

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mohamed Khider- Biskra  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département de Génie Civil et d'Hydraulique



جامعة محمد خيضر – بسكرة  
كلية العلوم و التكنولوجيا  
قسم الهندسة المدنية و الري

Ref : /2020

## Mémoire de Master

2<sup>ème</sup> année

Option : Hydraulique Urbaine

### THEME

**PROSPECTION PAR SONDAGE ELECTRIQUE  
VERTICAL DE LA NAPPE DES CALCAIRES DE TOLGA**

Etudiant :

Nacer ZIOUNE

Encadreur :

Dr. Abdallah LABADI

PROMOTION : Juin 2020

## *Remerciements*

*En premier lieu, je tiens à remercier ALLAH, notre créateur pour nous avoir donné la force pour accomplir ce travail.*

*Au terme de ce travail je remercie en premier lieu Mr LABADI ABDALLAH, mon promoteur pour son aide précieuse, pour ses remarques pertinentes et surtout pour le temps qu'il nous a accordé et ceci malgré ses nombreuses charges.*

*Mes remerciements les plus chaleureux s'adressent également à Monsieur FAYSSAL LATIF pour son aide et sa disponibilité.*

*J'exprime mes remerciements les plus sincères aux membres de jury qui ont bien voulu nous faire l'honneur de juger ce modeste travail.*

*Mes vifs remerciements sont également adressés à tous les enseignants du département d'Hydraulique.*

*Merci à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire.*

## *Dédicace*

*Avant tous, je remercie dieu le tout puissant de m'avoir Donné le courage et la patience pour réaliser ce travail*

*Je dédie ce modeste travail :*

*A' Toute ma famille.*

*Ma chère Maman : DJEMAA que dieu me la protège*

*Mes chers frères et sœurs : IBRAHIM, SALIM, BADRI, LAALA, FATIMA.*

*Je passe ensuite une dédicace spéciale à ma femme: AMIRA et mes enfants: TAKOUA ET YAKINE.*

*Enfin, à tous mes collègues d'hydraulique et tous mes amis que j'ai connu dans ma vie.*

## Résumé

D'un point de vue géologique, la région de Tolga se présente comme un pays de transition structural et sédimentaire entre deux domaines ; atlasique au Nord et saharien au Sud.

Par sa position géographique privilégiée, la région de Tolga se caractérise par une vocation de type sylvo-agro-pastoral dont l'agriculture se distingue par une importante superficie en palmiers dattiers (phoeniculture).

Les études géologiques et hydrogéologiques ont permis de mettre en évidence l'existence de plusieurs réservoirs aquifères d'importance bien distincte de part leur constitution lithologique, leur structure géologique et les facilités d'exploitation qu'ils présentent. Ces aquifères appartiennent au Quaternaire, au Mio-Pliocène, à l'Eocène inférieur et le Sénonien supérieur (Maestrichtien) et à l'Albien.

Ce travail est dédié au deuxième aquifère le plus important de la région qui est l'aquifère carbonaté de l'Eocène. Il détaille l'étude géophysique comme moyen de reconnaissance géologique et structurale. La prospection par sondage électrique vertical offre ainsi un argument de plus quand à la compréhension du fonctionnement de cet aquifère.

## المخلص

من الناحية الجيولوجية، تمثل طولقة منطقة بنيوية ورسوبية انتقالية بين مجالين. أطلس في الشمال والصحراء في الجنوب.

تتميز هذه المنطقة بموقعها الجغرافي المتميز، بدعوة من النوع السيلفو-الزراعي-الرعي الذي تتميز زراعته بمساحة كبيرة من النخيل (الفينيقية).

من خلال موقعها الجغرافي المتميز، وهي شهيرة بجودة تمورها، فهي تنتج أجود أنواع التمور في العالم، كذلك تشتهر مدينة طولقة بكثرة آبارها، وأراضيها الخصبة الزراعية.

أتاحت الدراسات الجيولوجية والهيدروجيولوجية تسليط الضوء على وجود العديد من طبقات المياه الجوفية ذات الأهمية المتميزة نظرًا لتكوينها الصخري وبنيتها الجيولوجية ومرافق التشغيل الموجودة بها. تنتمي طبقات المياه الجوفية هذه إلى العديد من الأحقاب الجيولوجية.

هذا العمل مخصص لثاني أهم طبقة مياه جوفية في المنطقة وهي طبقة كربونات الإيوسين. و تعتمد على الدراسة الجيوفيزيائية كوسيلة للاستكشاف الجيولوجي والهيكلية وبالتالي، فإن التنقيب عن طريق السبر الكهربائي العمودي يقدم حجة أخرى عندما يتعلق الأمر بفهم عمل طبقة المياه الجوفية هذه.

# SOMMAIRE

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

## *Chapitre I*

### *Notions de géophysique*

I.1	Introduction .....	3
I.2	La résistivité électrique des roches .....	3
I.3	Facteurs influençant la résistivité électrique .....	5
I.3.1	La porosité et la fracturation .....	5
I.3.2	La quantité et la qualité d'eau d'imbibition .....	5
I.3.3	La température.....	5
I.4	La loi d'Archie.....	6
I.5	Les différents modes de conduction électrique .....	6
I.5.1	La conductibilité électronique .....	6
I.5.2	La conductibilité électrolytique .....	6
I.6	Méthodes géophysique électrique.....	7
I.6.1	Les principaux dispositifs de mesure .....	8
I.6.1.1	Dispositif de Schlumberger .....	8
I.6.1.2	Dispositif de Wenner .....	8
I.6.1.3	Dispositif Wenner-Schlumberger .....	8
I.6.1.4	Dispositif Dipôle-Dipôle .....	9
I.7	Sondage électrique verticale (SEV).....	9
I.8	Trainé électrique .....	10
I.9	Tomographie de résistivité électrique (TRE) .....	11
I.10	Conclusion.....	12

## *Chapitre II*

### *Appareillage de géophysique électrique*

II.1	Introduction .....	13
II.2	Ohmega Résistivimètre .....	13
II.3	Résistivimètre SYSCAL PRO (IRIS Instrument) .....	14
II.4	Resistivimetre ABEM TERRAMETER SAS1000.....	15

II.5	Resistivimetre 4point Light 10W .....	15
II.6	Geoseeker (Nouveau détecteur d'eau et cavité) .....	16
II.6.1	Scan Actif (précis) .....	16
II.6.2	Scan Actif (rapide).....	17
II.6.3	Scan Passif.....	17
II.7	saris .....	18
II.8	Logiciel d'inversion 2D : Res2Dinv .....	22
II.8.1	Introduction .....	22
II.8.2	Importation des données .....	22
II.8.3	Quelques paramètres pouvant être modifiés .....	23
II.8.4	L'inversion.....	24
II.8.5	Visualisation du résultat de l'inversion .....	24
II.9	Protocole de mesure .....	25
II.10	Traitement des données.....	25
II.10.1	Imagerie électrique .....	25
II.10.2	L'inversion .....	25
II.10.3	Les paramètres modifier durant le traitement.....	26
I.10.3.1	Eliminer les mauvaises données .....	26
I.10.3.2	Raffinement du model.....	27
II.11	Conclusion .....	28

## ***Chapitre III***

### ***Présentation du secteur d'étude « Région de Tolga »***

III.1	Introduction. ....	29
III.2	Caractéristiques socio-économiques .....	30
III.3	Hydroclimatologie .....	30
III.3.1	Les précipitations.....	31
III.3.2	Les températures.....	45
III.4	Description lithostratigraphique .....	46
III.4.1	Le Cénomaniens.....	46
III.4.2	Le Turonien .....	47
III.4.3	Le Sénonien.....	47
III.4.4	Le Paléogène .....	48
III.4.4.1	L'Eocène inférieur.....	49
III.4.4.2	L'Eocène moyen .....	50
III.5	Aperçu hydrogéologique.....	50
III.5.1	Piezométrie de la nappe des calcaires .....	52
III.5.2	Les apports (alimentation directe) et les exutoires .....	53
III.6	Conclusion.....	53

## *Chapitre IV*

### *Etude par sondages électrique verticales de la région de Tolga*

IV.1	Introduction .....	55
IV.2	Echelle de résistivité retenue .....	56
IV.2.1	Sondages électriques P1 à P10 .....	57
IV.2.2	Les sondages électriques TBO (FS3), TDO (FS10) et OG2 (FS2) .....	59
IV.2.3	Le sondage électrique OF4 (FS61) .....	61
IV.2.4	Difficultés d'interprétation .....	63
IV.3	Carte des résistivités apparentes .....	63
IV.3.1.1	Zone A.....	63
IV.3.1.2	Zone B.....	64
IV.3.1.3	Zone C.....	64
IV.3.1.4	Zone D.....	65
IV.4	La carte du toit de l'Eocène inférieur .....	66
IV.5	Conclusion.....	67
	Conclusion générale .....	69
	Références bibliographiques .....	70

## LISTE DES FIGURES

Figure I.1 : Classification de différents sols, roches et liquides du point de vue de leur résistivité.....	4
Figure I.2 : Schéma en coupe du principe de la prospection électrique.....	7
Figure I.3 : Dispositifs quadripôles.....	9
Figure I.4 : Principe du sondage électrique (écartement progressif des électrodes en gardant le dispositif centré sur un point). ....	10
Figure I.5 : Principe du traîné électrique (déplacement du dispositif le long d'un profil en gardant un écartement constant entre les électrodes).....	11
Figure II.1 : Ohmega-Résistivimètre .....	13
Figure II.2 : Résistivimètre SYSCAL PRO.....	14
Figure II.3 : Résistivimètre TERRAMETER SAS1000 .....	15
Figure II.4 : Résistivimètre 4POINT LIGHT 10W.....	16
Figure II.5 : GEOSEEKER .....	17
Figure II.6 : Electrode de mesure et sa bobine de raccordement.....	18
Figure II.7 : système SARIS Scintrex.....	18
Figure II.8 : Description du clavier de Résistivimètre SARIS .....	20
Figure II.9 : Fonction/Touches alphanumériques.....	21
Figure II.10 : Direction/Signe.....	21
Figure II.11 : Emplacement des électrodes .....	22
Figure II.12 : Elimination des valeurs aberrantes .....	23
Figure II.13 : La découpe du profil en plusieurs blocs dont la taille augmente avec la profondeur.....	26
Figure II.14 : L'élimination des mauvais points de mesure dans logiciel RES2DINV .....	27
Figure II.15 : La boîte de dialogue de l'option raffinement du model.....	27
Figure III.1 : Situation géographique de la région de Tolga. ....	29
Figure III.2 : Précipitations annuelles médianes « normales» période 1965-95. (ANRH-GTZ, 2003) .....	31
Figure III.3 : Répartition des précipitations annuelles aux stations de Biskra et El Outaya, période (1970-2001).....	32
Figure III.4 : Variation inter-annuelle des précipitations à la station de Biskra période 1977-2008 .....	44
Figure III.5 : Précipitations moyennes mensuelles station de Biskra Période 1976/2008 .....	45
Figure III.6 : Températures mensuelles maximales, moyennes et minimales. Station de Biskra,.....	46
Figure III.7 : Variation de faciès de l'Eocène du Ziban (d'après J. Flandrin, 1948).....	49

Figure III.8 : Zone d’affleurement de l’Eocène inférieur (extrait de la carte géologique 1962, 1/200.000). .....	49
Figure III.9 : Coupe géologique Nord-Sud (extraite de la carte hydrogéologique).....	50
Figure III.10 : Carte piézométrique des eaux de la nappe des calcaires (Extrait de la carte hydrogéologique de Biskra, 1971).....	52
Figure IV.1 : Situation de l’étude géophysique .....	56
Figure IV.2 : Sondages électriques étalons P1 à P10.....	59
Figure IV.3 : Sondages électriques étalons ; forages FS2 (OG2), FS 10 (TDO) et FS 3 (TBO).....	60
Figure IV.4 : Sondage électrique étalon OF4 .....	62
Figure IV.5 : Carte des résistivités apparentes en ligne AB=1000m (D’après la C.G.G, 1970 modifiée). .....	64
Figure IV.6 : Carte du toit de l’Eocène inférieur carbonaté (D’après la C.G.G, 1970 modifiée).....	66
Figure IV.7 : Coupes géoélectriques (D’après la C.G.G, 1970).....	67

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau III.1 : Caractéristiques des postes pluviométriques (source ANRH).....	32
Tableau III.2 : Précipitations moyennes annuelles aux stations de Biskra et El Outaya. Période 1970-2001 .....	32
Tableau III.3 : Températures annuelles à la station de Biskra. Période 1976-2008.....	45

***INTRODUCTION  
GENERALE***

## INTRODUCTION GENERALE

Les oasis de sources sont nombreuses au Sahara, particulièrement dans sa partie septentrionale. L'exemple le plus remarquable est fourni par la région de Biskra et par le groupe des oasis du Zab Dahraoui et du Zab Guebli. Au pied des collines des Zibans jaillissaient autrefois de nombreuses sources qui jalonnaient la zone de contact entre des formations géologiques différentes.

Le nom géographique de Zibans (pluriel de Zab) s'applique à la grande plaine qui s'étend, de part et d'autre de Biskra, à l'Est, au pied des contreforts de l'Aurès, à l'Ouest, au pied de collines de faible altitude. On distingue le Zab Chergui (le long des Aurès), le Zab Dahraoui (région de Tolga) et le Zab Guebli (région de Mlili et d'Oumeche).

La nappe des calcaires du Sénonien et de l'Eocène marins procure des ressources hydrauliques non négligeables dans les Zibans. Elle n'a pas l'importance de la nappe du Continental intercalaire mais elle n'en est pas moins présente dans tout le Bas-Sahara.

C'est ainsi que nous nous sommes intéressés à l'étude de l'aquifère carbonaté de l'Eocène des Zibans, appelé « nappe des calcaires de Tolga » afin de mieux comprendre le mode de circulation des eaux de ce réservoir.

Le présent travail a consisté en l'analyse et l'étude des résultats de la campagne de géophysique réalisée dans la région de Tolga afin d'arriver à la caractérisation de l'aquifère carbonaté et d'approcher un portrait hydrogéologique du réservoir souterrain.

Les méthodes géophysiques par sondages électriques sont des méthodes très utilisées en hydrogéologie, La prospection électrique est l'une des méthodes de géophysiques qui repose essentiellement sur l'interprétation de la résistance électrique du terrain. C'est par la mesure d'une différence de potentiel d'une part et d'une intensité d'autre part que l'on accède à la valeur de la résistance.

La première partie de ce mémoire a porté sur la familiarisation avec les méthodes de géophysique appliquées dans le domaine de l'hydrogéologie. Il s'agit des trois méthodes de prospection électrique : le sondage électrique vertical (SEV), les méthodes électromagnétiques et les méthodes sismiques.

Le deuxième chapitre est consacré à la description de l'appareil disponible au niveau du laboratoire de Génie Civil et mis à la disposition du laboratoire d'aménagements hydrauliques

et environnement, qui est le résistivimètre SARIS (Scintrex Automated Resistivity Imaging System). D'autres instruments de mesures utilisées dans le domaine de la géophysique électrique ont été présentés, ainsi que le logiciel d'inversion le plus couramment utilisé dans les milieux universitaires et privés, qui est le Res2Dinv.

Nous avons voulu, à travers le troisième chapitre, présenter la zone d'étude qui est la région de Tolga. Un bref historique de l'exploitation de cette aquifère et un aperçu géologique et hydrogéologique ont été avancés.

Le quatrième chapitre traite de l'étude géophysique par prospection électrique de la région de Tolga d'après les données de la Compagnie Générale de Géophysique (C.G.G.) qui a effectué le travail pour le compte de la DHW de Biskra. Les travaux sur le terrain qui ont eu lieu comportent l'exécution de 445 sondages électriques en longueur de ligne AB comprises entre 1000 et 6000 m.

# *Chapitre I*

## *Notions de géophysique*

## I.1 INTRODUCTION

Généralement, le rôle de la géophysique lors des études hydrogéologiques est de mieux comprendre la structure du sous-sol afin de délimiter les zones les plus favorables à l'emmagasiner d'eau souterraine. la géophysique ou la physique de la terre permet d'imager la structure du sous-sol grâce à l'étude des propriétés physique du sous-sol. En hydrogéologie, l'application de la géophysique permet de déterminer des paramètres fondamentaux indispensable à l'études des potentialités des aquifères, notamment : la profondeur, l'épaisseur et les extensions latérale d'une formation aquifère ainsi la localisation des fractures affectant les formations souterraines.

La géophysique comprend un ensemble des méthodes, qui peuvent être classées dans deux catégories :

- Les méthodes passives ou naturelles comme les méthodes gravimétriques et magnétiques qui consistent à mesurer la variation d'un champ naturel créé par la terre.
- Les méthodes actives ou provoquées comme les méthodes électriques, sismiques et électromagnétiques qui consistent à étudier les propriétés d'un champ créé artificiellement par l'opérateur.

Récemment, les méthodes géophysique représentent les principales méthodes de prospection et de détection des aquifères souterraines et en particulier les méthodes électriques. Ces méthodes sont donc basées sur l'étude des propriétés électriques des sols et des roches à conduire le courant électrique et la mesure de leur résistivité.

Dans ce chapitre nous nous sommes intéressés aux méthodes de prospection électrique appliquées aux recherches des eaux souterraines et à l'identification des aquifères, nous allons présenter en détailles les différents types de ces méthodes.

## I.2 LA RESISTIVITE ELECTRIQUE DES ROCHES

Au début, nous savons que la conductibilité est égale à l'inverse de la résistivité. Dans cette optique et d'après **Chapellier**, la résistivité électrique  $\rho$  est une grandeur physique

caractéristique d'un milieu ou d'une roche donnée, consiste à déterminer la capacité de ce milieu à conduire le courant électrique. Elle est exprimée en Ohm-mètre ( $\Omega.m$ ).

La résistivité électrique des roches offre une gamme de variation très large selon le type de la roche, de plus, elle est principalement liée à plusieurs paramètres tels que la porosité, la présence d'eau, les fractures existantes dans la roche, la présence de sel et la température.

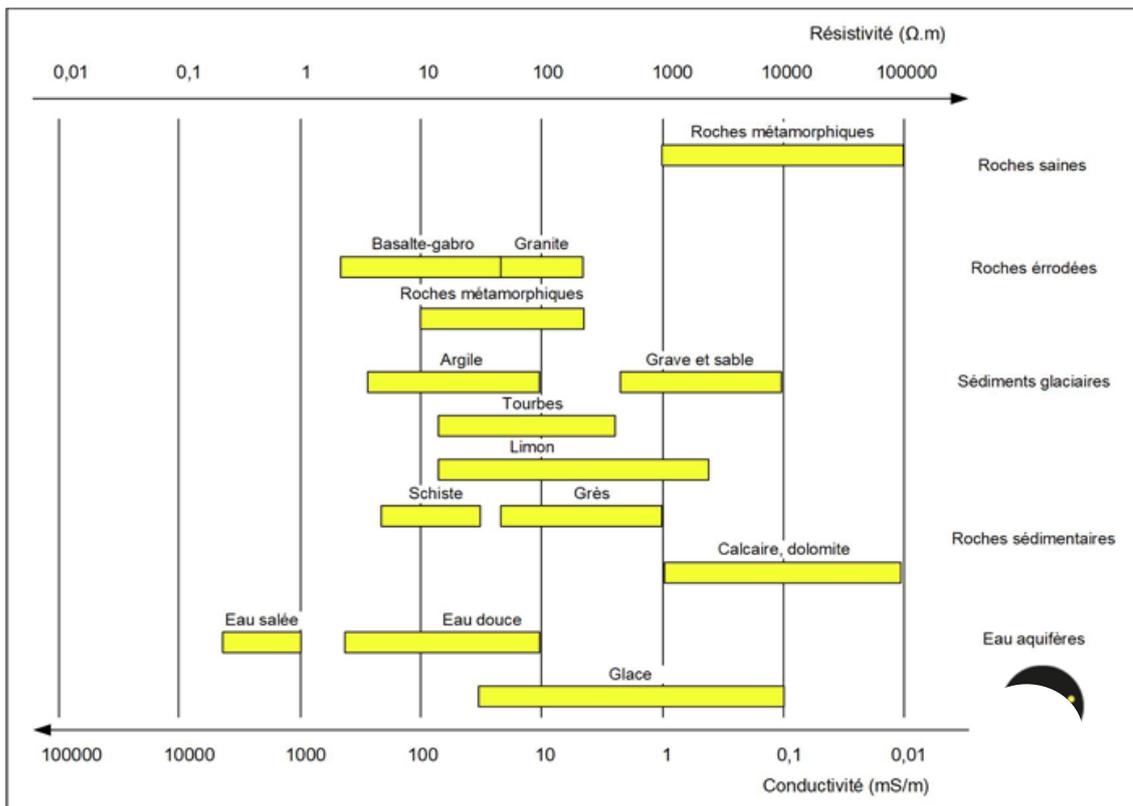


Figure I.1 : Classification de différents sols, roches et liquides du point de vue de leur résistivité.

La résistivité électrique apparente est calculée par une formule, dérivée de la loi d'Ohm :

$$\rho_a = K (\Delta V/I).$$

où :

$\Delta V$  : la différence de potentiel exprimée en volts (V).

$I$  : l'intensité du courant injecté exprimé en ampère (A).

$K$  : est le coefficient géométrique dépendant des distances entre les 4 électrodes. Il est défini par :

$$k = \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN}\right)}$$

où :AM, AN, BM et BN sont les distances entre les différentes électrodes.

### I.3 FACTEURS INFLUENCANT LA RESISTIVITE ELECTRIQUE

La résistivité électrique, pour la majorité des roches, est entièrement électrolytique. Le déplacement du courant électrique se fait grâce à l'eau qui est contenue dans la roche. Comme nous l'avons évoqué précédemment, les différences entre les résistivités électriques des roches dépendent de plusieurs facteurs, ces facteurs peuvent entraîner des variations dans le courant, parmi ces facteurs :

#### I.3.1 La porosité et la fracturation

Comme il est bien connu que la porosité d'une formation géologique est définie par le rapport entre le volume des vides et le volume total. La porosité dépend de la taille, le volume, l'arrangement et la disposition des pores. Lorsque la taille des pores est petite la porosité diminue et par conséquent la circulation des fluides sera diminuée. De ce fait la résistivité électrique augmente avec la diminution de la porosité. Dans la même optique, la résistivité électrique varie en fonction de la taille et les dimensions des fractures.

#### I.3.2 La quantité et la qualité d'eau d'imbibition

La résistivité électrique dans un terrain saturé en eau sera plus faible qu'un terrain sec, la présence d'eau assure la circulation du courant. En plus, la présence d'eau très minéralisée (eau salée par exemple) dans un terrain rendra celui-ci très conducteur.

#### I.3.3 La température

La résistivité électrique d'un matériau est fonction de sa température. En effet, une augmentation de la température abaisse la viscosité du fluide, ce qui permet une augmentation de la mobilité ionique et de la conduction électrolytique. De ce fait, une augmentation de la température induit une diminution de la résistivité.

#### I.4 LA LOI D'ARCHIE

La loi d'Archie s'applique pour les roches saturées en eau, elle consiste à établir une relation expérimentale qui relie la résistivité électrique de la roche, à celle de l'eau d'imbibition et à la porosité d'un matériau donné.

$$\rho = a \rho_w \phi^{-m}$$

avec :  $\rho_w$  = résistivité de l'eau d'imbibition ;

$\phi$  = porosité ;

$a$  = facteur qui dépend de la lithologie et qui varie entre 0.6 et 2 ( $a < 1$  pour les roches à porosité intergranulaires et  $a > 1$  pour les roches à porosité de fracture) ;

$m$  = facteur de cimentation (Il dépend de la forme des pores, de la compaction et varie entre 1,3 pour les sables non consolidés à 2,2 pour les calcaires cimentés).

#### I.5 LES DIFFERENTS MODES DE CONDUCTION ELECTRIQUE

A l'exception des sulfures métalliques, le graphite, l'hématite et les métaux natifs, la circulation du courant électrique dans les formations géologiques s'effectue majoritairement à travers l'eau d'imbibition de ces formations. Dans cette optique on distingue deux types de conductibilité : la conductibilité électronique et électrolytique.

##### I.5.1 La conductibilité électronique

La circulation du courant se fait par déplacement des électrons libres. On parle de conductibilité électronique ou métallique car c'est une conductibilité analogue à celle des métaux.

##### I.5.2 La conductibilité électrolytique

La conduction du courant électrique est assurée majoritairement par le fluide que contiennent les roches, cela signifie que ce sont les ions qui transportent des charges sous l'effet du champ électrique. Trois paramètres principaux entrent en compte :

- ✓ La qualité de l'électrolyte, c'est à dire de la résistivité de l'eau d'imbibition  $\rho_w$  et par conséquent de la quantité de sels dissous.
- ✓ La quantité d'électrolyte contenu dans l'unité de volume de la roche.
- ✓ Le mode de distribution de l'électrolyte.

## I.6 METHODES GEOPHYSIQUE ELECTRIQUE

Les méthodes de prospection électrique sont des techniques d'investigations géophysiques qui permettent de mieux comprendre la structure du sous-sol grâce à la détermination de la distribution des résistivités électriques des formations qui le composent. La prospection électrique considère donc la détection des effets produits lorsqu'un courant traverse le sous-sol. Ces méthodes appliquées surtout dans la recherche archéologique et la recherche hydrogéologique.

La mesure de la résistivité électrique se fait par injection d'un courant électrique continu dans le sol au moyen d'électrodes d'injection souvent nommées A et B et en mesurant la différence de potentiel créée par le passage du courant au moyen d'électrodes de mesure du potentiel souvent nommées M et N. l'ensemble des électrodes A B M N, constitue un quadripôle.

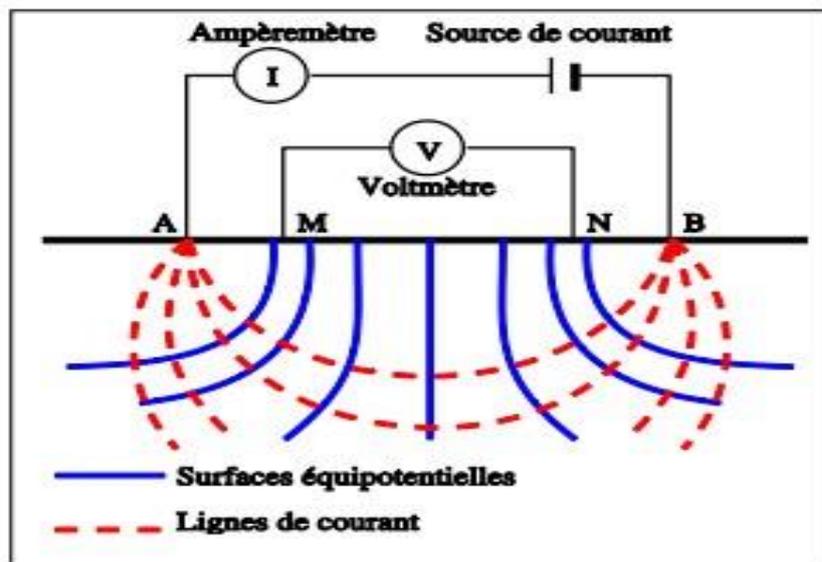


Figure I.2 : Schéma en coupe du principe de la prospection électrique.

## **I.6.1 Les principaux dispositifs de mesure**

Le nombre d'électrode, ainsi que leur agencement définit le dispositif. Le dispositif sert à mesurer la résistivité du sol, pour cela les différents dispositifs utilisés pour les prospections géophysiques sont constitués majoritairement de quatre électrodes A, B, M, N (quadripôle), deux électrodes d'injection du courant (A et B) et deux autres électrodes de mesure potentiel (M et N). Il existe une grande variété de dispositif, dont les différences de dispositif reposent principalement sur la géométrie et la multitude d'arrangement des électrodes, et chacune a des caractéristiques différentes à l'autre. On présente ci-dessous les différences de dispositifs les plus utilisées :

### ***I.6.1.1 Dispositif de Schlumberger***

Les électrodes sont alignées et espacées de telle sorte que la distance entre A et B soit très grande devant la distance entre M et N, elle doit être égale à environ 8 fois la distance MN. Les deux dispositifs de mesure et d'injection ont le même centre. Au début de la campagne de prospection les espacements entre les électrodes AB et MN sont petits, au cours de la prospection les électrodes de mesure M et N sont immobiles au centre du dispositif et on fait varier l'écart entre les électrodes d'injection A et B. Lorsque l'espacement AB devient plus grand que MN ( $4 \leq AB/MN \leq 20$ ), il faut alors augmenter l'espacement MN (processus d'embrayage). L'écartement progressif des électrodes permet une investigation de plus en plus profonde dans le sol. Ce dispositif est très souvent utilisé pour les sondages électriques.

### ***I.6.1.2 Dispositif de Wenner***

Pour ce dispositif les électrodes A, M, N et B sont alignées dans cet ordre et l'espace entre chacune d'elles est identique le long du profil. L'avantage de ce dispositif est la sensibilité à la variation des structures horizontales que verticales. Ce dispositif est le plus couramment utilisé en tomographie.

### ***I.6.1.3 Dispositif Wenner-Schlumberger***

Ce dispositif est un hybride entre le dispositif Wenner (sensible aux variations horizontales) et Schlumberger (sensible aux variations verticales). Ce qui donne l'avantage d'être sensible aux

variations verticales et horizontales, ainsi la densité de point, ce qui permet d'obtenir donc un modèle plus précis.

#### 1.6.1.4 Dispositif Dipôle-Dipôle

Le dispositif Dipole-Dipole fait intervenir deux groupes de électrodes : A et B, d'une part, et M et N d'autre part, ce dispositif est caractérisé par un écartement identique entre les électrodes d'injection A et B et les électrodes de mesures M et N ( $AB = MN = a$ ), toutes étant alignées sur la même ligne. L'écartement entre les centres des deux dipôles est un multiple de la taille des dipôles ( $na$ ). Il est particulièrement adapté à l'imagerie des structures verticales ou obliques (p. ex les milieux fracturés) et des structures 3D (les formes karstique).

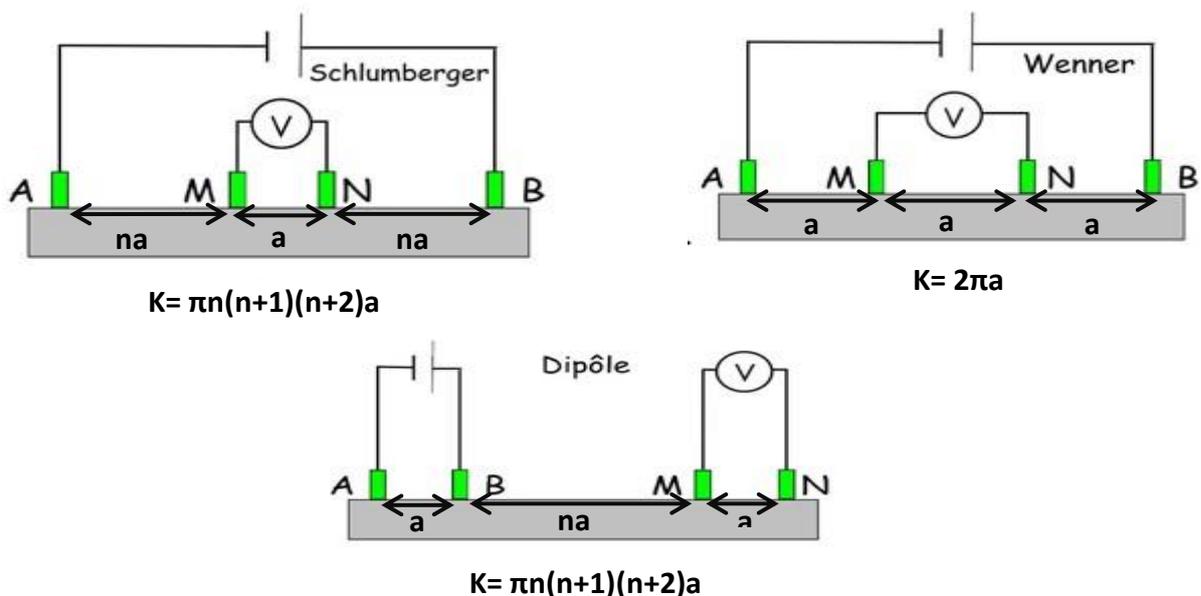
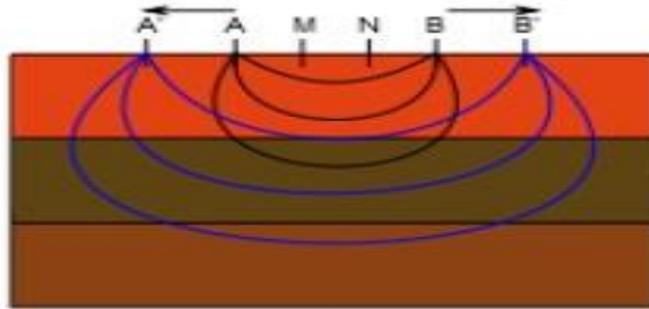


Figure I.3 : Dispositifs quadripôles

## 1.7 SONDAGE ELECTRIQUE VERTICALE (SEV)

Le sondage électrique vertical (SEV), est une méthode de prospection géophysique bien adapté à l'hydrogéologie et qui se veut quantitative pour l'identification des aquifères. Cette méthode consiste à mesurer les résistivités apparentes avec un dispositif tel que les électrodes ont des intervalles de plus en plus grands suivant les différentes positions. Autrement dit, en espaçant progressivement les électrodes les unes des autres, la mesure englobe des terrains de

plus en plus profonds, dont l'objectif est d'obtenir la répartition verticale des résistivités apparentes. Ainsi, à travers une investigation en profondeur, le sondage électrique permet d'explorer les différentes couches de terrain afin d'avoir une idée des épaisseurs de ces derniers. Les mesures peuvent être réalisées avec le dispositif classique Schlumberger.



**Figure I.4 : Principe du sondage électrique (écartement progressif des électrodes en gardant le dispositif centré sur un point).**

Les valeurs des résistivités apparentes mesurées sont reportées sur un diagramme bi-logarithmique en fonction de la longueur AB du dispositif (ou de la demi-longueur AB/2). La courbe obtenue est appelée « *courbe ou log du sondage électrique* ».

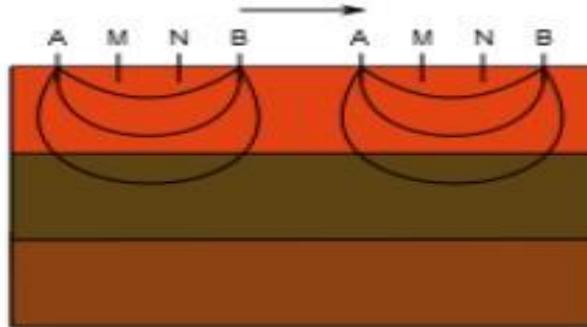
La deuxième étape est l'inversion des valeurs de la résistivité apparente, qui consiste à résoudre un problème inverse, en estimant un modèle de résistivités (1D) qui générerait dans les mêmes conditions des résistivités apparentes calculées les plus proches possible de celles mesurées. Cette inversion se fait à l'aide d'un logiciel qui permet de fixer (ou de limiter) un ou plusieurs paramètres du modèle de départ pour qu'ils ne soient pas modifiables (ou pour qu'ils ne dépassent pas une certaine limite) lors de l'inversion. Les paramètres peuvent être la résistivité et l'épaisseur des couches ou bien la résistivité et la profondeur du toit des couches.

## I.8 TRAINE ELECTRIQUE

La trainée est conçue de façon à faire porter l'investigation sur une tranche de sous-sol d'épaisseur plus ou moins constante. Lors de l'exécution d'une trainée électrique on recherche comment varie, en un point donné de la surface, la résistivité du sous-sol à une profondeur constante. Pour cela, en déplaçant progressivement l'ensemble du quadripôle AMNB le long d'un profil, en gardant la géométrie du quadripôle constante, l'objectif est d'estimer la

répartition de la résistivité apparente en fonction de la position du dispositif sur une profondeur d'investigation sensiblement constante le long du profil.

Si l'on multiplie les traînés électriques parallèlement sur une surface, et après interpolation, on obtient une carte de la résistivité apparente. Si on repasse sur la même surface avec un quadripôle plus long (plus grand espacement inter-électrodes), on obtient une seconde carte avec une plus grande profondeur d'investigation.



**Figure I.5 : Principe du traîné électrique (déplacement du dispositif le long d'un profil en gardant un écartement constant entre les électrodes).**

## **I.9 TOMOGRAPHIE DE RESISTIVITE ELECTRIQUE (TRE)**

La méthode de prospection du sous-sol par tomographie électrique (appelée aussi Imagerie électrique) consiste en une ampliation de la méthode des sondages électriques verticaux. Cette méthode à l'avantage d'offrir une sensibilité à la fois verticale et horizontale, elle fut mise au point dans le but d'obtenir un modèle 2D du sous-sol où la répartition de résistivité varie verticalement et horizontalement le long de profil. Autrement dit l'objectif de la tomographie est la reconnaissance multidimensionnelle des propriétés électriques du sous-sol.

L'exécution d'une prospection géophysique par la technique de tomographie consiste à implanter un grand nombre d'électrodes assurant le contact avec le sol. Ces électrodes sont connectées à un système d'injection du courant et de mesure du potentiel via un câble multiconducteurs et placées selon un profil de direction bien définie. Un résistivimètre, dans lequel est programmée la séquence de mesure et sélectionne automatiquement les électrodes utilisées pour l'injection du courant et la mesure de potentiel.

Les résultats obtenus sont représentés par des coupes 2D en isolignes, cette représentation appelé « pseudo-section » des résistivités apparentes peut contribuer au diagnostic de la qualité des mesures, mais pas à l'interprétation puisqu'il ne s'agit pas de résistivités réelles du terrain. Il est donc indispensable de procéder à l'inversion des pseudo-sections pour obtenir un modèle synthétique de résistivité électrique réelles où les variations latérales et verticales de résistivité électrique réelles du milieu seront visualisées.

## **I.10 CONCLUSION**

L'utilisation de la méthode électrique pour la reconnaissance du sous-sol présente un grand intérêt du fait de la grande variabilité de la résistivité des composants du sous-sol et de sa facilité de mise en œuvre.

Cette méthode nécessite l'emploi d'un dispositif composé de quatre électrodes. Chaque arrangement des électrodes permet d'obtenir un quadripôle particulier adapté aux objectifs de la reconnaissance.

# *Chapitre II*

## *Appareillage de géophysique électrique*

## II.1 INTRODUCTION

Dans ce chapitre nous allons présenter quelques instruments de mesure utilisées dans le domaine de la géophysique électrique, ainsi que l'appareil utilisé au cours de ce travail qui est le résistivimètre SARIS (*Scintrex Automated Resistivity Imaging System*) développé et manufacturé par la compagnie Canadienne Scintrex et propriété du laboratoire de génie civil de l'université de Biskra.

Le résistivimètre a pour but de générer le courant, mesurer la tension entre les électrodes de potentiel et afficher la valeur de résistivité apparente.

## II.2 OHMEGA RESISTIVIMETRE

Le système Ohmega est un résistivimètre qui permet de mesurer la résistivité électrique du sous-sol avec une très grande précision, couvrant de nombreuses applications. Classiquement il est admis qu'il est nécessaire d'avoir une forte puissance afin de réaliser de bonnes auscultations géo-électriques.



Figure II.1 : Ohmega-Résistivimètre

Toutefois, avec son excellente résolution, l'Ohmega peut travailler dans des environnements difficiles jusqu'à des profondeurs de plusieurs centaines de mètres en fournissant des mesures électriques très précises. Un choix de courant d'injection allant de 0,5 à 200 mA, avec des gains automatiques, permet des mesures entre 0,001 ohm et 400 kohm. Trois cycles

d'injection différents sont disponibles avec jusqu'à 16 cycles par mesure. Les valeurs de polarisation spontanée peuvent être éliminées.

### II.3 RÉSISTIVIMÈTRE SYSCAL PRO (IRIS INSTRUMENT)

Le résistivimètre SYSCAL PRO D'IRIS se compose d'une flûte (câble de connexion comportant 24, 48 ou 72 électrodes, espacées de 5m les unes des autres), d'un résistivimètre à mémoire et d'une unité électronique régulant la distribution du courant entre les électrodes.

Après avoir planté les électrodes dans le sol, l'appareil enregistre la résistivité du terrain entre les différentes électrodes.

A l'issue de la mesure, les données sont transférées sur un micro-ordinateur qui reconstitue, via un programme, une coupe du sous-sol en 2 ou 3D.



Figure II.2 : Résistivimètre SYSCAL PRO

#### II.4 RESISTIVIMETRE ABEM TERRAMETER SAS1000

Le TERRAMETER SAS1000 est un résistivimètre destiné aux études par sondages électriques verticaux. Il est conçu également pour faire des mesures par polarisation induite (IP) et potentiel spontané (SP). Le TERRAMETER SAS1000 dispose d'un boîtier en aluminium, très résistant et étanche. Il est compact et léger.

L'émetteur et le récepteur sont intégrés dans un seul boîtier. Il est alimenté par une batterie externe 12 V, ou une batterie clippée rechargeable. Il est idéal pour les campagnes de sondages verticaux.



Figure II.3 : Résistivimètre TERRAMETER SAS1000

#### II.5 RESISTIVIMETRE 4POINT LIGHT 10W

Le 4point light 10W est le résistivimètre idéal pour toutes vos mesures de résistivités, de polarisation induite et de polarisation spontanée. Il mesure le déphasage entre le courant injecté dans le sol et la tension mesurée aux électrodes de potentiels. Cet équipement permet de réaliser des sondages électriques avec un AB/2 jusqu'à de 1000 m.



Figure II.4 : Résistivimètre 4POINT LIGHT 10W

## II.6 GEOSSEKER (NOUVEAU DETECTEUR D'EAU ET CAVITE)

Le GeoSeeker est un détecteur géoélectrique professionnel pour la détection d'eau et de cavités. L'équipement effectue les mesures de résistance et visualise les données dans une image 3D. Ce détecteur géoélectrique est très mobil, facile à utiliser et a été développé et fabriqué en Allemagne.

Le GeoSeeker utilise une procédure de mesure géoélectrique sur la base de Schlumberger pour lire la résistivité du sol. Sur la base de la résistance du sol, le détecteur est capable de localiser des dépôts d'eau souterrains, du gravier aquifère et la surface de la nappe phréatique ainsi que des cavités comme de grottes, tunnels, chambres etc. Par conséquent, le détecteur géophysique peut être utilisée comme détecteur d'eau ou détecteur de cavité en même temps.

Les composants matériels de GeoSeeker sont complètement contrôlés par un Tablette PC Android moderne. Toutes les commandes et les résultats de mesure sont transférés sans fil via Wi-Fi. En utilisant le logiciel préinstallé, il suffit de choisir un des trois modes de mesure pris en charge :

### II.6.1 Scan Actif (précis)

En utilisant ce mode de mesure le GeoSeeker utilise deux électrodes pour injecter l'énergie électrique dans le sous-sol. Deux électrodes supplémentaires mesurent la différence de potentielle (chute de tension) aux points de mesure afin de calculer la valeur de la résistivité. Ce mode est utilisé pour détecter des dépôts d'eau souterrains, des grottes cachées ou même des couches imperméables et des obstacles dans le sous-sol. Dans un Scan Actif on peut définir une gamme de profondeur spécifique dans laquelle on veut effectuer les mesures. Ce

qui revient à définir une profondeur de départ et une profondeur finale entre 5 mètres et 250 mètres.

### II.6.2 Scan Actif (rapide)

Ce mode de scan est une version rapide de Scan Actif. Dans ce mode le détecteur injecte également l'énergie électrique dans le sous-sol et mesure la différence potentielle (chute de tension) pour calculer la résistance du sol.

### II.6.3 Scan Passif

En utilisant ce mode de mesure le GeoSeeker utilise deux électrodes pour lire la tension naturelle dans le sous-sol (on n'injecte pas d'énergie électrique dans le sol). Ce mode est utilisé pour détecter de l'eau courante sous terre.



Figure II.5 : GEOSSEKER



Figure II.6 : Electrode de mesure et sa bobine de raccordement

## II.7 SARIS

Le système complet est équipé de câbles multi-électrodes et d'électrodes inoxydables de longueur 40 cm et de diamètre 15 mm. L'instrument est un résistivimètre complètement automatique de puissance élevée pour courant continu. Il est destiné pour :

- l'exploration des eaux souterraines à faible, moyenne et grande profondeur,
- la cartographie géologique,
- les études environnementales,
- la géotechnique,
- la recherche archéologique
- et pour les études géologiques structurales.



Figure II.7 : système SARIS Scintrex

Pour la prospection minière, le paramètre étudié est la polarisation provoquée (Chargeable) qui complète l'information donnée par la prospection électrique par courant continu (Résistivité).

Ce résistivimètre peut calculer la résistivité apparente de plusieurs dispositifs de mesures utilisés en tomographie électrique par exemple : Schlumberger, Werner, Pôle dipôle, Dipôle-dipôle, Pôle-pôle axial, Pôle-pôle latéral et Gradient. Ainsi que le sondage électrique vertical (SEV) : Werner-Schlumberger, Werner, Werner Offset et Dipôle-dipôle.

L'instrument a une puissance de sortie maximale de 100W, le courant de sortie maximal est 1A. Les caractéristiques principales du résistivimètre SARIS sont :

- Émetteur et récepteur combiné de résistivité,
- Mesure de Rho et IP,
- Affichage graphique LCD 320 \* 240 QVGA,
- Plus de 10.000 lectures,
- 100 heures de fonctionnement en veille,
- Interfaces de communication: USB et RS-232,
- GPS et inversion 1D in situ,
- Mémoire interne,
- Léger et efficace,
- Réglage automatique du courant pour minimiser la consommation d'énergie.

L'instrument est contrôlé par un micro-processeur pour ;

- Auto compensation de potentiel  $\pm 1$  V,
- Résolution de chargeabilité pour la polarisation provoquée de 0.1 mV/V,
- Gain automatique pour la mesure du courant et de la tension (voltage),
- L'écart-type (Déviation standard) est affiché pour donner une indication du niveau de bruit.

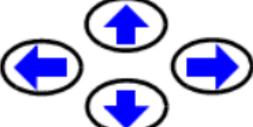
	<p>La touche de marche <b>On</b></p>
	<p>La touche arrêt <b>Off</b></p>
	<p>La touche <b>Enter</b> sert à acquitter une séquence de frappes.</p>
	<p>La touche <b>CANCEL</b> est utilisée pour effacer les données ou pour déplacer le curseur d'un espace en arrière.</p>
	<p>Les touches flèches déplacent le curseur soit, à droite, à gauche, vers le haut ou vers le bas.</p>
	<p><b>Arrêt d'urgence :</b> Arrêtera immédiatement l'injection du courant.</p>
	<p>Les touches de fonction <b>F1</b> à <b>F5</b> accèdent aux options sous-menu. Ces options varieront selon le présent menu. Par exemple, dans l'écran la touche F1 vous permet d'accéder aux paramètres sous menu.</p>
	<p>Appuyez sur la touche <b>Sounding/Profile</b> pour faire un SEV ou un profil.</p>
	<p>Démarrage de lecture de résistivité une fois le profil a été bien configuré.</p>

Figure II.8 : Description du clavier de Résistivimètre SARIS

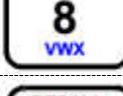
	En tapant le chiffre <b>1</b> , les lettres <b>a</b> , <b>b</b> et <b>c</b> , ainsi que l'accès à l'écran de configuration.
	En tapant le chiffre <b>2</b> , les lettres <b>d</b> , <b>e</b> et <b>f</b> , ainsi que l'accès à l'écran de levé.
	En tapant le chiffre <b>3</b> , les lettres <b>g</b> , <b>h</b> et <b>i</b> , ainsi que l'accès à l'écran de mémoire.
	En tapant le chiffre <b>4</b> , les lettres <b>j</b> , <b>k</b> et <b>l</b> , ainsi que l'accès à l'écran de réglage pour ajuster la luminosité.
	En tapant le chiffre <b>5</b> , les lettres <b>m</b> , <b>n</b> et <b>o</b> , ainsi que l'accès à l'écran d'aide
	En tapant le chiffre <b>6</b> , les lettres <b>p</b> , <b>q</b> et <b>r</b> , ainsi que l'accès à l'écran d'aide.
	En tapant le chiffre <b>7</b> , les lettres <b>t</b> et <b>u</b> , ainsi que l'accès à l'écran d'information
	En tapant le chiffre <b>8</b> , les lettres <b>v</b> , <b>w</b> et <b>x</b> , ainsi que l'accès à l'écran de note
	En tapant le chiffre <b>9</b> , les lettres <b>y</b> et <b>z</b> , ainsi que l'accès à l'écran du rappel de données

Figure II.9 : Fonction/Touches alphanumériques

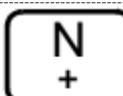
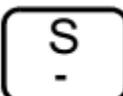
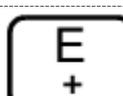
	En tapant dans la direction Nord ( <b>North</b> ), l'augmentation du contraste et en entrant un signe positif (+).
	En tapant dans la direction Sud ( <b>South</b> ), le décroissant du contraste et en entrant un signe négatif (-).
	En tapant dans la direction Est ( <b>East</b> ), l'augmentation du contraste et en entrant un signe positif (+)
	En tapant dans la direction Ouest ( <b>West</b> ), le décroissant du contraste et en entrant un signe négatif (-).

Figure II.10 : Direction/Signe

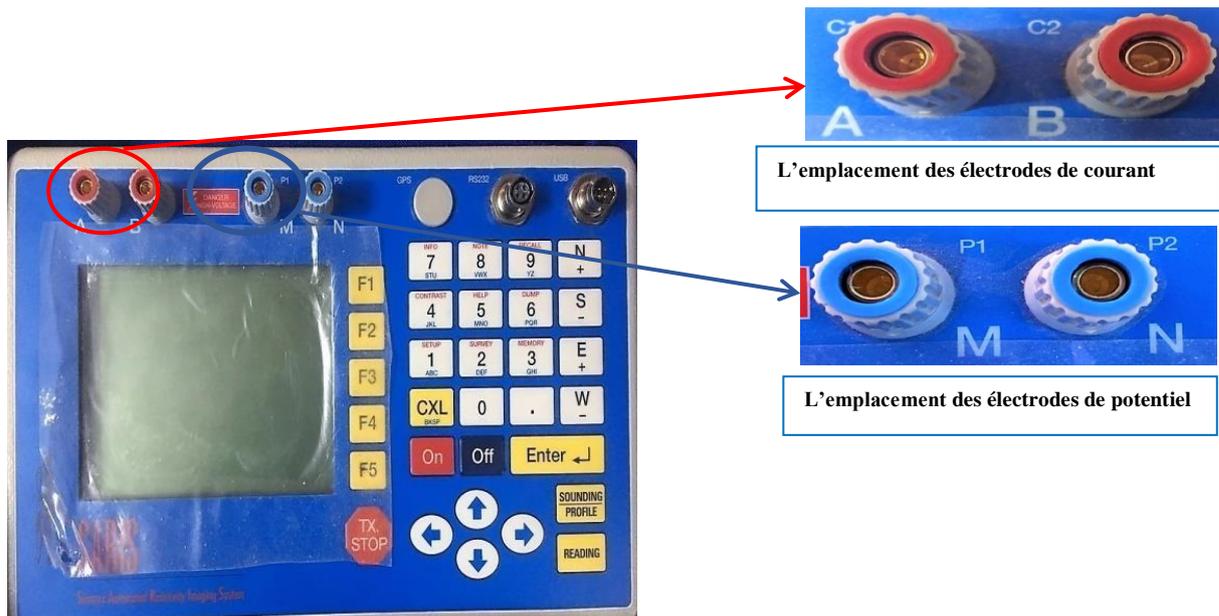


Figure II.11 : Emplacement des électrodes

## II.8 LOGICIEL D'INVERSION 2D : RES2DINV

### II.8.1 Introduction

Le logiciel présenté ici, Res2Dinv, est actuellement l'outil d'inversion le plus couramment utilisé dans les milieux universitaires et privés. Le descriptif qui suit permet d'effectuer un premier contact avec ce type de traitement mais n'a pas l'intention de couvrir de manière exhaustive toutes les possibilités de ce logiciel. Il faut d'ailleurs bien préciser que seule une bonne expérience permettra l'utilisation optimale des nombreux paramètres disponibles dans Res2Dinv. Ce logiciel est disponible gratuitement sur Internet en version de démonstration ([www.goelectrical.com](http://www.goelectrical.com)). En version démonstration certaines options ainsi que l'enregistrement du résultat ne sont pas disponibles. Ce logiciel est protégé contre la copie par une clef physique (Dongle) qui permet l'accès à toutes les options.

### II.8.2 Importation des données

Une fois les données prétraitées dans un fichier (\*.dat), nous devons lancer le programme Res2Dinv et importer le fichier. Il faut cliquer sur **File** puis sur **Read data file** et choisir le

fichier à ouvrir. Une boîte de dialogue demande alors si on désire trier les données, ce tri ne représente qu'une réorganisation des données par Res2Dinv.

Il arrive parfois que la boîte de dialogue apparaisse et signale que la résistivité apparente mesurée de certains points est fortement anormale. Ces mesures anormales seront donc à supprimer. La visualisation et la suppression de ces mesures sont traitées au point suivant.

### II.8.3 Quelques paramètres pouvant être modifiés

Les points sont représentés selon les différents niveaux d'acquisition et avec une échelle restreinte (Figure II.12). Cette représentation va faire ressortir les mesures dont la résistivité apparente est très forte ou très faible par rapport aux points voisins. Un tel changement aussi rapide ne pouvant être dû à un phénomène géologique, de telles données doivent être éliminées. Voici la marche à suivre :

Cliquez sur **Edit** puis sur **Exterminate bad data points**

Pour accéder à ce mode de visualisation, il faut cliquer sur chacune des mesures que nous désirons supprimer (la croix change alors de couleur et devient rouge), une fois que la sélection des mesures à supprimer fait, il suffit de cliquer sur **Exit**, et acceptez les modifications effectuées, puis cliquer sur **Quit edit window**.

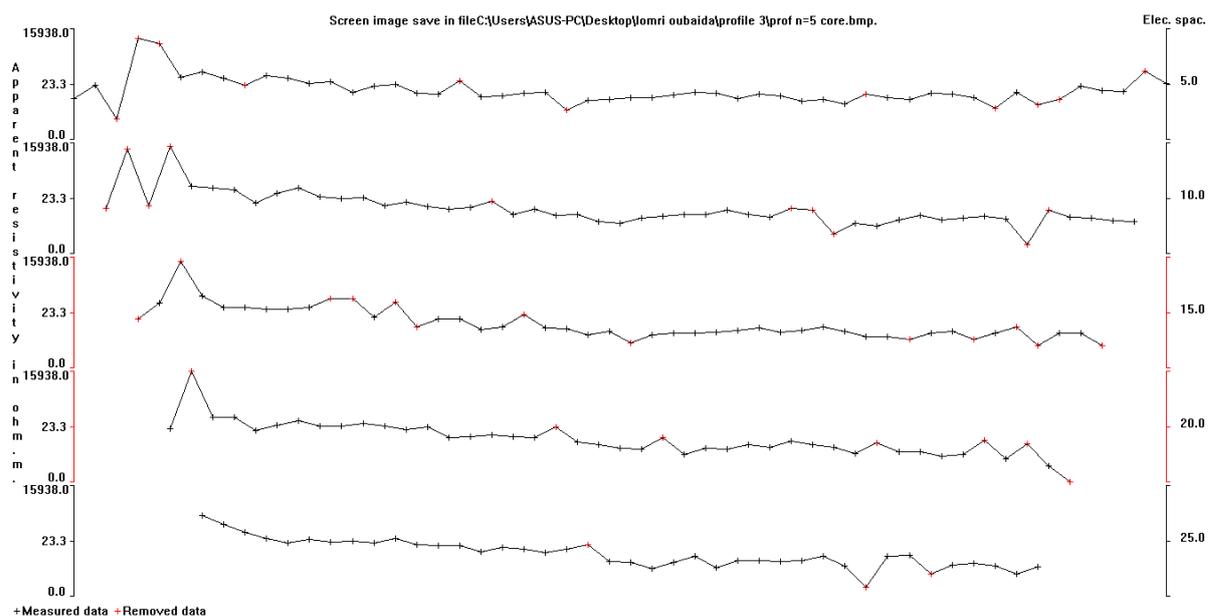


Figure II.12 : Elimination des valeurs aberrantes

Nous pouvons ou non renommer le fichier modifié. Il est important d'effectuer cette opération plusieurs fois, ceci pour voir si la suppression de certaines valeurs n'en a pas fait apparaître d'autres qui sont, elles aussi, aberrantes mais qui n'étaient simplement pas visibles auparavant (ajustage des échelles)

#### II.8.4 L'inversion

Comme nous l'avons dit précédemment, le logiciel Res2Dinv va permettre, à partir des valeurs de résistivités apparentes mesurées sur le terrain, de trouver les résistivités calculées ( $\approx$  vraies) du terrain d'étude. Le logiciel procède par une méthode itérative. En premier lieu il découpe le profil en plusieurs blocs dont la taille augmente avec la profondeur. Cette augmentation est due à la perte de résolution des méthodes électriques avec la profondeur et dépend du nombre de points de mesure et de niveaux d'acquisition. Pour cette opération d'inversion, les premières valeurs introduites dans les blocs du modèle, sont les valeurs de la résistivité apparente A.

#### II.8.5 Visualisation du résultat de l'inversion

Une fois l'inversion terminée, on peut revoir le résultat de cette inversion par le biais du menu **Display**. Si on désire visualiser le résultat inversé d'une autre acquisition, il suffit de charger simplement le fichier (\*.inv) correspondant à l'aide la commande **Read file with inversion results** du menu **File**. Pour cela nous devons procéder de la manière suivante :

1. Cliquer sur le menu **Display** puis sur **Show inversion results**. Toute une série d'informations sur le fichier qui vient d'être inversé s'affichent alors.
2. Aller sur **Display sections**
3. A partir de ce moment, nous pouvons soit : revoir les trois pseudo-coupes qui représentent le résultat de l'inversion (cliquez sur **Display data and model sections**) ou visualisez le résultat de l'inversion avec la topographie (cliquez sur **Include topography in model display**)
4. Choisir le type de représentation (une échelle logarithmique donne déjà une bonne idée de l'inversion).

5. Il est ensuite possible d'enregistrer cette image en format bitmap : allez sur le menu **Print**, puis sur **Save screen as BMP file**.

## **II.9 PROTOCOLE DE MESURE**

L'installation des câbles et des électrodes, le long d'un profil, se fait après l'observation du terrain et un temps de réflexion pour essayer de recouper au mieux les accidents géologiques. Il faut ensuite connecter tous les câbles à l'entrée du résistivimètre ABEM, lui-même relié à la centrale d'acquisition qui enregistre les résistivités apparentes mesurées.

L'appareil, grâce à une batterie de 12V injecte le courant électrique entre les électrodes A et B et mesure le potentiel électrique entre les électrodes M et N. La centrale d'acquisition nous permet de choisir un des dispositifs (Schlumberger, Wenner, Dipôle-dipôle...). L'appareil contrôle la matrice de relais sur laquelle les câbles sont connectés et toutes les électrodes peuvent jouer, tour à tour, de rôle A, B, M ou N.

## **II.10 TRAITEMENT DES DONNEES**

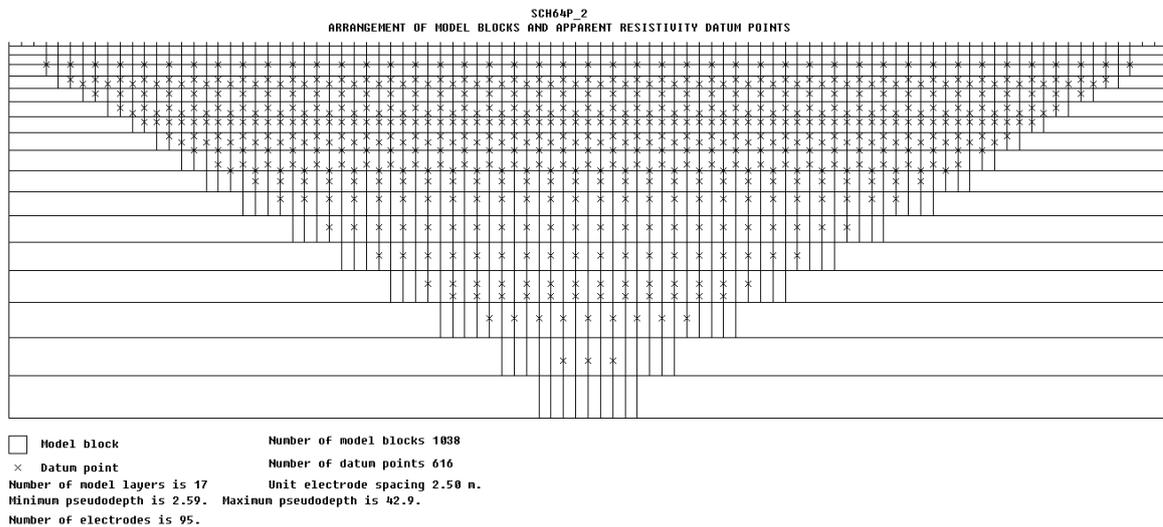
### **II.10.1 Imagerie électrique**

Le logiciel RES2DINV est utilisé pour inverser les données. Celui-ci permet le traitement de profils 2D. Le but de l'inversion est de trouver une réponse similaire à ce qui est mesuré sur le terrain, c'est-à-dire de trouver les épaisseurs et les résistivités vraies des sols pouvant expliquer les résistivités apparente mesurée.

### **II.10.2 L'inversion**

Comme nous l'avons dit précédemment, le logiciel Res2Dinv va permettre, à partir des valeurs de résistivités apparentes mesurées sur le terrain, de trouver les résistivités calculées (vraies) du terrain d'étude. Le logiciel procède par une méthode itérative. En premier lieu il découpe le profil en plusieurs blocs dont la taille augmente avec la profondeur.

Cette augmentation est due à la perte de résolution des méthodes électriques avec la profondeur et dépend du nombre de points de mesure et de niveaux d'acquisition. Pour cette opération d'inversion, les premières valeurs introduites dans les blocs du modèle, sont les valeurs de la résistivité apparente.



**Figure II.13 : La découpe du profil en plusieurs blocs dont la taille augmente avec la profondeur**

Apartir de ce premier modèle, le logiciel injecte un courant fictif et recalcule les valeurs apparentes, valeurs qu'il compare avec celles mesurées sur le terrain (estimation de l'erreur par moindres carrés). Cette comparaison lui permet d'ajuster son modèle et ainsi de réduire la différence entre les valeurs apparentes calculées et les valeurs mesurées sur le terrain en répétant le processus (par itérations successives).

## II.10.3 Les paramètres modifier durant le traitement

### I.10.3.1 *Éliminer les mauvaises données*

Les points sont représentés selon les différents niveaux d'acquisition et avec une échelle restreinte. Cette représentation va faire ressortir les mesures dont la résistivité apparente est très forte ou très faible par rapport aux points voisins. Un tel changement aussi rapide ne pouvant être dû à un phénomène géologique, de telles données doivent être éliminées.

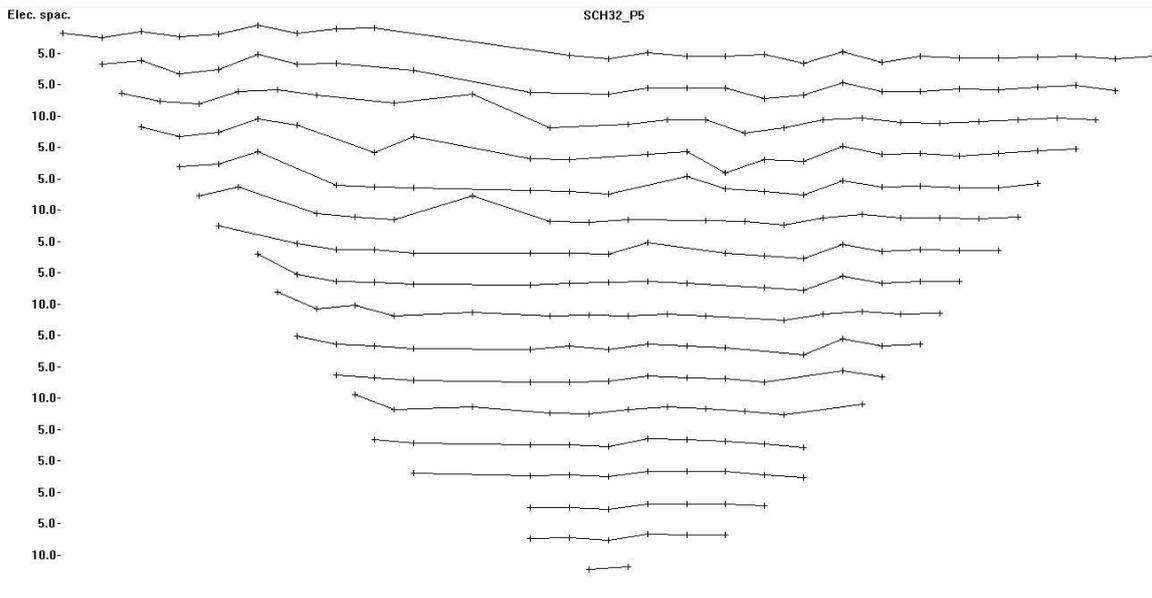


Figure II.14 : L'élimination des mauvais points de mesure dans logiciel RES2DINV

### I.10.3.2 Raffinement du model

Nous pouvons utiliser cette option, pour diminuer les variations de résistivité près de la surface du sol, Dès qu'on a choisi cette option le programme va réduire automatiquement l'espacement des électrodes par unité utilisé de moitié par rapport à celui indiqué dans le fichier de données.

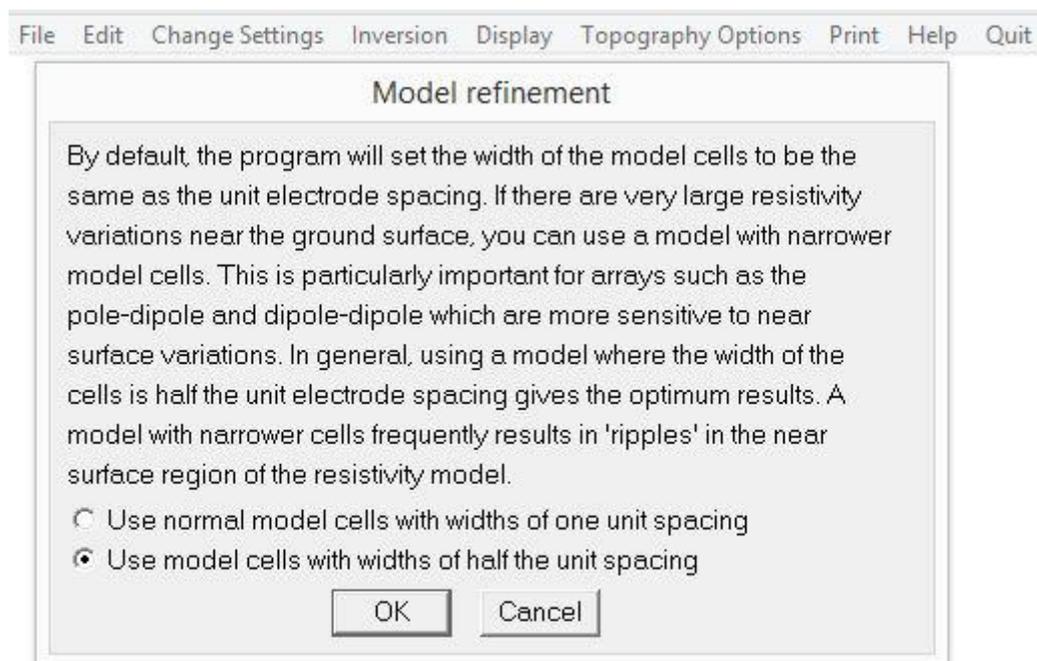


Figure 15 : La boite de dialogue de l'option raffinement du model

## II.11 CONCLUSION

L'exploration géophysique est une technique non destructive très répandue, elle permet une investigation rapide et peu coûteuse d'un grand volume de sols et capable de caractériser des sols sur une surface étendue ainsi qu'éventuellement de détecter des variations latérales à l'échelle du site. Elle met en oeuvre un ensemble de méthodes indirectes où l'on cherche, à partir d'une ou plusieurs propriétés physiques à déterminer la structure du milieu souterrain.

La mesure électrique de résistivités est basée sur l'utilisation de dispositifs élémentaires constitués de quatre électrodes : deux électrodes à partir desquelles le courant est injecté et deux électrodes entre lesquelles on mesure la différence de potentielle.

Selon la géométrie des électrodes, ces dispositifs prennent plusieurs noms : Wenner  $\alpha$ ,  $\beta$ , pôle-pôle, pôle-dipôle etc. Dans tous les cas de dispositifs, le calcul de la résistivité (qui est l'inverse de la conductivité) se fait de la même manière.

Nous avons exposé dans ce chapitre un certain nombre d'appareil dédié à la géophysique électrique. Il existe sur le marché un grand choix d'appareils géophysiques et logiciels d'interprétation pour couvrir l'ensemble des méthodes de géophysique appliquée. (Electromagnétisme, Magnétométrie, Sismique, Résistivité, Panneaux électriques, Géoradars...).

# *Chapitre III*

*Présentation du secteur  
d'étude « Région de Tolga »*

### III.1 INTRODUCTION.

La région de Tolga appartient à la partie Nord du grand bassin sédimentaire des contreforts méridionaux de l'Atlas saharien et la bordure septentrionale saharienne. Elle est située à 309km au Sud Est d'Alger et à 36 km au Sud-Ouest de Biskra (fig.IV.1). Les limites naturelles sont les suivantes :

- Au Nord : Djebel El Ksoum, Araussine, Gouara, Oum djnib, et Bou Rhezal (montagnes du Zab Gharbi).
- Au Sud : La vallée de Oued Djeddi.
- A l'Ouest : La bordure périclinale du djebel Amara, la route de Bordj chaiba jusqu'à Ouled Djellal.
- A l'Est : La route nationale reliant Biskra à Touggourt.

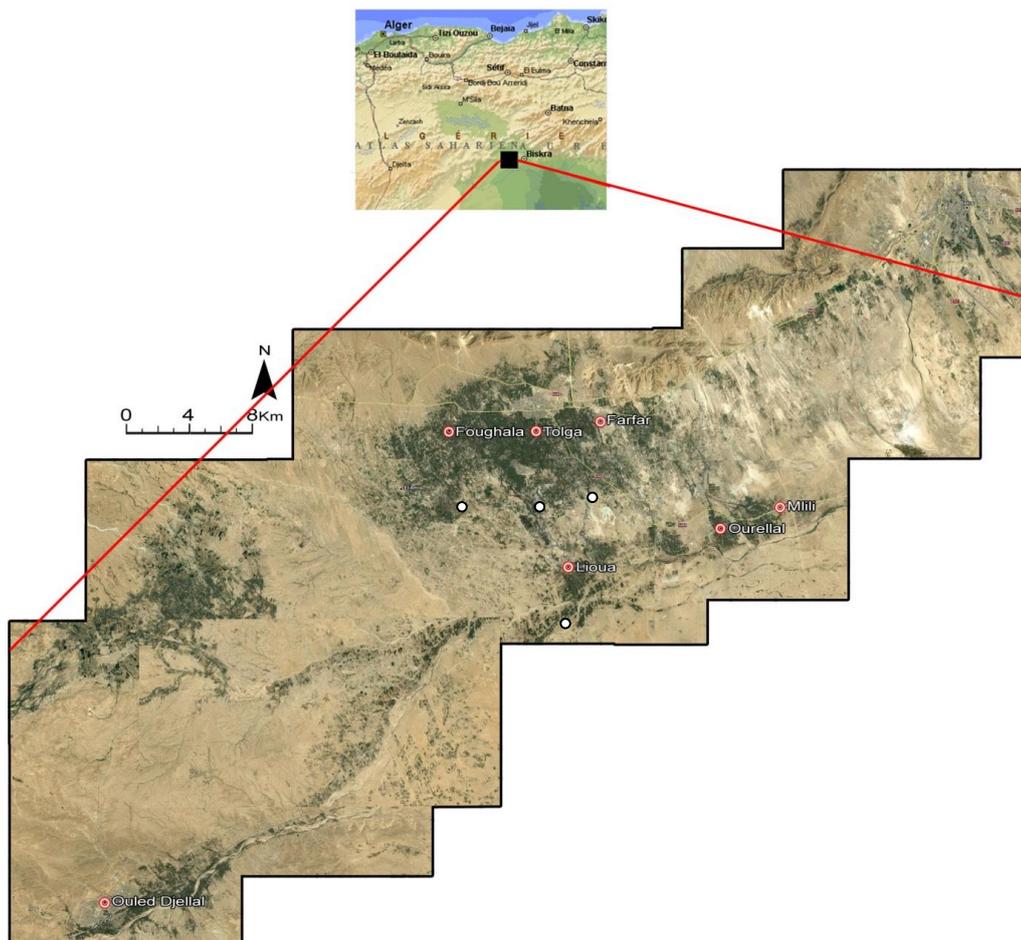


Figure III.1 : Situation géographique de la région de Tolga.

### III.2 CARACTERISTIQUES SOCIO-ECONOMIQUES

La commune de Tolga occupe une superficie globale estimée à 1225 km<sup>2</sup>. Le nombre d'habitants est passé de 29,857 habitants en 1989 à 42,942 au 31/12/1998 pour atteindre 68,246 habitants en 2008, soit un taux d'accroissement de l'ordre de 3.23 % et une densité actuelle de 55 hab/km<sup>2</sup>.

Du point de vu agricole, les oasis de Tolga connaissent un développement des plus remarquables, comme en témoignent l'évolution du nombre de palmiers :

Année	1927	1972	1986	1996	1998
Nbre de palmiers	57.000	196.000	206.000	236.000	296.000

En Plus de la palmeraie, plus de 1000 serres sont également exploitées. L'irrigation de ces surfaces agricoles se fait essentiellement par les eaux extraites de 400 forages déclarés.

L'accroissement de la population et des surfaces agricoles a pour conséquence immédiate une demande en eau en constante croissance qui ne peut être satisfaite que par pompage de quantité d'eaux souterraines de plus en plus importante.

### III.3 HYDROCLIMATOLOGIE

Les conditions climatiques jouent un rôle déterminant dans la réalimentation des nappes aquifères et ce sont les précipitations qui en constituent le facteur essentiel. Elles interviennent par leur répartition annuelle et mensuelle, leur total journalier et surtout les averses génératrices de crues et de précipitations efficaces, particulièrement dans les zones arides.

Ces différents aspects des précipitations sont plus ou moins modifiés selon un effet combiné des autres paramètres physiques (altitude et exposition) et climatiques (température, évaporation, évapotranspiration, vents et humidité) ; autant de facteurs qui influent sur le régime hydrologique des bassins.

Nous présenterons dans cette étude, un aperçu de ces différents facteurs et nous tenterons d'apprécier l'incidence qu'elles peuvent avoir sur l'hydrogéologie de région.

### III.3.1 Les précipitations

Sur un plan général, la consultation de la carte des précipitations de l'Algérie du Nord (fig.IV.2), établie par l'Agence Nationale des Ressources Hydriques (ANRH) pour la période 1965-95, permet de constater que la zone étudiée est caractérisée par une pluviométrie comprise entre les isohyètes 100 et 200 mm.

Localement, la région ne dispose pas de station climatique, cela nous a amené à exploiter les postes les plus proches, celui de Biskra et celui d'el Outaya (tableau IV.1).

La station d'el Outaya n'est plus opérationnelle actuellement mais la station de Biskra a fonctionné d'une manière régulière, en continu et présente une longue série d'observations. Ces deux (02) stations présentent une période d'observation commune qui s'étale de 1970 à 2001.

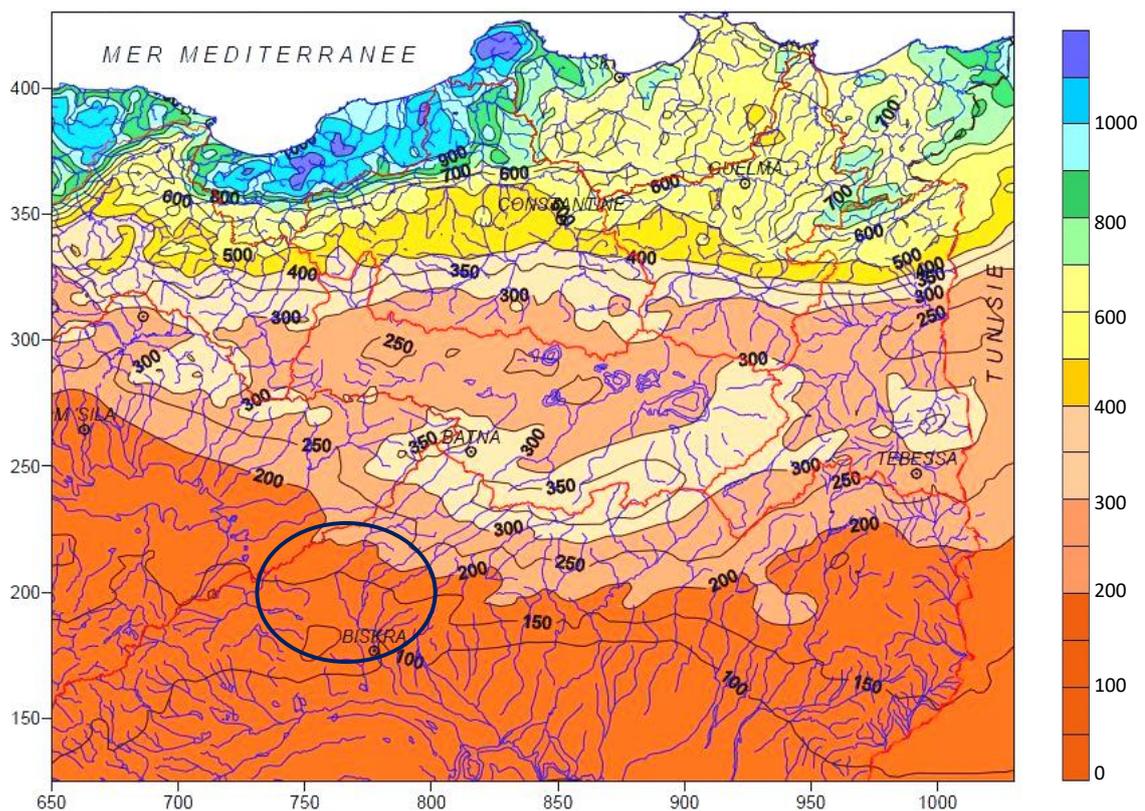


Figure III.2 : Précipitations annuelles médianes « normales » période 1965-95. (ANRH-GTZ, 2003)

Tableau III.1 : Caractéristiques des postes pluviométriques (source ANRH).

Station	Code ANRH	Coordonnées		Altitude	Observations
		X	Y		
Biskra	06-14-16	778.27	171.54	85	fonctionnel
El Outaya	06-12-05	764.8	196.2	275	à l'arrêt

Les précipitations mesurées à la station de Biskra et celle d'El Outaya (tableau IV.2 et figure IV.3), caractérisent d'une façon générale les zones de type aride avec une longue saison sèche et chaude en été, et des mois pluvieux en automne, hiver et printemps.

Les précipitations sous forme d'orage (pluies exceptionnelles) sont très rares ; elles sont, en moyenne, de 12 jours/an. Elles sont fréquentes durant la saison sèche (de mai à septembre).

Tableau III.2 : Précipitations moyennes annuelles aux stations de Biskra et El Outaya. Période 1970-2001

Année	Biskra	El Outaya
1970	81,1	73,8
1971	223,3	183,5
1972	196,2	168,6
1973	95,9	66,3
1974	83,5	75,2
1975	181,2	119,6
1976	109,9	212,1
1977	65,6	66,6
1978	97,5	100,5
1979	99,7	102
1980	116,2	90,5
1981	114,7	70
1982	89,6	107
1983	87,2	82,8
1984	159,4	149,8
1985	96,9	98,4
1986	149,5	130,3
1987	50,2	80,6
1988	97,5	89,2
1989	77,7	76
1990	127,2	48,1
1991	133	38
1992	202,8	44
1993	78	33,2
1994	121,2	61,3
1995	212,9	82,8
1996	116,2	47,1
1997	169,3	64,7
1998	96,4	46,6
1999	124,5	37,2
2000	88,9	34,2
2001	55,5	81,9

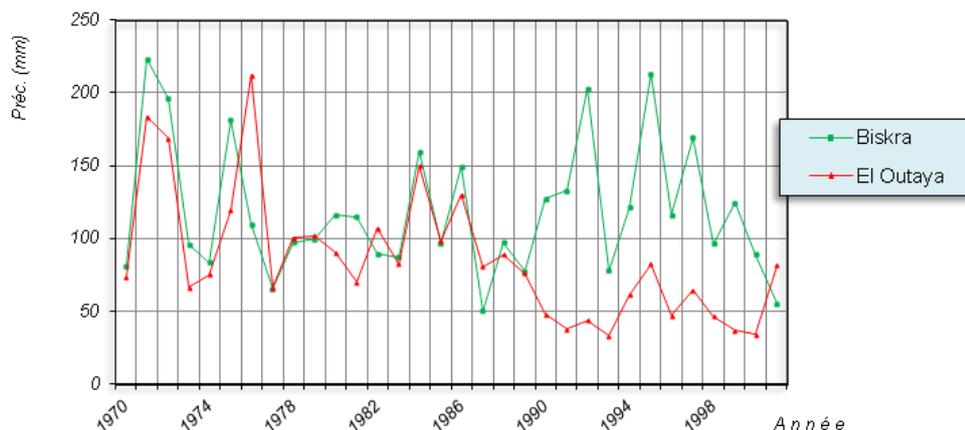


Figure III.3 : Répartition des précipitations annuelles aux stations de Biskra et El Outaya, période (1970-2001)

Nous remarquons que les précipitations enregistrées aux deux stations avant 1990 varient sensiblement de la même façon. Néanmoins, à partir de 1990, les valeurs de la station d'El Outaya paraissent trop faibles eu égard à celles enregistrées à Biskra ce qui nous a conduit à douter de la fiabilité de ces données. Nous amputons cela à un probable dysfonctionnement du poste d'El Outaya ou à des erreurs de lecture, de report ou de transcription des mesures.

Nous nous limiterons donc, pour caractériser la pluviométrie dans la région de Tolga, aux données de la station de l'Office National de la Météorologie de Biskra, car c'est la station qui se prête le mieux, à caractériser le climat de la zone vu son fonctionnement régulier pendant un nombre d'années assez représentatif (1976/2008).

L'analyse des données des précipitations annuelles (fig.III.4), mesurées à la station de Biskra pour la période 1976/2008, **montre une moyenne annuelle de 144.26mm.**

Les valeurs moyennes annuelles sont faibles, par contre les irrégularités interannuelles sont importantes avec un maximum de 280.1mm en 2005/06 et un minimum de 35.4mm en 1983/84. En outre, l'examen du graphique montre une tendance générale à une très légère reprise, malgré certaines années sèches (1999 à 2003 à titre d'exemple).

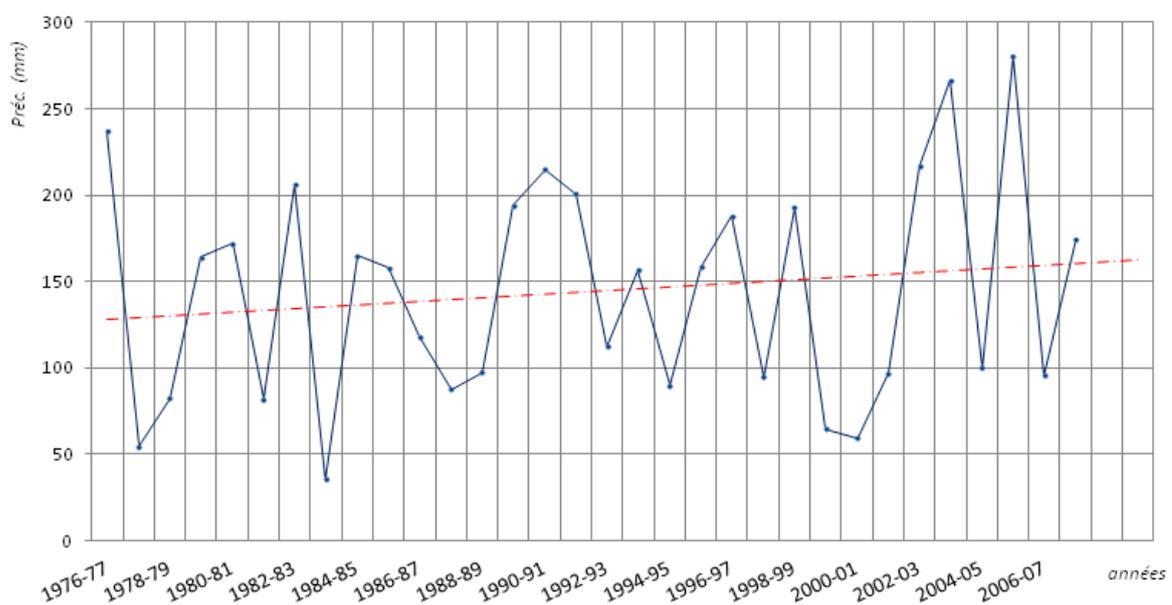


Figure III.4 : Variation inter-annuelle des précipitations à la station de Biskra période 1977-2008

Les moyennes mensuelles quant à elles (fig.III.5), montrent que la fréquence des pluies est maximum au mois de décembre tandis que le minimum correspond au mois de juillet. Ce qui caractérise d'une manière générale les zones arides avec une longue saison sèche et chaude en été et des mois pluvieux en automne, hiver et au printemps.

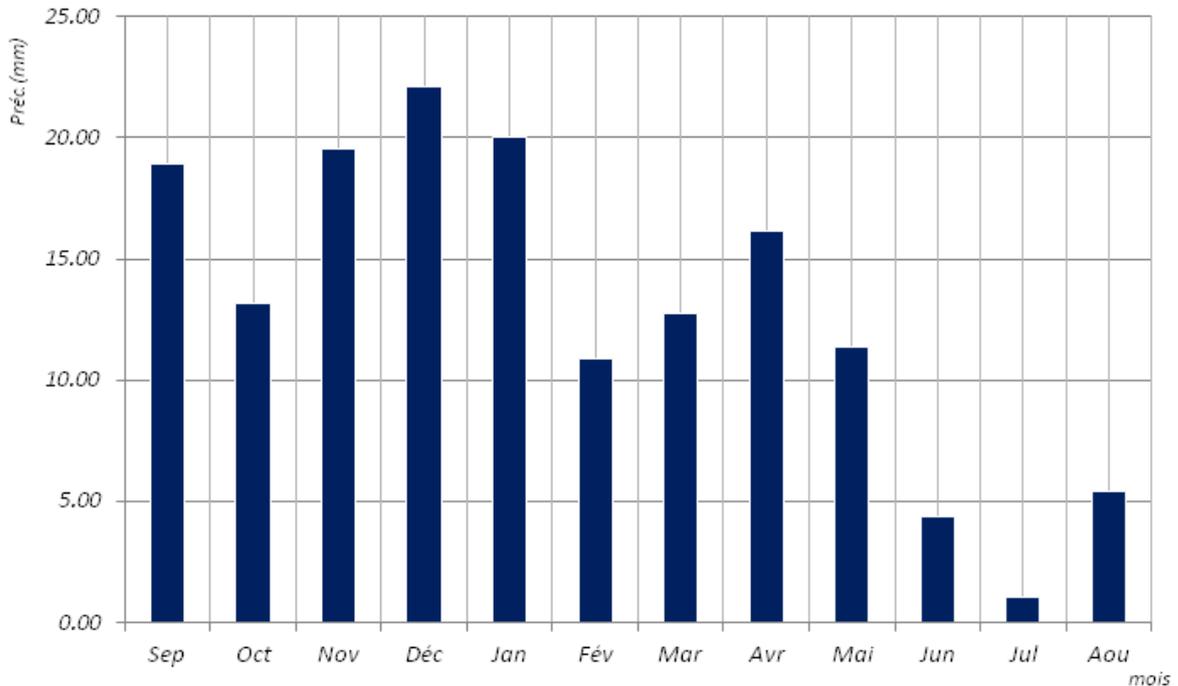


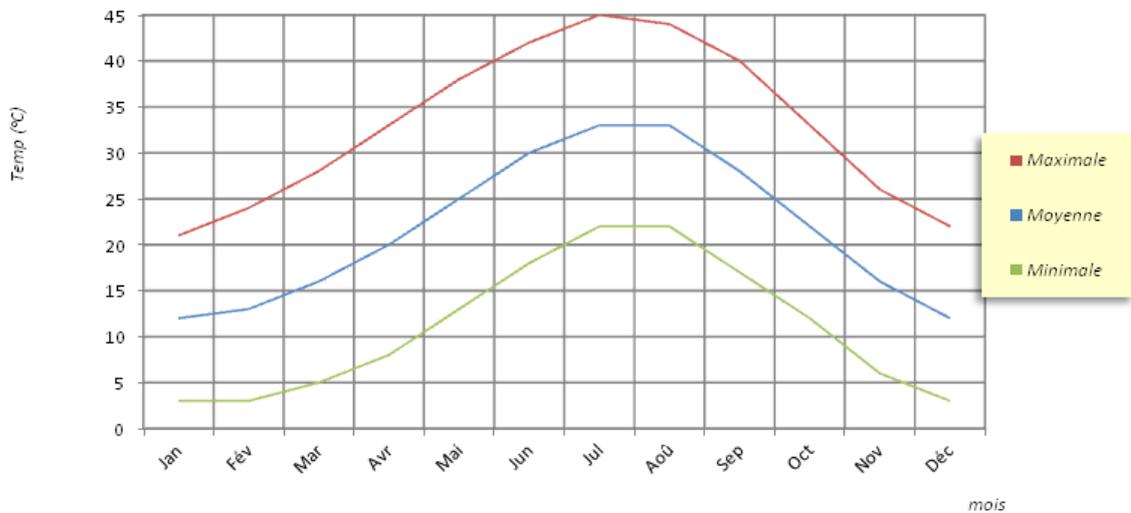
Figure III.5 : Précipitations moyennes mensuelles station de Biskra Période 1976/2008

### III.3.2 Les températures

Les valeurs du tableau III.3, reportées sur le graphique (fig.III.6), montrent que les températures moyennes les plus basses ont été enregistrées aux mois de janvier et décembre avec 12°C, et les températures moyennes les plus élevées ont été enregistrées aux mois de juillet et août avec 33°C. La température moyenne annuelle quant à elle est de 21.7°C.

Tableau III.3 : Températures annuelles à la station de Biskra. Période 1976-2008

Mois Temp.	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aoû	Sep	Oct	Nov	Déc	Moy. annuelle
Moyenne	12	13	16	20	25	30	33	33	28	22	16	12	<b>21.7</b>
Maximale	21	24	28	33	38	42	45	44	40	33	26	22	<b>33</b>
Minimale	3	3	5	8	13	18	22	22	17	12	6	3	<b>11</b>
Amplitude	18	21	23	25	25	24	23	22	23	21	20	19	<b>22</b>



**Figure III.6 : Températures mensuelles maximales, moyennes et minimales. Station de Biskra, période 1976-2008.**

Loin de l'influence de la mer, l'effet de continentalité est bien marqué. Ceci donne une valeur élevée de l'amplitude thermique annuelle moyenne, de l'ordre de 22°C.

Avec une température de 12°C aux mois de janvier et décembre, les risques de gelée au sol demeurent très minimes dans la région.

Par contre, ces fortes valeurs de températures favorisent une intense évaporation.

### III.4 DESCRIPTION LITHOSTRATIGRAPHIQUE

Le Crétacé supérieur forme l'essentiel des imposants reliefs des monts du Zab à l'Ouest de Biskra. En effet, lorsqu'on s'éloigne du djebel Bou Rhezal en direction de Chaïba, la série s'épaissit progressivement en raison du développement important que montrent les horizons carbonatés du Cénomaniens supérieur, du Turonien et du Sénonien supérieur. Les marnes ne prédominent plus que dans les parties inférieures du Cénomaniens et du Sénonien.

#### III.4.1 Le Cénomaniens

Le Cénomaniens affleure au djebel Bou Rhezal et au Nord-Est du djebel Chaïba. La partie inférieure est constituée principalement d'alternances de marnes et de petits niveaux calcaires,

plus ou moins dolomitiques dans le djebel Ksoum. Plusieurs poussées gypseuses pouvant atteindre une vingtaine de mètres d'épaisseur (20m) s'intercalent en outre dans la portion médiane de la formation dont la puissance est de l'ordre de 200 à 300 m.

Puis la série est envahie par des calcaires dolomitiques et des dolomies particulièrement massifs, dans lesquels seuls quelques lits de silex du Cénomanién supérieur soulignent parfois la stratification.

Sur les flancs du djebel Bou Rhezal, le Cénomanién est constitué par 500 m de calcaires cristallins, de calcaires marneux avec intercalations marneuses et gypseuses.

#### **III.4.2 Le Turonien**

Le Turonien est représenté uniformément dans toute la zone montagneuse (djebel Bou-Rhezal, au niveau du col Sfaa et djebel Ksoum) par un niveau massif de 200 à 300 m d'épaisseur, composé de calcaires cristallins, de calcaires marneux et de calcaires dolomitiques relativement riches en Hippurites.

#### **III.4.3 Le Sénonien**

Le Sénonien inférieur débute avec la formation marno-calcaire, qui correspond à des alternances de marnes ou calcaires argileux, jaunes verdâtres et de petits bancs calcaires (graveleux, micro conglomératiques à rudistes et lumachelliques) formant une combe très continue. Sa puissance varie de 100 à 200 m.

Le Sénonien supérieur englobant le Maëstrichtien et le Campanien est représenté par des calcaires cristallins et dolomitiques en barres de plus en plus importantes lorsqu'on s'élève dans la série, séparées par de minces passées de marnes et de calcaires argileux.

Des lits de silex s'observent à plusieurs niveaux et notamment dans les dolomies massives avec lesquelles se termine le Sénonien supérieur dans la région de Tolga. Les intercalations lagunaires marneuses et gypseuses sont très nombreuses à l'Ouest.

Le Maëstrichtien et le Campanien sont bien différenciés sur le flanc Nord du djebel Bou-Rhezal et au Delaat El Hamra. Ici, le Maëstrichtien repose sur les marnes noirâtres à *Ostrea Nicasei* et *Ostrea Spinosa* du Campanien.

#### III.4.4 Le Paléogène

La série paléogène est reconnue dans plusieurs endroits de la zone d'étude. Dans les environs de Bordj Chaiba, sur une combe marneuse viennent deux formations typiquement régressives que N. Kazi-Tani (1986) attribue à l'Eocène, en raison de leur position stratigraphique, leur faciès et des dents de squalidés que l'on ne rencontre habituellement dans l'Atlas que dans les termes cénozoïques.

La première, épaisse de 33m, comprend de bas en haut :

- a.* une grosse assise de dolomie blanche cristalline (20m),
- b.* des calcaire intraclastique (3m),
- c.* des calcaire bréchiq ue gris foncé (2m),
- d.* des calcaire à bird eyes clair (2m),
- e.* et des marnes blanches, intercalées de dolomies (6 m).

La deuxième formation de 31m d'épaisseur, débute par des calcaires variés et des dolomies bréchiq ues alternant avec des argiles et des calcaires à bird eyes. La formation se termine par des dolomies en alternance, avec des argiles. Elle totalise 31 m d'épaisseur.

A Oum El Heubel, la série paléogène mesure 105 m, elle se décompose en trois formations complètement dolomitiques où se superposent de bas en haut les faciès suivants :

- a.* les dolomies graveleuses,
- b.* les dolomies à ponctuations souillés,
- c.* les dolomies à bird eyes,
- d.* les dolomies fines en plaquettes,
- e.* des brèches dolomitiques,
- f.* et des argiles blanches.

Les variations de faciès de la série paléogène, sont souvent assez rapides. La figure III.7 réalisée par J. Flandrin (1948) illustre bien ce phénomène en montrant la répartition des principaux faciès de l'Eocène entre djebel Mimouna à l'Ouest de la zone d'étude et oued Djeddi.

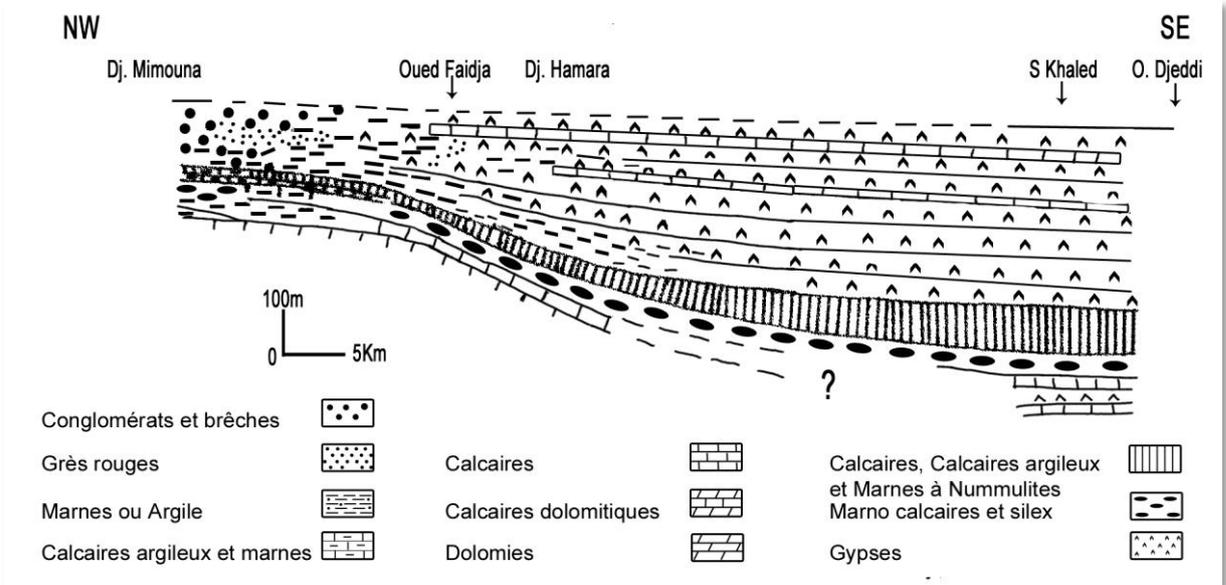


Figure III.7 : Variation de faciès de l'Eocène du Ziban (d'après J. Flandrin, 1948).

Dans la zone d'étude, le paléogène est représenté uniquement par l'Eocène inférieur et l'Eocène moyen.

III.4.4.1 L'Eocène inférieur

L'Eocène inférieur affleure à l'Ouest de Doucen et d'Ouled Djellal, mais la zone principale se situe au Nord de Tolga où il domine toute l'Oasis. Pauvre en fossiles, seules quelques Nummulites, caractéristiques de cet étage, ont été recueillies sur les collines au Nord de Tolga. Il est représenté en général par des calcaires blancs, riches en silex noir, d'une épaisseur de 150 à 250m.

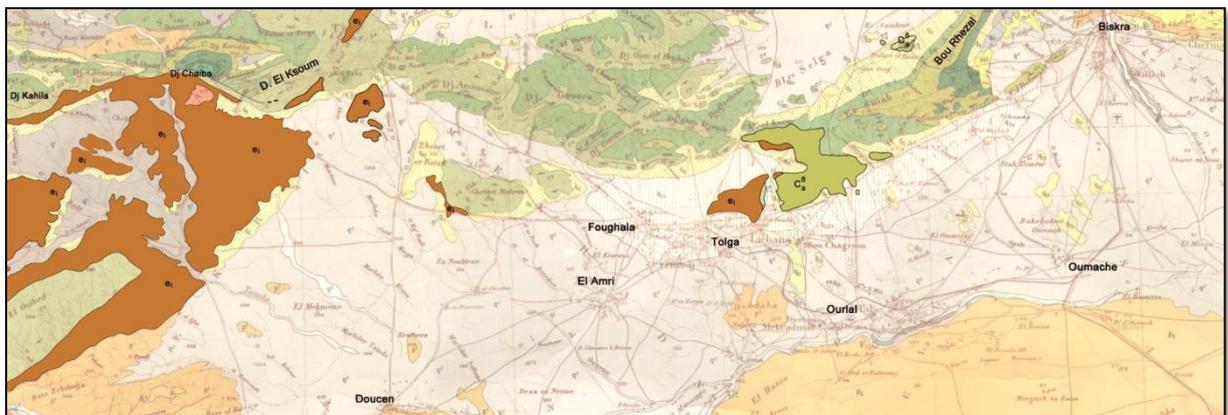


Figure III.8 : Zone d'affleurement de l'Eocène inférieur (extrait de la carte géologique 1962, 1/200.000).

### III.4.4.2 L'Eocène moyen

Ce sont des dépôts de 200m d'épaisseur, exclusivement lagunaire, composés d'argiles, gypses en couches épaisses, anhydrites et calcaires dolomitiques. Au Sud du djebel Kahila et au Sud de djebel Ksoum, la série lagunaire de l'Eocène moyen se termine par un banc de poudingues.

Les couches gypseuses et calcaires sont très développées dans la région des Ouled Djellal où elles forment des niveaux constants d'une extension considérable.

Sur la rive droite de l'oued Djeddi, en face de l'Oasis de Ouled Djellal, les calcaires de l'Eocène moyen ont fourni quelques moules internes de gastéropodes et de lamellibranches

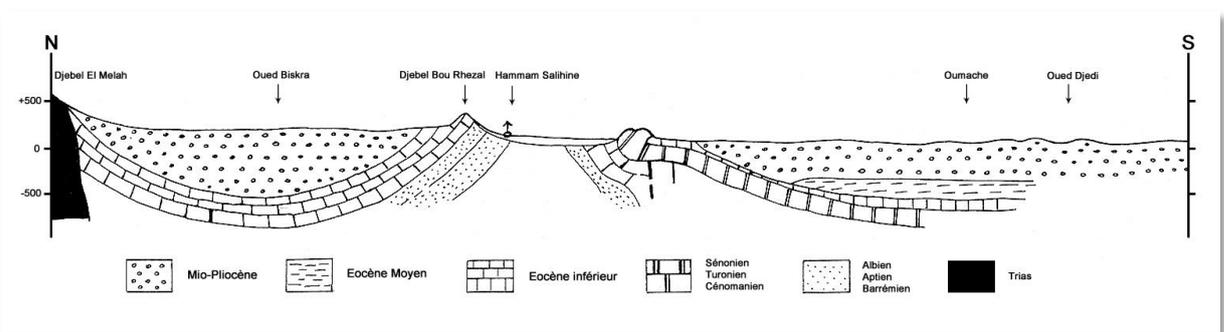


Figure III.9 : Coupe géologique Nord-Sud (extraite de la carte hydrogéologique).

## III.5 APERÇU HYDROGEOLOGIQUE

L'aquifère carbonaté de l'Eocène constitue le réservoir principal dans la région aussi bien pour l'alimentation en eau potable de la population que pour l'irrigation. Il est représenté essentiellement de calcaire blanc fissuré à silex noirs de l'Eocène inférieur auquel il faut ajouter les roches carbonatées du Sénonien supérieur (Maestrichtien). Le toit de la nappe est formé par les dépôts imperméable de l'Eocène moyen et du Mio-Pliocène, ce qui met l'aquifère en charge.

Jusqu'à 1903, l'irrigation des cultures de la région de Tolga était exclusivement assurée par les sources auxquelles l'oasis devait son antique prospérité. Douze (12) sources y viennent au jour sous la croûte gypseuse. Les principales sont :

1. *Ain Sdou*, véritable oued alimenté par de nombreux griffons, qui irriguait la partie de la palmeraie située au sud du Ksar. Son débit était estimé à 67 l/s et ne paraissait au début du siècle nullement en voie de régression. La température de l'eau était de 22°C.

2. Ain Mernanèche, qui arrosait la section nord-est de l'oasis. Cette source avait un débit d'environ 83 l/s.
3. Ain Fouldana et Ain Rassouta dans la partie ouest de l'oasis.
4. Ain Mekara ou Mrara, située dans les jardins à l'Ouest du village. Elle était considérée comme une résurgence de Ain Fouldana et présentait un débit de 10 l/s.
5. Ain Zaouia, située près de Tolga, avait un courant d'eau de 2 l/s.

Auprès de ces sept sources principales, il faut mentionner cinq autres sources de médiocre débit : Ain Bel Lelmi, Ain Oubarech, Ain El Gueber, Ain Metamir, Ain Oum Es Saig.

A l'eau fournie par ces douze sources vient s'ajouter un apport par neuf puits artésiens. Les plus importants sont ceux de Ben Tarcha foré en 1903 et Ben Tobbi qui a jailli le 9 Février 1913 avec un débit de 233.3 l/s. Les autres puits sont ceux de Ain Macta (1912), Ain Ben Tobbi (1913), le puits Buchère (1913), le puits de Rassouta (1923) et trois autres puits forés entre 1923 et 1925.

Le jaillissement des eaux des premiers forages a eu des répercussions directes sur le régime des sources existantes ; certaines ont vu leurs débits diminuer considérablement jusqu'au tarissement.

Pris dans leur ensemble, les puits jaillissants ont été pour Tolga un puissant facteur de prospérité. Ils ont augmenté considérablement les ressources en eau et le nombre de palmiers s'est accru avec un excellent rendement.

Au fur des années et pour subvenir à une demande de plus en plus croissante, le nombre des forages n'a cessé d'augmenter, à tel point qu'actuellement personne ne peut avancer un chiffre exact quant à leur nombre. Le nombre d'autorisation accordée à l'exécution des forages entre Tolga et Ourlal est de 780. On estime que ce chiffre ne représente que 20 à 30 pour cent des puits réellement forés. Le débit moyen exploité par chaque forage est estimé à 10 l/s.

### III.5.1 Piezométrie de la nappe des calcaires

Le mode d'écoulement des eaux souterraines est étroitement lié à la nature lithologique de l'aquifère. Dans la région de Tolga, et d'après la carte piézométrique de 1969 (figure IV.10), nous pouvons constater qu'il existe deux sens d'écoulement général :

- le premier du NW vers le SE
- le second du SW vers le NE.

Cette situation donne naissance à un axe de drainage principal de direction SW-NE. Les écoulements convergent vers la grande dépression qui s'étend de Fougala à Bouchagroun d'où une importante densité de puits en exploitation dans cette zone. Cette direction correspond à la direction des failles dite direction atlasique.

Plus au Sud de Tolga, et plus nous nous éloignons de l'accident Sud Atlasique, la circulation des eaux prend une autre direction orientée NW-SE.

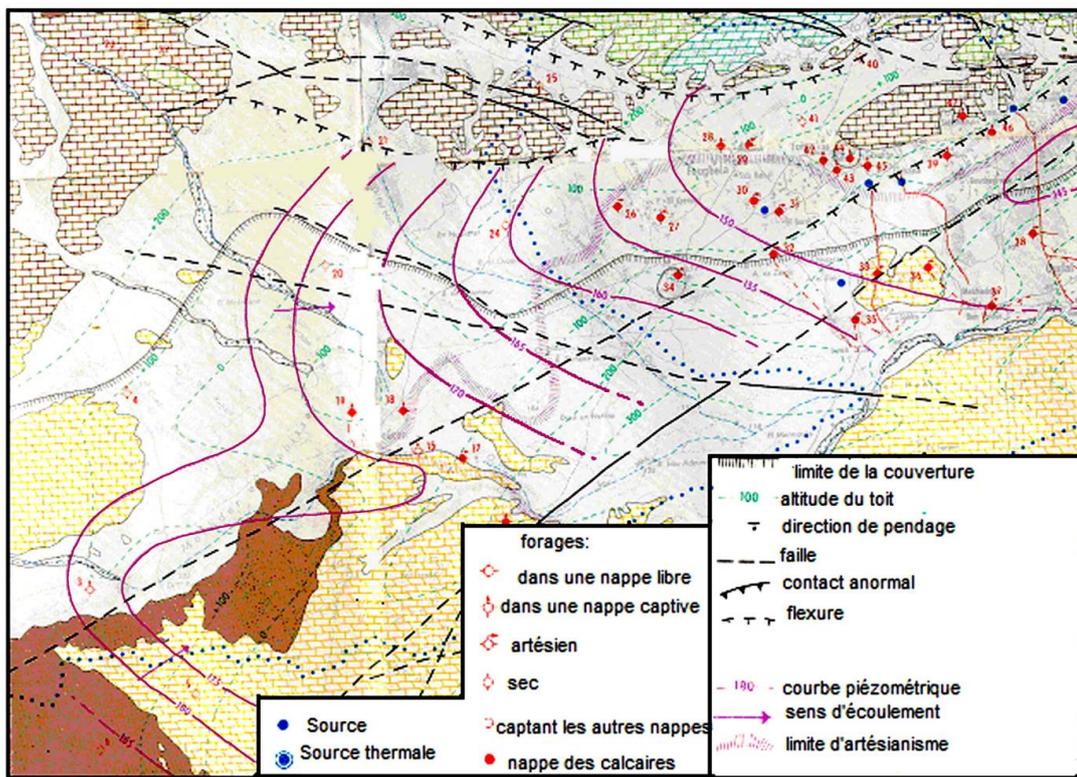


Figure III.10 : Carte piézométrique des eaux de la nappe des calcaires (Extrait de la carte hydrogéologique de Biskra, 1971).

### III.5.2 Les apports (alimentation directe) et les exutoires

L'alimentation de cette nappe se fait à partir des affleurements calcaires situés au Nord de Tolga, de Debdaba et au Nord-Ouest de Biskra. Ces affleurements ont une surface très importante et forment l'impluvium principale de l'aquifère.

L'infiltration efficace a été évaluée à 30 pour cent d'après le SCEPT COOP (1970). Ceci en considérant que tous les calcaires des montagnes des Ziban, qui ont une superficie de l'ordre de 3000 km<sup>2</sup>, participent à l'alimentation de la nappe. Ce qui donnerait un volume annuel infiltré de 121.10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> (les précipitations moyennes annuelles étant de 126.31 mm).

Les exutoires naturels et artificiels de la nappe des calcaires, sont représentés par les forages et les possibilités d'échange entre les nappes.

### III.6 CONCLUSION

La richesse de la région de Tolga et son avenir économique repose essentiellement sur les eaux souterraines de la nappe des calcaires. Nous ne pouvons imaginer un devenir prospère aux cultures, en particulier aux palmiers, et par conséquent aux hommes si tous les moyens ne sont pas mis en place et dans un avenir immédiat pour sauver ce qui reste à sauver des potentialités hydriques de l'aquifère de l'Eocène.

Il ne reste pas de doute, d'après l'étude hydrogéologique, que les réserves du principal réservoir en eau du secteur d'étude sont en continuel diminution. Dans cette région aride, les effets des facteurs climatiques se répercutent d'une manière négative sur les cultures et les eaux superficielles. Les précipitations moyennes annuelles dépassent rarement 200mm et les températures sont très élevées, particulièrement en période sèche.

Même si des précipitations exceptionnelles contribuent temporairement à l'augmentation des réserves des nappes par l'effet de recharge, mais, de par leur rareté, ces pluies ne suffisent pas à rétablir l'équilibre entre les débits extraits et les apports à la nappe.

L'abaissement du niveau piézométrique de la nappe de Tolga pousse chaque année les utilisateurs à augmenter les profondeurs des forages et à abaisser encore plus le niveau de l'eau dans les puits. Ces mesures sont généralement accompagnées par l'achat de matériel qui réponde le mieux aux besoins de la situation actuel. Ce matériel, très coûteux, est également gros consommateur en hydrocarbures et en énergie électrique ce qui se répercute sur le prix de revient de la production des palmiers.

# *Chapitre IV*

*Etude par sondages  
électrique verticales de la  
région de Tolga*

## IV.1 INTRODUCTION

Une étude géophysique par prospection électrique de la région de Tolga a été effectuée par la Compagnie Générale de Géophysique (C.G.G.) pour le compte de la DHW de Biskra.

Les travaux sur le terrain qui ont eu lieu du 4 septembre 1969 au 26 janvier 1970 comportent l'exécution de 445 sondages électriques en longueur de ligne AB comprises entre 1000 et 6000 m.

La région étudiée, située au Sud-Ouest de la ville de Biskra, comprend d'une part les contreforts méridionaux de l'Atlas saharien et d'autre part la bordure septentrionale de la plaine saharienne (figure IV.1).

La prospection géophysique devait permettre le tracé du toit du réservoir de la nappe de Tolga et en particulier de préciser les accidents tectoniques (flexures ou failles) qui affectent ce réservoir.

Pour cela, des sondages électriques ont été réalisés dans la région et se répartissent ainsi :

- 3 S E (Sondage Electrique) en ligne AB = 6000 m
- 20 S E « « = 4000 m
- 61 S E « « = 3000 m
- 58 S E « « = 2000 m
- 94 S E « = 1500 m
- 209 S E « « = 1000 m

Dans la bordure nord du secteur d'étude, les profils sont orientés Nord-Sud et espacés de 2km avec un point de mesure chaque kilomètre. Pour le reste de la région jusqu'à oued Djeddi au Sud, de grands profils espacés de 4 à 8 kms avec un point de mesure tous les 2km.

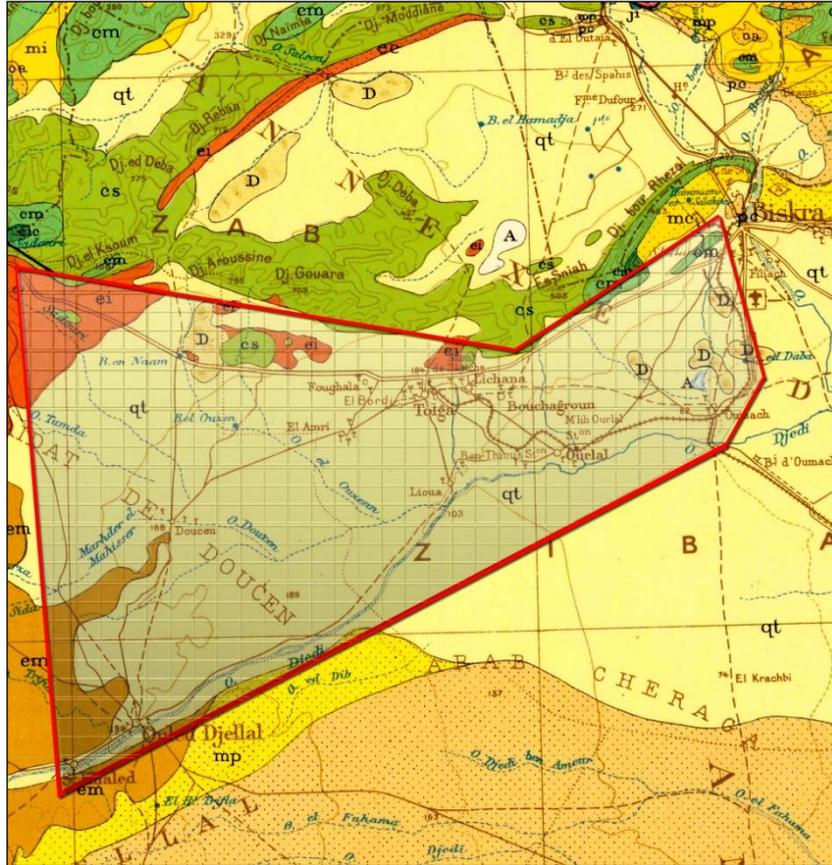


Figure IV.1 : Situation de l'étude géophysique

## IV.2 ECHELLE DE RESISTIVITE RETENUE

L'interprétation a été faite à partir de l'échelle de résistivité suivante :

### *a. Le recouvrement.*

- Eboulis de piémont de 60 à 300  $\Omega$ .m.
- Poudings, galets, calcaires de 30 à 100  $\Omega$ .m.
- Sables, marnes, argiles sableuses de 7 à 20  $\Omega$ .m.
- Argiles et sables très salés de 0,5 - 5  $\Omega$ .m.

### *b. L'Eocène moyen*

- Couche supérieure de calcaire d'anhydrite et de sables de 100 à 700  $\Omega$ .m.
- Alternance de gypses, de calcaires, de dolomies et de marnes de 40 à 80  $\Omega$ .m.
- Calcaire marneux, marnes de 2 à 10  $\Omega$ .m.

*c. L'Eocène inférieur*

- Couche supérieure de calcaire et de dolomie 100 à 200  $\Omega$ .m.
- Couche inférieure de calcaire crayeux et de marne blanche 20 à 40  $\Omega$ .m.

*d. Le Sénonien :*

- Calcaire Maestrichtien sec 800 à 1500  $\Omega$ .m.
- Calcaire Maestrichtien humide 200 à 400  $\Omega$ .m.
- Santonien-Coniacien de 60 à 120  $\Omega$ .m.

**IV.2.1 Sondages électriques P1 à P10**

Dix sondages électriques étalons ont été réalisés à l'aplomb, ou à proximité de quelques forages situés en bordure nord de la région.

*a. Le recouvrement Plio-Quaternaire*

Il s'agit de sables, de marnes, d'argiles et de rognons calcaires. La résistivité moyenne est comprise entre 8 et 20  $\Omega$ .m aux sondages P7 et P8 (Fig. IV.2 c) et P10 (Fig. IV.2 d). Cependant un niveau résistant de galets et de poudingues apparaît à la base avec une résistivité de l'ordre de 50  $\Omega$ .m qui se confond avec l'Eocène inférieur.

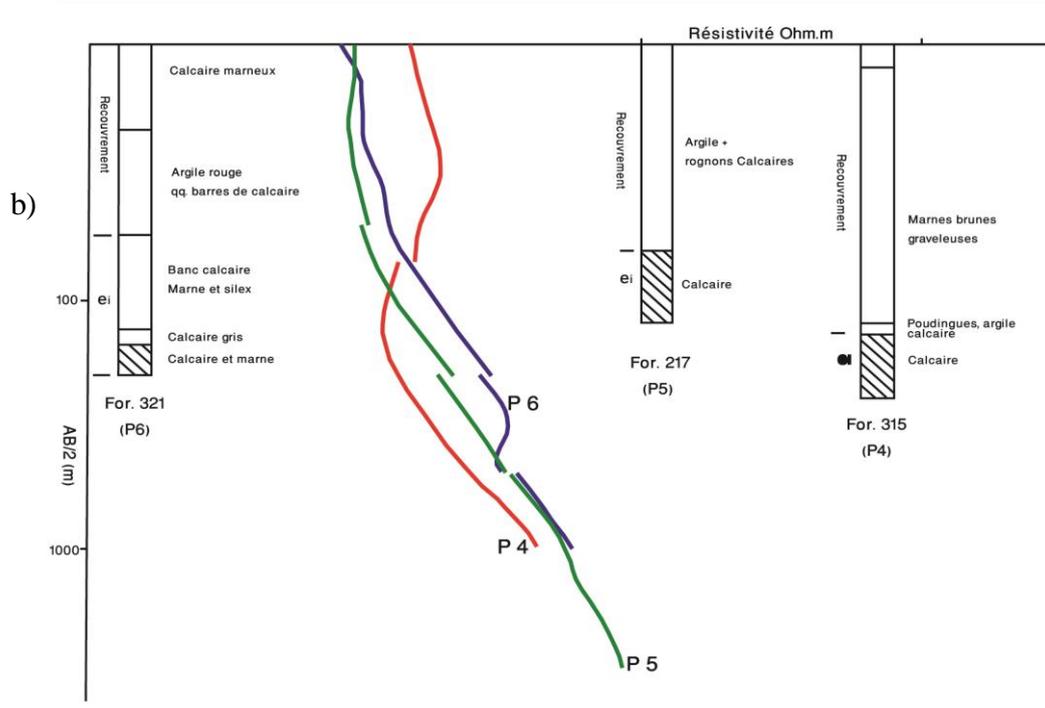
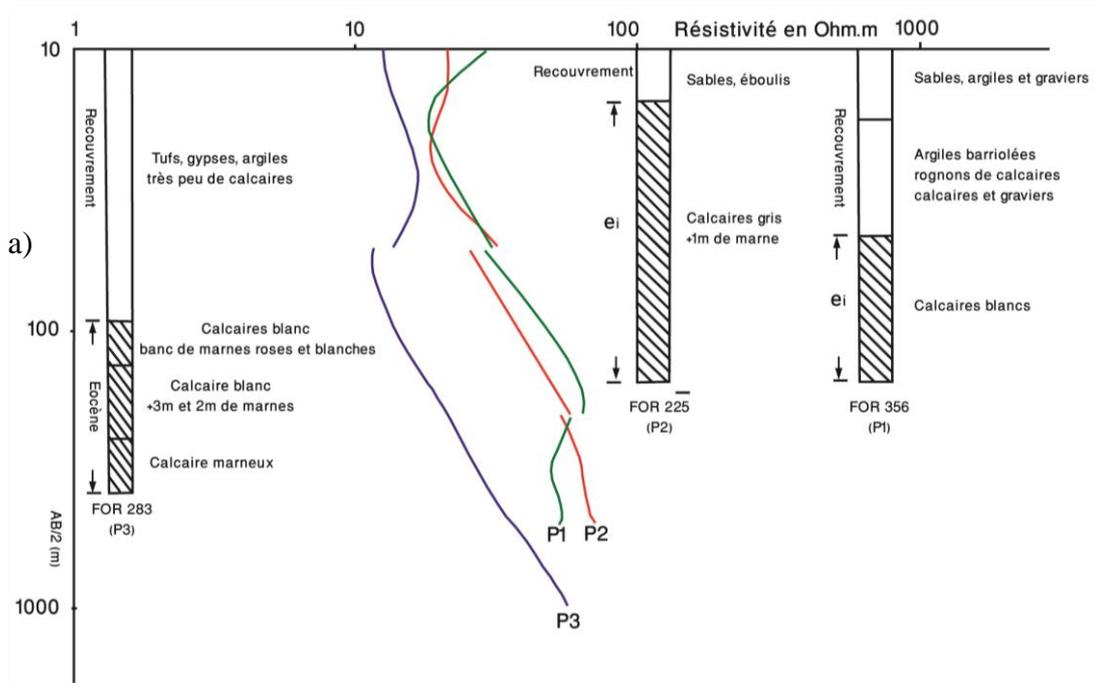
*b. L'Eocène inférieur*

Les résultats sont homogènes et l'Eocène inférieur apparaît au niveau des sondages électriques P<sub>1</sub> et P<sub>2</sub> (Fig. IV.2 a). Il est formé essentiellement de deux types de terrains : un terrain résistant de résistivité transversale comprise entre 1000-5000  $\Omega$ .m<sup>2</sup> et un terrain conducteur sous-jacent de conductance longitudinale comprise entre 5-8 mho.

Nous retrouvons cette succession résistante sur des couches conductrices dans la plupart des étalons. Il est probable que la partie supérieure soit plus carbonatées (calcaire et dolomitique) et la partie inférieure plus marneuse. Le sondage mécanique réalisé à Bouchagroune confirme cette hypothèse.

Même si la majorité des logs stratigraphiques des forages de Tolga ne font pas apparaître nettement cette distinction, il faut se reporter au forage de Chegga (50 km au Sud-Est de

Biskra) pour trouver une description de l'Eocène inférieur qui mette en évidence cette succession.



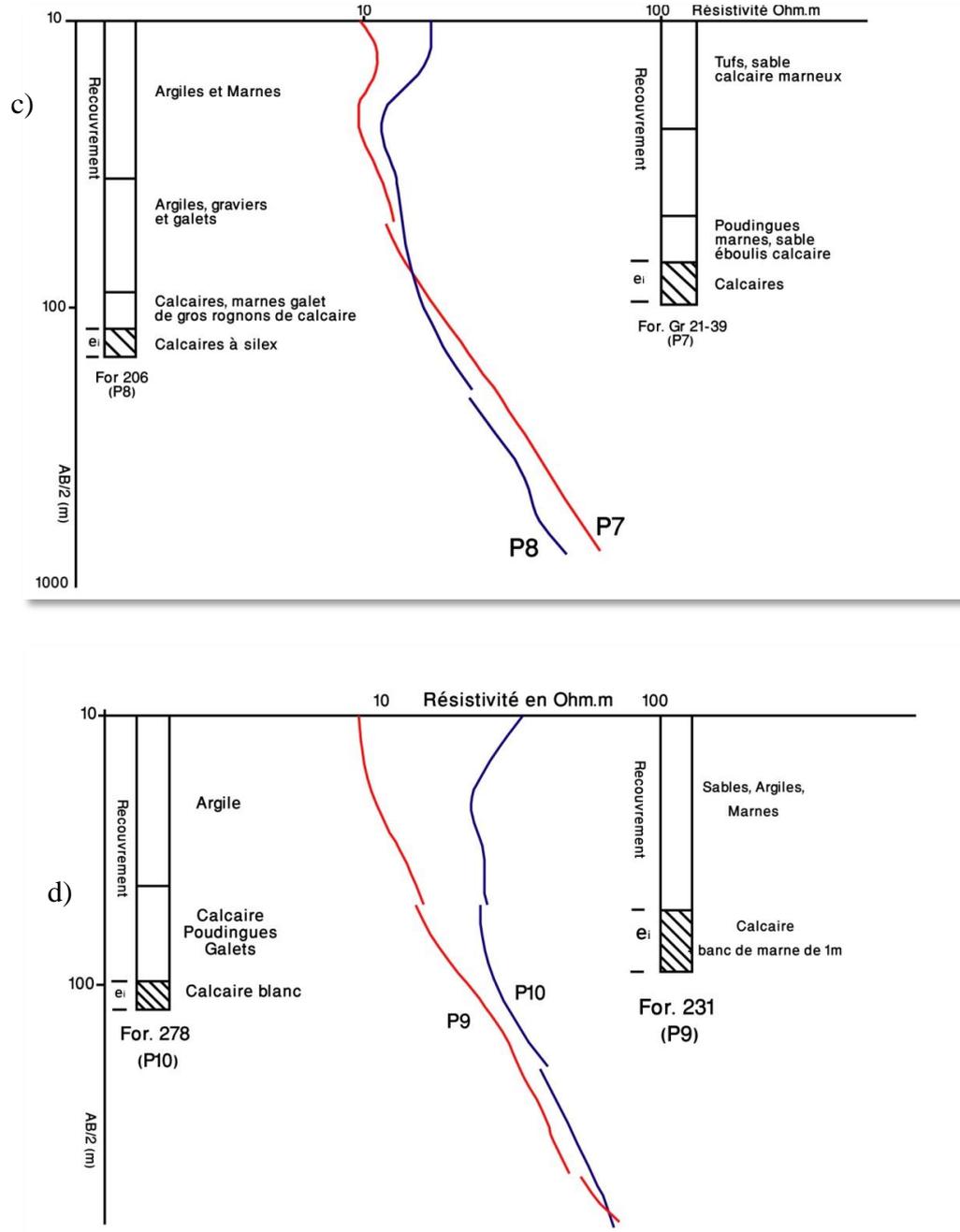


Figure IV.2 : Sondages électriques étalons P1 à P10

#### IV.2.2 Les sondages électriques TBO (FS3), TDO (FS10) et OG2 (FS2)

Trois forages ont été réalisés au Sud de Tolga, il s'agit du sondage électrique TBO (344G10), de TDO (342G10) et de OG2 (341G10) (fig IV.3). Les résultats électriques obtenus ont été

vérifiés avec ceux des sondages mécaniques tels que le SM10 de Lioua qui correspond au FS10.

**a. Le recouvrement**

Le recouvrement est conducteur aux sondages électriques (S.E) OG2 et TDO. Il s'agit d'argiles sableuses et de sables de résistivité moyenne comprise entre 2 et 6 Ω.m, puis quelques passées de gypses à 60 Ω.m au S.E OG2. Cette succession a une épaisseur variable puisqu'elle passe de 260 mètres au niveau du S.E OG2 à 150m au TDA et 130m au TBO.

Il est à noter la présence au SE TBO de deux passages, de 15 et 30 mètres d'épaisseur, très résistants (120 Ω.m) formés de conglomérats, grès et calcaire.

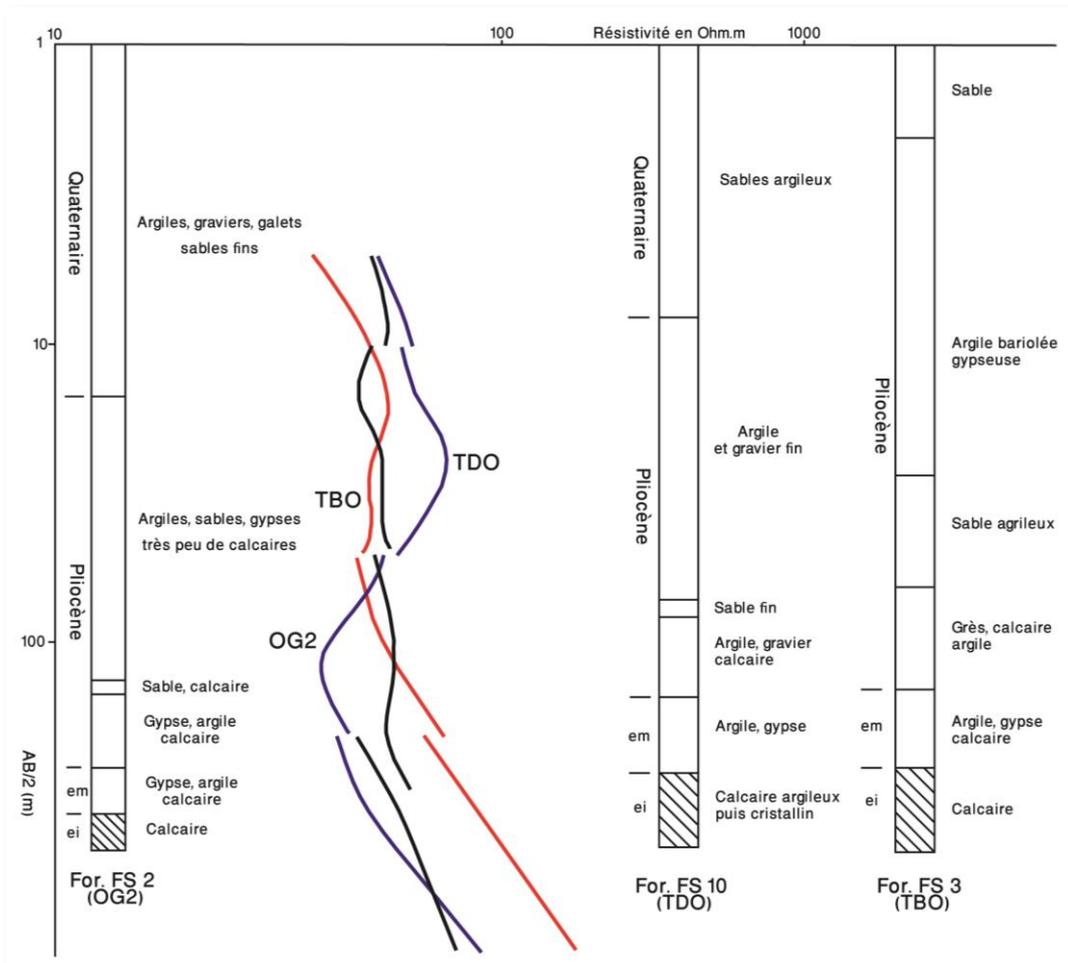


Figure IV.3 : Sondages électriques étalons ; forages FS2 (OG2), FS 10 (TDO) et FS 3 (TBO)

***b. L'Eocène moyen***

Il présente une épaisseur identique (environ 110 m) au niveau des 3 forages avec alternance très rapide d'argile, de dolomies et de gypses. Le rapport entre les résistivités de l'argile et du gypse est supérieur ou égale à 10. En raison de la faible épaisseur de chaque couche, qui est de l'ordre de 2 à 3 m, ce milieu présente une anisotropie électrique importante.

Comme pour le recouvrement, la résistivité moyenne de l'Eocène moyen est inférieure aux sondages électriques OG2 et TDO par rapport à celle obtenue au S.E TBO (environ 40  $\Omega$ .m pour OG2 et TDO et 80  $\Omega$ .m pour TBO).

A la base de l'Eocène moyen, on trouve un passage de 10 à 30 cm d'épaisseur de calcaire argileux très conducteur, de résistivité de 2 à 5  $\Omega$ .m, puis un passage très résistant de 100 à 300  $\Omega$ .m constitué d'une formation gypseuse dont l'épaisseur varie de 20 à 40 m.

***c. L'Eocène inférieur***

L'Eocène inférieur est décrit comme un calcaire gris argileux contenant quelques concrétions de silex. Sa résistivité varie de 80 à 160  $\Omega$ .m, en fonction de la nature des intercalations qui peuvent être plus ou moins gypseux.

**IV.2.3 Le sondage électrique OF4 (FS61)**

Ce forage (fig. IV.4) est situé au Sud-Est de Tolga.

***a. Le recouvrement***

Beaucoup plus argileux, donc beaucoup plus conducteur (2 à 30  $\Omega$ .m) que dans le cas des forages précédents. Le recouvrement dans cette région masque en grande partie l'information sur les couches profondes d'où la difficulté d'une investigation de cette partie des formations.

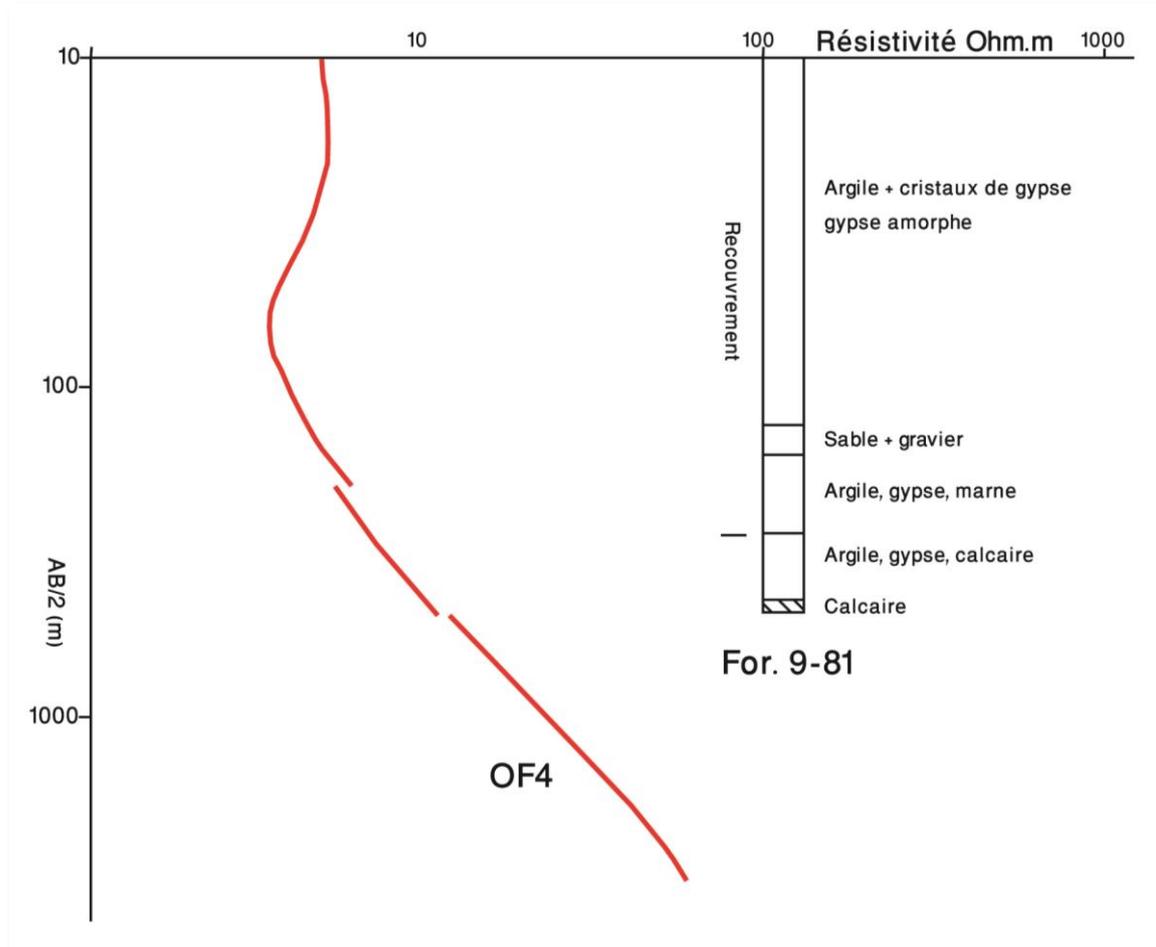


Figure IV.4 : Sondage électrique étalon OF4

### *b. L'Eocène moyen*

L'épaisseur de l'Eocène moyen (253 m), est ici deux fois plus grande que dans les forages précédents. Au point de vue électrique, sous le recouvrement, un milieu unique très résistant dont la  $R_T$  est de  $25.000 \Omega.m^2$  comprenant vraisemblablement tout l'Eocène moyen plus la partie résistante de l'éocène inférieur.

### *c. L'Eocène inférieur*

L'Eocène inférieur n'est pas mis en évidence sur ce sondage.

#### **IV.2.4 Difficultés d'interprétation**

Le nombre élevé de sondages étalons ont certes favorisé une meilleure interprétation des sondages électriques, mais ils ont également permis de constater combien sont grandes les variations de faciès et de salures.

L'hétérogénéité de certaines formations complique d'avantage l'interprétation et la distinction des divers terrains en entraînant :

- des confusions entre le recouvrement et l'éocène moyen,
- des confusions entre l'Eocène moyen et l'Eocène inférieur,
- des confusions entre le recouvrement et l'Eocène inférieur.

Ces mêmes difficultés sont rencontrées dans l'interprétation des sondages mécaniques.

### **IV.3 CARTE DES RESISTIVITES APPARENTES**

La carte des résistivités apparentes tracée pour une longueur de ligne AB = 1000 m donne une image qualitative de la situation géologique entre 150 et 300 m de profondeur environ.

Nous constatons que plus la résistivité apparente est faible, plus l'Eocène inférieur est profond. Cinq zones (05) se différencient sur la carte (fig.IV.5).

#### **IV.3.1.1 Zone A**

Elle se situe au Nord de la route joignant Tolga à Chaiba. Les structures tectoniques sont de direction générale Est-Ouest avec des accidents transverses correspondant à de très forts gradients entre deux courbes successives d'égale résistivité.

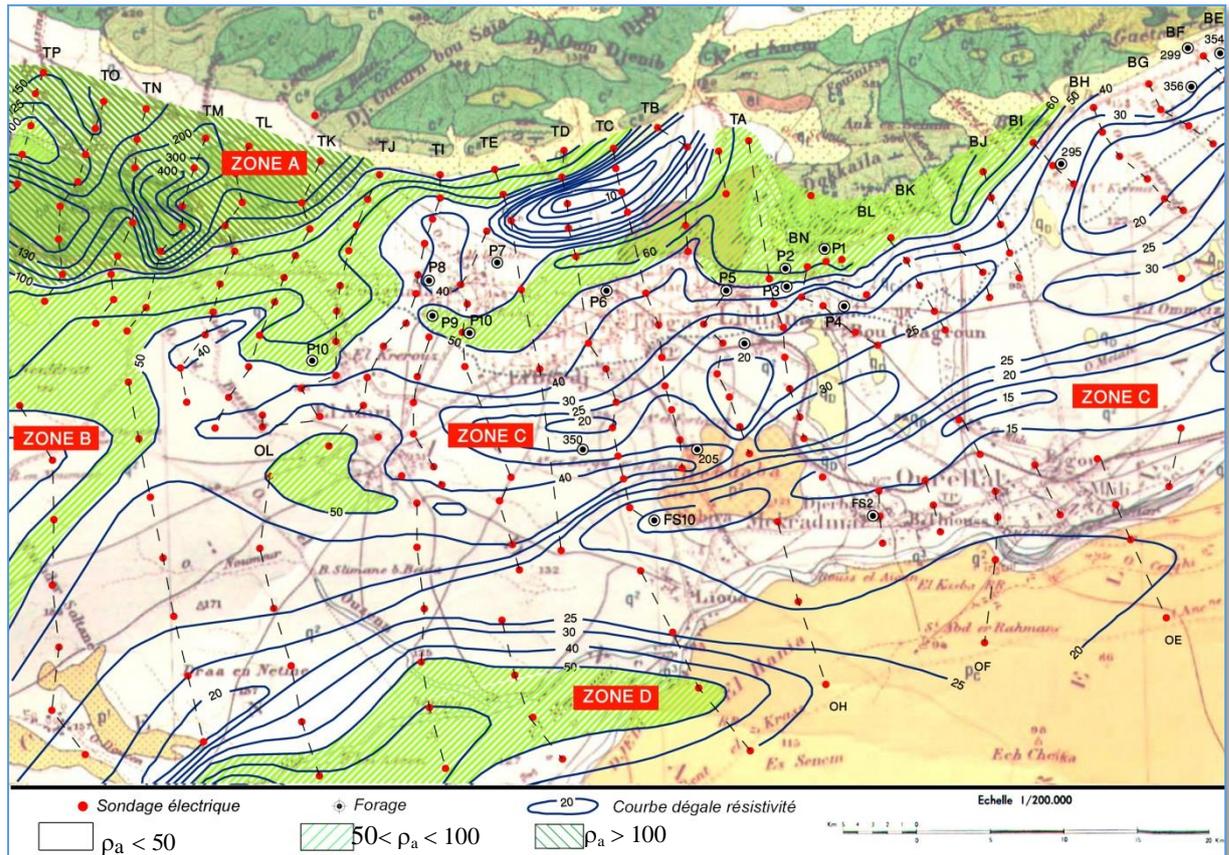


Figure IV.5 : Carte des résistivités apparentes en ligne AB=1000m (D'après la C.G.G, 1970 modifiée).

#### IV.3.1.2 Zone B

C'est une région calme, à structure générale synclinale avec un axe de direction NE-SW correspondant à un axe de résistivité apparente faible (inférieur à  $40 \Omega.m$ ). La profondeur maximum de l'Eocène inférieur est ici de l'ordre de 300 m.

#### IV.3.1.3 Zone C

C'est la zone la plus étendue puisqu'elle s'étend de Biskra à l'Ouest à Ouled Djellal au Sud Ouest, en passant par Tolga et Ourlal. La nature et en particulier la salinité des couches superficielles et des couches de moyenne profondeur (Eocène moyen) varient considérablement d'un point à l'autre de la région. Cette hétérogénéité a pour effet d'altérer les valeurs obtenues et ne peut refléter la réalité structurale.

Sur la carte des résistivités, au milieu d'un ensemble conducteur apparaît un axe résistant qui correspond soit à une remontée du substratum soit à une augmentation de la résistivité du recouvrement et de l'Eocène moyen (présence d'anhydrites).

La corrélation des sondages électriques avec les sondages mécaniques correspondants montre l'existence d'une épaisse couche d'âge Eocène moyen et Plio-Quaternaire qui atteint respectivement 155 m et 166 m. Ces couches renferment de l'anhydrite, du gypse, des graviers et des conglomérats qui ont une forte résistivité. Précisons que pour quelques forages, la distinction entre les différents étages n'est pas nette en raison de la variabilité des faciès (calcaires, marnes, gypses).

De ce fait, nous considérons que la résistivité du recouvrement explique les forts gradients de résistivité. De plus, au Sud Est de Biskra, les résistivités sont de plus en plus faibles et décroissent régulièrement vers le Sud, l'Eocène inférieur se trouve par exemple à 820 m de profondeur à Chegga.

#### **IV.3.1.4 Zone D**

Au Nord-Est de Ouled Djellal s'individualise une zone très résistante séparée d'un couloir conducteur par un gradient élevé. Cette structure peut être expliquée de deux manières :

- La première est la présence d'une remontée brutale du substratum ; l'Eocène inférieur et/ou le Maestrichtien seraient sub-affleurants par l'intermédiaire d'une faille d'un rejet de l'ordre de 200 à 500 m.
- La seconde est l'existence d'une série épaisse et très résistante de l'Eocène moyen (anhydrites) qui cacherait la structure sous-jacentes ce qui conduirait à une faille d'un rejet beaucoup plus faible.

La corrélation avec les sondages mécaniques de cette zone est plutôt favorable pour la deuxième explication. A titre d'exemple, le sondage mécanique de oued Doucen "SM 84" fait apparaître une épaisse couche d'anhydrite massive de 100 m d'épaisseur qui appartient à l'Eocène moyen.

#### IV.4 LA CARTE DU TOIT DE L'EOCENE INFÉRIEUR

La campagne de prospection électrique et les nombreux forages de la zone de Tolga ont permis de tracer une carte assez précise du toit de l'Eocène inférieur (fig. IV.6). La tectonique générale est de direction NE-SW, bien que marquée par un faible rejet, des accidents transverses (NW-SE) sont suggérés par les courbes de résistivité notamment au niveau des sondages électriques TF1 à TJ1 et TA1 à TB5. Un seul accident majeur de direction NE-SW puis de direction E-W fait apparaître un horst au Sud de la région étudiée.

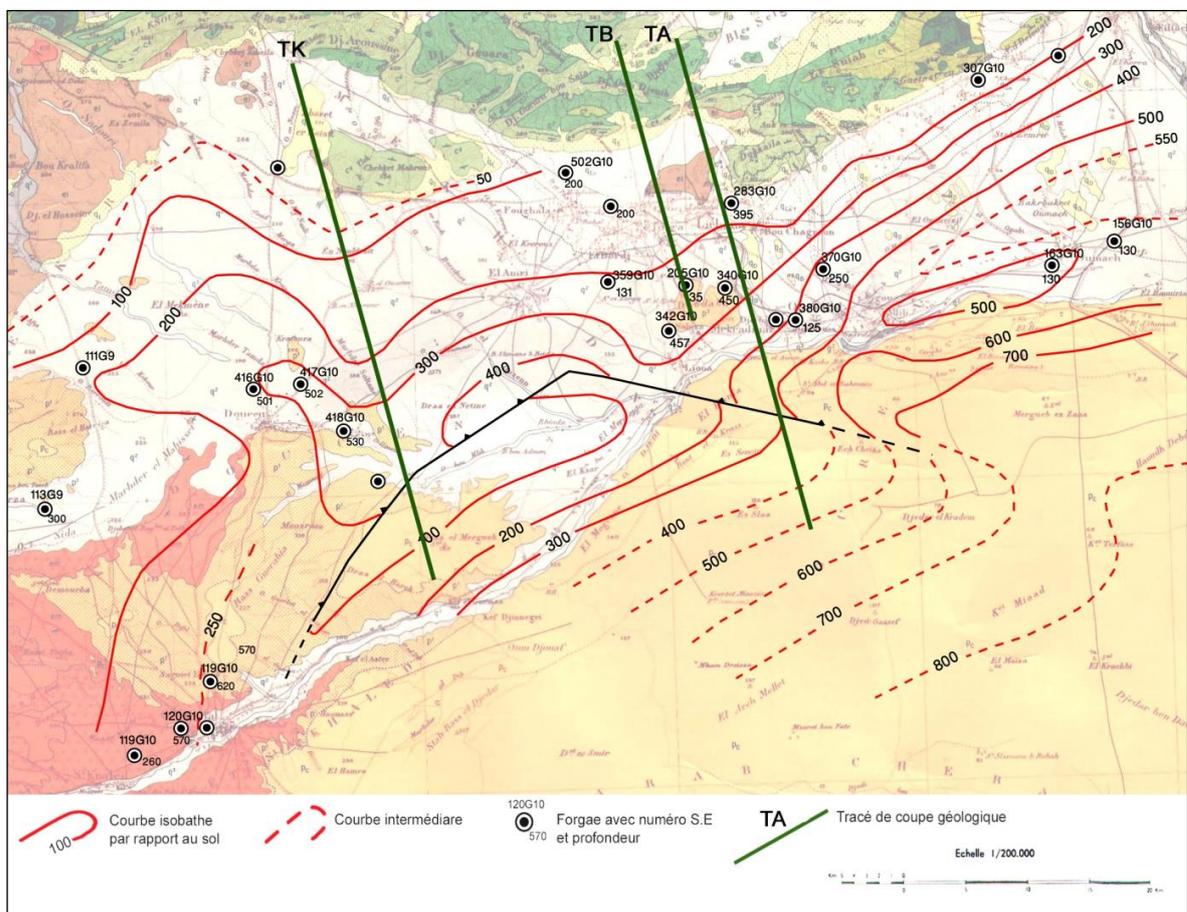


Figure IV.6 : Carte du toit de l'Eocène inférieur carbonaté (D'après la C.G.G, 1970 modifiée).

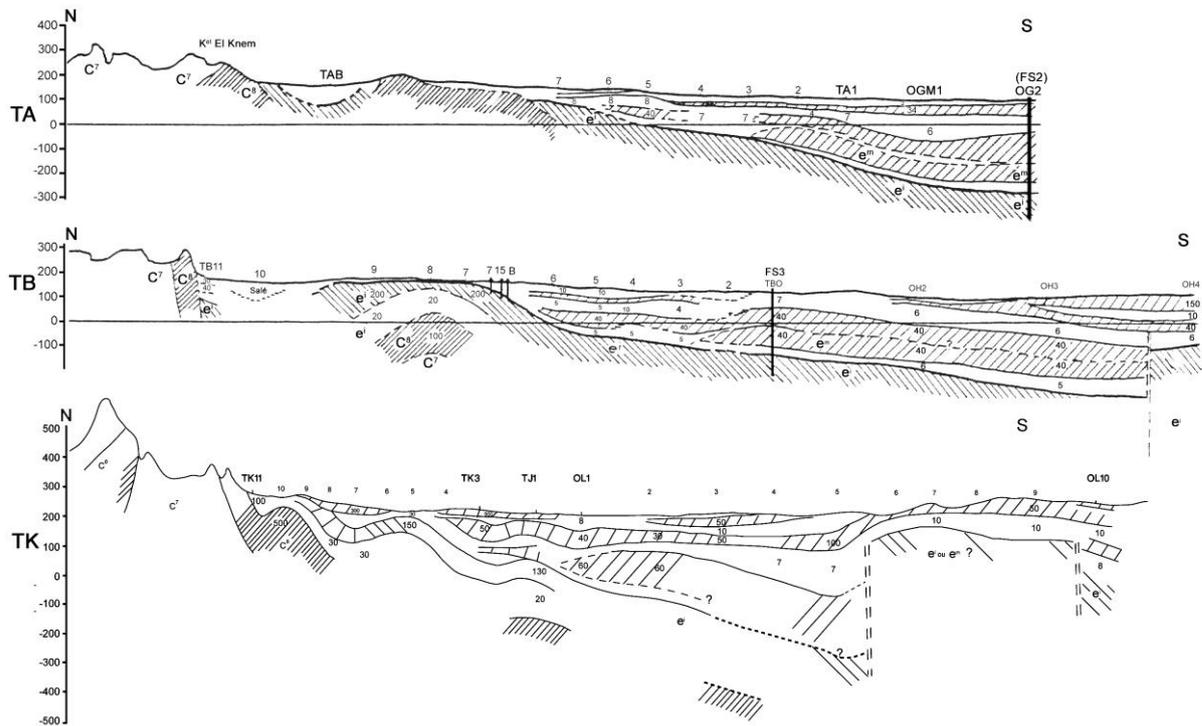


Figure IV.7 : Coupes géoélectriques (D'après la C.G.G, 1970).

L'abaissement vers le SE du toit de l'Eocène inférieur, mis en évidence aussi par les forages, s'explique par un pendage quasi-régulier des couches géologiques plutôt que par une série de failles parallèles (fig.IV.7).

La limite vers le Nord de l'Eocène moyen correspond à l'axe résistant bien visible sur la carte des résistivités. Il s'agit d'une limite d'érosion et nous pouvons noter qu'elle ne correspond à aucune variation notable du pendage de l'Eocène inférieur sous-jacent. Cette position est en parfait accord avec les données des forages.

## IV.5 CONCLUSION

L'Eocène inférieur, réservoir de la nappe de Tolga a été étudié par la géophysique électrique. Les renseignements apportés se résument comme suit :

- D'un point de vue tectonique seul les accidents mineurs de direction atlasique et leurs conjugués l'affectent, un seul accident majeur de direction Nord-Est/Sud-Ouest puis de direction Est-Ouest fait apparaître un horst au Sud de la région étudiée.

- D'un point de vue lithologique, il apparait que la nature de l'Eocène inférieur ne soit pas uniforme sur le périmètre prospecté. En effet, la corrélation entre sondages mécaniques et électriques montre des variations des niveaux gypseux et marneux dans la série, traduisant la variation de la perméabilité et la salinité de l'eau qui y circule.
- Les coupes géoélectriques et la carte du toit de l'Eocène inférieur montrent un enfouissement de la formation aquifère du Nord-Ouest vers le Sud-Est et tout nouveau forage d'une profondeur de l'ordre de 500 m devrait atteindre l'Eocène inférieur.

***CONCLUSION  
GENERALE***

## CONCLUSION GENERALE

Les méthodes géophysiques pour la recherche de l'eau et l'implantation de forages, sont efficaces si elles viennent en complément des études hydrogéologique, géomorphologique et la photo-interprétation. L'objectif de la géophysique est de détecter sur un site délimité par l'hydrogéologue, une ou plusieurs anomalies pouvant emmagasiner l'eau souterraine. Le second but est de déterminer les caractéristiques géoélectriques de ces couches ou de ces anomalies.

Le sondage électrique vertical (SEV), est une méthode de prospection géophysique bien adaptée à l'hydrogéologie et qui se veut quantitative pour l'identification des aquifères. Le dispositif mesure les variations de la résistivité électrique ( $\rho$ ) du sol qui traduit la difficulté avec laquelle un courant électrique peut traverser un volume de terrain donné. La résistivité électrique dépend essentiellement de la porosité des sols, c'est-à-dire de la taille et de l'homogénéité des grains constitutifs du sédiment. Un sol très hétérogène, avec une part de gravier grossier importante est donc très résistant. Une couche sédimentaire alluviale argileuse, où les grains sont fins et bien triés, présente une plus faible résistivité. Un des avantages de la méthode électrique découle de cette relation entre la porosité d'un sol et sa résistivité. Elle est très efficace pour détecter des différences, même minime, de la composition sédimentaire.

Pour effectuer la mesure de résistivité, un courant électrique est injecté dans le sol, grâce à deux électrodes d'injection. Un champ électrique se crée et des lignes de courant se forment dans le sol entre les deux électrodes d'injection. Le long de ces lignes de champ, d'intensité électrique connue (exprimée en Ampère), une mesure de potentiel (exprimée en Volt) est effectuée entre deux électrodes de mesure. Une simple application de la loi d'Ohm (le potentiel électrique est égal à la résistance du milieu multiplié par l'intensité mesurée) permet de calculer la valeur de résistivité du sol. Cette résistivité étant mesurée entre deux points, le long des lignes de champ électrique, elle est exprimée en  $\Omega.m$ . La valeur de résistivité mesurée prend en compte un volume de sol hétérogène et intègre l'ensemble des contributions de l'ensemble des milieux de résistivité propre. La valeur mesurée est donc appelée résistivité

apparente du sol, une même mesure peut en effet correspondre à des réalités géologiques très différentes.

Une étude géophysique par prospection électrique de la région de Tolga a été effectuée par la Compagnie Générale de Géophysique (C.G.G.) pour le compte de la DHW de Biskra. Les travaux sur le terrain comportent l'exécution de 445 sondages électriques en longueur de ligne AB comprises entre 1000 et 6000 m.

La région étudiée, située au Sud-Ouest de la ville de Biskra, comprend d'une part les contreforts méridionaux de l'Atlas saharien et d'autre part la bordure septentrionale de la plaine saharienne.

La prospection géophysique a permis de tracer le toit du réservoir de la nappe de Tolga et en plus de préciser les accidents tectoniques (flexures ou failles) qui affectent ce réservoir.

Il ressort de cette étude que l'ensemble Turonien-Sénonien-Eocène inférieur se comporte globalement comme une seule entité hydrogéologique ou nappe. Il est localement différencié en deux lorsque le sénonien intermédiaire devient plus imperméable.

Le réservoir prospecté présente des caractéristiques physiques différentes selon les secteurs :

- le secteur Nord (Tolga) présente une bonne fissuration des calcaires aquifères et la nappe est peu profonde ;
- le secteur centre présente une bonne fissuration dans l'ensemble et la nappe n'est pas très profonde (200 à 300m) ;
- dans le secteur Ouest, la nappe est profonde et les rares fissures sont colmatées ce qui indique un réservoir peu productif.
- le secteur Sud-Est constitue une limite étanche.

L'écoulement des eaux souterraines se fait, d'une manière générale, de l'Ouest vers l'Est. Dans la zone d'alimentation les équipotentielles sont parallèles à l'allongement du djebel Hamara.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BEL, F. & CUCHE, D., (1970) : Etude des nappes du complexe Terminal du bas Sahara. Données géologiques et hydrogéologiques pour la construction du modèle mathématiques. Direction de l'Hydraulique de la Wilaya de Ouargla.

BUSSON G, (1972) : Etude des ressources en eau du Sahara septentrional par UNESCO Utilisation des modèles pour l'établissement des programmes d'exploitation .VOL 5.

CASTANY. G, (1982) : Le bassin sédimentaire du Sahara septentrional (Algérie-Tunisie). Aquifères du continental intercalaire et du complexe terminal. Bull. du B.R.G.M. Hydrogéologie et géologie de l'ingénieur. 2ème série .2.127-149.

CHAPELLIER, D., MARI J.C. Principe de base. Cours online de géophysique de l'Université de Lausanne.

CORNET A. & ROGNON P. (1961) : Les débits circulant dans la nappe du CI Sahara alg. Pub. 57 AISH (coll. Athènes) et Chron. d'hydrog. n°11,1967.

COLLOT, J. L'outil géophysique – les différentes méthodes d'imagerie géophysique. Université de la Nouvelle-Calédonie

DEMRH , (1980) : Notice explicative de la carte hydrogéologique de Biskra, Direction des études de milieu et de la recherche hydraulique, Service hydrogéologique .

ERESS, 1972. Etude des Ressources en Eau du Sahara Septentrional. UNESCO, Paris. (7 Vols. and Annexes).

FABRE, (1974) : Le Sahara : un musée géologique, La Recherche N°42.

LABADI A. (2013). Contribution de l'hydrochimie à la connaissance de la structure et du fonctionnement des aquifères du Sahara septentrional. Thèse doctorat, Université de Biskra.

MEYER DE STADELHOFEN, C., 1991. Application de la géophysique aux recherches d'eau, technique et documentation (Lavoisier),

MARGAT J. & SAAD K. F. (1982) : L'utilisation des ressources en eau souterraine non renouvelables pour le développement. 4eme conférence internationale sur la planification et la gestion des eaux. Marseille

NESSON C. (1975) - L'évolution des ressources hydrauliques dans les oasis du Bas-Sahara algérien. In : Recherche sur l'Algérie, Mémoires et Documents, vol. 17, Édité. CNRS, Paris, p. 7-100.

NESSON, (1978) : L'évolution des ressources hydrauliques dans les oasis du bas Sahara algérien. Recherches sur l'Algérie. Edition CNRS Paris. Pages 68 – 75.