diagramme Ombrothermique .....	21
b) Bilan hydrique:.....	22
III- LES VENTS .....	22
IV- RESEAU HYDROGRAPHIQUE.....	23
<b>CHPITRE 3 : ETUDE HYDROGEOLOGIQUE</b> .....	25
I-NAPPE SUPERFICIELLE .....	25
I.1 : Paramètres hydrodynamiques et productivités de la nappe.....	26
I-2 : Hydrochimie de la nappe .....	27
II-NAPPE PROFONDE .....	27
<i>Conclusion</i> .....	28
<b>PARTIE 2</b>	
<b>CHAPITRE 1: PRESENTATION DE LA METHODE GEOELECTRIQUE</b> .....	30
I-INTRODUCTION.....	30
II. PRINCIPE DE LA METHODE GEOELECTRIQUE .....	31
II.1 Techniques de mesures .....	31
II.1.1 Technique de sondage électrique .....	31
II.1.1.1) Paramètre géophysique mesuré : la résistivité électrique .....	32
II.1.1.2 Propriétés physiques des matériaux qui affectent la résistivité électrique .....	33



II.1.1.3 Dispositifs et acquisition des données .....	35
II.1.1.4 L'interprétation .....	37
II.1.1.5 Précaution à prendre .....	38
II-2. - <i>Technique de traîné électrique</i> .....	39
<b>CHAPITRE 2: PROSPECTION PAR GEOELECTRIQUE DANS LA REGION DE RAS JERRY .....</b>	<b>40</b>
I-INTRODUCTION .....	40
II. SITUATION GEOGRAPHIE DE LA ZONE ETUDIE .....	40
<i>Démarches suivie dans notre travail :</i> .....	41
III. MISE EN ŒUVRE .....	41
<b>CHAPITRE 3:PRESENTATION DES RESULTAT .....</b>	<b>42</b>
I. TRAVAUX EFFECTUES .....	42
<i>II- EXAMEN DES SONDAGES ELECTRIQUES</i> .....	43
<i>1- Famille des sondages électriques :</i> .....	43
1-1 Famille 1 .....	43
1-2 Famille 2 .....	44
III-INTERPRETATION QUALITATIVE DES RESULTATS .....	46
IV-1 Carte des isorésistivités pour AB= 300m .....	46
IV-2 Carte des isorésistivités pour AB/2= 600m .....	47
IV-3 Carte des isorésistivités pour AB= 1000m .....	48
IV- L'INTERPRETATION QUANTITATIVE .....	49
V-1 La carte isopaque de l'aquifère superficiel .....	49
V-2 La carte des isohypses des marnes miocènes .....	50
V-COUPES GEOELECTRIQUE .....	51
V-1 Coupe géoélectrique n°1 .....	52
V-2 Coupe géoélectrique n°2 .....	53
V-3 Coupe géoélectrique n°3 .....	54
V-4 Coupe géoélectrique n°4 .....	55
VI RESULTAT DES TRAINÉ ELECTRIQUE .....	56
VI.1. Profil du traîné électrique TE1 .....	56
VI.2. Profil du traîné électrique TE2 .....	57
VI.3. Profil du traîné électrique TE3 .....	58
Conclusion .....	59
<b>CONCLUSIONS GENERALES .....</b>	<b>60</b>
<b>ANNEX .....</b>	<b>60</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>65</b>



## Liste des figures

Figure 1: Carte de situation géographique de la zone d'étude.....	13
Figure 2: Carte topographique simplifiée en courbes de niveau (Amraoui, 2005).....	13
Figure 3: Modèle topographique du Bassin de Saïss.....	14
Figure 4: log stratigraphique du bassin de Saïs (Essahlaoui, 2000).....	17
Figure 5: Carte de la répartition des différentes flexures Bassin du de SaïssFassi, 1999).....	18
Figure 6: Précipitations moyennes mensuelles interannuelle Dans les stations du plateau de Meknès (1971-2006).....	20
Figure 7: Evolution de la température mensuelle interannuelle des températures .....	20
Figure 8 : Diagramme Ombrothermique de la station de Meknès .....	21
Figure 9: Carte du réseau hydrographique du bassin de Saïss ( Amraoui, 2005) .....	24
Figure 10: Les différents types de nappes du bassin de Saïs (in Amraoui, 2005) .....	25
Figure 11: Profondeur de la nappe phréatique, bassin de saïss .....	26
Figure 12: Principe de la méthode géoélectrique .....	31
Figure 13: Technique de sondage électrique diagramme bi logarithmique.....	31
Figure 14: la résistivité électrique .....	33
Figure 15: dispositives de Wenner.....	36
Figure 16: Conductance longitudinale et Résistance transverse .....	38
Figure 17: Embrayage permettant d'identifier la présence d'à-coup de prise.....	38
Figure 18: Courbe de résistivité présentant un à-coup de prise.....	38
Figure 19: Mise en œuvre sur le terrain de la technique de traîné électrique.....	39
Figure 20: situation géographique de la zone d'étude.....	40
Figure 21: Matériel de prospection utilisé.....	41
Figure 22: Implantation des mesures géoélectrique réalisées à Ras Jerry.....	42
Figure 23: Famille des sondages électriques n°1.....	44
Figure 24: Famille des sondages électriques n°2.....	45
Figure 25: la variation de résistivité apparente pour une longueur de ligne AB= 300.....	46



Figure 26: la variation de résistivité apparente pour une longueur de ligne AB= 600m.....	47
Figure 27: la variation de résistivité apparente pour une longueur de ligne AB= 1000m.....	48
Figure 28: Carte des isopaques de la couverture plio-quaternaire .....	49
Figure 29: Carte des isohypses du toit du conducteur marneux .....	50
Figure 30 : L'implantation de ces coupes géoélectrique .....	51
Figure 31: Coupe Géoélectrique 1.....	52
Figure 32: Coupe Géoélectrique 2.....	53
Figure 33: Coupe Géoélectrique 3.....	54
Figure 34: Coupe Géoélectrique 4.....	55
Figure 35: Profil du traîné électrique TE1 .....	56
Figure 36: Profil du traîné électriques TE2.....	57
Figure 37: Profil du traîné électriques TE3.....	58

### Liste des tableaux

Tableau 1: Résumé des précipitations moyennes mensuelles interannuelles et moyennes annuelles des stations du plateau de Meknès. ....	19
Tableau 2: Bilan fluvio-évaporométrique de Thornthwaite de la station de Meknès. ....	22
Tableau 3: (D.R.P.E ,1989 in Essahlaoui2000) Caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère superficiel (Chamayou, et al, 1975 ; D.R.P.E ,1989 in Essahlaoui, 2000).....	26
Tableau 4 : Caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère profond (in Essahlaoui, 2000) .	28

### Liste des Photos

Photo 1: implanter des piquets .....	64
Photo 2: implanter des piquets .....	64
photo 3 étaler les files des bobines et prendre les mesures .....	64



## INTRODUCTION GENERALE

L'importance de l'eau en tant que support de vie et de facteur régulateur du développement d'un pays est universellement reconnue. Aussi est-il nécessaire de la quantifier et de la gérer aussi rigoureusement que possible.

L'accroissement démographique et le développement agroalimentaire que connaît la région durant ces dernières années ont augmenté la demande en eau. Par ailleurs, la recharge des réservoirs est très faible à cause du manque des pluies efficaces, notamment les pluies hivernales, vu les périodes de sécheresses prolonger qu'a connu le Maroc durant ces dernières décennies.

Le Maroc accorde un intérêt particulier à la valorisation du potentiel hydraulique. Cette vision a été rendue nécessaire pour s'adapter à toutes les mutations nées, des bouleversements climatiques, de l'évolution socio-économique, et de la perception du coût réel de l'eau.

Dans le cadre de cette nouvelle orientation, nous espérons apporter une contribution utile grâce à l'étude des potentialités hydriques de la région de Ras Jerry en appliquant les méthodes géophysique comme de reconnaissance non destructif.

La prospection géoélectrique est parmi les techniques les plus utilisée pour les prospections non destructives du sol et sous-sol. Plusieurs prospections de ce genre ont été réalisées, ainsi on retrouve un nombre très important de données de sondages électriques verticaux, établis par plusieurs compagnies, et pour des divers objectifs dans plusieurs zones.

La région étudiée est située dans le bassin de Fes\_Méknès, grâce sa situation géographique entre le Rif et le domaine méséto-atlasique, de nombreuses missions d'études ont été effectués.

Il est à noter que le bassin de Saïss renferme dans sous-sol deux nappes de grande importance pour l'approvisionnement en eau potable et pour l'irrigation.

### *Objectif*

Le présent de travail, par l'intermédiaire des sondages électriques verticaux, a pour but d'identifier certaines caractéristiques électriques des formations aquifères et des aquicludes dans la région de Ras Jerry à l'Ouest du plateau de Meknès. L'approche utilisée étant la modélisation des sondages électriques verticaux dont le but est de déterminer l'ensemble des niveaux susceptibles d'être des réservoirs hydrauliques.



## Méthodologie

La démarche poursuivie dans ce travail comprend deux grandes parties:

### ***La première partie comprendre 3 chapitres comme suite:***

- Le chapitre 1: expose une synthèse géologique afin de situer la zone dans un cadre d'évolution géodynamique et structurale globale.
- Le chapitre 2 & le chapitre 3: ils présentent respectivement les résultats de hydroclimatologie et hydrogéologique de Ras Jerry. Cette étude a permis de mettre en évidence les aquifères du domaine

### ***La deuxième partie comprendre 3 chapitres comme suite:***

- Le chapitre 1: Présentation générale de la méthode géoélectrique
- Le chapitre 2 et le chapitre 3: Représentent la partie la plus importante de ce travail. Ils montrent la procédure utilisée sur le terrain qui est la prospection géoélectrique dans la région de RAS JERRY. De ce fait, nous avons réalisé 45 sondages électriques type Schlumberger avec des écartements variables de 1000 m ,2000 m, 4000 m au maximum. Plusieurs trainés électriques ont été également réalisés. En fin les résultats obtenus après interprétation des mesures effectuées.

***Le mémoire se termine par des conclusions générales et des recommandations.***

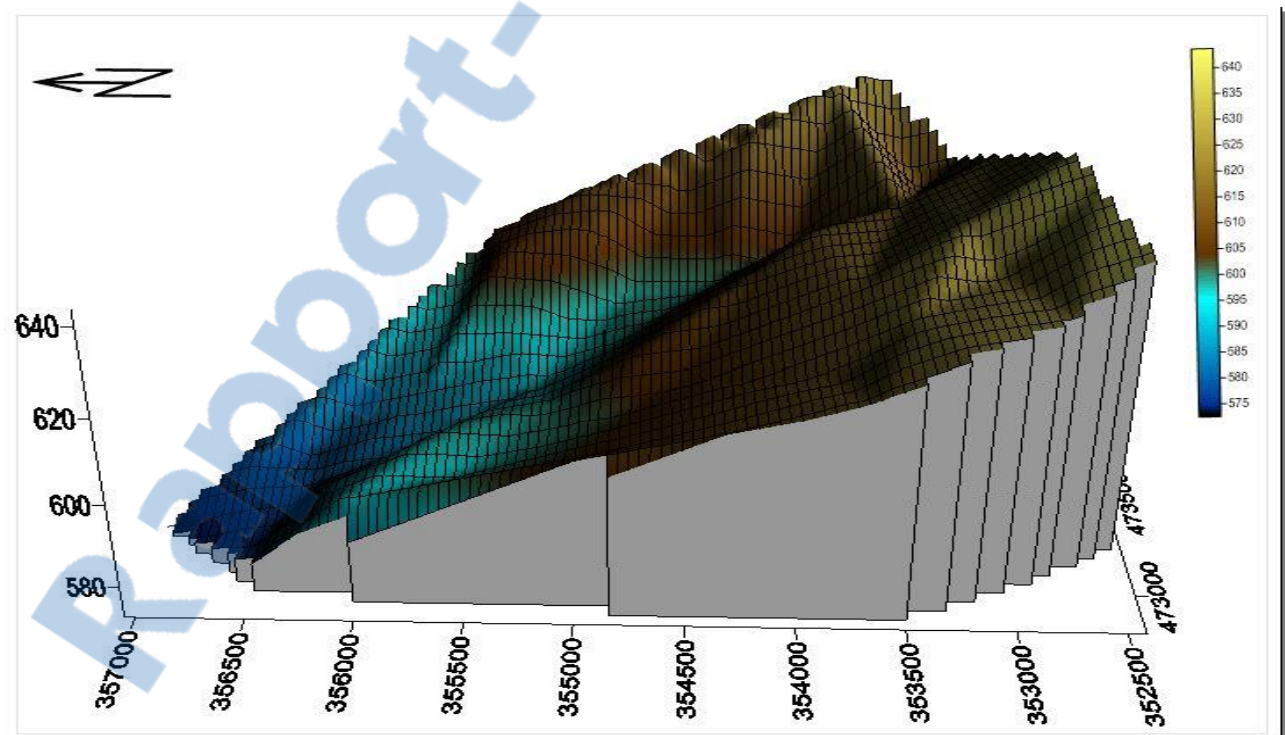
### **Logiciels utilisés :**

Arcgis, Winsev6, Surfer 10, coreIDRAW 12, Excel, Google Earth.



# PARTIE I

## *L'ETUDE GEOLOGIQUE, STRUCTURALE, HYDROLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE DU BASSIN DE SAISS*





## **CHAPITRE I : GEOLOGIE DE LA ZONE**

Ce premier chapitre concerne la présentation d'une synthèse géologique afin de situer la zone dans un cadre d'évolution géodynamique et structurale globale. Ces informations seront indispensables pour les interprétations statistiques, géostatistiques ainsi que pour les inversions géophysiques envisagées dans les chapitres suivants.

### **I-Contexte générale de la zone**

#### **I-1 Situation Géographique**

Le sillon Sud-rifain est une dépression orientée sensiblement Est-Ouest et qui s'étend de l'atlantique à l'Ouest jusqu'à la méditerranée à l'Est. Il est subdivisé en trois sous-bassins qui sont d'Ouest en Est :

- le bassin de Gharb;
- le bassin de Saïss (appelé aussi bassin de Meknès-Fès);
- le bassin de Guercif;

Le bassin de Saïss orienté E-W, est une dépression qui s'étend de l'Atlantique à l'Ouest au détroit de Taza à l'Est. La dépression se prolonge jusqu'à la Méditerranée par le Couloir de Taza-Oujda. Le Sillon Sud-rifain se caractérise principalement par sa situation entre deux grands domaines structuraux très différents : le domaine rifain et pré-rifain au Nord, et le domaine meseta-atlasique au Sud.

Le bassin de Saïss, est limité à l'Est par la vallée de l'oued Sebou et à l'Ouest par l'oued Beht. Il s'étend d'Est en Ouest sur une longueur de 100km environ. Sa largeur est d'environ 30km suivant une direction nord-sud. Sa superficie totale est de 2100 km<sup>2</sup>.

Un accident topographiquement franc, d'orientation globale Est-Ouest, appelé flexure d'Ain Taoujdat, dénivelé nettement deux paliers (Fig. 6) : Le plateau de Meknès ou le Saïss occidental à l'Ouest et la plaine du Saïss ou le Saïss oriental à l'Est (Cirac, 1987 ; Fassi, 1999).

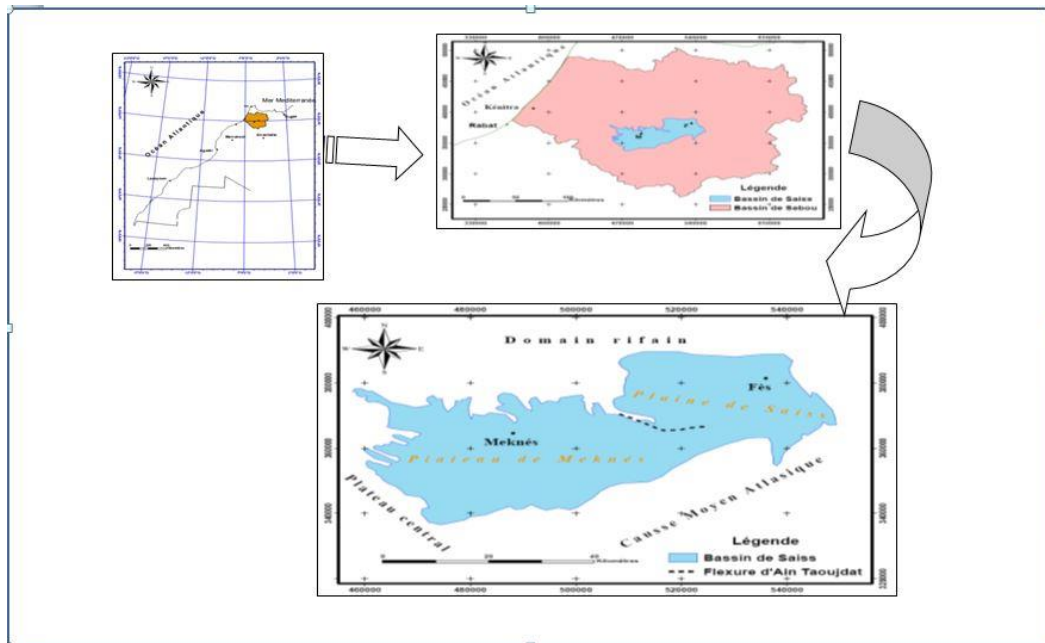
#### **I-1-1 Cadre géographique**

La région étudiée fait partie d'une vaste dépression allongée suivant une direction E-W, a environ 23 Km au Sud-Ouest de la ville de Meknès. Ce secteur est limité:

- au Nord, par le Prérif et les rides pré-rifaines ;
- au Sud, par le Moyen atlas ;
- à l'Ouest, par le plateau du Meknès ;



-à l'Est, par la vallée d'oued Sebou.

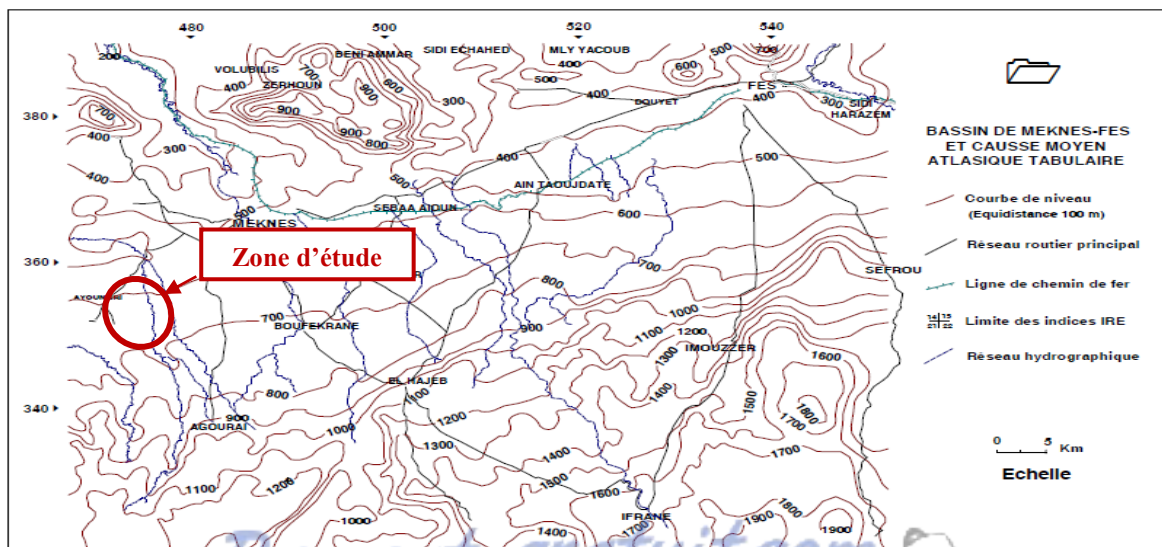


**Figure 1: Carte de situation géographique de la zone d'étude**

Le bassin de Saïss s'allonge d'Est en Ouest entre la chaîne rifaine au Nord et le Moyen Atlas au Sud sur 80 km, Depuis la ville de Fès à l'Est jusqu'à l'Ouest de la ville de Meknès

Le centre de Ras Jerry est situé dans la zone du centre Nord pays, à environ 23 Km au Sud-Ouest de la ville de Meknès. Il est traversé par la route régionale n° 701 qui relie la ville de Meknès à la commune de Ras Jerry.

les coordonnées Lambert moyennes de la région sont : X=470.000 m; Y=353.700m; l'altitude est Z=605m.



**Figure 2: Carte topographique simplifiée en courbes de niveau (Amraoui, 2005)**



## I-1-2 Cadre géomorphologique

Le bassin de Saïss correspond à une vaste dépression allongée E-W qui se rétrécit en allant vers l'Est (Fig. 3). L'altitude de Saïss du Fès, décroît modérément du Sud vers le Nord. Cette plaine se redresse brutalement au contact des Rides préifaines et le Prérif. L'altitude du plateau de Meknès, décroît d'une manière générale du sud vers le Nord avec une pente moyenne de 12‰. Elle passe de 900m dans la région d'El Hajeb à 550m à Meknès. (Amraoui, 2005).

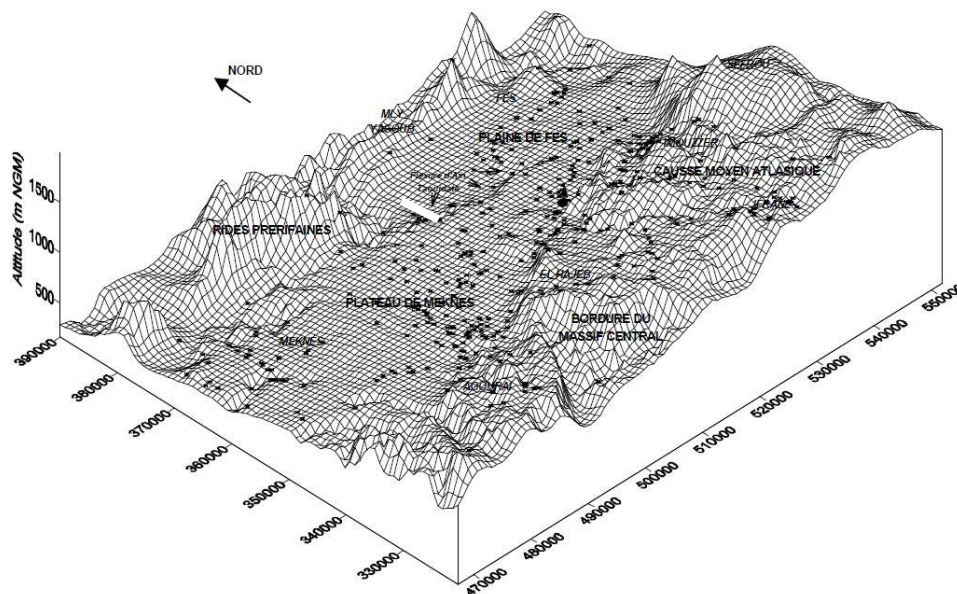


Figure 3: Modèle topographique du Bassin de Saïss

## I-2) Cadre géologique

Le bassin de Saïss, dont le remplissage est constitué essentiellement d'une épaisse série de marnes bleues d'âge Tortonien suivie de sables fauves Pliocène et de conglomérats et calcaires lacustres d'âge Plio-quaternaire, s'est individualisé à partir du Tortonien. Cette individualisation serait le résultat de la succession de plusieurs phases d'extension et/ou de compression, exprimées surtout à la limite septentrionale du bassin en relation avec l'exhaussement des rides préifaines (Aït Brahim ; 1983, Aït Brahim et Chotin; 1984).

### I-2-1) Lithostratigraphie

Le bassin de Saïss est une large structure sédimentaire tertiaire à remplissage Miocène et Plio-quaternaire. La lithostratigraphie régionale ne diffère pas beaucoup de celle connue à l'échelle du Nord du Maroc. Les variations à noter sont celles des formations plio-quaternaire dans le bassin qui varient selon le contexte sédimentaire local.



### a) Primaire

Le socle Paléozoïque affleure dans la zone du Maroc hercynien central où il est en contact direct, sur un large espace avec le bassin au Sud. Il est représenté par un faciès monotone de schistes fins et de quartzite à intercalation de bancs gréseux, des couches de calcaires sableux à Brachiopodes et des conglomérats de base.

Ce socle s'affaisse et se prolonge vers le Nord sous les dépôts Mésozoïques et Néogènes du bassin de Saïss et des rides pré-rifaines où il a été parfois atteint par les sondages effectués dans le bassin (Essahlaoui, 2000).

Le socle Paléozoïque affleure dans la région de Bhalil (région de Sefrou), au Nord-Est d'El Hajeb, et dans la vallée de l'Oued El Kell au Sud-Ouest de la ville de Meknès.

### b) Trias

La zone d'étude constitue le prolongement septentrional des bassins de Khemisset et de Boufekrane où la série Triasique, complète datée du Trias supérieur (Landinien)-Lias inférieur débute par des dépôts détritiques surmontés par une puissante série halitique (Fig. 4). On distingue cinq formations qui correspondent à la succession des faciès argileux et des faciès salifères ainsi que les basaltes doléritiques (Kenafi, 2002) : Ces faciès Triasiques existent mais très localement surtout dans la région de Khemisset (vallée de Oued Beht) et présentent une épaisseur variable à travers tout le bassin. Elle peut atteindre 987 m.

### c) Lias

Les formations du Lias affleurent principalement au Sud dans le Causse Moyen Atlasique et au Nord dans les rides Sud rifaines. Elles constituent le matériel essentiel des reliefs avec des calcaires dolomitiques inférieurs massifs et ruiniformes du Lias inférieur (Lotharingien), surmontées par des calcaires à Céphalopodes et calcaires à Silex du Lias moyen constitué par les étages Carixien et Domérien. Les formations Liasiques présentent une puissance très variable (Essahlaoui, 2000). L'épaisseur de ces formations retrouvées dans certains forages peut atteindre 280 m (région de Sebâa-Ayoun). Les profondeurs de ces formations sont de plus en plus grandes en allant du Sud vers le Nord.

### d) Miocène

Le Tortonien débute par un faciès de calcaire gréseux à passées marneuses dont l'épaisseur peut atteindre une dizaine de mètres. Au-dessus de ce faciès, se développe une puissante série de marnes grises dont l'épaisseur augmente du Sud vers le Nord. Elle atteint 1000m au sondage Douyet.

Au Messénien, la sédimentation des marnes grises est continue et homogène. Localement, un niveau gréseux est situé à sa base. Au sommet, la sédimentation devient parfois marno-sableuse (Oued El Kell).



Dans la vallée de L'Oued EL Kell les marnes miocènes reposent en discordance sur les schistes Paléozoïques. ((D.R.P.E, 1989 ; Ait Brahim, 1991 in Essahlaoui 2000).

#### e) Pliocène

Le Pliocène inférieur est formé par des sables à matrice carbonatée surmontant des marnes grises du Messinien. Dans la région de Meknès, l'épaisseur de ces sables peut atteindre 50 m à 80 m. (Ait Brahim, 1991 in Chadli 2005).

Le Pliocène moyen est constitué par une formation sableuse, d'une trentaine de mètres d'épaisseur en moyenne, qui s'est déposée sur le plateau de Meknès. Ces sables sont de couleur variable (rouge, brune, jaune, ocre et grise) et constituent les futurs sables fauves. (Tatlasse, 1953)

Quant au Pliocène supérieur, il est constitué par une alternance de calcaires argileux pulvérulents et de calcaires micritiques. Reconnus depuis longtemps comme étant lacustres, ces calcaires présentent une épaisseur moyenne de 30m. (Cirac, 1985, Ait Brahim, 1991 in Essahlaoui)

#### f) Quaternaire

Il correspond à un complexe fluviatile daté du Quaternaire moyen et supérieur. Ce complexe est constitué par des tufs, des lentilles de calcaires et des limons gris. Localement des coulées basaltiques affleurent et sont attribuées au Quaternaire. (Ahmamou, 1987 in Essahlaoui2000)

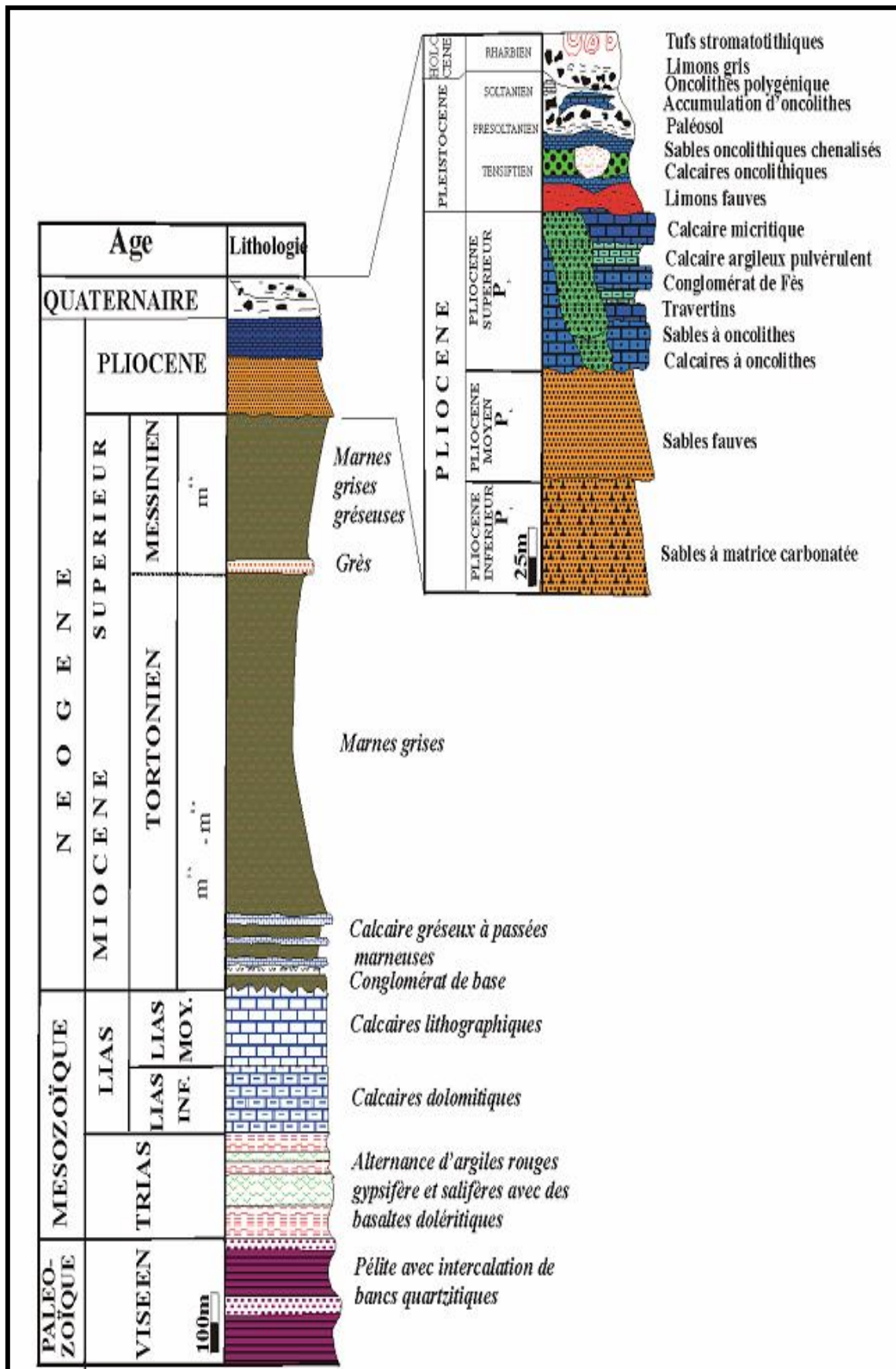


Figure 4: log stratigraphique du bassin de Saïa (Ait Brahim, 1991, in Essahlaoui, 2000).



## II- Etude structural

La zone est affectée par de nombreuses familles de failles de direction généralement NE-SW, E-W et NW-SE témoignant d'une évolution tectono-sédimentaire et géodynamique en plusieurs phases. Ces fracturations sont en relation avec l'évolution des domaines montagneux encadrant ce bassin (Moyen Atlas et le domaine rifain)

### a) Les Familles de faille

D'après les études (géologiques, structurales, géophysiques, etc.) antérieures, le bassin de Meknès-Fès est affecté par un certain nombre de failles qui sont organisées selon des familles qui peuvent être résumé comme suit :

-famille de failles de direction NE-SW (orientation hercyniennes), ce sont les failles les plus abondantes, telle la faille d'Ain Lorma (d'après les études sismiques, Kenafi 2002) et d'autres failles déterminées par des études géoélectrique (Essahlaoui ; 2000). Ces failles se manifestent à la surface par des flexures bien visibles de même direction.

-Famille de failles de direction perpendiculaire à la première (NW-SE) à NNW-SSE tel que la flexure d'Ain Taoujdat qui subdivise structuralement le bassin en deux compartiments

-Famille de faille de direction E-W, qui suit la structure chevauchante de l'ensemble pré-rifaine et les rides pré-rifaines.

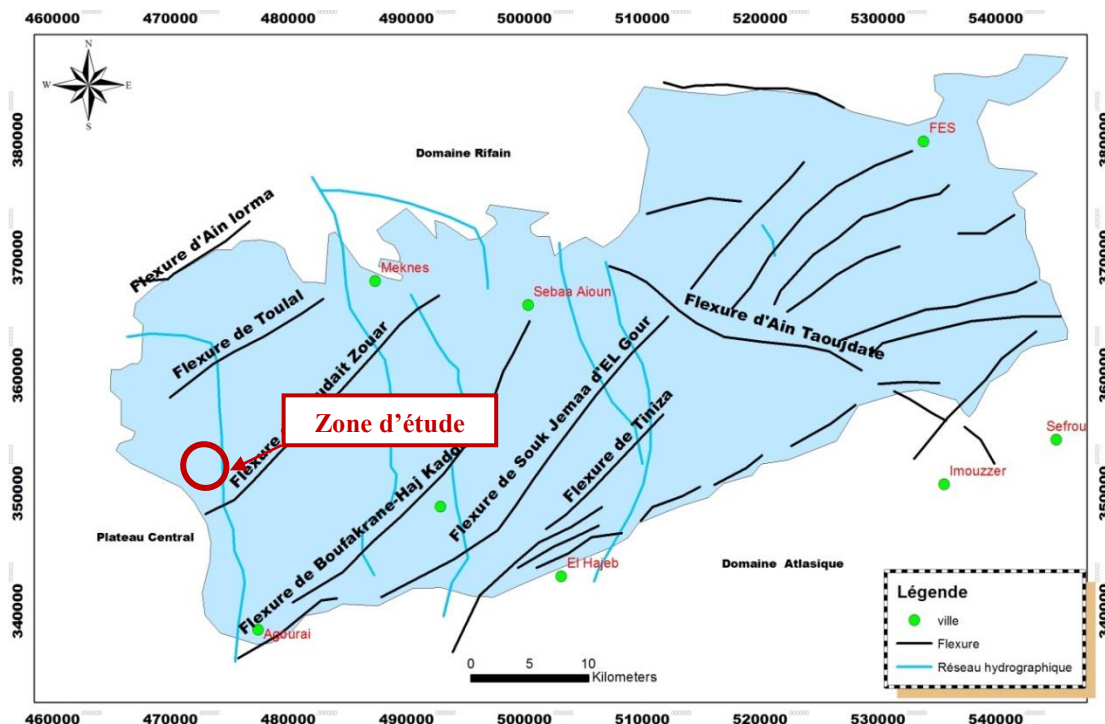


Figure 5: Carte de la répartition des différentes flexures Bassin du de Saïss (Fassi, 1999)



## CHAPITRE 2: ETUDE HYDROCLIMATOLOGIQUE

Par sa situation géographique entre deux domaines montagneux le Rif et le Moyen Atlas, le bassin est sous un étage climatique méditerranéen avec un climat semi-aride à hiver tempéré et humide et a été chaud et sec dans un régime semi-continental.

### I- Précipitation

Les précipitations constituent la principale « entrée » des principaux systèmes hydrologiques continentaux que sont les bassins versants.

Ce sont l'ensemble des eaux météoriques qui tombent sur la surface de la terre, tant sous forme liquide (bruine, pluie, averse) que sous forme solide (neige, grésil, grêle) et les précipitations déposées ou occultes (rosée, gelée blanche, givre,...). Elles sont provoquées par un changement de température ou de pression.

Les précipitations jouent un rôle primordial dans le régime d'écoulement. Les données pluviométriques issues des stations existantes dans la région montrent une variation de la répartition des pluies sur le plateau de Meknès.

La diversité géographique du plateau de Meknès fait que chacune de ses stations présente des particularités climatiques. Le tableau 1 suivant résume les moyennes mensuelles interannuelles et les moyennes annuelles des différentes stations.

Station	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	mai	Juin	Juil	Aou	Total
ElHajeb	21.3	52.1	76.4	73.5	69.2	81.9	79.2	81.9	49.9	21.1	3.4	3.4	613.3
Agouraï	10.1	37.9	70.3	84.5	66.1	77.1	71.8	60.6	39.1	15.6	1.9	2.2	537.2
A. Taouj.	8.4	36.2	57.8	50.8	62.7	63.1	53.9	55.1	33.8	14.1	0.7	0.7	437.2
Chelihate	10.5	41.9	51.3	74.5	71.7	48.1	44.3	45.6	41.9	9.9	0.3	1.1	441.1
Meknès	11.7	44.3	74.8	81.7	75.9	78.9	68.3	70.7	40.3	9.9	2.3	2.4	561.0

**Tableau 1: Résumé des précipitations moyennes mensuelles interannuelles et moyennes annuelles des stations du plateau de Meknès.**

L'année pluviométrique est composée de deux saisons, l'une sèche et s'étend de Juin à Septembre, l'autre humide et couvre les mois d'Octobre à Mai (Fig. 6).

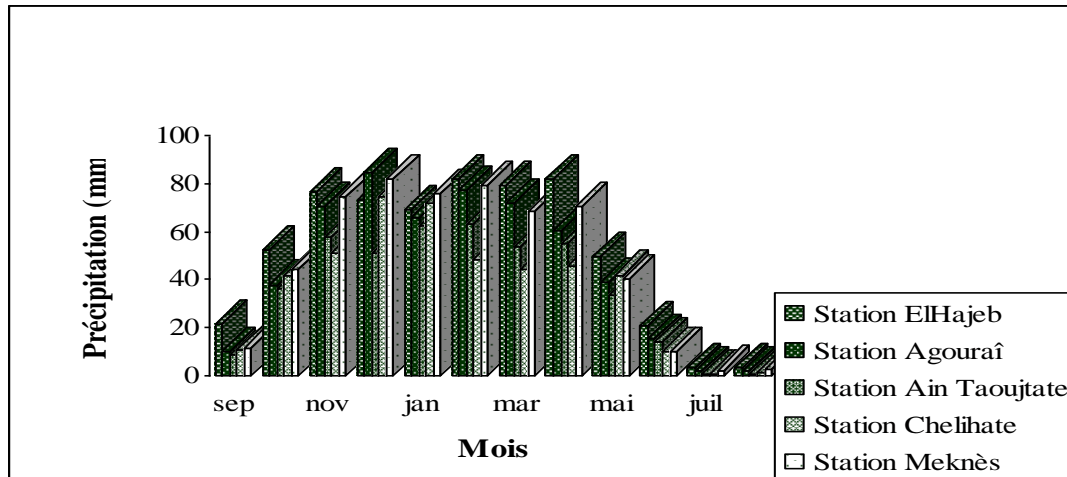


Figure 6: Précipitations moyennes mensuelles interannuelle Dans les stations du plateau de Meknès (1971-2006)

La pluviométrie est parmi les paramètres ayant une grande utilité pour la définition des différents paramètres climatiques. Les précipitations moyennes annuelles du bassin sont en moyenne de 600 mm avec un maximum de 1000 mm sur les hauteurs plus au Nord dans le Rif et un minimum de 300 mm et les vallées du Beht, (Agence du bassin hydraulique du Sebou, 2006). Les deux stations, de Meknès et d'Agourai, sont les plus proches du secteur d'étude. Elles montrent respectivement des précipitations moyennes annuelles de l'ordre de 561 mm et de 537.2 mm.

L'année pluviométrique est composée de deux saisons, une saison humide qui s'étend d'Octobre à Mai et une autre sèche de Juin à Septembre.

## II- Température:

La température est un indice indispensable pour la caractérisation climatique, ainsi que pour le calcul des différents paramètres relatifs au bilan hydrique.

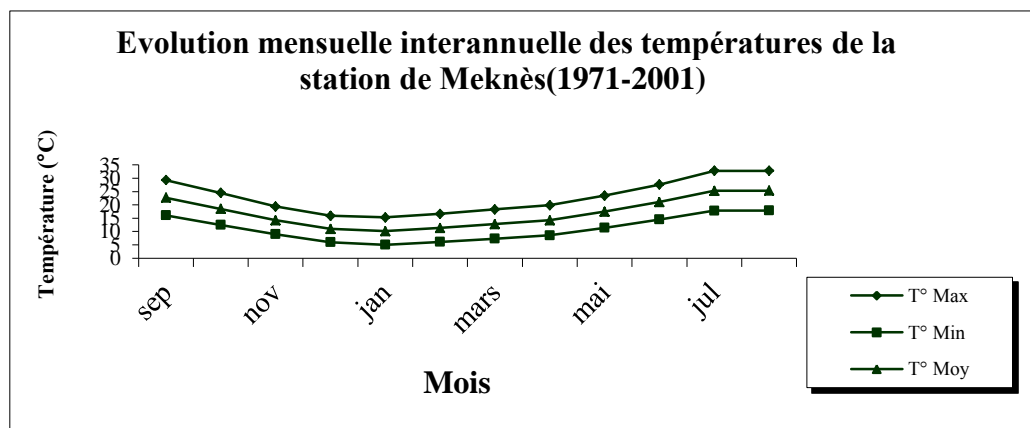


Figure 7: Evolution de la température mensuelle interannuelle des températures De la station de Meknès (1971-2006)





A partir de la figure 7, on constate que la température maximale moyenne annuelle pour la station de Meknès est de 23°C. Cette valeur diminue jusqu'à atteindre son minimum moyen annuel (11°C).

Les mois les plus chauds sont Juillet et Août avec une température maximale moyenne mensuelle de 32.8°C, cette température diminue jusqu'à la valeur minimale moyenne mensuelle de 5°C au mois de Janvier, puis augmente continuellement jusqu'au mois de Juillet.

### a): Diagramme Ombrothermique

Le diagramme Ombrothermique ou indice Xérothermique de Gausson, est un paramètre qui permet de mettre en évidence la période humide et la période sèche. Le mois est dit humide si le total mensuel des précipitations est supérieur ou égal au double de la température moyenne mensuelle, dans le cas contraire le mois est sec.

- Période humide :  $P \geq 2T$
- Période Aride :  $P \leq 2T$

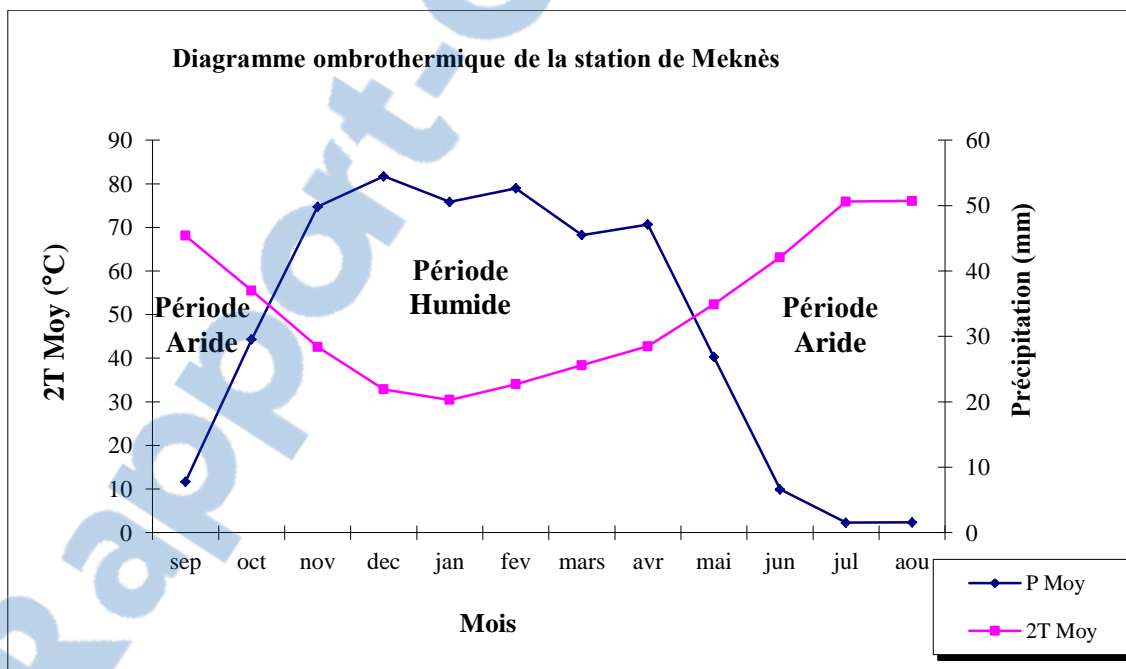


Figure 8 : Diagramme Ombrothermique de la station de Meknès

L'analyse du diagramme Ombrothermique obtenu (Fig. 8) de la station de Meknès montre l'existence de deux périodes, une humide qui s'étale du mois de Novembre jusqu'au mois d'Avril et une aride qui couvre le reste des mois de l'année restant (Mai en Octobre).



## b) Bilan hydrique:

On établit ensuit le bilan Fulvio-évaporométrique à partir des valeurs ci-dessus.

Mois	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	Total
P1(mm)	2.36	11.66	44.31	74.75	81.7	75.85	78.97	68.25	70.66	40.26	9.91	2.29	560.97
ETP1	143.45	105.67	70	39.35	24.56	21.97	25.87	38.33	48.6	76.64	106.82	150.41	851.67
RFU	0	0	0	35.4	50	50	50	50	50	13.62	0	0	
ETR1	2.36	11.66	44.31	39.35	24.56	21.97	25.87	38.33	48.6	76.64	23.53	2.29	357.11
Exc.	0	0	0	0	35.4	53.88	53.1	29.92	22.06	0	0	0	194.36
D.A	141.09	94.01	25.69	0	0	0	0	0	0	1.90	83.29	21,6	

Tableau 2: Bilan fluvio-évaporométrique de Thornthwaite de la station de Meknès.

D'après le bilan Fulvio-évaporométrique établi précédemment (TAB. 2), la valeur d'ETR est de 357.11mm pour la station de Meknès. Par comparaison avec la pluviométrie P qui est de 560.97mm (station de Meknès), on peut constater pour la région on aura un excédent en eau puisque  $P \geq ETR$ .

## III- Les vents

Le plateau de Meknès appartient globalement au domaine du Maroc Nord-Atlantique avec en hiver une prédominance des vents venant de l'Ouest et de Sud-Ouest qui sont chargés de vapeur et qui génèrent la pluie. Ces vents soufflent souvent par rafales violentes.

Pour la zone d'étude, les vents dominants en hiver sont de secteur Ouest. Généralement humides, ils apportent les précipitations. La fréquence de ces vents, maximale en hiver, de Novembre à Avril, est faible ou nulle en été. Par contre les vents du secteur Est (Sirocco, Chergui) ont leur fréquence maximale en été (Juillet). Ces vents sont chauds et secs. Ils contribuent à la sécheresse relative qui sévit de mai à Septembre. En hiver, ces régimes d'Est sont froids et secs mais beaucoup moins fréquents qu'en été.



## IV- Réseau hydrographique

Les principaux cours d'eau qui traversent le bassin entre ses limites Sud et Nord, ce sont (d'Ouest en Est) les Oueds El Kell (affluent de l'oued Beht), R'Dom (confluence des Oueds Boufekrane et Ouislane) et Mikkès. Ces Oueds ont généralement une direction SSE-NNW. Les Oueds El Kell, R'Dom et les affluents de la rive gauche de l'Oued Mikkès drainent le plateau de Meknès. Tous ces Oueds sont issus du Causse Moyen Atlasique.

L'importance et la période d'écoulement sont tributaires des précipitations et des débits des sources. Les débits moyens de ces cours d'eau (en dehors des crues exceptionnelles) sont de l'ordre de quelques dizaines à quelques centaines de litres par secondes.

Les oueds ont presque tous leurs hauts-bassins situés dans le Causse moyen-atlasique. Les débits de ces oueds se perdent en partie ou en totalité dans les calcaires karstifiés du Causse, contribuant ainsi à l'alimentation des sources de débordement situées plus en aval.

A l'intérieur du bassin, ces Oueds sont alimentés par le ruissellement des eaux de pluie, par des émergences plus ou moins diffuses des nappes phréatique et profonde au niveau de leurs lits, par la fonte des neiges sur le Causse et par le rejet des eaux usées des grandes villes (Meknès,...) du bassin.

La pente moyenne des cours d'eau est généralement comprise entre 2 et 3% dans le plateau de Meknès.

En aval du bassin (limite Nord), les Oueds s'écoulent sur des formations marneuses du Tertiaire au contact des rides Pré Rifaines, où ils reçoivent une contribution réduite de ruissellement superficiel. Leur alimentation se fait par le drainage des nappes phréatique et profonde du bassin.

L'Oued Mikkès, prend son origine dans la région d'Ifrane, leur débit est jaugé au niveau de la station d'El Hajra, drainant une superficie d'environ 864 km<sup>2</sup>. Le débit moyen est de 2.03 m<sup>3</sup>/s (période 1969-2003).

L'Oued R'Dom reçoit les apports de ses affluents Boufekrane, Ouislan, Ali Oulhaj, Frah et Serja, qui sont alimentés par des sources ponctuelles et par des venues diffuses. Son débit est jaugé en aval du bassin, au niveau de la station de Souk El Had. Le débit moyen est d'environ 3.15 m<sup>3</sup>/s (période 1969-2002). (Bassins Hydraulique de Sebou).

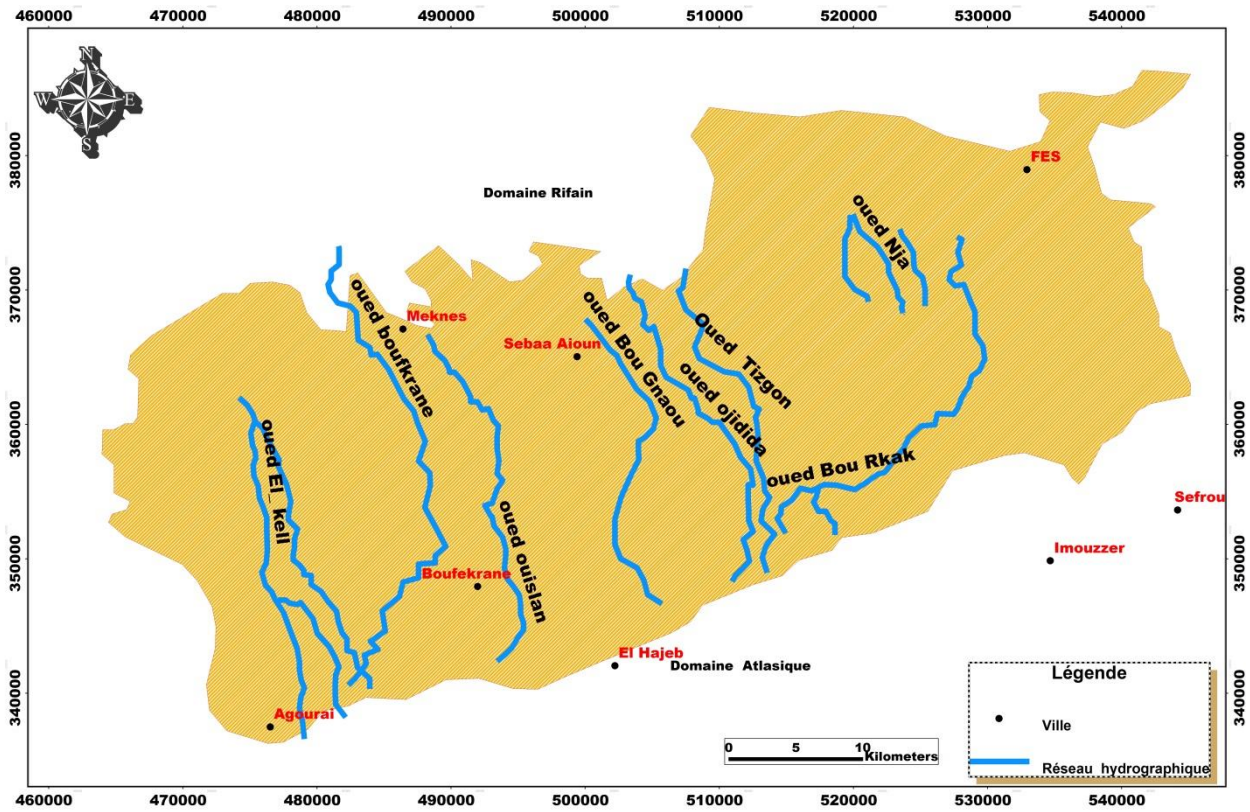


Figure 9: Carte du réseau hydrographique du bassin de Saïss ( Amraoui, 2005)

## CHPITRE 3 : ETUDE HYDROGEOLOGIQUE

Dans le bassin de Meknès, deux principaux aquifères sont mis en évidence :

- ❖ Un premier aquifère profond abritant les formations du Lias et les grès transgressifs du Miocène. Cet aquifère est libre en bordure du Causse moyen atlasique et captive plus au Nord sous les puissantes marnes du Miocène qui emprisonnent les eaux ;
- ❖ Un deuxième aquifère phréatique qui siège dans les formations plio-villafranchiennes. De par son étendue et sa bonne productivité, ce réservoir joue un rôle déterminant dans le développement économique de la région, particulièrement dans le développement du secteur hydro-agricole.

Ces deux nappes communiquent entre elles par endroits, à travers des flexures et failles ou indirectement par drainante ascendante.

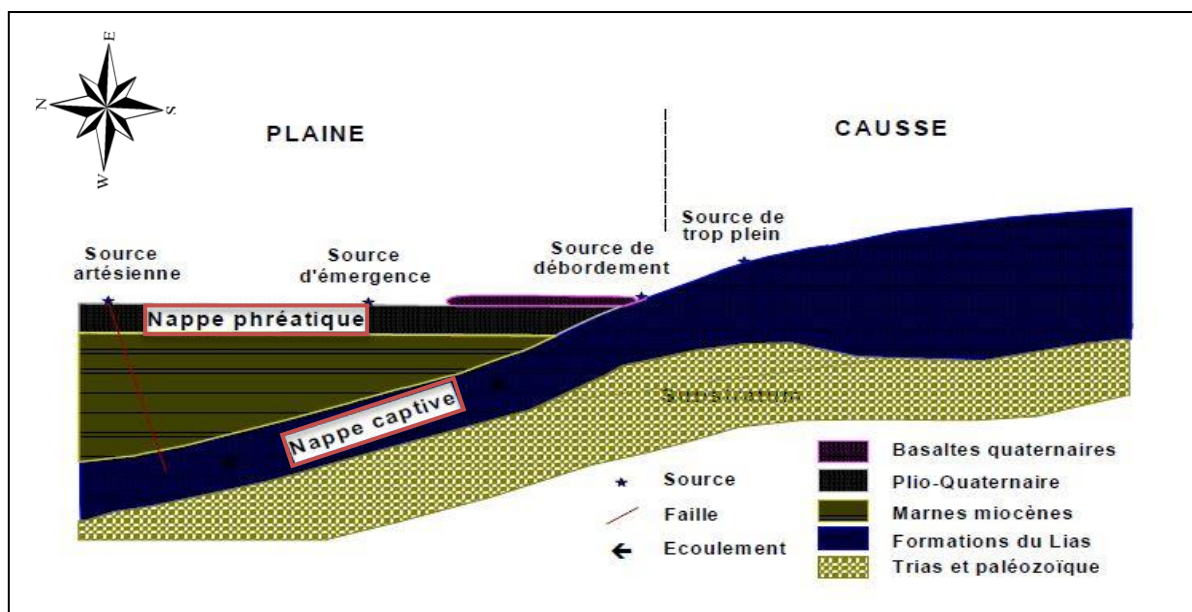


Figure 10: Les différents types de nappes du bassin de Saïs (in Amraoui, 2005)

### I-Nappe superficielle

La nappe phréatique circule principalement dans les sables, les grès et localement dans les calcaires lacustres. (Essahlaoui, 2000)

La profondeur de la nappe superficielle est très variable et varie entre 10m et 60m, (Fig. 11). Cette profondeur est en relation étroite avec les irrégularités topographiques du plateau qui est un pays vallonné et traversé par de nombreuses dépressions. Ces dernières se comportent comme des

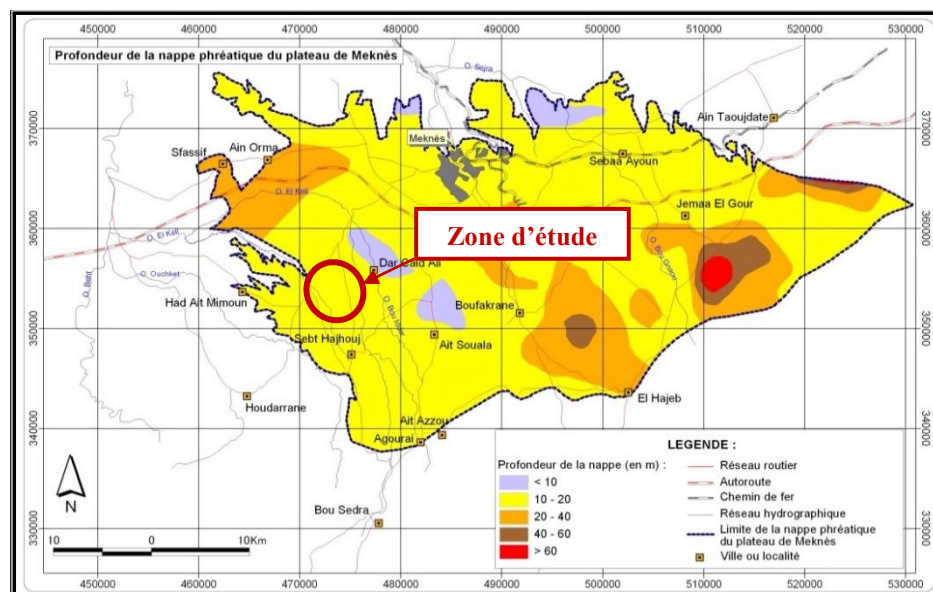


pièges pour l'eau des pluies et de se fait diminuent le ruissellement et augmente l'infiltration vers la nappe.

La recharge de cette nappe se fait à travers l'infiltration pluviale, par drainage ascendante à partir de la nappe profonde et par les retours d'eau d'irrigation. La minéralisation de l'eau est faible et reste inférieure à 1g/l.

L'historique des suivis piézométriques indique de fortes baisses annuelles du niveau piézométrique aussi bien pour la nappe phréatique que pour la nappe profonde. Ceci est dû essentiellement, à la période de sécheresse qui s'est accentuée à partir de 1980.

Dans la zone Meknès qui est proche de la zone d'étude plusieurs puits ont été creusés par des particuliers ; la profondeur moyenne est d'environ 35m, les niveaux d'eau oscillent entre 14 et 18m de profondeur. L'analyse des niveaux piézométrique permet de montrer que l'écoulement préférentiel se fait vers le Nord et le NE. (Bassins Hydraulique de Sebou)



**Figure 11: Profondeur de la nappe phréatique, bassin de Saïss**

### **I.1 : Paramètres hydrodynamiques et productivités de la nappe**

caractéristiques Hydrauliques	Intervalle de variation	Moyenne
T (m <sup>2</sup> /s)	2.10 <sup>-5</sup> -1.10 <sup>-1</sup>	6,6.10 <sup>-2</sup>
K (m/s)	1.10 <sup>-5</sup> -5.10 <sup>-2</sup>	6,65.10 <sup>-3</sup>
S	1.10 <sup>-3</sup> -6,5.10 <sup>-2</sup>	1,8.10 <sup>-2</sup>

**Tableau 3: (D.R.P.E ,1989 in Essahlaoui2000) Caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère superficiel (Chamayou, et al, 1975 ; D.R.P.E ,1989 in Essahlaoui, 2000)**



Les débits des ouvrages varient généralement entre 1 et 20 l/s selon les secteurs. (D.R.P.E ,1989 in Essahlaoui2000)

## I-2 : Hydrochimie de la nappe

La minéralisation de l'eau est très faible, le résidu sec est généralement inférieur à 0.5 g/l et dépasse rarement 1 g/l.

La concentration en sels de l'eau varie également selon le faciès de la nappe. Les eaux des calcaires lacustres sont les plus douces (résidu sec compris entre 0.2 et 0.5 g/l), suivent ensuite celles des grès et sables du Pliocène (0.4 à 0.8 g/l) et enfin les eaux circulant dans les alluvions quaternaires (0.5 à 1.5 g/l). (Bassins Hydraulique de Sebou)

## II-Nappe profonde

La nappe profonde du plateau de Meknès a pour réservoir les calcaires et les calcaires dolomitiques du Lias. Du Sud vers le Nord, Ces formations constituent d'abord un aquifère à nappe libre sur les causses et en bordure, puis captif sous les formations marneuses imperméables du Tertiaire. Cette nappe se manifeste par les exurgences et les sources de trop-plein en bordure du causse, par les sources de flexure et par les sources artésiennes hydrothermales du Saïss.

L'alimentation de cette nappe se fait d'une part, par abouchement latéral à partir de la nappe des Causes adjacente au sud et d'autre part, à partir des eaux de pluie et de la fonte des neiges que connaissent les affleurements calcaires des causes du Moyen Atlas au sud. Ses eaux circulent du Sud vers le Nord, et se mettent en charge sous une épaisse série de marnes imperméables du Miocène qui sépare les deux nappes.

Le niveau d'eau se situe en moyenne à une profondeur de 50m par rapport au sol dans la partie captive et il atteint actuellement la pression de 12 bars dans la partie artésienne (avant 1980, la pression mesurée atteignait 25 bars, soit un jet de 250 m par rapport au sol). La productivité de la nappe est importante et peut dépasser 120 l/s. La minéralisation de l'eau est faible et varie de 0.3 à 0.7g/l.

La nappe est exploitée par des forages profonds destinés à l'AEP des villes de Meknès, Fès et des centres situés dans la plaine (Ain Taoujdat, Ras El Ma, Sebaa Ayoun et Haj Kaddour) et également pour l'irrigation. La profondeur des ouvrages qui l'exploitent varie de 200 m au Sud à 1700 m au centre de la plaine. (Essahlaoui, 2000 ; Amraoui, 2005).



Les caractéristiques hydrodynamiques de cette nappe sont présentées dans le Tableau suivant:

Caractéristiques Hydrauliques	Zone d'alimentation	Au Bassin
T (m <sup>2</sup> /s)	$> 6.10^{-1}$	3 à $9.10^{-2}$
K (m/s)	$3.10^{-3}$	1 à $10.10^{-4}$

Tableau 4 : Caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère profond (in Essahlaoui, 2000)

Les conductivités de l'eau s'échelonnent entre moins de 500 et plus de 3000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , soit des minéralisations comprises entre moins de 0.4 et plus de 2 g/l. La majorité des ouvrages captent, cependant, une eau de conductivité inférieure à 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , soit une minéralisation généralement inférieure à environ 0.7 g/l.

Le faciès chimique de l'eau est généralement du type bicarbonaté-magnésien, chloruré-calcique.

### Conclusion

Cette première partie nous a permis de bien définir les différents aspects, géomorphologique, géologique, et hydroclimatique de la région d'étude ainsi que caractéristiques hydrodynamiques des différents réservoirs

La région étudiée fait partie d'une vaste dépression allongée suivant une direction E-W (bassin saïs), a environ 23 Km au Sud-Ouest de la ville de Meknès. Le secteur d'étude est encadré par deux grands domaines montagneux, le domaine rifain au nord et le domaine atlasique au sud. La lithologie du bassin montre deux grands ensembles : le premier comprend le substratum avec les schistes paléozoïque, l'ensemble argilo-gypsifère triasique et finalement les formations calcaro-dolomitiques liasiques. Le deuxième ensemble débute par les marnes du Miocène témoignant un milieu marin. Ensuite les formations pliocènes marin avec des sables à matrice carbonatée, des grès et finalement des sables fauves puis à un milieu purement continental durant le Quaternaire avec des dépôts fluviolacustres.

Les informations hydroclimatologique sur la zone d'étude ont montré que le bassin de Saïss est sous un climat semi-aride, avec un été chaud et sec, un hiver tempéré et humide.

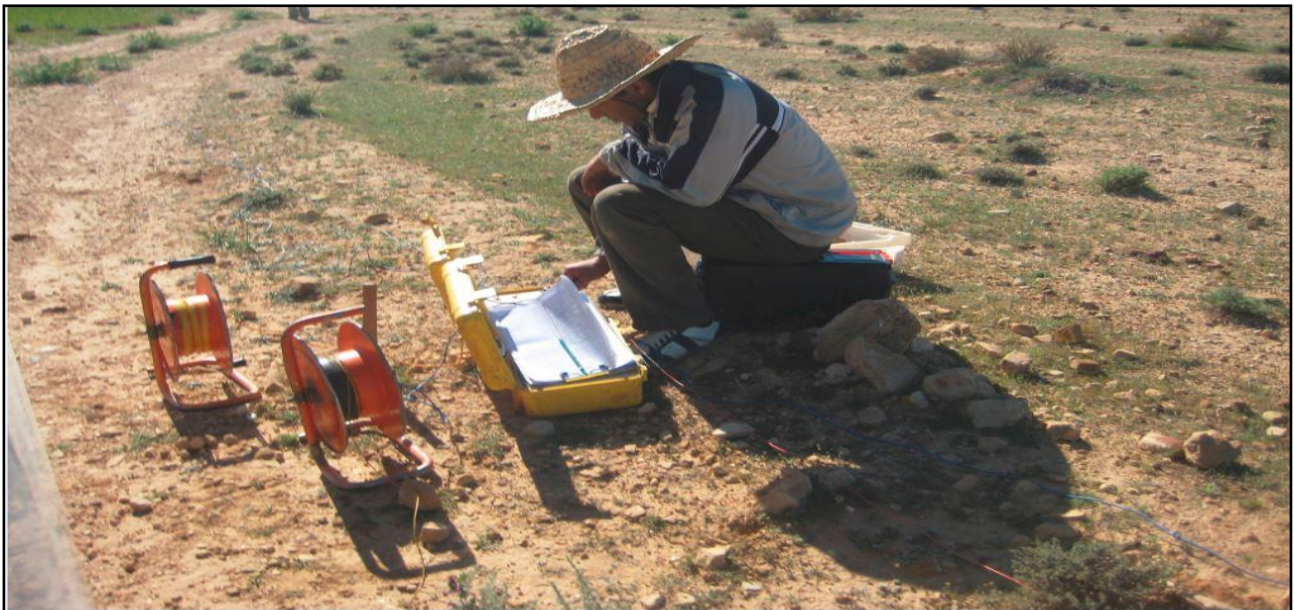
Sur le plan Hydrogéologique Le bassin de Saïss présente deux principales nappes, il s'agit de la nappe phréatique qui a pour réservoir les formations plio-quaternaire et la nappe profonde souvent captive qui circule dans les calcaires et les calcaires dolomitiques liasiques.





# PARTIE 2

## *L'ETUDE GEOELCTRIQUE DE LA REGION DE RASS JERRY ET L'INTERPRETATION DES RESULTAT*





# Chapitre 1: Présentation de la méthode géoélectrique

## I-Introduction

Les méthodes électriques sont des méthodes très utilisées en hydrogéologie. Elles se basent sur la mesure de la résistivité des formations géologiques. Selon le procédé, nous distinguons entre les sondages, les traînés et le profilage électrique. Il s'agit surtout d'étudier la structure de l'aquifère par l'établissement des profils et des cartes géoélectrique.

Chaque méthode d'investigation géophysique ne donne qu'une représentation très simplifiée du terrain, selon sa précision et sa sensibilité à la cible recherchée ; la profondeur d'investigation et le contraste de la cible avec l'encaissant. Ce qui pousse à choisir la méthode la plus appropriée pour répondre à l'objectif ciblé. Cependant dans des conditions particulières, la combinaison des différents types de données permettra d'extraire le maximum d'information concernant la cible recherchée.

L'interprétation des profils géophysiques consiste à un modèle à partir des mesures géophysiques. Elle conduit généralement à plusieurs possibilités ; mais celle qui est retenue est celle qui répond à la réalité géologique ; d'où la nécessité de disposer d'une étude géologique approfondie et d'un forage de calage pour étalonner les données géophysiques.

La prospection électrique implique la détection d'effets produits lorsqu'un courant électrique traverse le sous-sol. Il existe une grande variété de techniques utilisant les méthodes électriques, on peut mesurer par exemple:

- ❖ Une chute de potentiel,
- ❖ Un champ électromagnétique,
- ❖ Un courant.

La méthode géoélectrique est largement utilisée en hydrogéologie tant dans les formations du socle que dans les formations sédimentaires. Son succès est dû au fait que la conductivité des roches est liée à leur contenu en eau. Cependant, pour que la méthode soit efficace, il faut que les conditions suivantes soient remplies :

Les diverses formations lithologiques doivent être caractérisées par des résistivités nettement différentes ;

Le courant électrique envoyé de la surface doit pénétrer en profondeur jusqu'aux objectifs à étudier ;

Les déformations (les variations) du champ électrique dues aux hétérogénéités du sous-sol doivent être mesurables à partir de la surface.

## II. Principe de la méthode géoélectrique

Le principe de cette méthode (Fig. 12) consiste à injecter par l'intermédiaire de deux électrodes (notées généralement A et B), un courant électrique de caractéristiques connues, et à mesurer la différence de potentiel (d.d.p) créée entre deux autres électrodes (notées M et N). Le dispositif fondamental est composé généralement de quatre électrodes et d'un appareil qui permet d'injecter le courant électrique et de mesurer la d.d.p résultante.

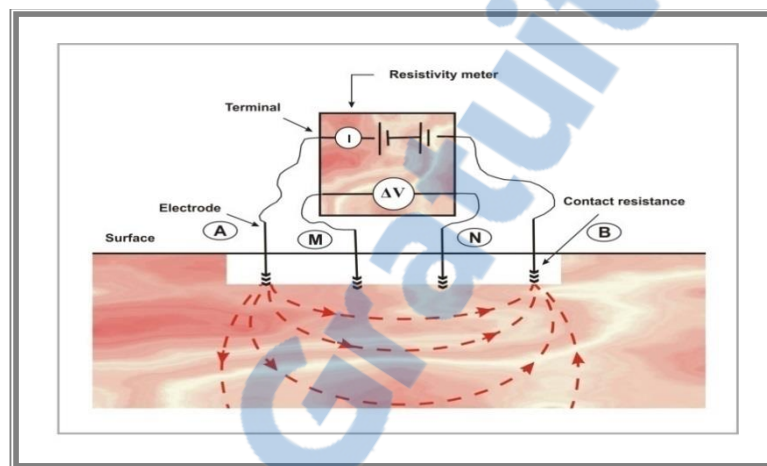


Figure 12: Principe de la méthode géoélectrique

### II.1 Techniques de mesures

#### II.1.1 Technique de sondage électrique

Le sondage électrique consiste à établir la variation de la résistivité, en fonction de la profondeur (reconnaissance verticale) des terrains prospectés en surface à l'aide d'un dispositif quadripôle (4 électrodes) ce qui permet une investigation verticale du terrain prospecté (Fig. 12).

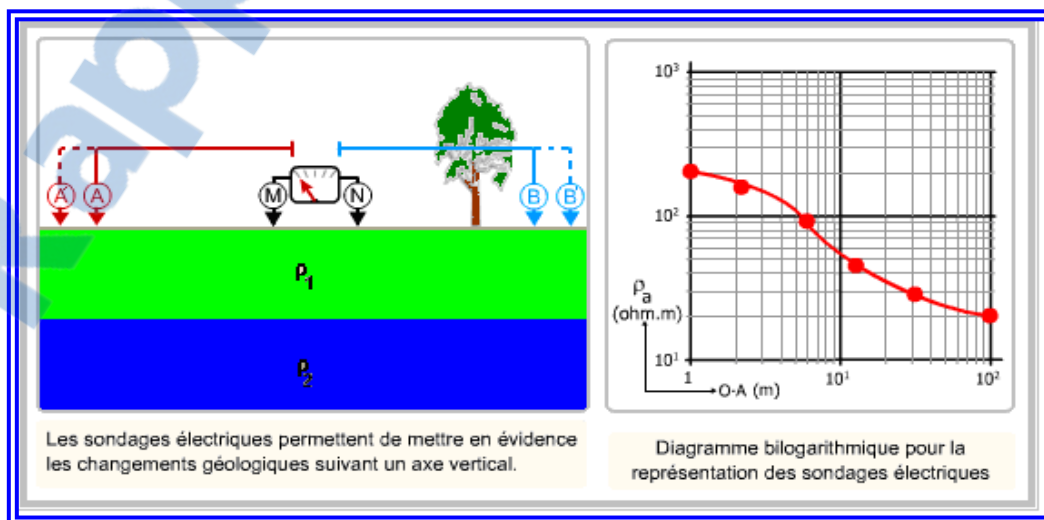


Figure 13: Technique de sondage électrique diagramme bi logarithmique



Un courant électrique continu est injecté dans le sol au moyen des électrodes externes A et B dites d'injection de courant, et la d.p.p correspondante  $\Delta V$  est mesurée entre deux électrodes internes M et N dites de réception, ce qui permet de déterminer la résistivité apparente  $\rho_a$  par la formule ( $\rho = K \frac{\Delta V}{I}$ ) pour différentes valeurs d'espacement AB entre les électrodes de courant.

Où K est appelé le facteur géométrique qui dépend de la configuration des électrodes.

$$K = \frac{2\pi}{\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN}}$$

On obtient ainsi une bonne visualisation de la succession des couches lorsque le terrain est stratifié horizontalement.

Les lignes de courant pénètrent plus en profondeur dans le sous-sol au fur et à mesure que l'on augmente l'écartement (AB) des électrodes de courant, les valeurs de résistivités apparentes mesurées caractérisent des terrains de plus en plus profonds. Dans ce cas la distribution du potentiel électrique est influencée par les niveaux géologiques de plus en plus profonds.

### II.1.1.1) Paramètre géophysique mesuré : la résistivité électrique

#### Définition

La résistance électrique R est définie par la loi d'Ohm en mesurant la différence de potentiel  $\Delta V$  induite entre deux points d'un conducteur par la circulation d'un courant électrique d'intensité I entre ces deux points:

$$R = \frac{\Delta V}{I}$$

D'après la loi d'Ohm, la différence de potentiel  $\Delta V$  induite dans un conducteur est proportionnelle au courant électrique I qui traverse ce conducteur. La résistance R est la constante de proportionnalité entre ces deux paramètres. La résistance R est exprimée en ohm ( $\Omega$ ), l'intensité du courant électrique I en Ampères (A) et la différence de potentiel en  $\Delta V$  en Volts (V).

La résistivité électrique est définie comme étant la mesure de la difficulté qu'a un courant électrique à traverser un milieu conducteur. La résistivité électrique vraie d'un volume cubique d'un matériau conducteur isotrope et homogène mesuré entre deux plaques conductrices et parallèles est donnée par:

$$\rho = \frac{RA}{L}$$



Où  $\rho$  est la résistivité électrique du matériau exprimée en ohm-m, A est l'aire de la section transversale des plaques conductrices ( $m^2$ ) et L est la distance de séparation entre les deux plaques conductrices (m).

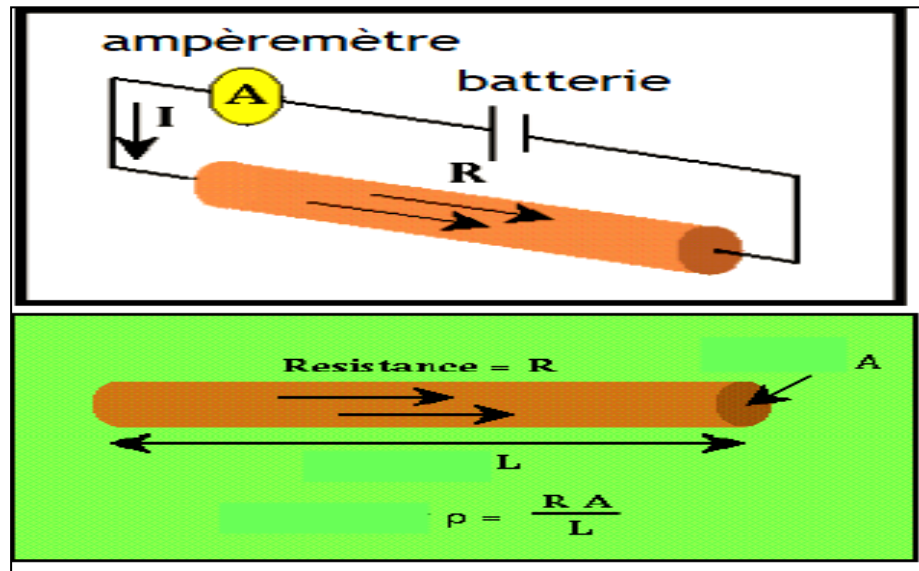


Figure 14: la résistivité électrique

La résistivité électrique est une propriété intrinsèque du matériau conducteur et elle ne dépend donc pas des dimensions des plaques conductrices et de leur distance de séparation.

La réciproque de la résistivité électrique  $\rho$  est la conductivité électrique  $\sigma$  et s'exprime en Siemens par mètre (S/m):

$$\rho = \frac{1}{\sigma}$$

De toutes les propriétés physiques des roches et des minéraux, la résistivité électrique est celle qui présente les plus grandes variations

### II.1.1.2 Propriétés physiques des matériaux qui affectent la résistivité électrique

Un des chemins les plus importants, et dans certains cas l'unique chemin du courant électrique à travers le système eau-sol est l'eau contenue dans les pores. Ainsi, plus la conductivité de l'eau des pores est forte, plus la conductivité du système n'est forte. La conductivité du fluide des pores dépend du type du fluide, des sels présents et de leur concentration, et de la température. La mobilité des ions dans la solution augmente quand la température augmente, et ainsi augmente la conductivité de la solution.

Rapport-gratuit.com



### a) La porosité

La porosité d'un matériau contrôle sa résistivité électrique mais d'une façon moindre que la concentration des minéraux dissous dans l'eau interstitielle. La porosité  $\Phi$  d'un matériau est définie par le rapport du volume des vides sur le volume total d'un échantillon:

$$\Phi = \frac{V_v}{V_T}$$

$V_v$  : volume des vides ;  $V_t$  : volume total et où le volume des vides  $V_v$  correspond à la somme des volumes occupés par l'air et l'eau contenu dans les pores d'un matériau.

La résistivité électrique augmente avec la diminution de la porosité. Lorsque la porosité diminue, la taille des grains du matériau ainsi que la taille des pores diminuent et la longueur des capillaires qui relient les pores augmente. La longueur effective  $L$  du trajet parcouru par le courant électrique est ainsi augmentée et la section transversale effective  $A$  est diminuée, puisque les pores sont d'une taille plus petite. Puisque la résistance électrique est directement proportionnelle à la longueur du trajet suivi par le courant et inversement proportionnelle à la section transversale à la circulation du courant, la diminution de la porosité augmente donc la résistance et la résistivité électrique. En effet, la résistivité électrique est directement proportionnelle à la résistance.

$$\rho = \frac{RA}{L}$$

### b) La teneur en eau

Le contenu en eau peut être exprimé en terme du degré de saturation en eau  $S_e$  d'un matériau qui est défini par la fraction d'eau contenue dans les pores:

$$S_e = \frac{V_e}{V_v}$$

Où  $V_e$  est le volume occupé par l'eau dans les pores d'un matériau et  $V_v$  est le volume total occupé par les pores ou le volume des vides.

La résistivité électrique est inversement proportionnelle au contenu en eau d'un matériau (b). La circulation du courant s'effectue au travers de l'électrolyte plus ou moins conducteur qui est présent dans les pores. Il ne peut pas circuler dans les particules isolantes du matériau. Par conséquent, plus le contenu en eau est élevé, plus les ions peuvent circuler facilement dans le matériau et plus la résistivité électrique du matériau est faible.

$$\rho = \frac{\rho_e a \phi^{-m}}{S_e^n}$$



### c) La présence d'argile

Les argiles possèdent une structure composée de feuillets microscopiques dont certaines surfaces sont chargées négativement. Des cations peuvent être adsorbés sur les faces des feuillets d'argiles, en étant peu liés et libres de se déplacer. Lorsque les argiles se retrouvent en présence d'eau, même en très faible quantité, les ions qui sont contenus dans l'eau peuvent être échangés avec les cations peu liés à aux argiles. Le courant électrique peut donc passer librement à la surface de l'argile et la résistivité électrique est alors très faible.

Par ailleurs, une argile complètement sèche possède une faible conductivité électrique car les échanges ioniques sont presque impossibles en absence d'eau. Tous les matériaux qui contiennent une certaine quantité d'argile possèdent une conductivité électrique plus élevée qu'en son absence.

### d) La salinité du fluide interstitiel

La salinité de l'eau interstitielle du milieu poreux est importante puisque le déplacement des ions des sels en solution, des charges électriques, est le médium par lequel le courant électrique se déplace dans le matériau. La conductivité électrique d'un électrolyte dépend de la quantité d'ions présents dans l'eau, mais également de la viscosité de l'eau qui affecte la vitesse de déplacement des ions dans l'eau.

### e) Température et viscosité

Les variations de résistivité électrique de l'électrolyte en fonction de la concentration des minéraux et de la température sont importantes. La viscosité du fluide varie en fonction de la température. Une augmentation de la température diminue la viscosité de l'eau. Les ions contenus dans l'eau deviennent alors plus mobiles. Cette augmentation de la mobilité des ions augmente leur vitesse de déplacement sous une différence de potentiel et il s'ensuit une augmentation de la conductivité électrique.

## II.1.1.3 Dispositifs et acquisition des données

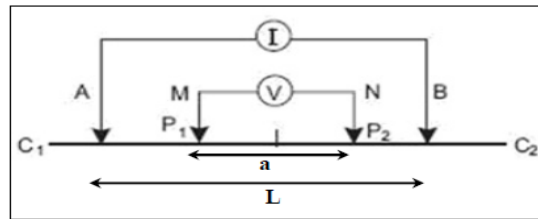
### a) le dispositif Schlumberger des sondages électriques verticaux

C'est un dispositif de mesure géoélectrique symétrique destiné à la réalisation de sondages électriques verticaux.

Le principe consiste en l'injection du courant électrique entre deux électrodes appelées A et B ou C1C2 et à la mesure de la différence de potentiel entre deux électrodes appelées M et N ou P1P2. Pour le dispositif Schlumberger il faut que :



L >> a Dans ce dispositif la distance entre les électrodes MN est supposée infiniment petite par rapport à la distance entre AB.



Dans le dispositif Schlumberger les électrodes de mesure (M et N) sont immobiles au centre du dispositif et on fait varier l'écart entre les électrodes d'injection; avec un écartement croissant la profondeur d'investigation augmente. On obtient ainsi des valeurs de résistivité apparente en fonction de la profondeur à la verticale du centre du dispositif.

### b) Dispositif Wenner:

C'est un quadripôle avec une distance identique entre les électrodes, le dipôle de mesure de tension est au centre.

Ce dispositif est recommandé pour les structures horizontales. La profondeur d'investigation plus faible que celle du Dipôle-Dipôle, le nombre de points à l'acquisition est inférieur à celui du Dipôle-Dipôle et du Wenner-Schlumberger; cet effet se fait surtout sentir sur les bords.

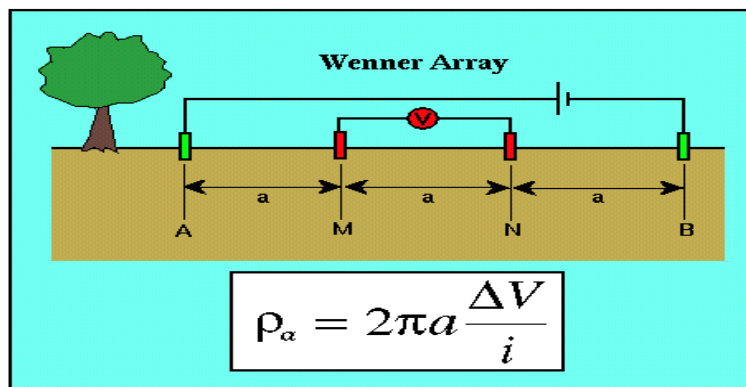


Figure 15: dispositives de Wenner

### c) Le dispositif Dipôle-Dipôle :

Ce dispositif est très sensible aux variations horizontales de la résistivité et donc idéal pour détecter des structures verticales. La profondeur d'investigation dépend fortement des paramètres a et n (nommé niveau). Pour des valeurs faibles de n, la profondeur d'investigation est inférieure à un dispositif Wenner, alors que pour des grandes valeurs de n, elle devient supérieure. Mais dans tous les cas, la densité de points, est nettement supérieure à celle d'un dispositif Wenner. Malheureusement, ce dispositif possède un inconvénient majeur. Les électrodes de mesure du potentiel (MN) étant





situées en dehors des électrodes de courant, la force du signal est très faible. En effet, le voltage est inversement proportionnel au cube du facteur  $n$ . Pour utiliser ce dispositif, Il faut donc de bonnes conditions d'acquisition (peu de bruit de fond) et un résistivimètre très sensible.

#### d) Le dispositif Pôle-Dipôle :

C'est un dispositif asymétrique pouvant créer des artéfacts. Profondeur d'investigation intermédiaire entre le Dipôle-Dipôle et le Pôle-Pôle. Sensible au bruit. Nécessité de mettre une électrode à l'infini.

#### e) Le dispositif Pôle-Pôle :

Profondeur d'investigation la plus profonde, Faible résolution. Nécessité de mettre deux électrodes à l'infini, Très sensible au bruit, Surtout utile en 3D car grand nombre de points à l'acquisition.

### II.1.1.4 L'interprétation

On trace la courbe représentative de la résistivité apparente ( $\rho_a$ ) en fonction de  $L=AB/2$  en portant sur l'axe des abscisses la longueur  $AB/2$  et en ordonnées la valeur de résistivité apparente correspondante sur un diagramme bi-logarithmique.

Il existe plusieurs méthodes d'interprétation de courbe de sondage :

La méthode d'algorithme d'inversion qui est la plus efficace, qui permet une interprétation plus rapide. Cette méthode se fait sur un ordinateur.

La méthode des abaques plus ancienne que l'autre, les abaques sont des séries de courbes de types calculées pour divers contrastes de résistivité et d'épaisseur pour les différentes couches du sol. L'interprétation consiste à trouver la courbe qui s'ajuste le mieux à la courbe mesurée et on obtient les paramètres du sous-sol.

Chaque courbe de cet abaque correspond à la courbe d'un sondage électrique exécuté sur un sous-sol composé de deux terrains ou le premier terrain à une épaisseur et une résistivité unité.

L'interprétation des données de mesures est généralement qualitative, il est souvent limitée par les principes d'équivalence et de suppression.

Les diverses formations du sous-sol n'étant pas toujours horizontalement stratifiées, l'analyse des courbes de sondages électriques verticaux, peut dans certains cas conduire à des résultats erronés. L'interprétation des données de mesures est généralement qualitative, est souvent limitée par les principes d'équivalence et de suppression limites de l'interprétation 1D en géoélectrique qui ont les conséquences suivantes :

- Une couche conductrice mince entre deux terrains de résistivités élevées, ne sera définie que par le rapport épaisseur-résistivité appelé "conductance longitudinale de la couche",
- Une couche résistante mince intercalée entre deux terrains conducteurs ne sera définie que par le produit épaisseur-résistivité appelé "résistance transversale de la couche",
- De plus, une couche, même épaisse, et de résistivité intermédiaire à celles des couches qui l'encadrent pourra ne pas apparaître sur la courbe de sondage électrique.

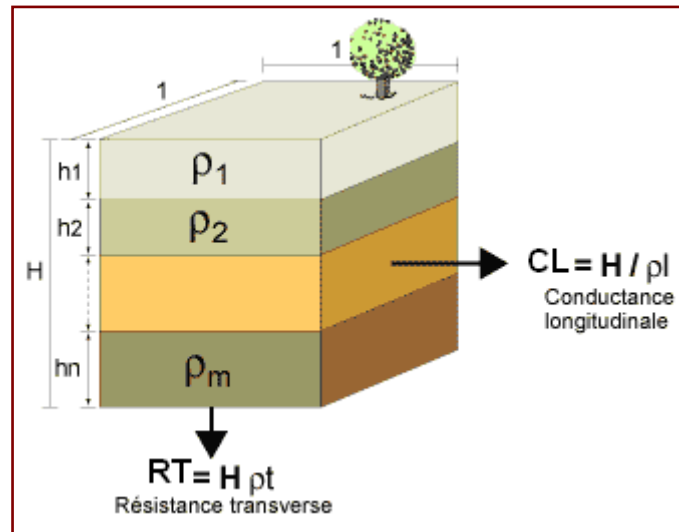


Figure 16: Conductance longitudinale et Résistance transverse

### II.1.1.5 Précaution à prendre

Au point d'embrayage, on fait 4 mesures: AB avec MN et MN' et AB' avec MN et MN'.

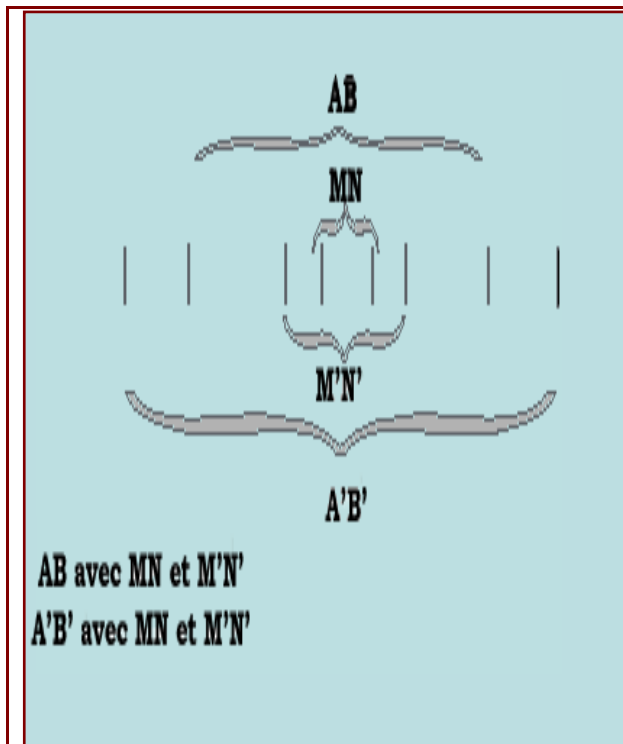


Figure 17: Embrayage permettant d'identifier la présence d'à-coup de prise.

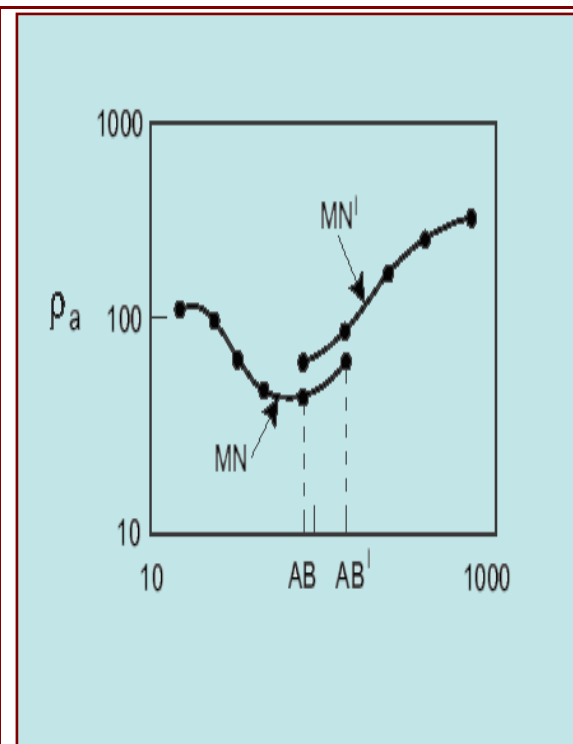


Figure 18: Courbe de résistivité présentant un à-coup de prise.

## II-2. - Technique de traîné électrique

Cette technique consiste à déplacer l'ensemble du dispositif de dimension fixe suivant l'alignement des électrodes en traînant tous les câbles, d'où le nom de traîné. L'intervalle entre les mesures successives dépend de la précision avec laquelle on veut localiser les accidents :

- Il est en général égal à  $AB$  pour les études de reconnaissance.
- Pour les études de précision, on peut utiliser un pas de mesure égal à  $MN$ , ce qui conduit à une exploration continue du profil.

La profondeur d'investigation est relativement constante et la résistivité apparente  $\rho_a$  mesurée dépend des variations latérales des résistivités rencontrées. Cette technique d'investigation permet de localiser, entre autres, les failles, les karsts, les filons, les fractures, etc

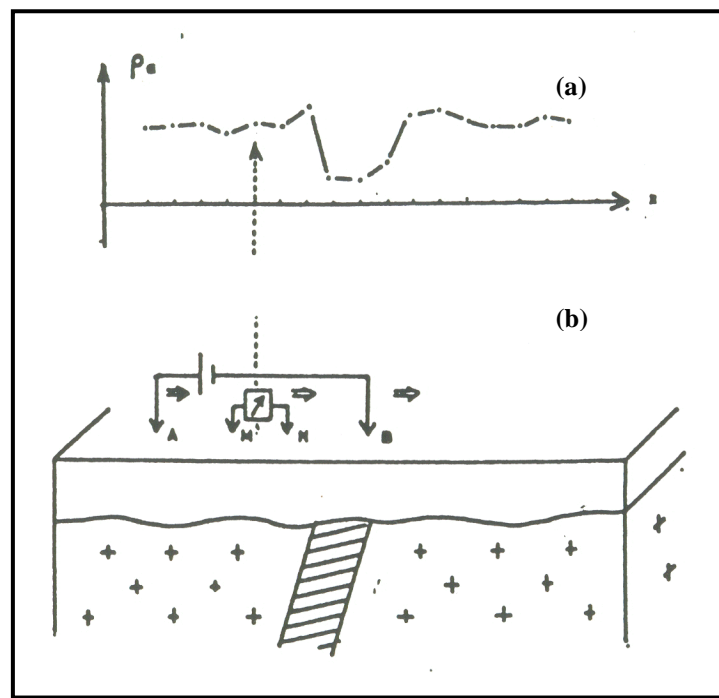


Figure 19: Mise en œuvre sur le terrain de la technique de traîné électrique  
a)profil de résistivités, (b) mise en œuvre sur le terrain



## Chapitre 2: PROSPECTION PAR GEOELECTRIQUE DANS LA REGION DE RAS JERRY

### I-Introduction

Dans le but d'une connaissance générale de la région de Ras Jerry de point de vue hydrogéologique, une étude par prospection géophysique utilisant la méthode géoélectrique a été entamée. Elle a pour objectif essentiel de suivre en profondeur la continuité des différentes nappes existant dans la zone d'étude.

Cette étude s'inscrit dans le cadre d'une meilleure compréhension de la structure de surface et de sub-surface des aquifères par l'acquisition des données les plus pertinentes.

L'objectif principal de cette campagne géophysique est de préciser :

- Les structures des niveaux résistants au niveau de la zone de RAS JERRY.
- La géométrie et la profondeur des aquifères superficiel et profond qui correspondent respectivement aux sables et grés du plio-quaternaire et aux calcaires liasique dans la zone de RAS JERRY.
- La géométrie et la profondeur de l'aquitard qui correspond à des marnes du miocène ou des argiles rouge triasique.
- Les zones favorables à l'implantation des forages de reconnaissance.

### II. Situation géographique de la zone étudiée

Le centre de Ras Jerry est situé à environ 23 Km au Sud-est de la ville de Meknès. Il est limité au Nord par la route régionale n° 701 qui relie la ville de Meknès à la commune de Ras Jerry.

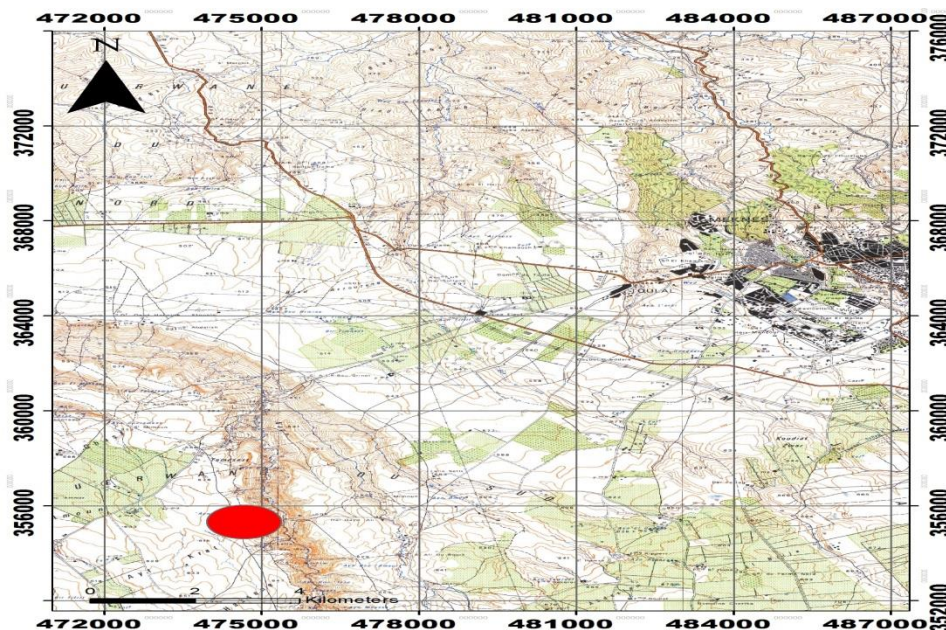


Figure 20: situation géographique de la zone d'étude



### Démarches suivie dans notre travail :

- ❖ création d'un maillage des points de mesures (Sondage électrique).
- ❖ L'acquisition des données récoltées sur le terrain.
- ❖ Réalisation d'un premier traitement sur les digrammes (lissage).
- ❖ Interprétation et proposition des solutions pour chaque Sondage électrique
- ❖ Réalisation des cartes qualitatives et quantitatives ainsi que des coupes géoélectrique.

### III. Mise en œuvre

#### ➤ Personnel ou Equipe de terrain

L'équipe de terrain était formée d'un géophysicien, d'un prospecteur expert et de 4 assistants ;

#### ➤ Matériel de mesure électrique (Fig. 20)

- ◆ Un résistivimètre GéoTrade ;
- ◆ Un générateur de courant continu GéoTrade 600v ;
- ◆ 1.000m de câbles sur bobines portables ;
- ◆ des piquets de fer et des électrodes de cuivre ;
- ◆ matériels de maintenance ;



Figure 21: Matériel de prospection utilisé

## CHAPITRE 3:PRESENTATION DES RESULTAT

### I. Travaux effectués

On a réalisés 49 sondages électriques verticales (SEV) avec le dispositif Schlumberger de longueur de ligne AB qui égale à AB=1000m; AB=2000 m; AB=4000 m; et 03 profil de trainés électriques avec une longueur de ligne AB= 200m. (Voir Annexe 1et L'Annexe 2)

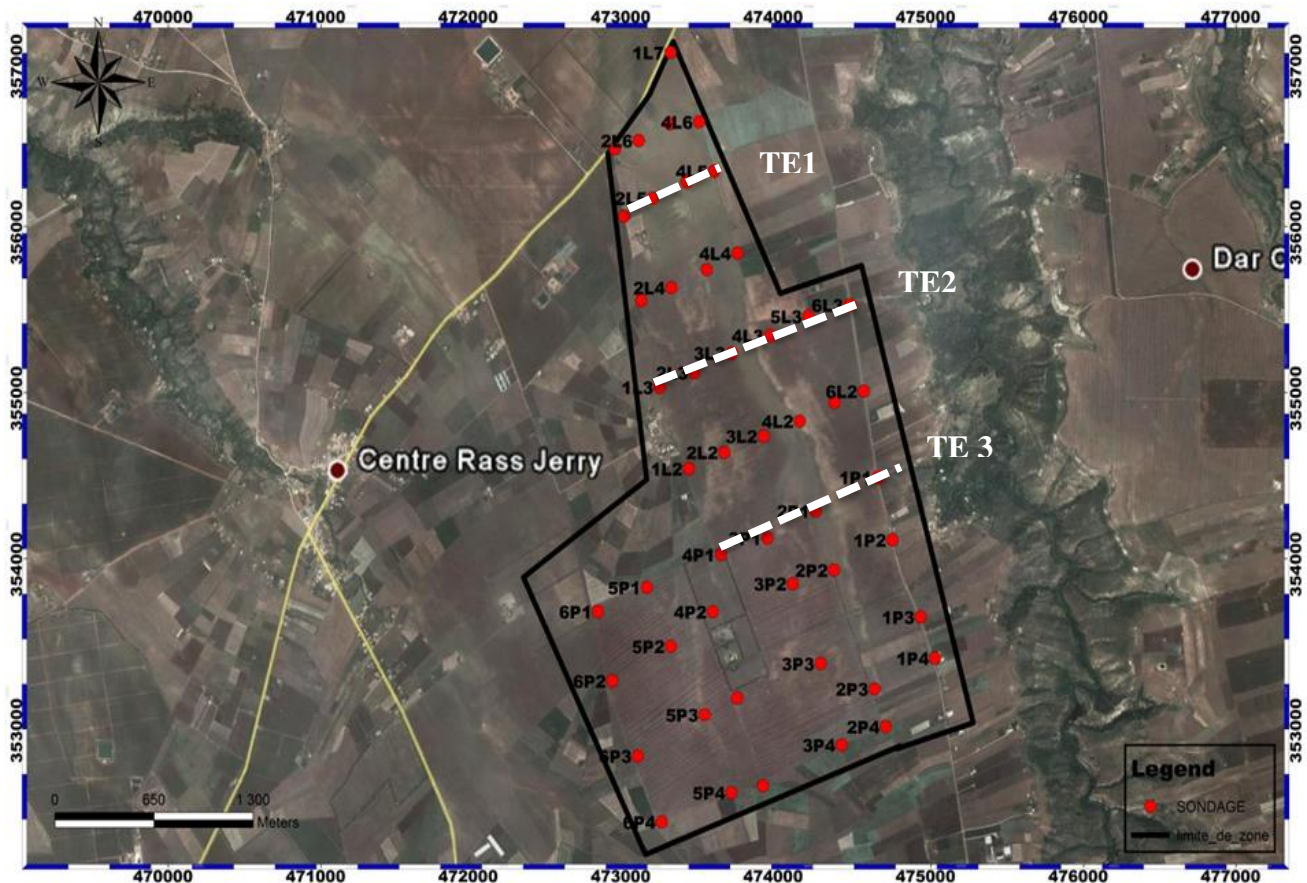


Figure 22: Implantation des mesures géoélectrique réalisées à Ras Jerry

On a réalisé Ces sondages électriques pour la reconnaissance globale du site prospecté .cette reconnaissance permettrait de localiser d'éventuel aquifères susceptibles d'être potentiellement riche en réserves hydrique.

Ainsi on a réalisé des trainés électriques en vue de localiser les discontinuités électriques profondes matérialisée essentiellement par la présence dans le site de failles, de fractures ou des fissures.



## II- Examen des sondages électriques

### 1- Famille des sondages électriques :

L'interprétation des Sondages électriques à l'aide d'un logiciel approprié (WINSEV). A permis de distinguer deux familles de sondages électriques représentés par 1P1 et 3L2

#### 1-1 Famille 1

L'analyse et la comparaison des résultats d'interprétation de tous les diagrammes des sondages électriques obtenus ont montré une ressemblance en termes de succession de niveaux électriques. Les différences sont constatées plutôt au niveau des valeurs des résistivités. Cette différence est expliquée essentiellement par la variation des épaisseurs de ces horizons électriques.

On présentera en particulier les résultats du sondage électrique profond 1P1 représentatif de l'ensemble des sondages (Fig. 23) exécutés dans la région d'étude et qui a atteint l'ensemble des formations géologiques du domaine étudié en profondeur. L'interprétation du diagramme de ce sondage électrique montre du haut vers le bas :

- ❖ Un terrain résistant superficiel d'épaisseur de 114 m. Ce terrain correspond à la formation de plio-quaternaire composé essentiellement de sables et des sables argileux et des grés;
- ❖ Un horizon conducteur situé à 114 m de profondeur. Cet horizon est de résistivité électrique  $20 \Omega \cdot m$  et d'épaisseur 290m. Il correspond vraisemblablement aux marnes du miocène
- ❖ Un substratum résistant situé à une profondeur de 404m. Sa nature lithologique reste cependant mal définie car il peut être une formation schisteuse ou des formations des calcaires du lias.

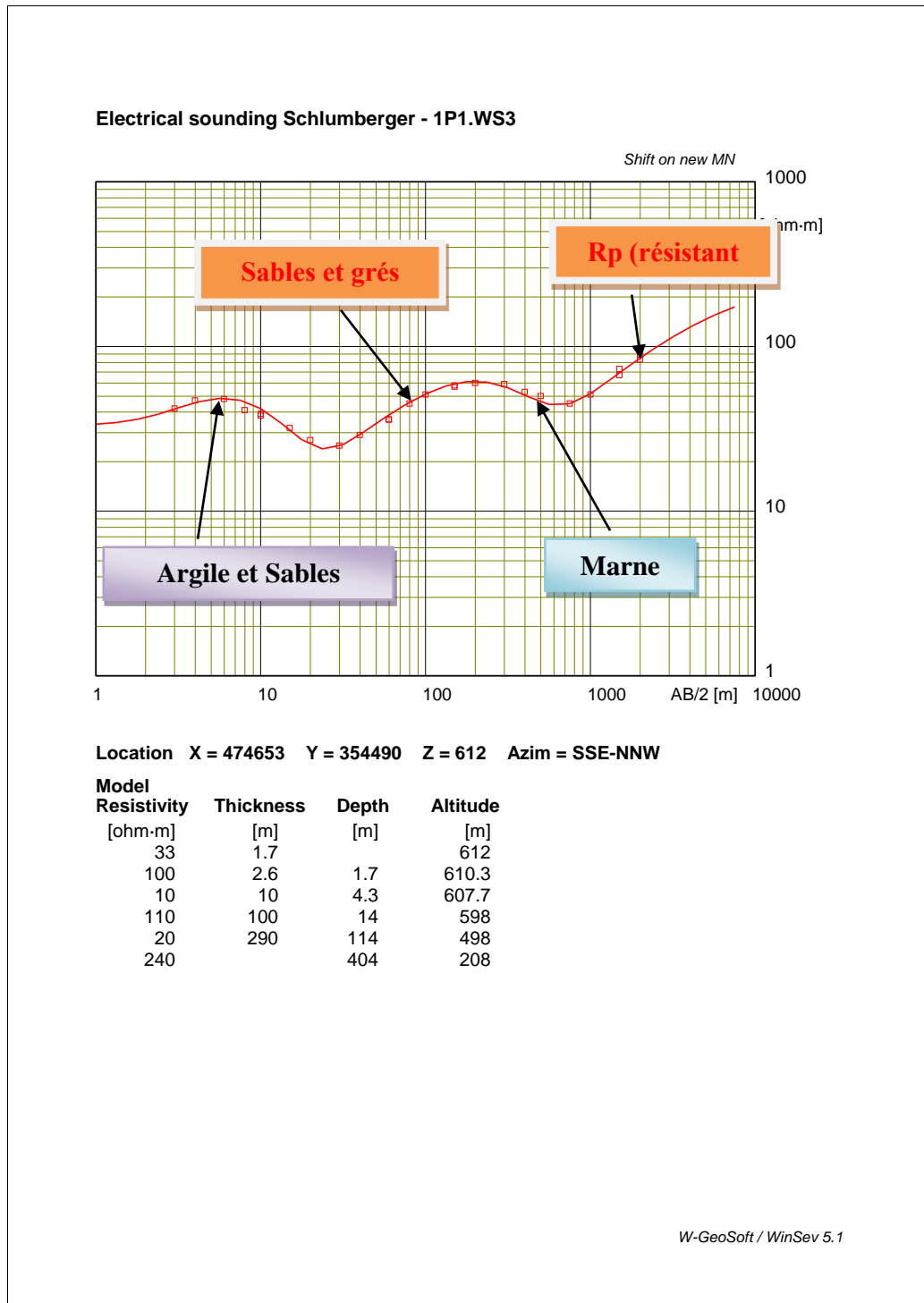


Figure 23: Famille des sondages électriques n°1

## 1-2 Famille 2

La courbe des sondages électriques de cette famille montre une succession de niveau résistant et conducteur tel qu'on trouve :

- ❖ Un terrain résistant superficiel d'épaisseur de 18m. Ce terrain correspond à la formation du plio-quaternaire composé essentiellement de sables et des sables argileux et des grès;





- ❖ Un horizon conducteur situé à 18 m de profondeur. Cet horizon est de résistivité électrique 18  $\Omega$ .m et d'épaisseur 75m. Il correspond vraisemblablement aux marnes du miocène ;
- ❖ Un horizon moyennement résistant de résistivité 80  $\Omega$ .m et d'épaisseur 65m. Il correspondrait aux marnes sableuses ;
- ❖ Un horizon conducteur de résistivité électrique 7  $\Omega$ .m et d'épaisseur 65m. Il s'agirait sans doute de marnes franches ;
- ❖ Un substratum résistant situé à une profondeur de 223m. Sa nature lithologique reste cependant mal définie. car il peut être une formation schisteuse ou des formations des calcaires du lias.

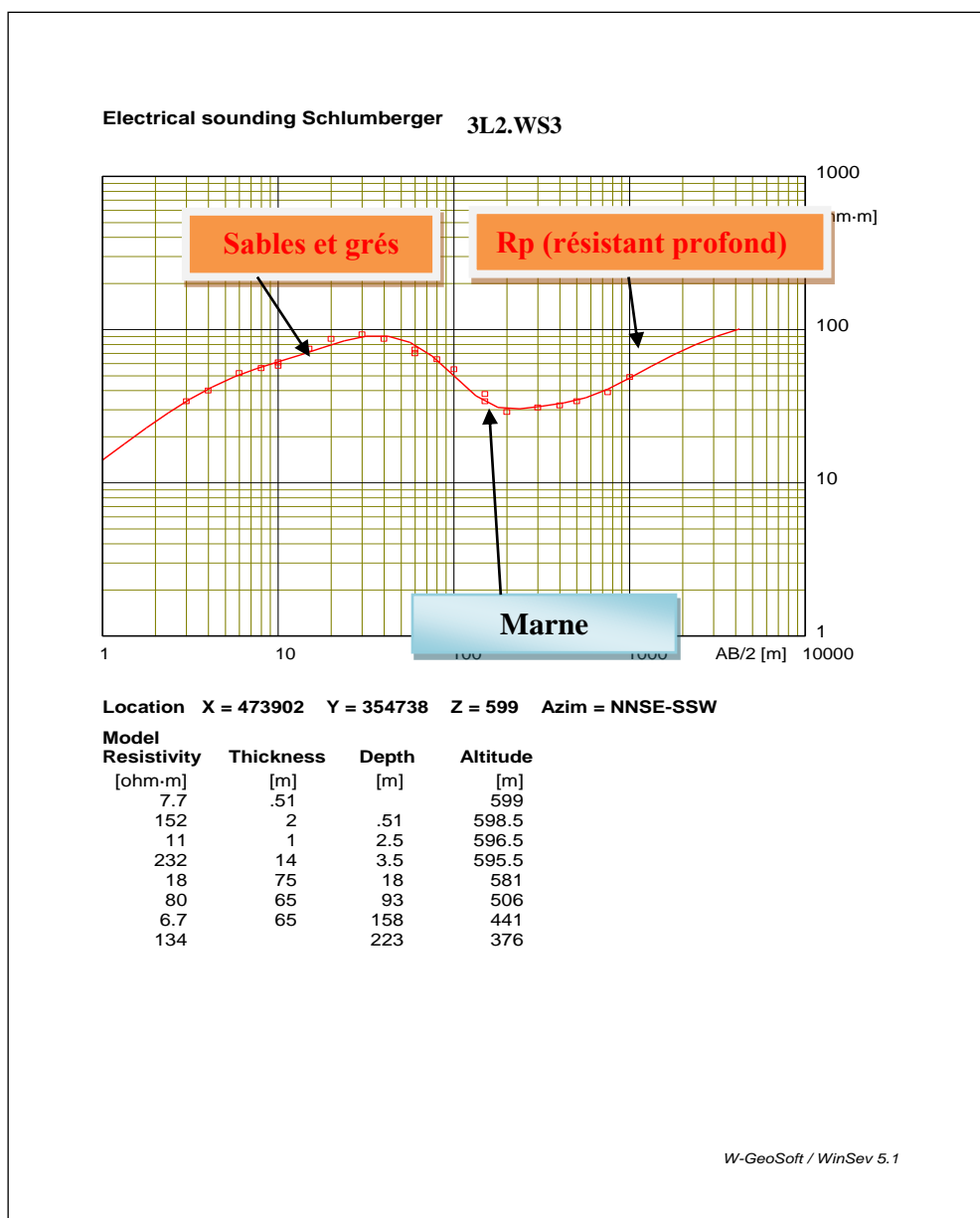


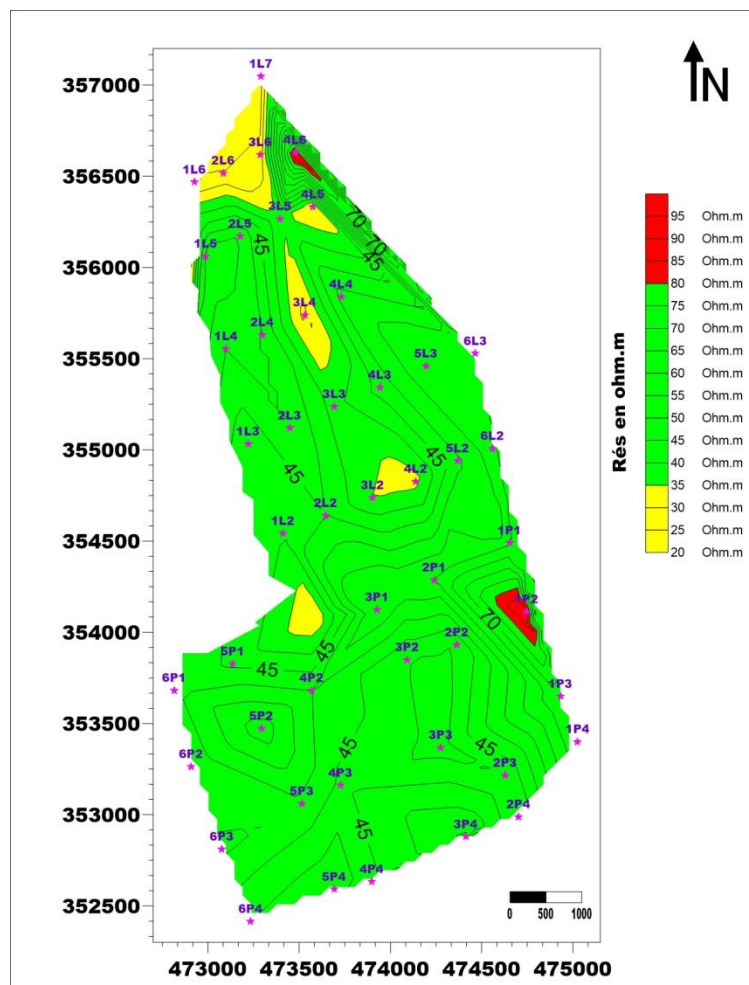
Figure 24: Famille des sondages électriques n°2



### III-Interprétation qualitative des résultats

La résistivité apparente peut donner une information qualitative sur les formations géologiques et leur variation au sein de la zone d'étude pour avoir une interprétation correcte des propriétés de sous-sol de ce terrain. A l'aide de logiciel de traitement SURFER on peut dessiner des cartes d'isovaleur des résistivités apparente pour différents longueurs AB.

#### IV-1 Carte des isorésistivités pour AB= 300m





#### IV-2 Carte des isorésistivités pour AB/2= 600m

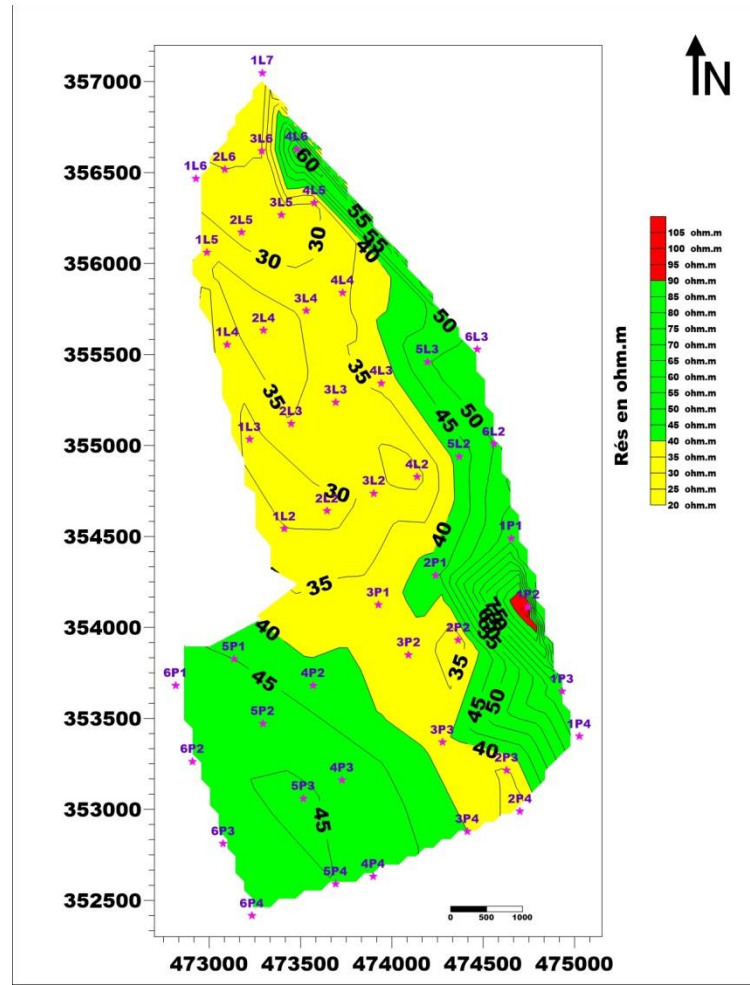


Figure 26: la variation de résistivité apparente pour une longueur de ligne AB= 600m

La carte des isorésistivités obtenue (Fig. 26) correspond aux valeurs de la résistivité apparente mesurée par un espacement de AB=600m. C'est-à-dire une investigation d'environ 100m.

L'analyse de la carte obtenue montre des résistivités relativement faibles dans la zone étudiée. Sauf la partie Sud-Est au niveau du Sondage électrique 1P2 où il y a le Plio-Quaternaire.



#### IV-3 Carte des isorésistivités pour AB= 1000m

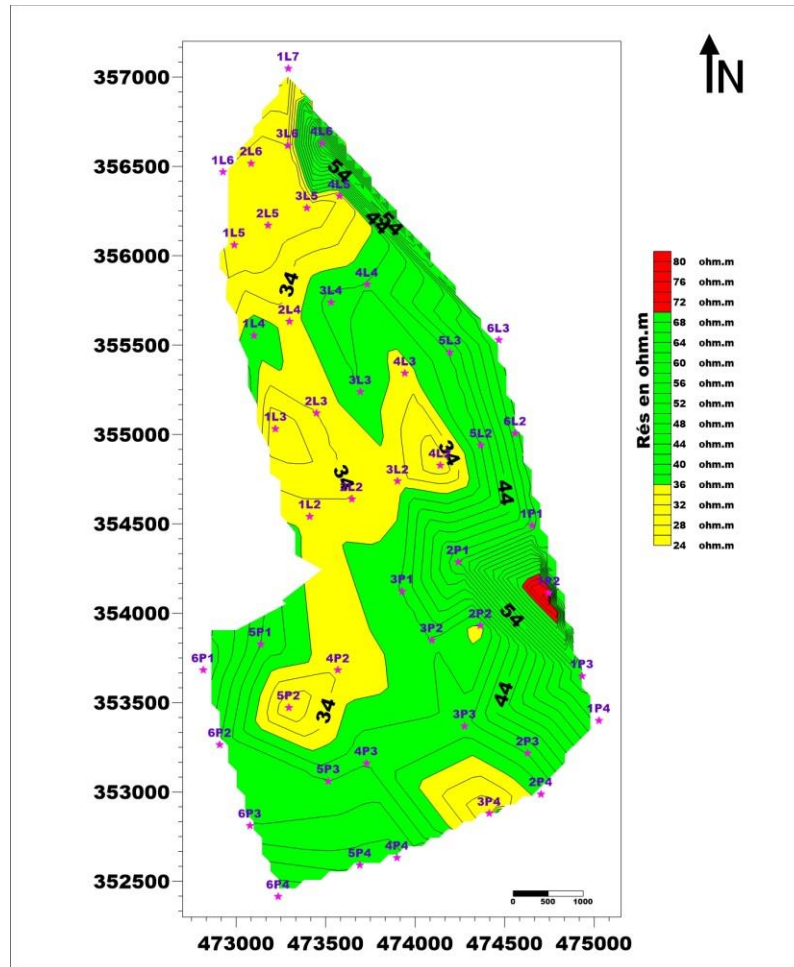


Figure 27: la variation de résistivité apparente pour une longueur de ligne AB= 1000m

La carte montre la distribution de valeur de résistivité apparente pour une longueur de ligne AB= 1000. C'est-à-dire une investigation d'environ 162 m.

Dans cette carte les variations de la résistivité apparente montrent généralement des résistivités faibles dans la partie Nord-Ouest et des résistivités moyennes dans la partie Sud-Est.

La faible résistivité apparente due à l'existence de la formation marneuse.



## IV- L'interprétation quantitative

L'interprétation quantitative est basée sur les données de mesures interprétées. De ce fait, des cartes et des coupes géoélectrique ont été établies. Il s'agit de :

- La carte isopaque de l'aquifère superficiel ;
- La carte des isohypses des marnes miocènes

### V-1 La carte isopaque de l'aquifère superficiel

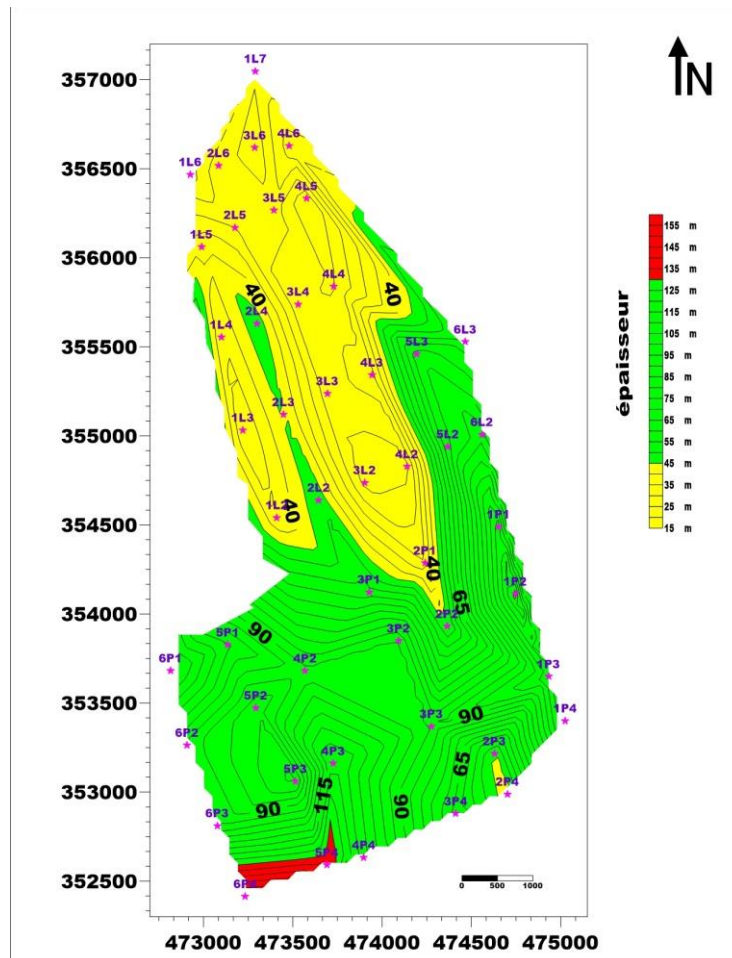


Figure 28: Carte des isopaques de la couverture plio-quaternaire

La carte réalisée (Fig. 28) donne la variation de l'épaisseur de l'aquifère superficiel attribué aux formations du plio-quaternaire.

L'analyse de la carte obtenue permet de montrer qu'on a une nette augmentation de l'épaisseur de l'aquifère superficiel dans la direction sud. La plus grande épaisseur de cet aquifère est observé dans la partie SW, et plus précisément au niveau du sondage électrique 5P4 où cette épaisseur dépasse 120m.





## V-Coupes géoélectrique

La réalisation des coupes géoélectrique est très important dans une étude géoélectrique, car elles peuvent donner une visualisation générale de la structure géologique de la zone prospecter afin d'aboutir à une structure paléogéographique et bien comprendre l'ensemble des accidents tectoniques qu'ont affecté les terrains déposer :

Dans le but de mieux suivre en profondeur la variation des niveaux des différents horizons, on a établi 0 3 coupes géoélectrique transversale et une coupe longitudinale :

- ◆ La coupe géoélectrique 1 comporte les sondages électriques 1L3, 2L3 ,3L3 4L3, 5L3, 6L3. Elle est orientée globalement WSW-ENE ;
- ◆ La coupe géoélectrique 2 comporte les sondages électriques 1P1, 2P1, 3P1, 4P1, 5P1, 6P1. Elle est orientée globalement WSW-ENE ;
- ◆ La coupe géoélectrique 3 comporte les sondages électriques 1P4, 2P4 et 3P4, 4P4, 5P4 et 6P4. Elle est orientée globalement WSW-ENE ;
- ◆ La coupe géoélectrique 4 comporte les sondages électriques 6P4, 5P2, 1L2, 2L3, 2L4, 3L5, 3L6 et 1L7.Elle est orientée globalement N-S

L'implantation de ces coupes géoélectrique est donnée à la figure 30 ci-dessous.

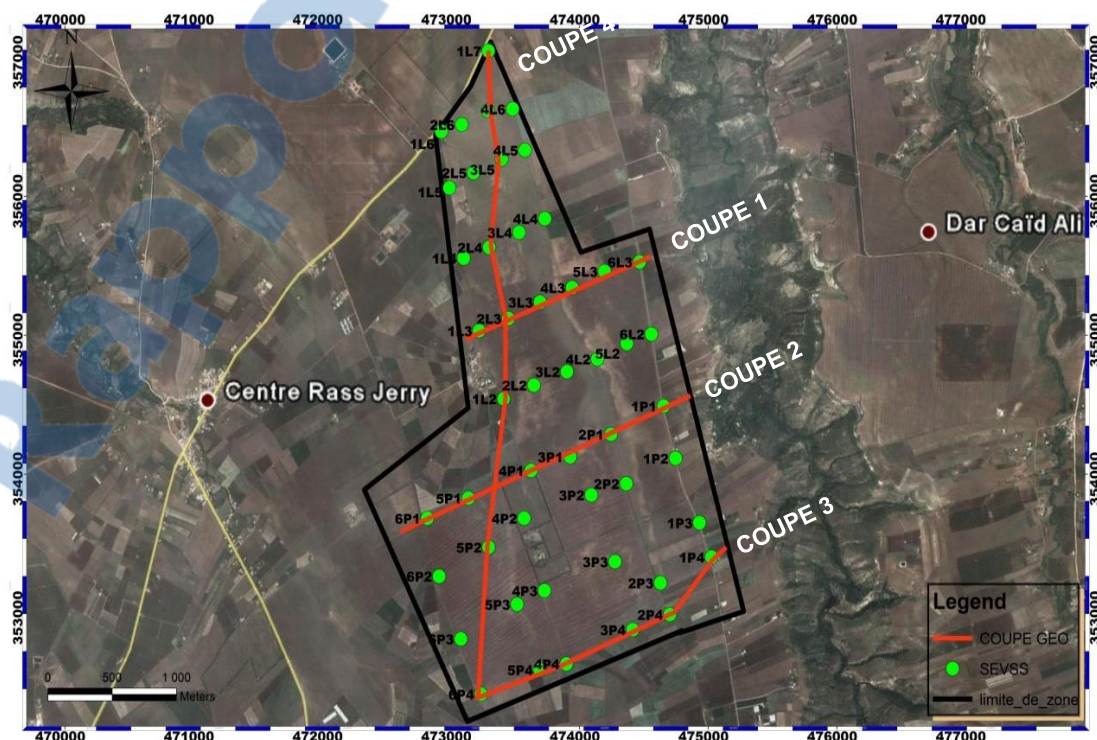


Figure 30 : L'implantation de ces coupes géoélectrique

### V-1 Coupe géoélectrique n°1

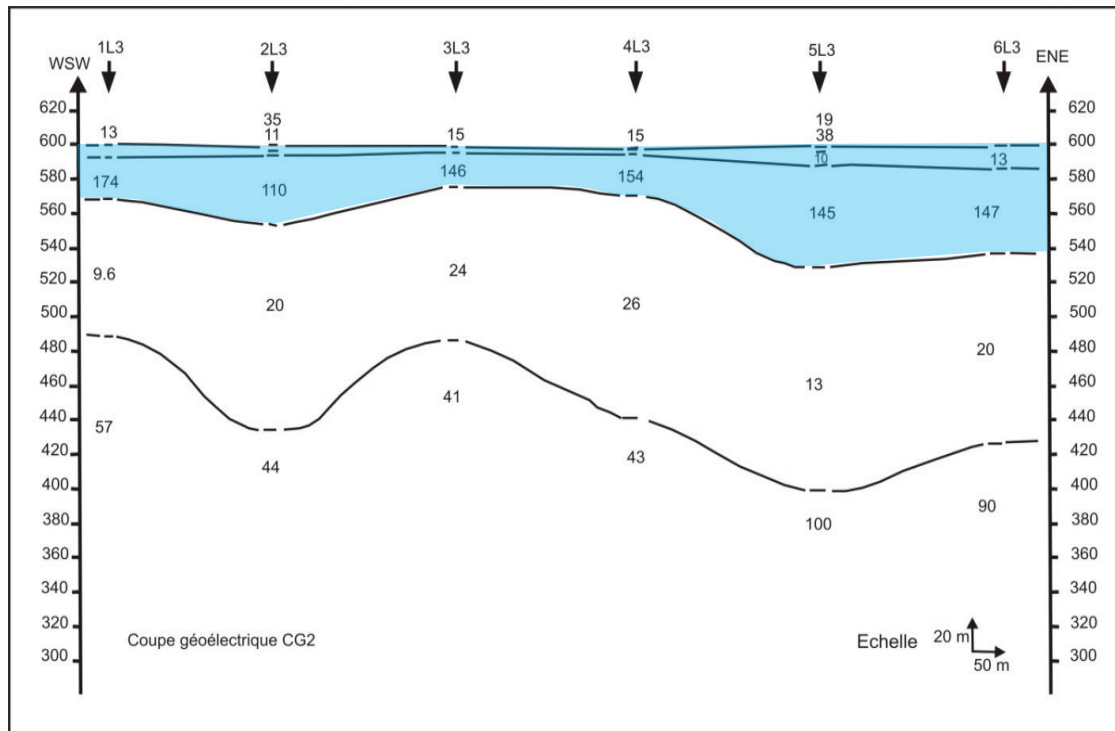


Figure 31: Coupe Géoelectrique 1

La coupe géoélectrique transversale n°1 (Fig. 31) traverse le domaine étudié De WSW vers ENE, la coupe géoélectrique n°1 a été réalisée grâce aux données interprétées des sondages électriques 1L3, 2L3, 3L3, 4L3, 5L3, 6L3.

La coupe obtenue montre des variations importantes de la géométrie des horizons. En effet, on observe un dôme important au niveau du sondage électrique 3L3, et deux affaissements de part et d'autre de ce dôme surtout au niveau des sondages électriques 2L3 et 5L3. Dans ces zones, les épaisseurs deviennent relativement importantes.

La partie colorée en bleu correspond à l'aquifère superficielle. Cet aquifère présente une épaisseur très importante aux niveaux des sondages 2L3, 5L3, 6L3.





## V-2 Coupe géoélectrique n°2

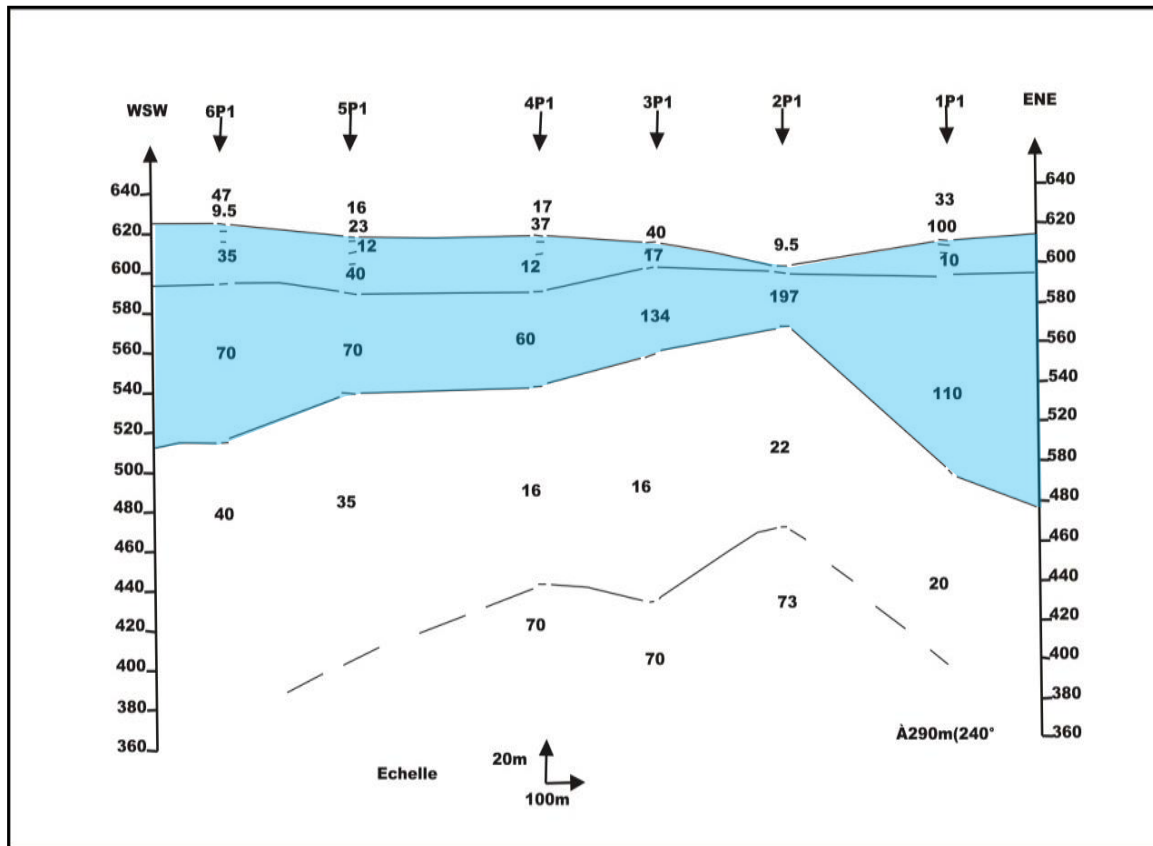


Figure 32: Coupe Géoelectrique 2

La coupe géoélectrique (Fig. 32) traverse la zone étudiée du WSW vers l'ENE. Cette coupe comprend les sondages électriques 1P1, 2P1, 3P1, 4P1, 5P1, 6P1.

La coupe obtenue montre des variations importantes de la géométrie des horizons. En effet, on observe un dôme important au niveau du sondage électrique 2P1 et deux affaissements de part et d'autre de ce dôme surtout au niveau des sondages électriques 1P1 et 6P1. Dans ces zones, les épaisseurs deviennent relativement importantes.

La partie colorée en bleu correspond à l'aquifère superficielle. Cet aquifère présente une épaisseur supérieure à 130 m aux niveaux des sondages 1P1, 6P1.



### V-3 Coupe géoélectrique n°3

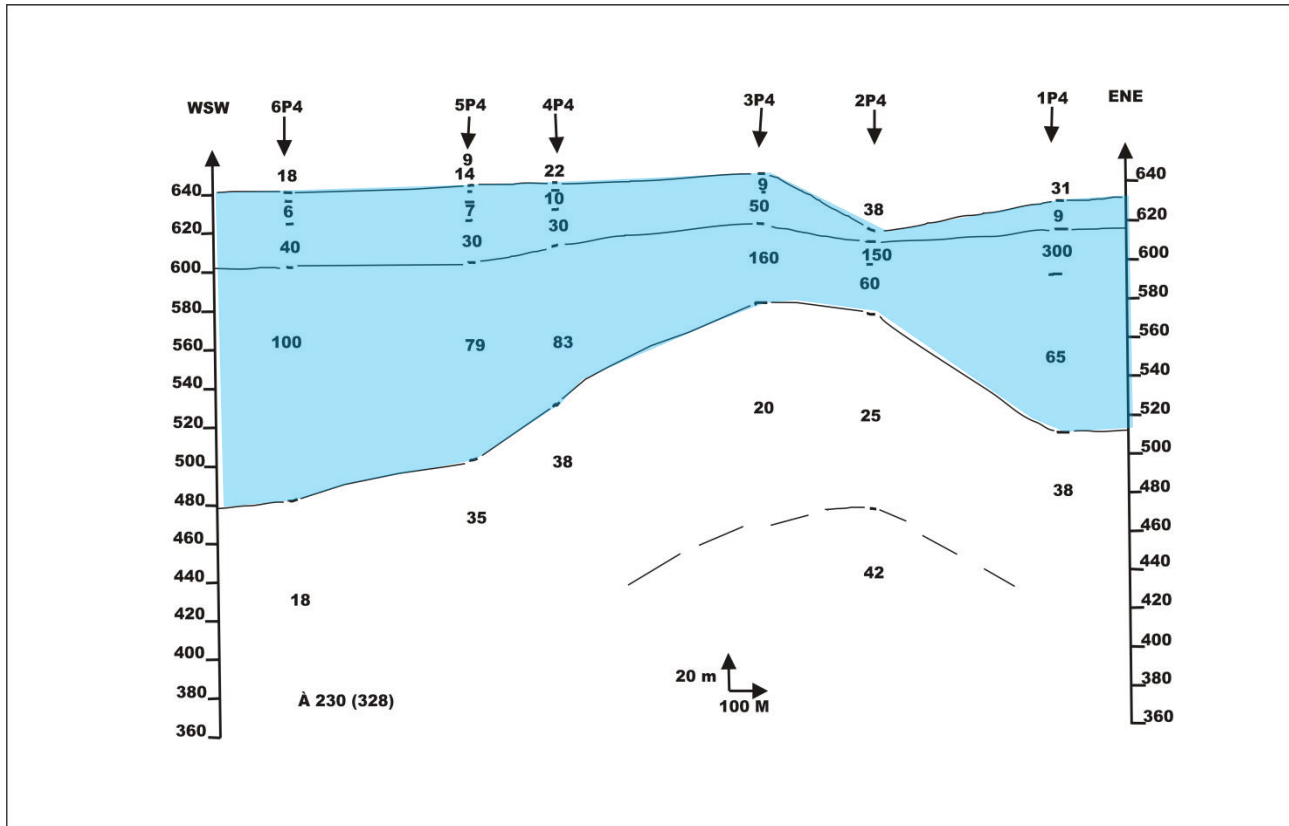


Figure 33: Coupe Géoelectrique 3

La coupe géoélectrique (Fig. 33) traverse le domaine étudié Elle est orientée globalement WSW-ENE. Cette coupe comprend les sondages électriques 6P4, 5P4, 4P4, 3P4, 2P4, 1P4.

La coupe obtenue montre des variations importantes de la géométrie des horizons. En effet, on observe un dôme important au niveau des sondages électriques 3P4 et 2P4 et deux affaissements de part et d'autre de ce dôme surtout au niveau des sondages électriques 1P4 et 6P4 où l'affaissement est important. Dans ces zones, les épaisseurs deviennent relativement importantes

La partie colorée en bleu correspond à l'aquifère superficielle. Cet aquifère présente une épaisseur très importante aux niveaux des sondages 6P4, 1P4, Dans ces zones, l'épaisseur de l'aquifère superficielle devient relativement importante. Elle est de 150 m au niveau du sondage 6P4.



### V-4 Coupe géoélectrique n°4

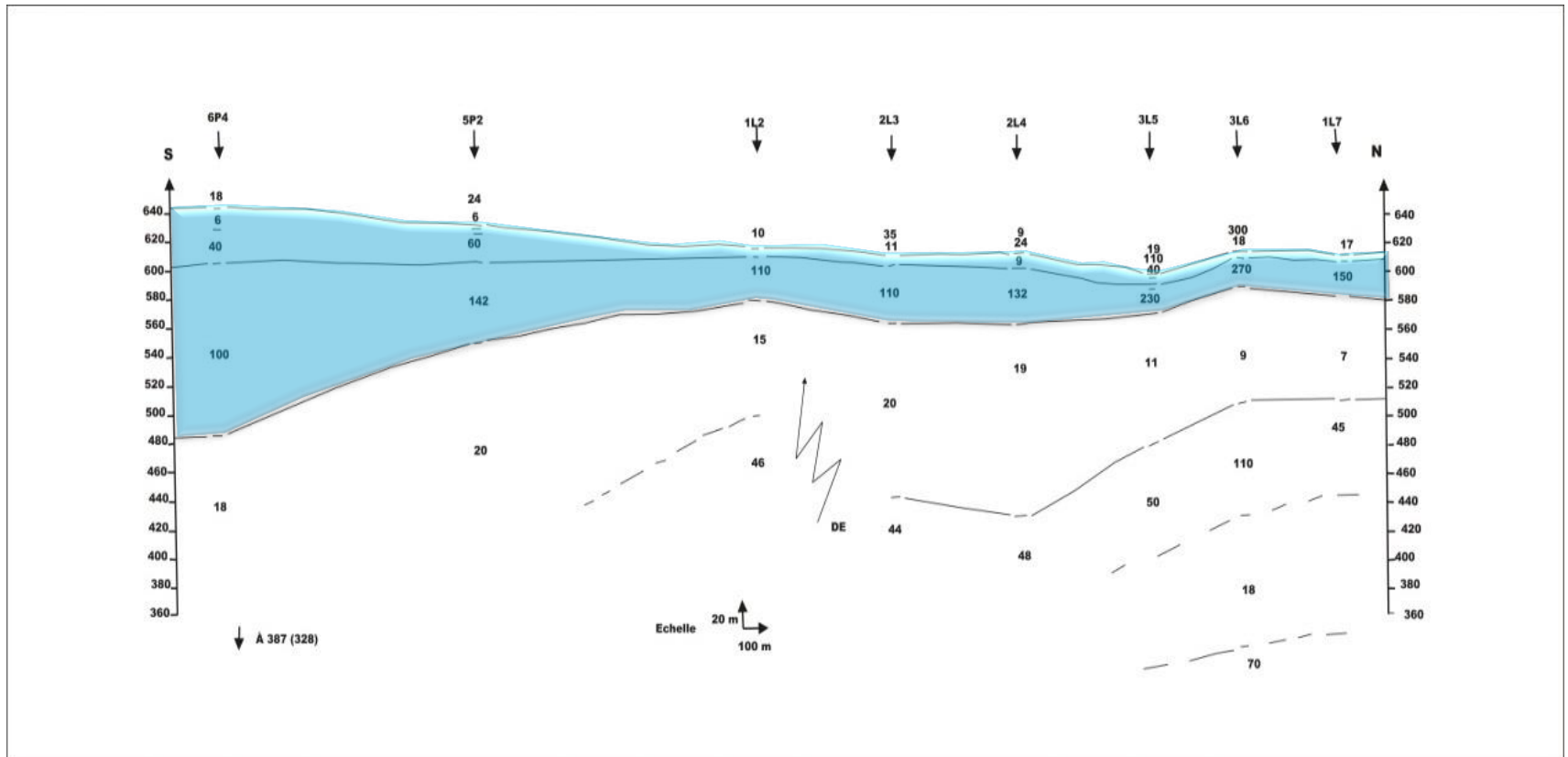


Figure 34: Coupe Géoelectrique 4



La coupe géoélectrique (Fig. 34) traverse le domaine étudié du S vers le N. Cette coupe comprend les sondages électriques 6P4, 5P2, 1L2, 2L3, 2L4, 3L5, 3L6 et 1L7.

A partir de la coupe géoélectrique on note une variation importante de l'épaisseur des couches on allant du nord vers le sud, il est importantes dans la zone Sud et faible dans la zone Nord.

On remarque aussi un niveau résistance très profond qui correspond soit à des calcaires liasique ou à des schistes paléozoïques.

La partie colorée en bleu correspond à l'aquifère superficielle qui présente une épaisseur très important vers le Sud où leur profondeur atteint 155 m.

## VI Résultat des traîné électrique

### VI.1. Profil du traîné électrique TE1

Le profil TE1 a une longueur de 640m. Sa direction générale est WSW-ENE (Fig. 35).sa profondeur d'investigation est 34 m. L'analyse du profil obtenu permet de mettre en évidence trois anomalies intéressantes A1, A2 et A3.ces anomalies correspond des fractures au niveau des grès du plio-quaternaire. Ils présentent un intérêt hydrogéologique important.

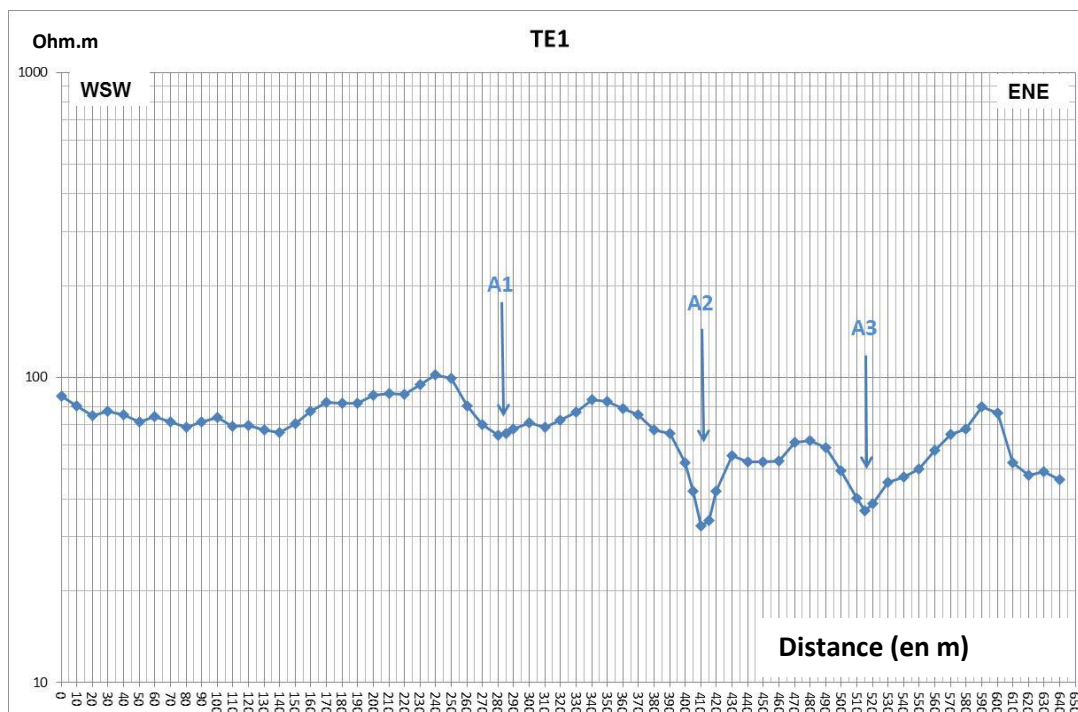


Figure 35: Profil du traîné électrique TE1



## VI.2. Profil du traîné électrique TE2

Le profil TE2 a une longueur de 1320m. Sa direction générale est WSW-ENE (Fig. 36). sa profondeur d'investigation est 34 m. L'analyse du profil obtenu permet de mettre en évidence sept anomalies intéressantes A1 à A7. Ces anomalies électriques correspondent des fractures au niveau des grès du plio-quaternaire. Ils présentent un intérêt hydrogéologique important.

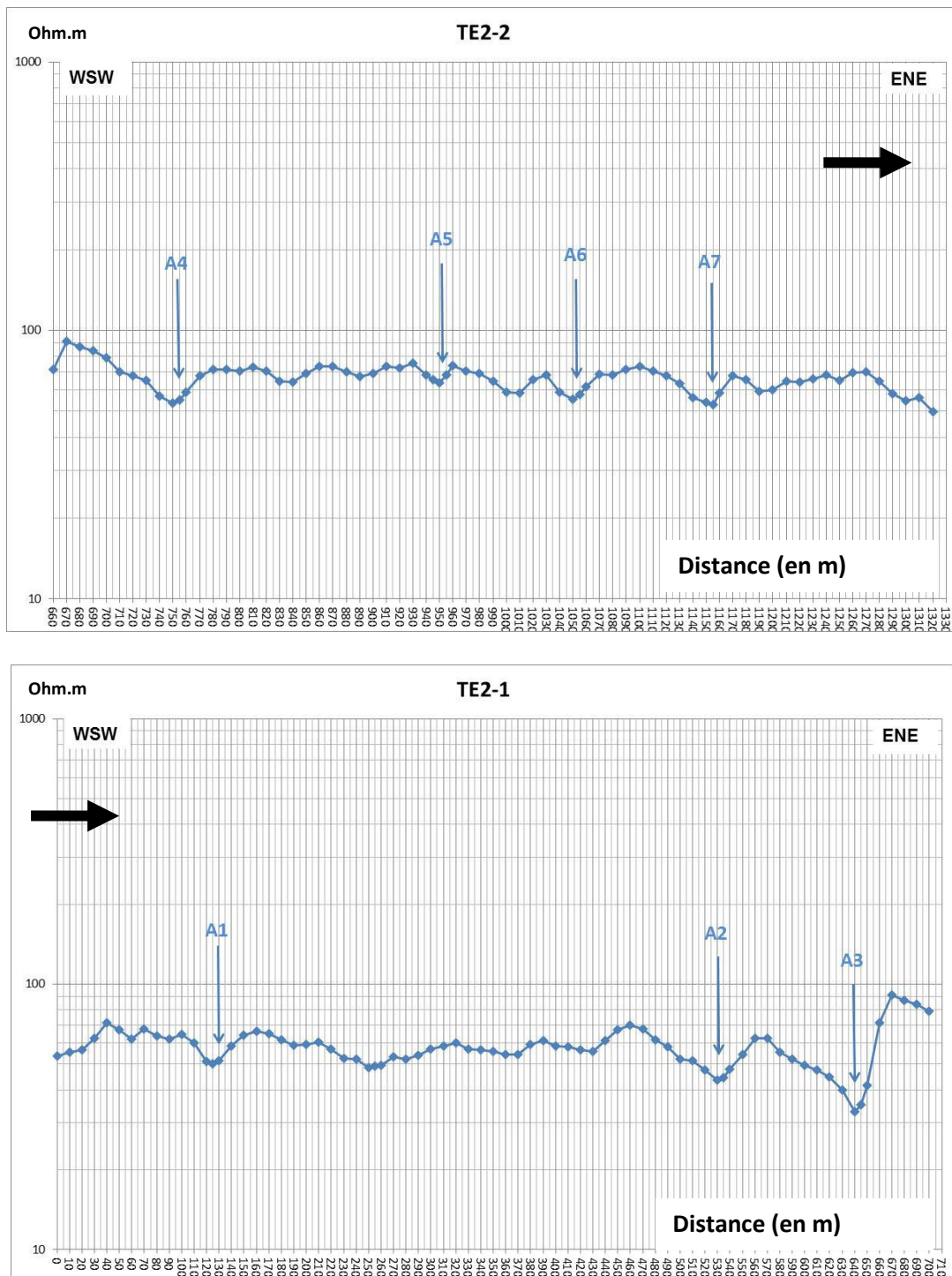


Figure 36: Profil du traîné électriques TE2



### VI.3. Profil du traîné électrique TE3

Le profil TE3 a une longueur de 1110m. Sa direction générale est WSW-ENE (Fig. 37). Sa profondeur d'investigation est 34 m. L'analyse du profil obtenu permet de mettre en évidence sept anomalies intéressantes A1 à A7. Ces anomalies correspondent des fractures au niveau des grès du plio-quaternaire. Ils présentent un intérêt hydrogéologique important.

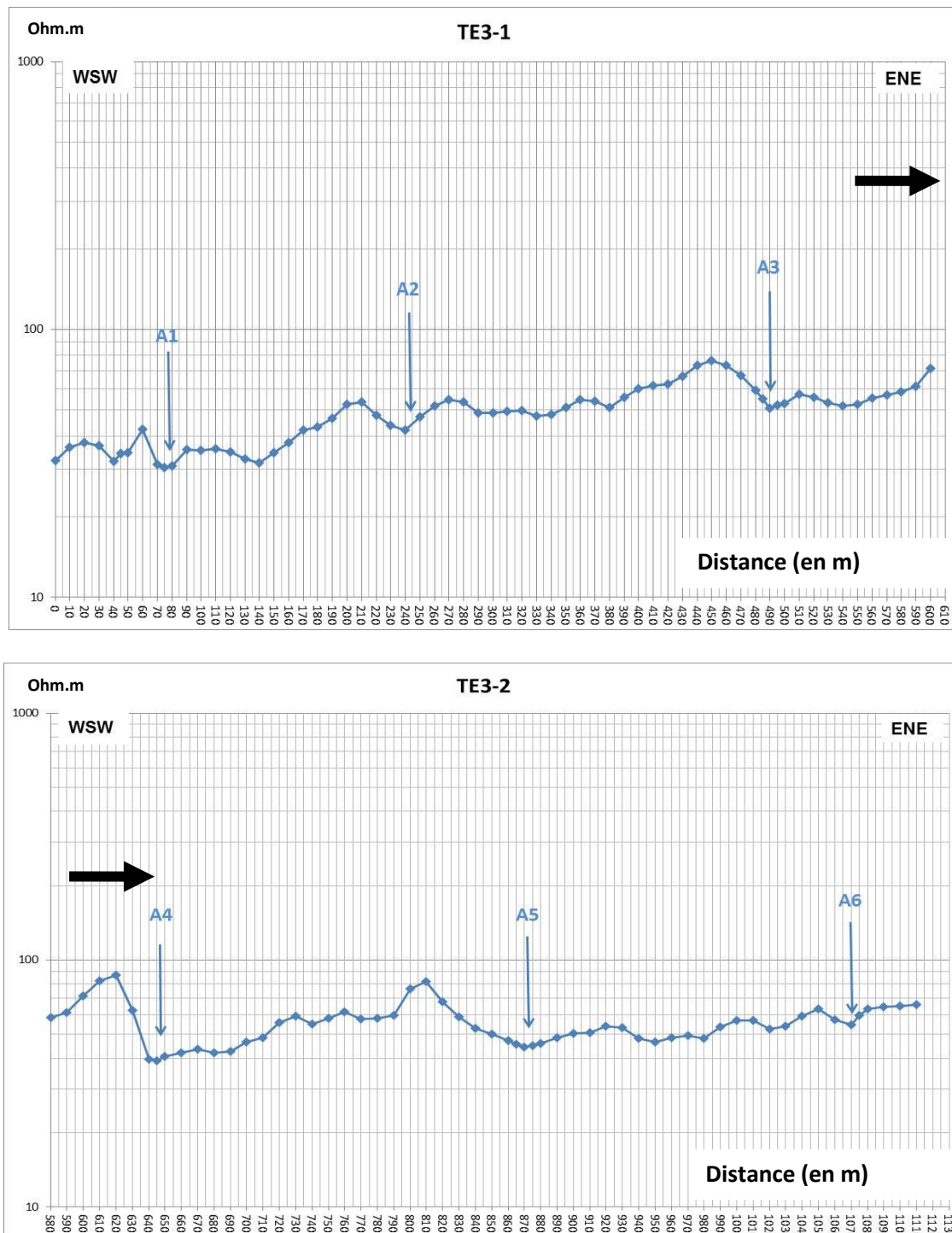


Figure 37: Profil du traîné électriques TE3



## Conclusion

Le domaine étudié est situé dans la commune rurale Ras Jerry à l'extrémité Ouest du bassin Saïss. Les méthodes électriques réalisées sont très utilisées en hydrogéologie. Elles se basent sur la mesure de la résistivité des formations géologiques. Selon le procédé, nous distinguons entre les sondages, les traînés et le profilage électrique.

L'objet de cette étude géoélectrique et après toute une série de traitement des données géoélectrique comportant des traînés électriques et des sondages électrique à savoir :

- ✓ Une analyse des profils des traînés électriques ;
- ✓ Une interprétation de sondages électriques ;
- ✓ La carte de résistivités apparentes pour AB=300m ET AB=600m et AB=1000m ;
- ✓ La carte des isopaque des terrains Plio-quaternaire ;
- ✓ Carte des isohypses du toit du conducteur marneux ;
- ✓ Les coupes géoélectrique ;

Je tire les renseignements suivant :

- ✓ Les formations Plio-quaternaire sont des sables, des grès, des argiles, et des argiles sableux constituant un réservoir pour l'aquifère superficiel ;
- ✓ Le substratum de l'aquifère superficiel est constitué par des marnes miocène ;
- ✓ Un horizon géoélectrique profond résistant a été mis en évidence par les sondages électriques profonds. Sa lithologie n'est pas bien définie et difficile à interpréter car il pourrait être soit des schistes paléozoïques soit des calcaires liasiques.



## Conclusions générales

La région de Ras Jerry qui fait partie de l'Ouest du bassin de saïs ; cette zone est limitée au Nord par le Prérif, et au Sud par la meseta centrale et les atlas, à l'Ouest cette zone est limitée par la plaine de Gharb, et vers l'Est par le domaine atlasique, ce sont parmi les principales traits structuraux du Maroc.

La région de Ras Jerry, constituer la limite du bassin de saïs, ou les ressources en eaux souterraines sont bien limitées, le substratum est proche du sol, constitué par de schistes du paléozoïque. La nappe profonde à grande productivité qui constitue le principale aquifère dans le bassin de saïs est probablement absent.

A la lumière de cette étude de reconnaissance hydrogéologique par prospection géophysique utilisant la méthode géoélectrique (sondages et traînés électriques), il en ressort les points importants suivants :

- L'aquifère superficiel du plio-quaternaire constitué de sables et des sables argileux et des grés est généralisé dans la zone étudiée ;
- L'épaisseur de cet aquifère superficiel est variable dans le domaine étudié. Elle varie entre 30m dans la partie Nord et plus de 150m dans la partie Sud ;
- Le substratum de l'aquifère superficiel est constitué par des marnes miocène ;
- Un horizon géoélectrique profond résistant a été mis en évidence par les sondages électriques profonds. Sa lithologie n'est pas bien définie et difficile à interpréter car il pourrait être soit des schistes paléozoïques soit des calcaires liasiques.

De point de vue tectonique, les terrains de cette zone sont touchés par un ensemble des fractures traduit par des discontinuités électrique obtenu lors de analyse des traînés et des coupes réalisés.

**En recommandation**, les zones intéressantes de point de vue hydrogéologique se situe :

- dans la partie Sud de la zone étudiée car les plus grandes épaisseurs de la nappe phréatique (les sable et les grés d'âge plio-quaternaire) se situe dans cette zone ;
- au niveau des anomalies électriques trouver par les traînés électriques.

À savoir aussi que la présence de la nappe profonde (les calcaires liasique) dans cette zone reste encore une problématique à résoudre par un sondage destructive.





**ANNEXE**

**Annexe 1 : coordonnées des sondages et des trainés électriques**

SEV	X	Y	Z	Direction
1P1	474653	354490	612	SSE-NNW
1P2	474746	354113	623	SSE-NNW
1P3	474932	353649	629	SSE-NNW
1P4	475026	353401	631	SSE-NNW
2P1	474244	354287	600	E-W
2P2	474364	353931	603	SSE-NNW
2P3	474629	353216	611	SSE-NNW
2P4	474702	352989	618	SSE-NNW
3P1	473927	354124	614	E-W
3P2	474092	353850	618	SSE-NNW
3P3	474276	353369	619	SSE-NNW
3P4	474413	352879	627	SSE-NNW
4P1	473623	354025	617	SE-NW
4P2	473569	353681	622	SSE-NNW
4P3	473727	353161	633	SSE-NNW
4P4	473898	352633	644	SSE-NNW
5P1	473136	353827	618	SSE-NNW
5P2	473293	353473	626	SSE-NNW
5P3	473515	353061	628	SSE-NNW
5P4	473691	352591	643	SSE-NNW
6P1	472816	353682	625	SSE-NNW
6P2	472908	353264	632	SSE-NNW
6P3	473077	352812	634	SSE-NNW
6P4	473234	352415	642	SSE-NNW
1P1	473595	354078	617	SE-NW
1P2	473411	354542	605	SE-NW
1P3	473220	355033	600	SE-NW
1P4	473099	355555	595	SE-NW
1P5	472988	356062	594	NE-SW
1P6	472926	356468	580	NE-SW
1P7	473291	357048	572	SE-NW
2P1	473819	354168	614	E-W
2P2	473645	354640	607	E-W
2P3	473447	355120	599	SE-NW
2P4	473298	355632	598	SE-NW
2P5	473177	356171	589	N-S
2P6	473084	356518	577	E-W
3P1	474062	354268	607	E-W



3P2	473902	354738	599	NNE-SSW
3P3	473693	355238	592	E-W
3P4	473530	355740	585	NNE-SSW
3P5	473395	356268	580	NE-SW
3P6	473287	356618	577	SE-NW
4P1	474298	354378	600	E-W
4P2	474139	354828	597	SE-NW
4P3	473943	355343	596	SE-NW
4P4	473730	355840	587	SW-NE
4P5	473576	356333	579	SW-NE
4P6	473479	356630	580	NE-SW
5P1	474632	354532	617	N-S
5P2	474368	354740	611	N-S
5P3	474195	355460	606	N-S
6P2	474559	355008	613	N-S
6P3	474466	355528	604	N-S

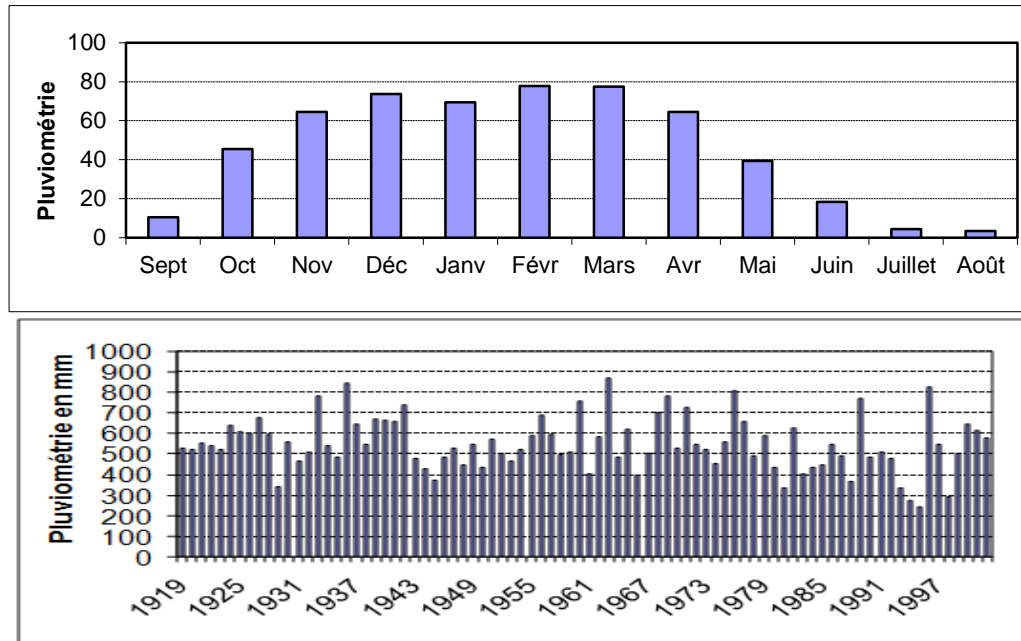
Tableau des Coordonnés des sondages électriques

Trainé	Coordonne	Début	Fin
TEC1	X	472993	473567
	Y	356063	356368
TEC2	X	473221	474476
	Y	355111	355519
TEC3	X	473588	474651
	Y	354041	354507

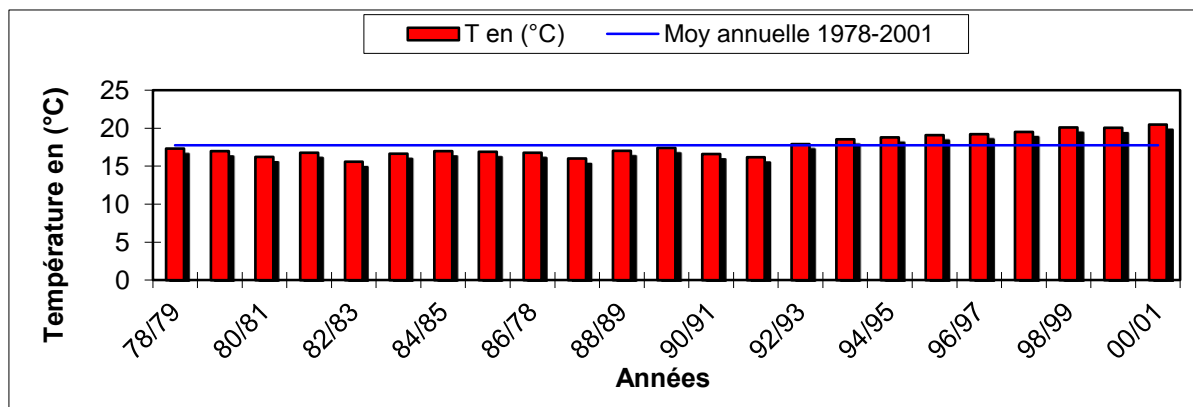
Tableau des Coordonnes des trainés électriques



## Annexe 2 : Pluviométrie et la température de la station de Meknès



Pluviométrie de la station de Meknès (1919-1997)



Température Moyenne annuelle de la station de Meknès (1978-2001)



Annexe 3 : photos au cours du terrain(2014)



Photo 2: implanter des piquets



Photo 1: implanter des piquets



Photo 3 : étaler les files des bobines et prendre les mesures





### ***Bibliographie***

- **ESSAAHLOUI A., (2000).** *“Contribution à la reconnaissance des formations aquifères dans le bassin de saïs (Maroc) : prospection géoélectrique, étude hydrogéologique et inventaire des ressources en eau”*. Thèse de doctorat en sciences appliquées. Emie. Rabat. P250.
- **AMRAOUI F., (2005).** *“Contribution à la reconnaissance des aquifères karstique, cas du Lias de la plaine de saïs et du cause moyen atlasique tabulaire (Maroc) ”*, thèse de doctorat d'état, université Hassan ii Ain Chock, faculté des sciences, Casablanca, P227.
- **OUHSSAIN M., (2008).** *“Apport de la géophysique a la reconnaissance hydrogéologiques des Rides de kafs et Ain jemaat”*. P3 3-42.
- **HARMOUZI O., (2010).** *“Reconnaissance détaillée de la partie nord-est du Bassin de Saïss(MAROC): interprétation de sondages électriques verticaux par combinaison des méthodes statistique, géostatistique et d'inversion”*. P.8-15.
- **AHMAMOU M., (1987).** *“Etude sédimentologie des calcaires lacustres saïssiene (plio-Quaternaire) du bassin de Fès- Meknès (Maroc) ”*
- **Essahlaoui A, Sahbi A, Bahi L, El-Yamine N., (2001),** *“ Preliminary survey of the structure and hydrogeology of the western Saïss Basin, Morocco, using electrical resistivity: Journal of African Earth Sciences,*
- **BOUALOUL M., (2012)** – *Notes de cours de géophysique Appliquée. Faculté des Sciences, Meknès*
- **EL OUALI A., (2012)** - *Notes de cours d'Hydrogéologie Appliquée. Faculté des Sciences, Meknès*
- **SAHBI H., (2010)** – *Notes de cours d'Hydrogéologie Appliquée. Faculté des Sciences, Meknès*
- **SAHBI H., 2010** - *Notes de cours de Géophysique Appliquée. Faculté des Sciences, Meknès*
- **Agence du bassin hydraulique du Sebou ., (2006).** P68-72
- **SITUATION HYDROLOGIQUE DU BASSIN DU SEBOU Année hydrologique 2008/2009**
- **Météorologie régionale. , (2001-2010).** station de Meknès.