

## Département des Sciences de la Terre

### Licence en Sciences et Techniques Eau & Environnement

#### Mémoire de projet de fin d'études

## Etude hydrogéophysique du secteur de Jaidate, Haouz oriental, Maroc

Réalisé par : Keltouma AIT LAHINTE, Fatimaezzahra AIT DAHAN  
et Oumaima BOULOUKT

Soutenu le : 19 juin 2023

Devant la commission d'examen composée de :

|                   |                       |                |
|-------------------|-----------------------|----------------|
| Encadrant         | M. Mohammed JAFFAL,   | FST Marrakech  |
| Encadrant externe | M. Abdelaziz HARROUD, | 4GEO Marrakech |
| Examineur         | M. Azzouz KCHIKACH,   | FST Marrakech  |

Année universitaire 2022-2023

# Remerciements

Tout d'abord, nous tenons à remercier chaleureusement les personnes qui nous ont aidés dans l'élaboration de ce mémoire.

En premier lieu, nous souhaitons exprimer notre gratitude à Monsieur **JAFFAL**, qui a assuré l'encadrement de notre étude et la rédaction de notre mémoire de projet de fin d'études. Nous le remercions pour le temps précieux qu'il nous a accordé, ses conseils avisés, sa patience et ses remarques constructives, qui ont été extrêmement instructifs. C'est grâce à son intervention précieuse que nous avons eu l'opportunité de mener à bien ce projet.

Nous tenons également à remercier Monsieur **HARROUD**, notre encadrant externe, pour les informations précieuses qu'il nous a fournies avec intérêt et compréhension. Grâce à lui, nous avons pu élargir nos connaissances. Son engagement à partager son expérience a été une source d'inspiration et de motivation pour nous.

Nous exprimons notre gratitude à Monsieur **KCHIKACH** pour avoir accepté d'examiner notre travail. Nous le remercions également pour le temps qu'il nous a accordé, son expertise et son attention précieuse qui ont été essentiels pour évaluer notre travail et nous offrir des conseils constructifs.

Nous tenons à remercier tous les enseignants et le personnel de la Faculté des sciences et techniques de Marrakech, et plus particulièrement ceux du département de géologie, pour leur aide et leurs précieux conseils, ainsi que pour l'intérêt qu'ils portent à notre formation.

Enfin, nous souhaitons exprimer notre reconnaissance envers toutes les personnes qui, directement ou indirectement, ont contribué à la finalisation de ce travail. De plus, nous n'oublions pas d'exprimer notre profonde gratitude envers nos chers parents qui nous ont soutenus avec patience tout au long de l'élaboration de ce projet.

## Table des matières

|   |           |
|---|-----------|
| <b>INTRODUCTION</b> .....                                   | <b>3</b>  |
| <b>Chapitre 1 : CONTEXTE DE L'ETUDE</b> .....               | <b>4</b>  |
| <b>I. CONTEXTE DE L'ETUDE</b> .....                         | <b>5</b>  |
| I.1- Situation géographique.....                            | 5         |
| I.2- Cadre géologique régional.....                         | 6         |
| I.3- Géologie locale .....                                  | 9         |
| I.4- Cadre hydrogéologique.....                             | 11        |
| <b>Chapitre 2 : METHODOLOGIE</b> .....                      | <b>13</b> |
| <b>II. METHODOLOGIE</b> .....                               | <b>14</b> |
| II.1. Principe de la prospection électrique.....            | 14        |
| II.2. Tomographie de la résistivité électrique.....         | 17        |
| <b>Chapitre 3 : PROSPECTION DE LA ZONE DE JAIDATE</b> ..... | <b>20</b> |
| <b>III. PROSPECTION DE LA ZONE DE JAIDATE</b> .....         | <b>21</b> |
| III.1. Acquisition des données.....                         | 21        |
| III.2. Analyse et interprétation des résultats.....         | 23        |
| <b>CONCLUSION</b> .....                                     | <b>30</b> |
| <b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b> .....                    | <b>32</b> |

## INTRODUCTION

Les ressources hydriques étaient considérées comme étant abondantes et inépuisable jusqu'à un passé relativement récent. Cependant, les dernières décennies ont connu une mobilisation accrue de ces ressources en raison de l'augmentation des besoins liés à la forte croissance démographique, à l'expansion des superficies irriguées et aux déficits des apports pluviaux engendrés par la récurrence des périodes de sécheresse. Ainsi, les eaux souterraines sont très sollicitées pour la satisfaction des besoins accrus en eau potable des agglomérations, pour l'irrigation des milliers d'hectares et pour des besoins des certaines activités industrielles. Il en résulte une surexploitation de ces ressources qui pourrait conduire à long terme à leur épuisement. D'où la nécessité d'une gestion rationnelle de ces ressources qui passe avant tout par leur bonne connaissance en termes de réserves souterraines.

Le sujet que nous avons abordé dans le cadre du présent stage de fin d'études s'inscrit pleinement dans cette perspective. Il vise à appréhender la structure profonde d'un site situé près du village de Jaidate dans la région de Marrakech, en vue de déterminer les zones favorables à l'implantation des forages d'exploitation des eaux souterraines. La méthodologie que nous avons utilisée est basée sur l'application de la technique de tomographie de la résistivité électrique, afin d'établir une imagerie détaillée du sous-sol susceptible de préciser la géométrie des réservoirs aquifères du site prospecté. Notre travail proprement dit a consisté à analyser et interpréter les données de tomographie électrique que le bureau d'étude 4GEO (organisme d'accueil) a mis à notre disposition.

Le présent mémoire de fin d'études s'articule en trois chapitres. Le premier présente le contexte de l'étude incluant la situation géographique, le cadre géologique et hydrogéologique. Le deuxième chapitre est consacré à la présentation de la méthode géophysique utilisée. Le troisième et dernier chapitre est consacré à l'interprétation des données et la discussion des résultats obtenus.

## Chapitre I : CONTEXTE DE L'ETUDE

# I. CONTEXTE DE L'ÉTUDE

## I.1- Situation géographique

La zone d'étude se situe dans la commune rurale de Jaidate qui relève de la province des Rehamna. On y accède à partir de Marrakech en empruntant la route nationale N8 menant vers Beni-Mellal sur 25 kilomètres jusqu'à la localité de Jaidate. Ensuite, on accède au site étudié en suivant une piste qui bifurque à droite sur un kilomètre (Fig. I.1)



Figure I.1. Localisation de la zone étudiée

## I.2- Cadre géologique régional

De point de vue géologique, le site étudié se situe au niveau de la terminaison septentrionale du bassin du Haouz dans une zone où apparaissent les premiers affleurements du socle paléozoïque du massif hercynien des Jebilets (Fig. I.2). L'histoire géologique de ce bassin est marquée par la succession de plusieurs événements, initiés au mésozoïque, par l'arasement d'un socle paléozoïque fraîchement structuré par l'orogénèse hercynienne. Ensuite, les jeux de failles et de flexures liées à des mouvements tectoniques tertiaires ont conduit à la mise en place d'une importante fosse entre le Haut-Atlas et les Jebilets. Celle-ci a constitué une aire d'accumulation de sédiments récents issus de l'érosion de la chaîne de l'Atlas lors de sa surrection à l'Oligo-Miocène et au Pliocène. Ces sédiments sont principalement constitués d'alluvions qui se présentent sous forme de dépôts détritiques polygéniques de type continental ou torrentiel, ayant noyé les principaux traits structuraux d'un paléorelief ancien. D'après les informations fournies par les forages profonds et par les zones d'affleurements limitrophes du bassin du Haouz, la série stratigraphique se montre assez complète, elle est notamment marquée par l'existence d'importants dépôts stéphano-triasiques à la base et néogènes au sommet. Le socle hercynien qui en constitue le substratum, affleure au Nord dans le massif des Jebilets, au Sud au niveau de la chaîne du Haut-Atlas ainsi qu'au sein du bassin sous forme de pointements de socle qui constituent le massif des Guemassa. Ces pointements correspondent à des blocs tectoniques qui percent la couverture mio-plio-quadernaire entre les grands massifs mésétiens au Nord et ceux du Haut-Atlas au Sud (Oujda, 1997). La lithologie de ce socle est principalement à dominance sédimentaire et volcano-sédimentaire. Au niveau des Jebilets, elle est constituée d'une série de métapélites dans laquelle s'intercalent des bancs de grès et de calcaires. Cette série est attribuée au Viséen moyen à supérieur (Essaifi et al., 2003).

Sur le plan structural, l'histoire de la zone d'étude est caractérisée par la succession de plusieurs épisodes tectoniques engendrés principalement par la succession des deux cycles orogéniques hercynien et atlasique (Soulaïmani, 1991; Oudjou, 1997) :

— Une structuration précoce distensive d'âge viséen: elle correspond à une phase d'ouverture du bassin matérialisée par une instabilité sédimentaire et tectonique, avec le développement de failles à composante normale s'organisant en hémigrabens à effondrement Est à Sud-Est.

— Une compression synschisteuse: il s'agit de la phase majeure de serrage hercynien, marquée au Namuro-Westphalien par une importante compression responsable d'une schistosité régionale de direction générale NNE-SSW.

— Une phase déformation cassante tardi-hercynienne dont l'âge précis n'est pas mentionné dans les études antérieures. Cette phase s'est produite dans un climat non métamorphique et qui se matérialisée par le rejeu de grands accidents N70, accompagné de plissements cartographiques

— Après l'orogénèse hercynienne, la région a été soumise au serrage atlasique qui a notamment engendré la surrection des massifs paléozoïques du Haouz de Marrakech. Ce serrage se manifeste principalement par une tectonique cassante de direction moyenne ENE-WSW.



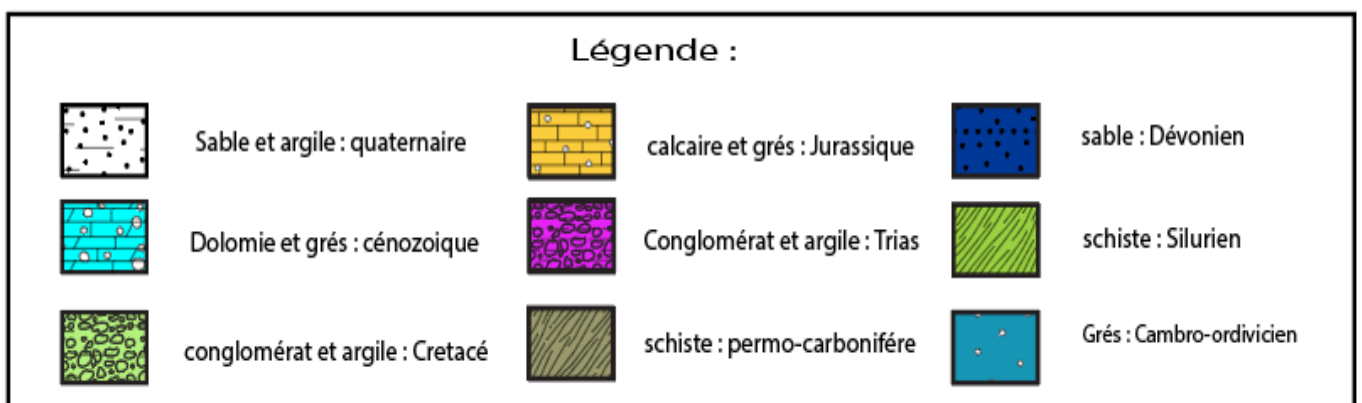
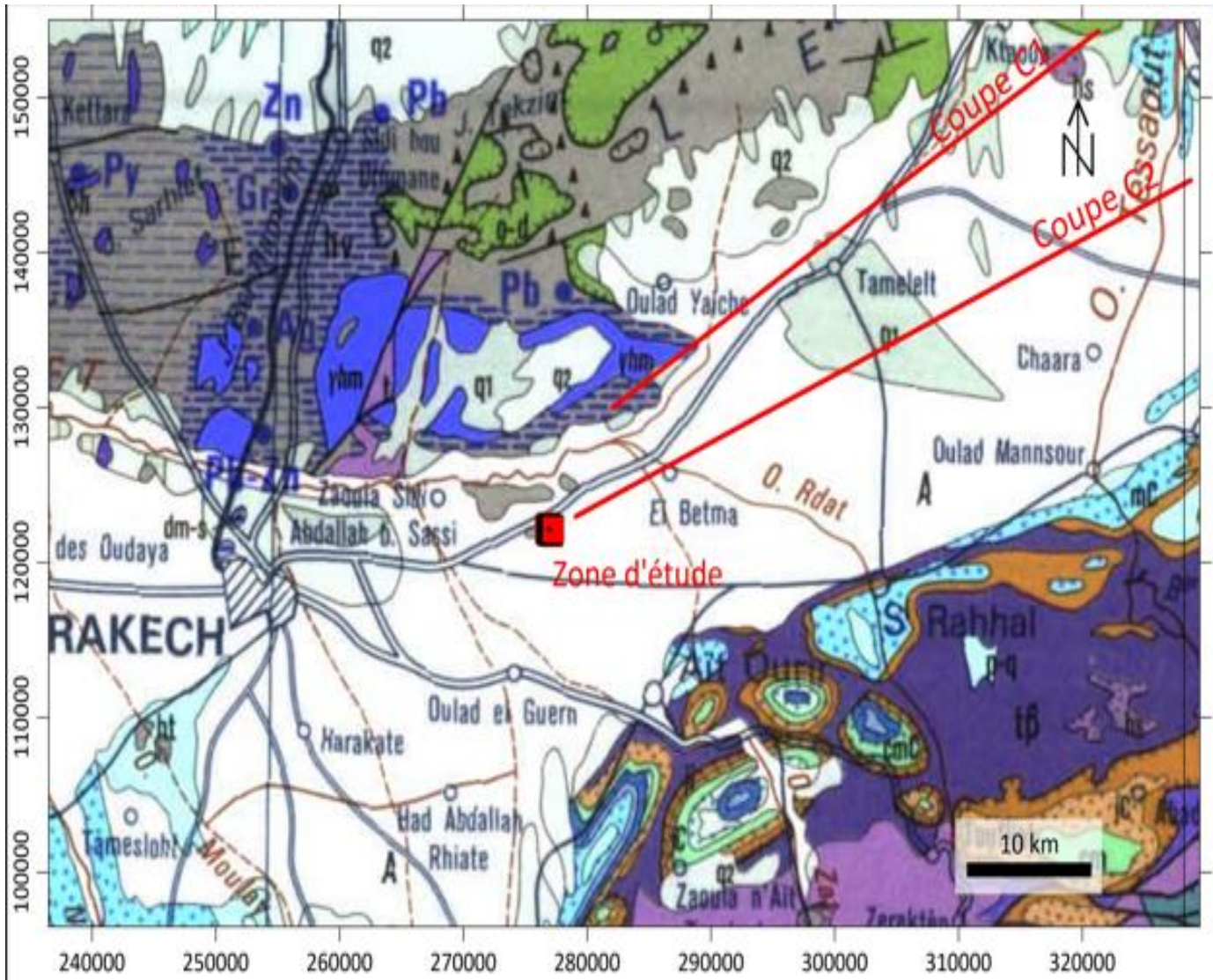


Figure I.2. Carte géologique régionale de la zone étudiée (extrait de la carte géologique du Maroc 1 / 1000000)

### I.3- Géologie locale

En se basant sur l'analyse des données de forages réalisés au niveau du bassin du Haouz oriental, Rochdane et al. (2014) a établi les deux coupes géologiques présentées au niveau des figures I.3 et I.4 et dont la localisation est indiquée sur la figure I.2. La coupe C1 localisée au nord de Tamelalt à l'approche du massif des Jebilets a été établie en utilisant des forages qui ont tous recoupé le socle paléozoïque à une profondeur inférieure à 100 m. Cette coupe fait état d'une dépression du substratum qui s'approfondit du NNE vers le SSW et qui se termine au niveau d'une importante faille qui soulève le socle au niveau de Koudiat Chaiba. Cependant, la deuxième coupe (C2) située à 6.5 km au sud de Tamelalt construite à partir de forages qui n'ont pas atteint le socle et qui montrent que celui-ci serait localement enfoui à une profondeur qui dépasse les 250 m.

Ainsi, les deux coupes illustrent clairement la structure synclinale du bassin du Haouz et montrent que celui-ci est formé par une couverture sédimentaire d'âge secondaire, tertiaire et quaternaire reposant en discordance sur un substratum paléozoïque. Selon Rochdane et al. (2014), les données de forages du Haouz oriental indiquent que le secondaire est formé au Trias par des dépôts continentaux détritiques (argiles, silts et conglomérats) à lagunaires (argilogréseux et salifères à coulées de basaltes doléritiques). Ces formations sont surmontées par des dépôts marins transgressifs (carbonatés) du Jurassique et du Crétacé. Le tertiaire est représenté à la base par des calcaires ou des dolomies en alternance avec des niveaux gréseux d'âge Eocène surmontés au Mio-Pliocène par un faciès continental essentiellement conglomératique à ciment grésomarneux. Le quaternaire qui termine la série sédimentaire est représenté par un faciès alluvionnaire variable à grès, limons récents, graviers, galet, conglomérat polygénique et argile.

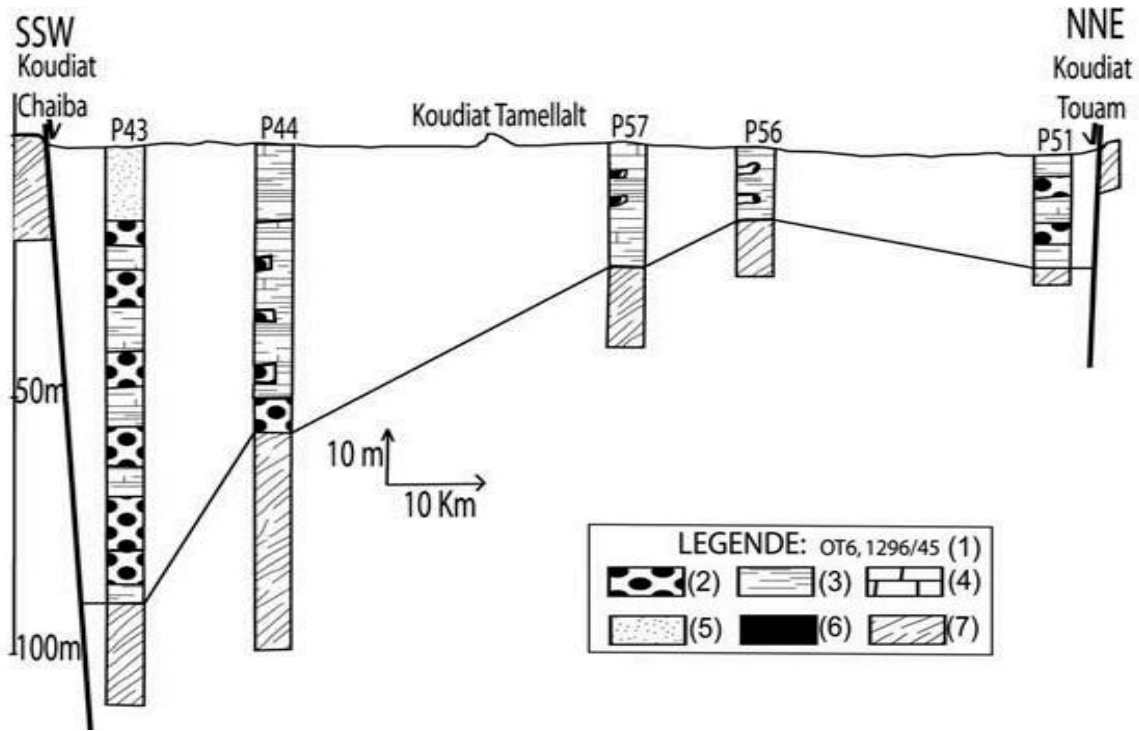


Figure I.3. Coupe géologique C1 réalisée à partir des forages. 1. Forage, 2. Conglomérat, 3. Marne gréseuse, 4. Calcaire et marne, 5. Sable, calcaire et marne, 6. Argile et grès rouge, 7. Schiste (Rochdane et al. 2014).

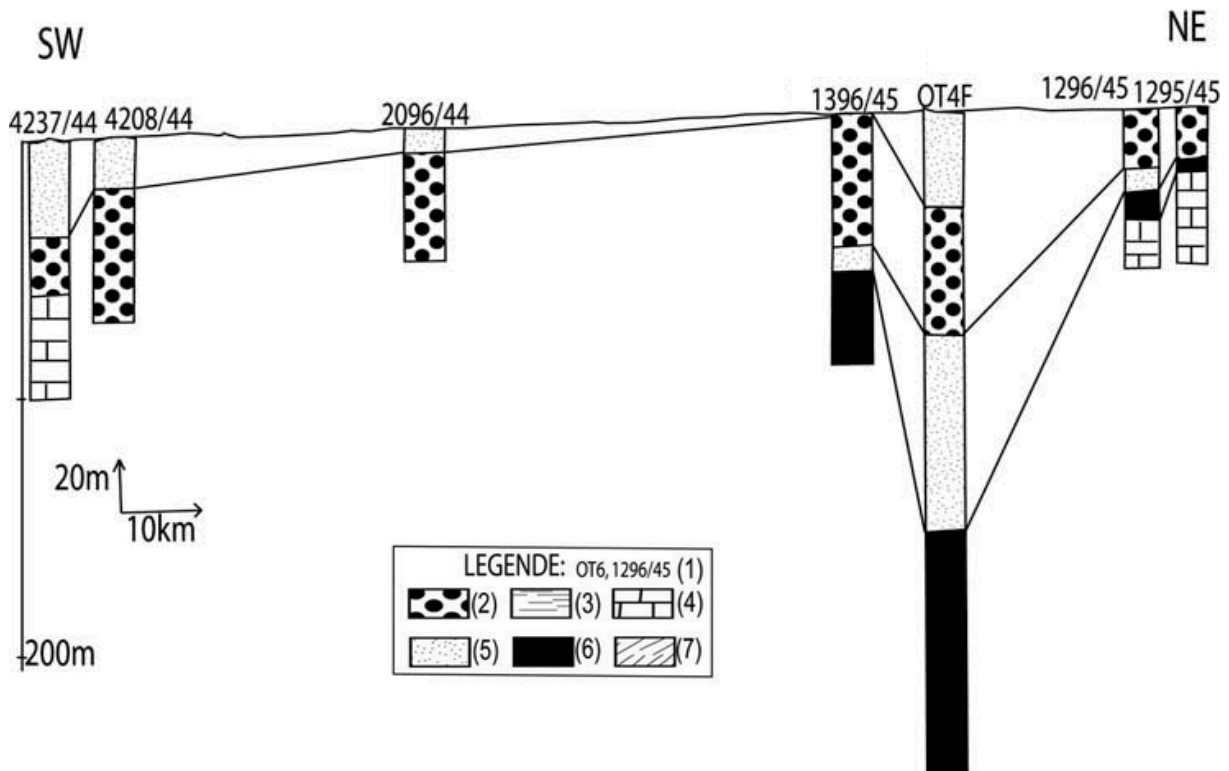


Figure I.4. Coupe géologique C2 réalisée à partir des forages. 1. Forage, 2. Conglomérat, 3. Marne gréseuse, 4. Calcaire et marne, 5. Sable, calcaire et marne, 6. Argile et grès rouge, 7. Schiste (Rochdane et al. 2014).

## I.4- Cadre hydrogéologique

De point de vue hydrogéologique, le bassin du Haouz abrite deux systèmes aquifères d'importances inégales en termes de ressources hydriques souterraines. Le premier concerne les réservoirs profonds du Jurassique, Crétacé et Eocène, caractérisés par une faible productivité, une extension généralement très limitée et une terminaison en un biseau de quelques kilomètres au nord de l'Atlas. Parmi les premiers travaux qui s'intéressent à l'aquifère profond du Haouz on trouve les travaux de Moukhchane (1983), qui a étudié la géométrie et l'extension latérale du réservoir calcaire du Lias au niveau du piémont du Haut Atlas et la partie sud de la plaine du Haouz. Le second réservoir correspond à la série Plio-Quaternaire, issue du démantèlement de la chaîne atlasique. Celle-ci abrite une nappe libre généralisée sur l'ensemble de la plaine, localisée à des profondeurs de 4 à 70 m. Cette nappe est la plus productive de la région, mais également la plus exploitée. La complexité structurale de ces dépôts, verticalement et horizontalement, se manifeste par l'extrême variabilité spatiale du gradient hydraulique et des paramètres hydrodynamiques (Sinan 1986).

Ces formations continentales sont très hétérogènes et de perméabilité très variable. La perméabilité moyenne diminue à mesure que l'on s'enfonce, les faciès devenant de plus en plus argileux. La nappe phréatique circule pratiquement dans la partie supérieure du remplissage continental, c'est-à-dire dans les formations du Pliocène et du Quaternaire remaniées par les oueds atlasiques. La couverture limoneuse de la plaine limite considérablement l'alimentation verticale par les infiltrations d'eau de pluie ou d'eau d'irrigation. L'alimentation de la nappe phréatique provient essentiellement de l'infiltration des eaux de crues des oueds selon leurs cours, principalement sur les cônes de déjection. La nappe circule du Sud vers le Nord-Ouest ou le Nord, c'est-à-dire de l'Atlas vers l'Oued Tensift ou vers les trouées de l'Oued Tessaout et de l'oued Gaïno dans les Jebilets. Les exutoires naturels de la nappe sont constitués par les sous-écoulements des oueds Tensift au Nord et par les résurgences ou sources de la rive gauche de l'oued Tensift à l'Ouest. L'exploitation de la nappe se fait par des puits, des khattaras et par pompages. Cette

nappe libre est caractérisée par des paramètres hydrodynamiques moyens à faible, Sinan et al. (2003) ont déterminé des vitesses d'écoulements souterrains de l'ordre de  $5 \times 10^{-4} \text{ m s}^{-1}$ . Les données piézométriques de la plaine du Haouz montrent que l'écoulement général des eaux souterraines se fait du Sud vers le Nord avec des gradients hydrauliques forts au Sud de la plaine et plus faibles vers le Nord.

## Chapitre 2 : METHODOLOGIE

## II. METHODOLOGIE

### II.1. Principe de la prospection électrique

Les principes fondamentaux des méthodes électriques, consistant à mesure des changements verticaux ou latéraux de la résistivité souterraine. La notion de résistance électrique d'un objet ou d'un milieu est une mesure qui détermine son opposition au passage d'un flux de courant électrique. La résistance ( $R$ ) en  $\Omega$  est exprimée selon la loi d'Ohm :

$$R = V/I$$

$V$  : Le potentiel appliqué aux bornes d'un matériau en volt (V)

$I$  : Intensité du courant circulant, en ampère (A).

Le terme de la résistance ( $R$ ) qui dépend de la géométrie du corps, ne doit pas être confondu avec la résistivité électrique ( $\rho$ ) ( $\rho$  exprimée en  $\Omega.m$ ). D'autre part, la résistivité  $\rho$  est une propriété intrinsèque qui ne dépend ni de sa géométrie, ni de ses dimensions. La résistivité d'une matière solide de longueur ( $L$ ) et de section ( $A$ ) peut être exprimée en fonction de la résistance comme suit :

$$\rho = R \times A/L$$

En prospection électrique, les variations spatiales de résistivité  $\rho$  (en ohm.m) sont mesurées à l'aide d'un dispositif de quatre électrodes plantées dans le sol (Fig. II.1). Deux d'entre elles servent à générer un champ électrique dans le sous-sol : ce sont les électrodes d'injection, ou de courant, notées A et B ou C1 et C2. Les deux autres sont utilisées pour mesurer la différence de potentiel (c'est-à-dire le voltage ddp) résultant entre deux points de la surface : ce sont les électrodes de mesures ou de potentiel, notées M et N ou P1 et P2.

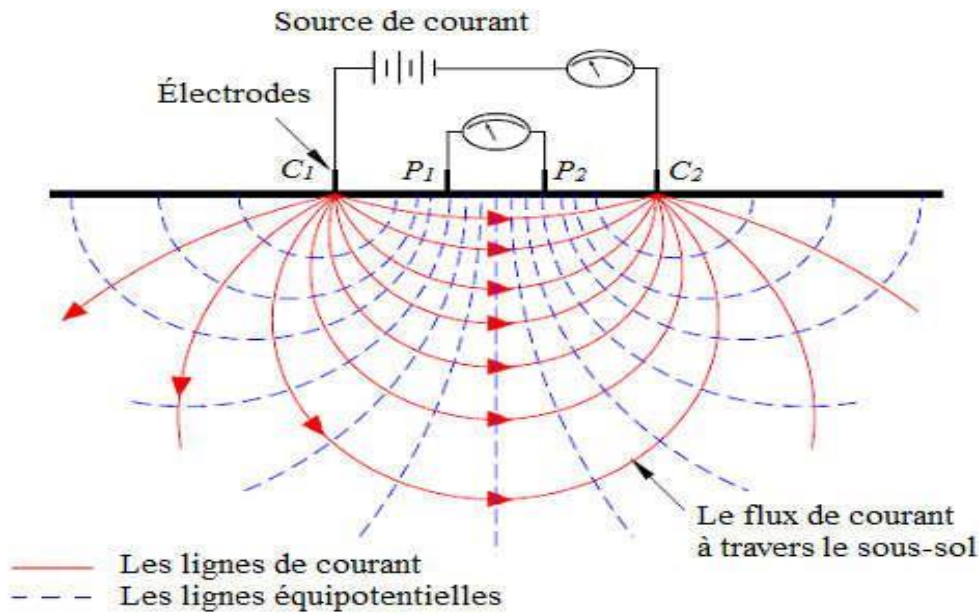


Figure II.1. Dispositif quadripôle utilisé en prospection électrique de surface (Duran, 2015)

Pour un quadripôle géo-électrique (A M N B) de géométrie quelconque, la différence de potentiel entre les électrodes M et N est sonnée par :

$$\Delta V(MN) = \frac{\rho I}{2\pi} \left[ \frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right]$$

La résistivité ( $\rho$ ) mesurée en surface par les méthodes électriques en milieu homogène et isotrope est généralement égale à la résistivité réelle. Elle donnée par la formule suivante :

$$\rho = \frac{2\pi}{\underbrace{\left[ \frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right]}_K} \left( \frac{\Delta V(MN)}{I} \right)$$

$K$  est appelé le facteur géométrique (en mètre), il dépend de la disposition des électrodes c'est-à-dire la configuration, et de la topographie.

Généralement en condition d'application réelle, les milieux naturels sont hétérogènes et anisotropes ce qui conduit que la résistivité mesurée n'est pas une résistivité réelle (vraie) du sol. Dans ce cas, la résistivité qui doit mesurer est la résistivité apparente ( $\rho_a$ ) (en ohm.m) qui dépend de la résistivité des terrains traversés en profondeur, de la configuration de mesures utilisée, mais également de



l'intensité du courant injecté et de la différence de potentiel induite (Chalikakis, 2006). Elle s'exprime par :

$$\rho_a = K \frac{\Delta V(MN)}{I}$$

La résistivité apparente est une grandeur intégratrice. Elle correspond à l'intégration des résistivités réelles des différentes couches traversées par le courant tenant compte de leur proportion. Elle est donc considérée comme une sorte de moyenne des différentes résistivités souterraines (Golle and Cote, 2017). La prospection électrique est classiquement menée selon deux modes opératoires basés sur le même principe : les sondages électriques verticaux (VES) et les traînées ou profilages électriques. Pour mener de telles mesures, différentes configurations peuvent être utilisées en fonction de l'objectif de l'étude, de la taille et de la profondeur de la cible prospectée, etc. (Fig. II.2)

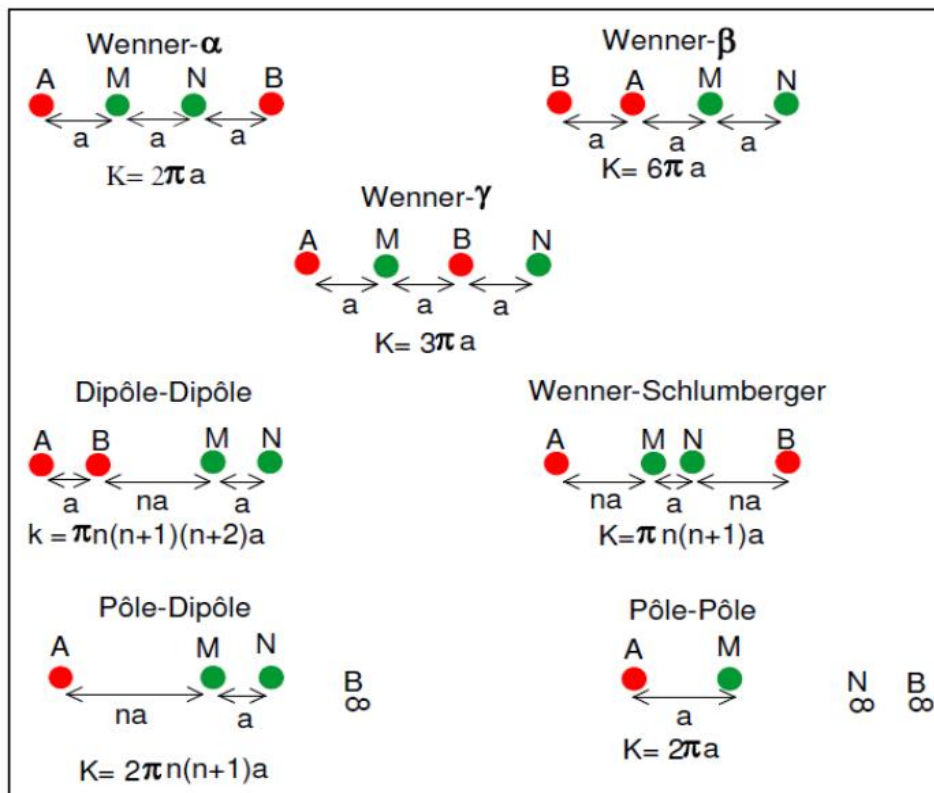


Figure II.2. Principales configurations d'électrodes utilisées en prospection par tomographie de la résistivité électrique (Karrroum, 2015).

## II.2. Tomographie de la résistivité électrique

Actuellement, la prospection électrique est principalement réalisée en mode tomographie ou panneau électrique qui est une technique qui résulte de la combinaison des deux autres modes classiques de mesures, à savoir les sondages et les traînés électriques. La Tomographie de la Résistivité Electrique (ERT) implique l'utilisation d'un dispositif multi-électrodes, capables d'effectuer un grand nombre de mesures qui permettent d'investiguer le sous-sol à la fois verticalement (en espaçant les électrodes) et latéralement (en déplaçant le quadripôle AMNB latéralement).

La tomographie de la résistivité électrique, est une technique géophysique qui a émergé vers la fin des années 1980 à partir de la méthode de résistivité classique utilisée pour la caractérisation du sous-sol. Elle permet d'acquérir des images de haute résolution du sous-sol ausculté (Dahlin 2001). Grâce au développement récent d'outils puissants d'acquisition automatique et d'inversion mathématique (Loke et Barker, 1996), la technique est devenue relativement facile à mettre en œuvre et largement utilisée dans différents domaines d'applications en sciences de la Terre.

La tomographie électrique utilise un dispositif multi-électrodes qui correspond à un assemblage d'une multitude de quadripôles. Ce dispositif offre la possibilité d'acquérir un grand nombre de mesures, moyennant la combinaison de différents dipôles de courant et de potentiel. L'interprétation conjointe de l'ensemble des données acquises le long d'un même profil permet d'établir une image du sous-sol sous forme d'une coupe verticale qu'on interprète tenant compte des informations disponible sur la géologie de la zone prospectée. La tomographie électrique consiste à réaliser simultanément des profils de résistivité correspondant à des espacements d'électrodes de plus en plus grands. Plusieurs configurations d'électrodes se prêtent à ce type de mesures (Fig. II.3). Dans le cas d'une configuration classique de type Wenner, on procède à une augmentation progressive la longueur du dispositif, ce qui permet d'augmenter la profondeur d'investigation et par conséquent d'inclure des terrains de plus en plus profonds dans le volume de roches investigué. Les valeurs mesurées de la résistivité sont reportées au milieu du dispositif à une pseudo-

profondeur proportionnelle à sa longueur. Ceci conduit à l'établissement d'une pseudosection (Fig. II.3).

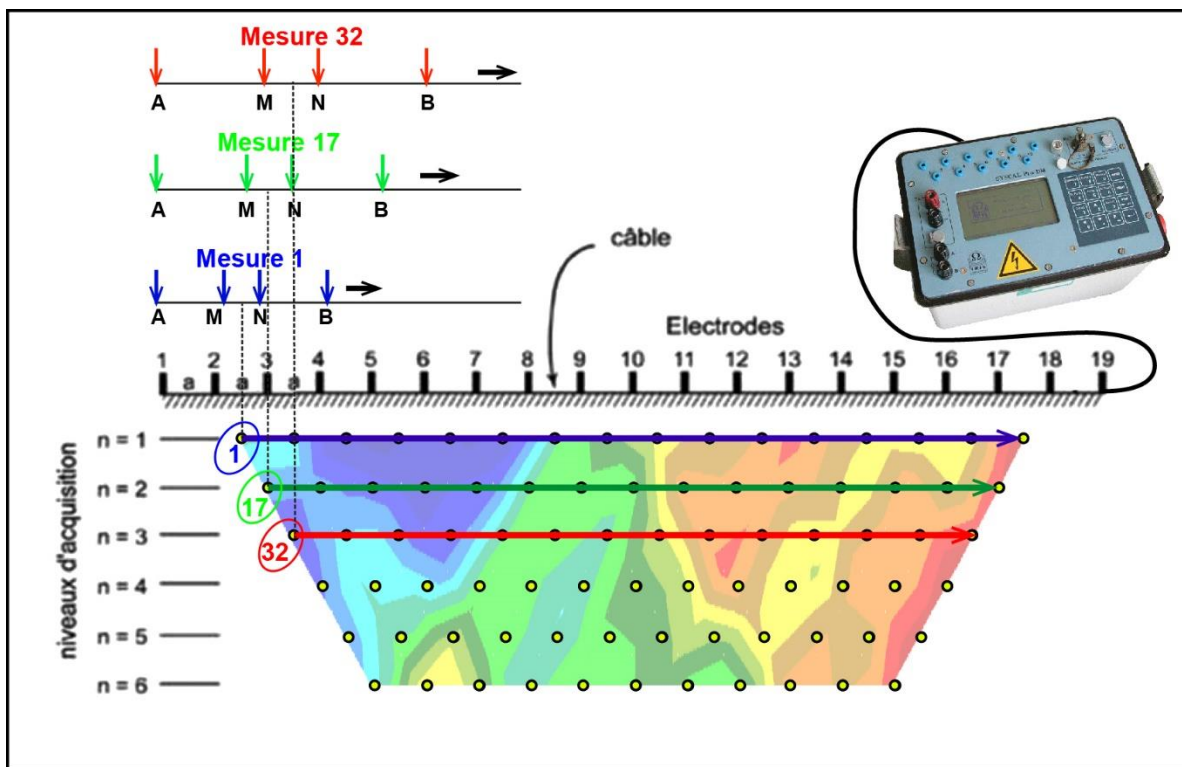


Figure II.3. Principe de base et acquisition des meures de Tomographie de la résistivité électrique et leur représentation sous forme d'une pseudosection (Boucher, 2007).

Une pseudosection est une simple représentation des données électriques enregistrées en mode tomographie, elle ne représente en aucun cas une section du sous-sol. Pour obtenir une telle section, les valeurs apparentes de la résistivité issues des mesures sur le terrain doivent faire l'objet d'une inversion qui permet de restituer des modèles du sous-sol qui montrent la distribution des valeurs de la résistivité réelle des formations géologiques à la verticale du profil ERT. Cette inversion des données est réalisée en plusieurs itérations au cours desquelles, le logiciel essaie d'améliorer le modèle en réduisant progressivement l'écart entre les deux pseudosections mesurée et calculée. Dans le cas de la présente étude, l'inversion a été effectuée à l'aide du logiciel RES2DINV (Loke et Barker, 1996) (Fig. II.4).

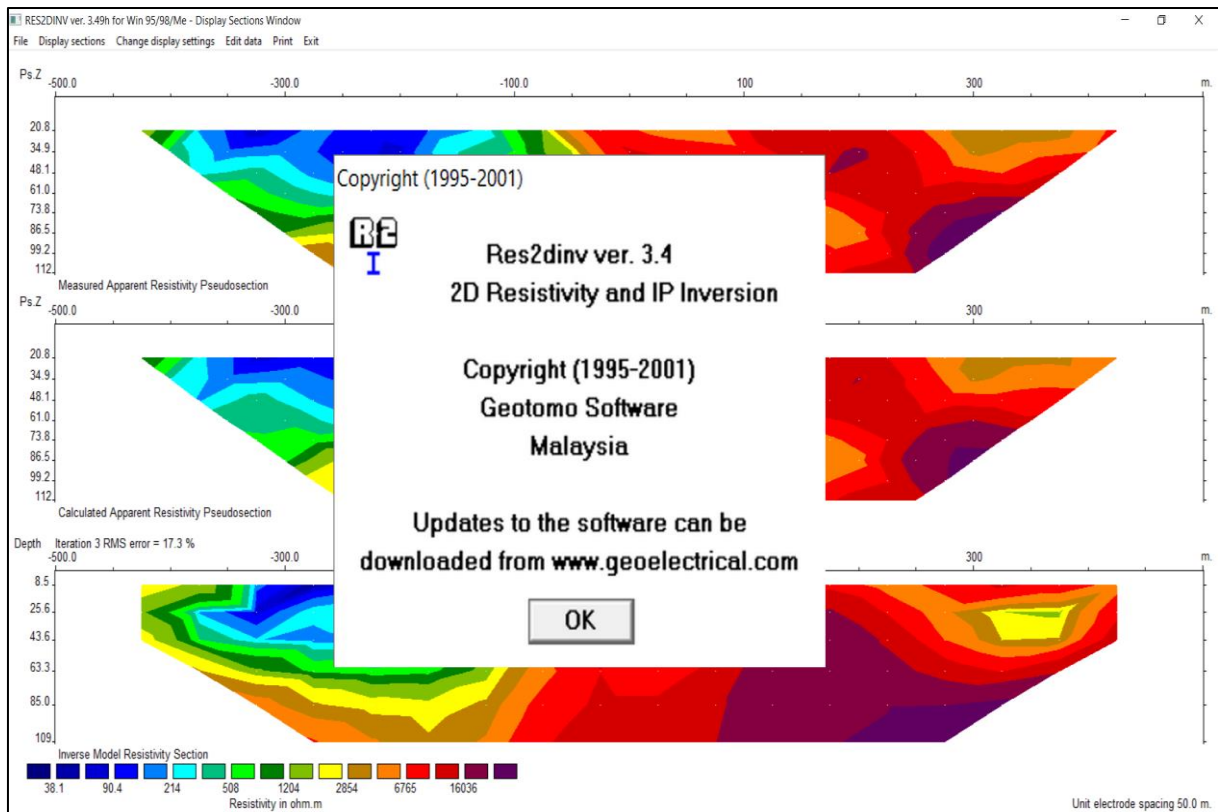


Figure II.4. Logiciel RES2DINV utilisé pour l'inversion des données ERT.

## Chapitre 3 : PROSPECTION DE LA ZONE DE JAIDATE

### III. PROSPECTION DE LA ZONE DE JAIDATE

#### III.1. Acquisition des données

Le levé de tomographie électrique a été exécuté selon un réseau de huit profils, d'une longueur de 480 m, disposés de manière à permettre une bonne couverture du site prospecté (Fig. III.1). Ce levé a commencé par la réalisation de 4 profils orthogonaux espacés de 60 à 70 m. Il s'agit des profils ERT1 et ERT2 de direction E-W puis ERT3 et ERT4 d'orientation N-S. Le levé a été par la suite étendu vers le Sud et vers l'Est par des mesures complémentaires effectuées le long des lignes ERT5 à ERT8.

La présente campagne de mesures ERT a été mise en œuvre à l'aide d'un résistivimètre Syscal Pro (Iris Instruments, 2018) (Fig. III.2). Cet appareil été paramétré pour appliquer aux électrodes de courant une tension maximale de 800 V pendant une seconde. Les mesures ont été effectuées en configuration Wenner-Schlumberger en utilisant un dispositif de 96 électrodes espacé de 5 m. La longueur totale de ce dispositif qui s'élève à 480 m permet d'imager le sous-sol jusqu'à une profondeur maximale de l'ordre de 100 m.

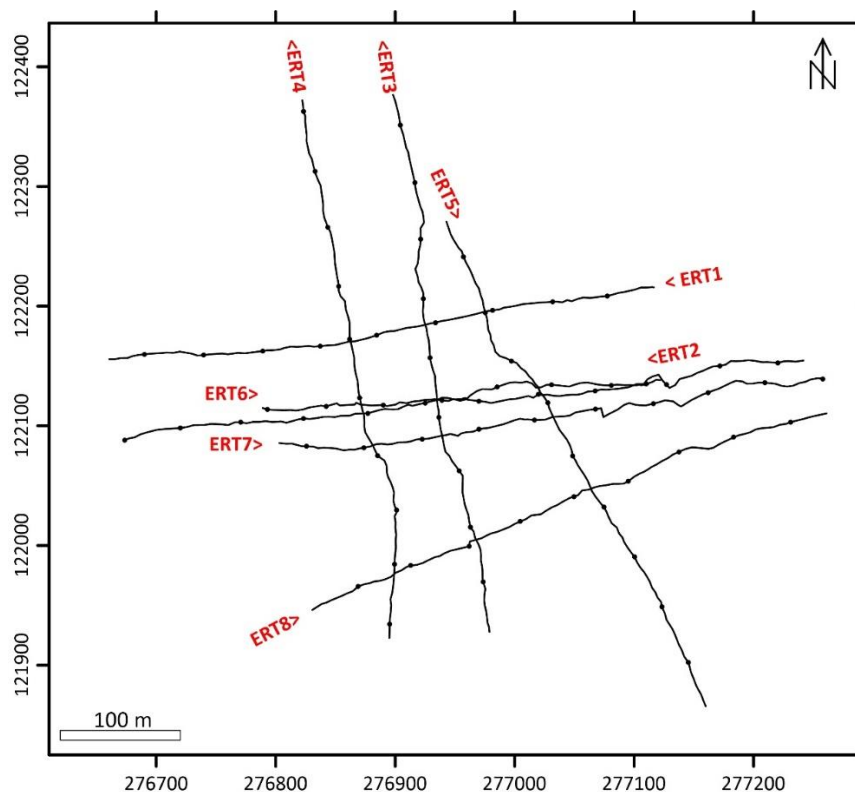


Figure III.1. Grille du levé ERT réalisé dans la zone de Jaidate.

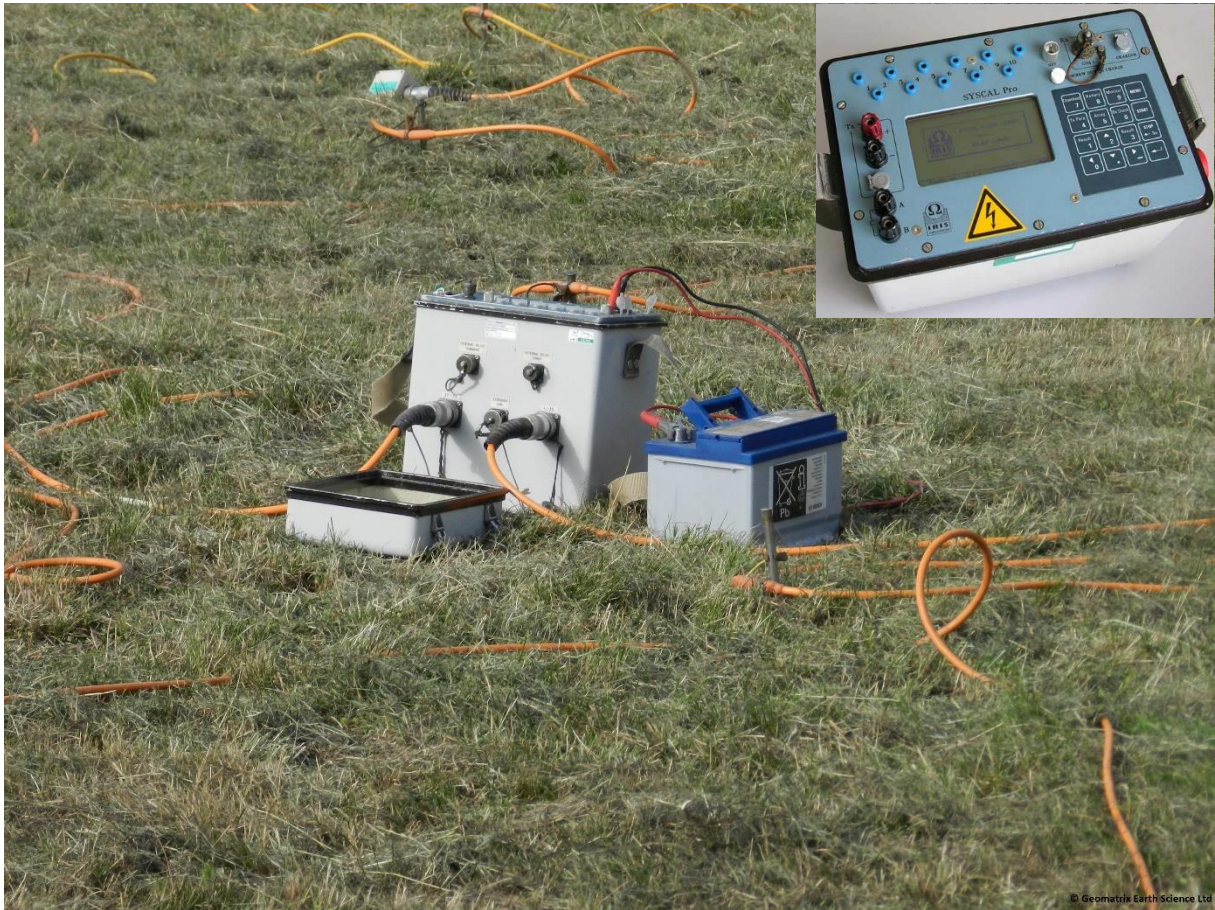


Figure III.2. Résistivimètre Syscal Pro Switch 96 utilisé pour la mise en œuvre du levé ERT.

## III.2. Analyse et interprétation des résultats

Les résultats du présent levé de prospection géophysique sont illustrées selon la représentation standard des données ERT qui comporte une pseudosection des valeurs mesurées de la résistivité apparente, une pseudosection des valeurs de la résistivité calculée et un modèle 2D de la résistivité réelle du sous-sol sous forme d'une section verticale obtenue par inversion des données observées. Les modèles 2D calculés pour les huit profils ERT permettent de préciser la signature en résistivité du site prospecté jusqu'à une profondeur de 100 m. L'image globale qui en ressort permet en gros de distinguer entre terrain résistif à très résistif qui correspondent au substratum paléozoïque et un terrain conducteur sus-jacent qui représente le recouvrement sédimentaire d'âge probablement miocène, pliocène et quaternaire.

Les figure III.3 à III.6 montrent les résultats des mesures de tomographie électrique réalisées au niveau de quelques profils Est-Ouest (ERT1 & ERT8) et Nord-Sud (ERT3 & ERT5). Pour qu'ils soient visuellement comparables, les résultats des quatre profils sont présentés en utilisant la même palette de couleurs. Les quatre modèles ERT révèlent l'existence en surface d'un horizon résistif fin plus ou moins continu qui pourrait correspondre à un niveau de croute calcaire. Ce dernier surmonte un terrain conducteur d'épaisseur variant de quelques mètres, là où le socle arrive près de la surface, à plusieurs dizaines de mètres dans les dépressions qui se seraient mises en place suite à des jeux de failles normales ayant effondré des blocs de socle. Ces effondrements se font selon une structure en marche d'escalier comme le montre les modèles ERT3 et ERT5 (Fig. III.5 et III.6) ou encore en horsts et grabens (Fig. III.3 et III.4).



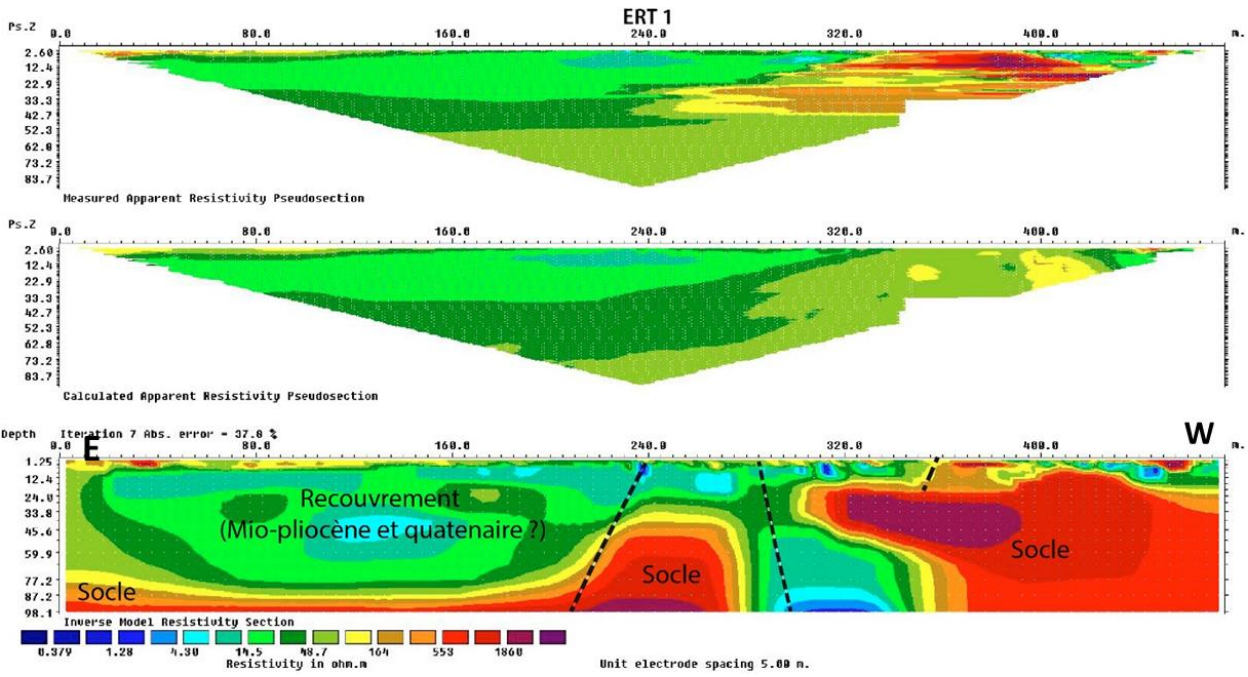


Figure III.3. Résultats des mesures ERT réalisées le long du profil 1.

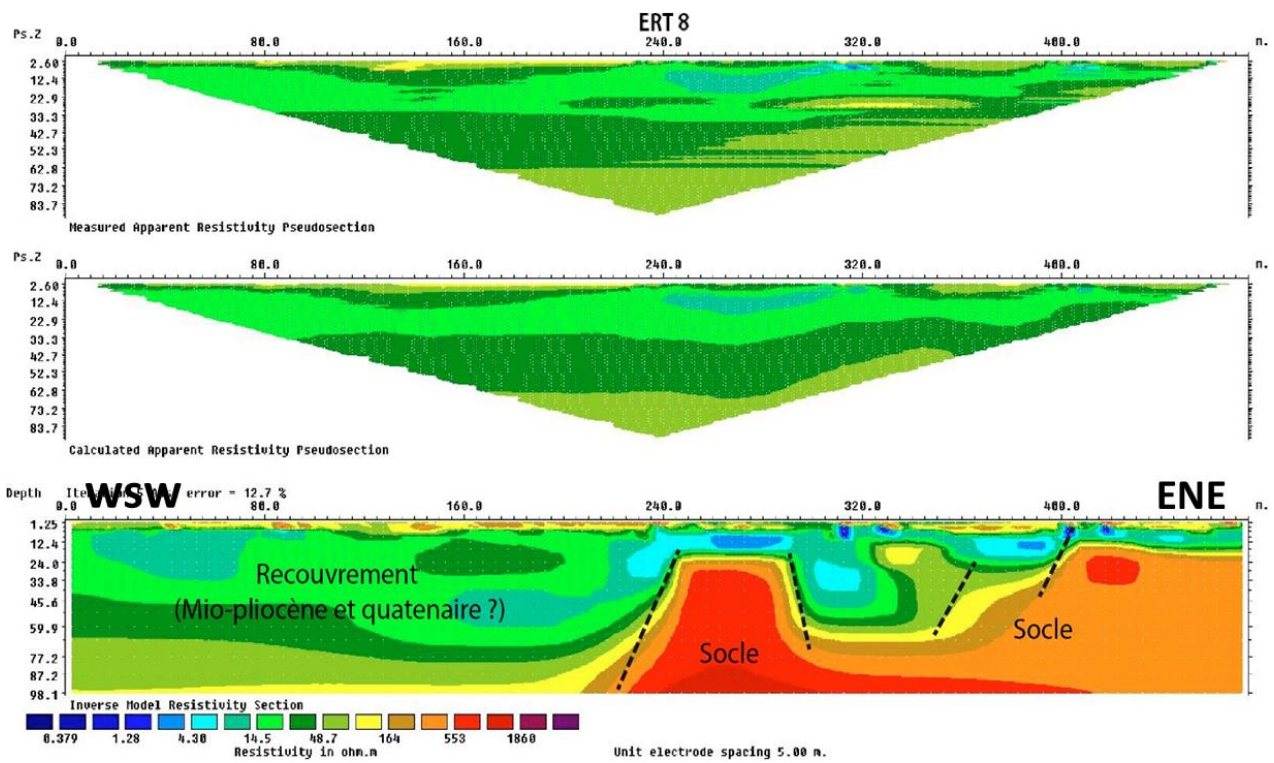


Figure III.4. Résultats des mesures ERT réalisées le long du profil 8.

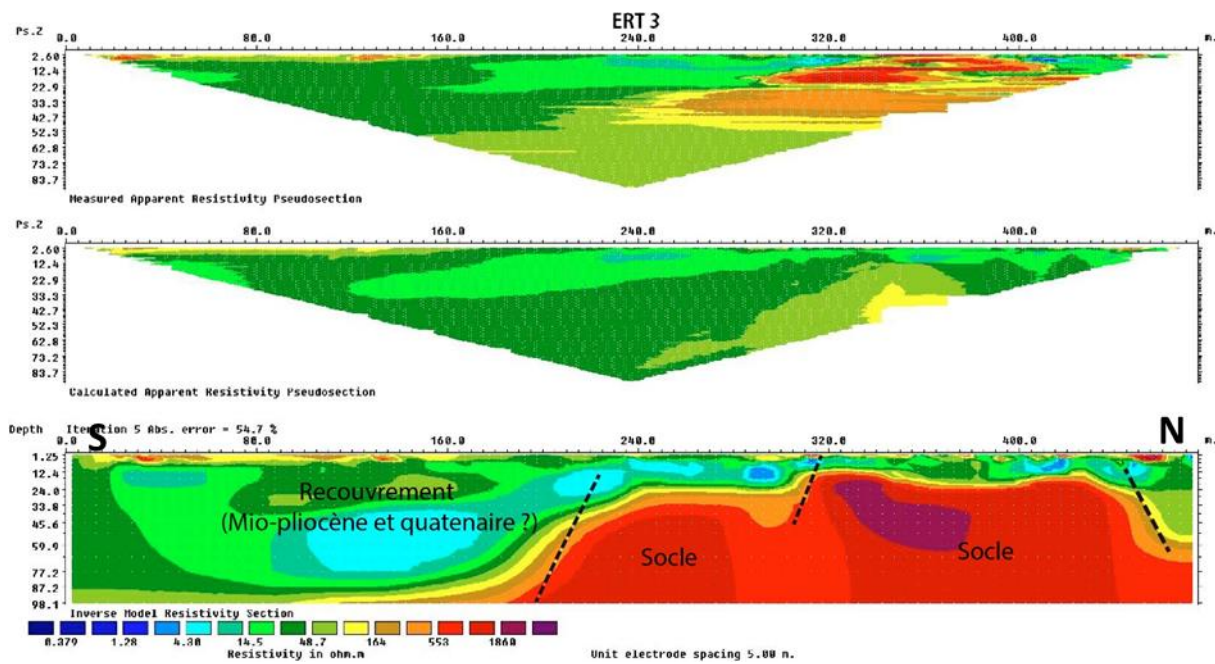


Figure III.5. Résultats des mesures ERT réalisées le long du profil 3.

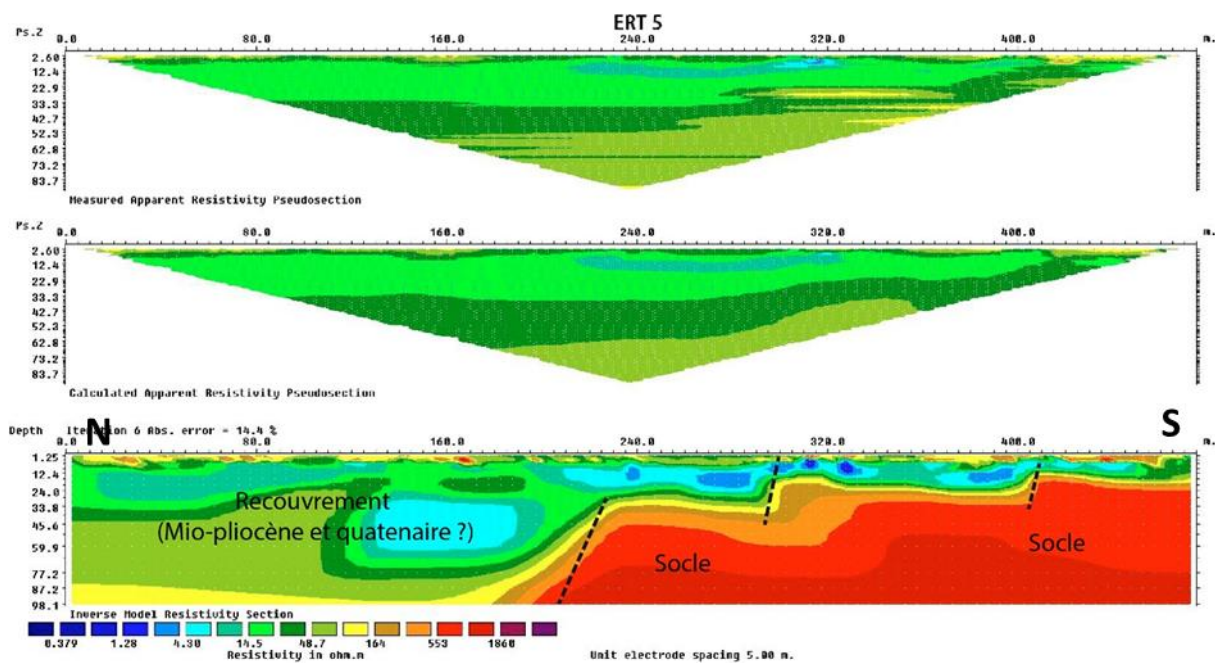


Figure III.6. Résultats des mesures ERT réalisées le long du profil 5

L'interpolation des résultats de l'inversion obtenus au niveau des huit profils ERT réalisés sur le site de Jaidate nous a permis d'établir un modèle global de la résistivité du sous-sol, qui a été utilisé pour extraire les plans niveaux correspondant aux profondeurs de 10 m et 50 m (Figs. III.7 et III.8) et pour établir le modèle 3D illustré sur la figure III.9. Les trois cartes permettent de rendre compte des variations de la résistivité au niveau du volume de roches investigué aussi bien latéralement que verticalement. L'évolution verticale en profondeur est marquée par une accentuation du contraste entre les zones résistives (socle paléozoïque) et conductrices (recouvrement sédimentaire). En effet, la carte du niveau -50 m montre une augmentation des valeurs des zones résistives parallèlement à leur diminution au niveau des plages conductrices.

L'analyse détaillée de l'ensemble des documents produits incluant les modèles d'inversion 2D, les cartes des deux niveaux du sous-sol -10 m et -50 m le modèle 3D nous a permis d'établir une carte d'interprétation synthétisant l'ensemble des résultats. Sur cette carte, nous avons reporté les principales failles mises en évidence et délimité trois zones d'intérêt correspondant aux dépressions du socle qui sont susceptibles d'être potentiellement productives en matière de ressources hydriques, En effet, sur le plan hydrogéologique, le caractère métamorphique du socle hercynien en fait un substratum imperméable qui devrait favoriser l'accumulation des eaux souterraines dans ces dépressions où circulent la nappe libre plio-quadernaire. De telles dépressions constituent donc des zones favorables à l'implantation de forages d'exploitation des eaux souterraines. Les couloirs de failles et de fractures qui affectent ce substratum constituent aussi des zones de circulation préférentielle des eaux souterraines (aquifère de fissures) qui peuvent être également ciblées par des forages d'exploitation des eaux souterraines.

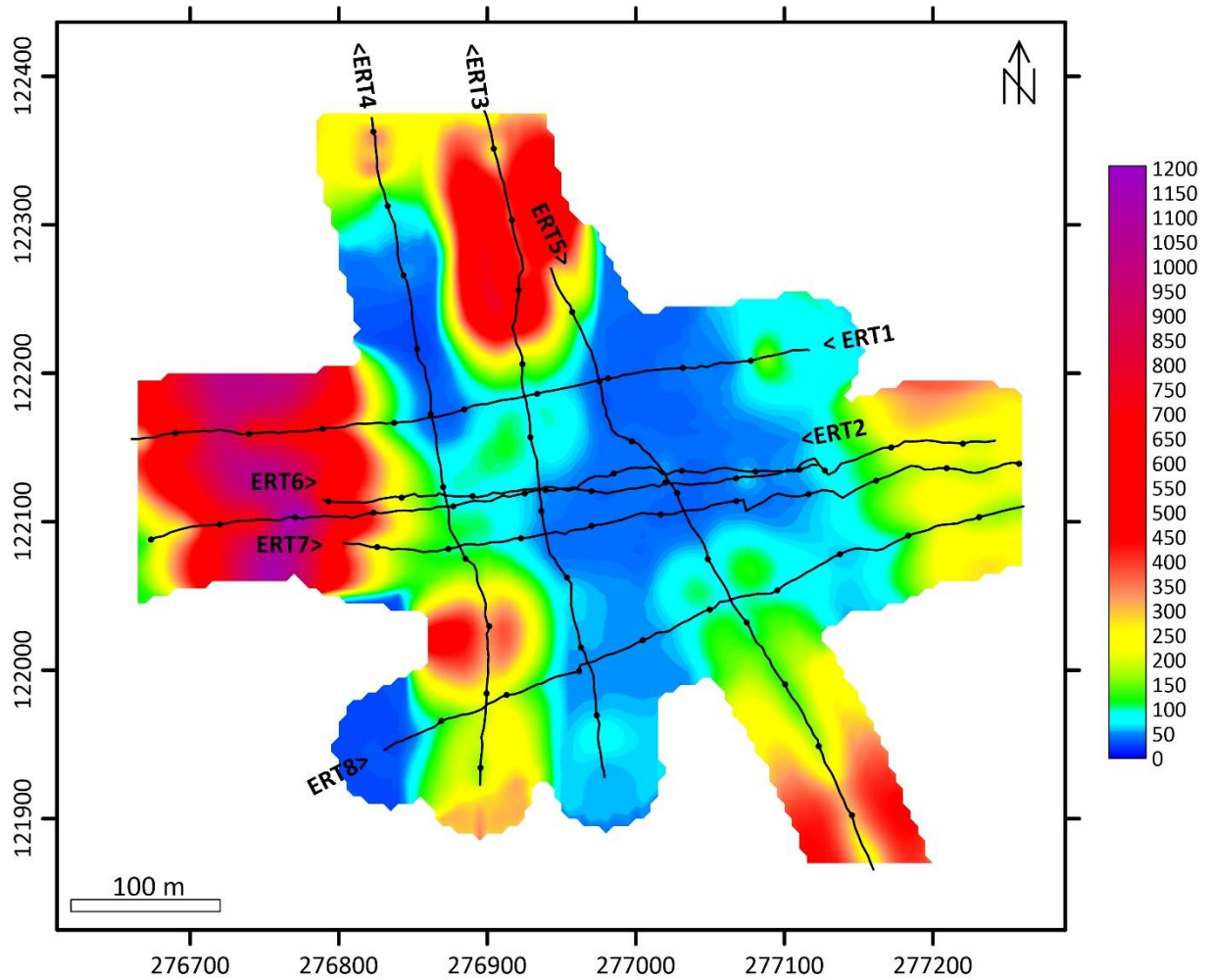


Figure III.7. Répartition de la résistivité du sous-sol à 10 m de profondeur obtenue par interpolation des modèles d'inversion 2D

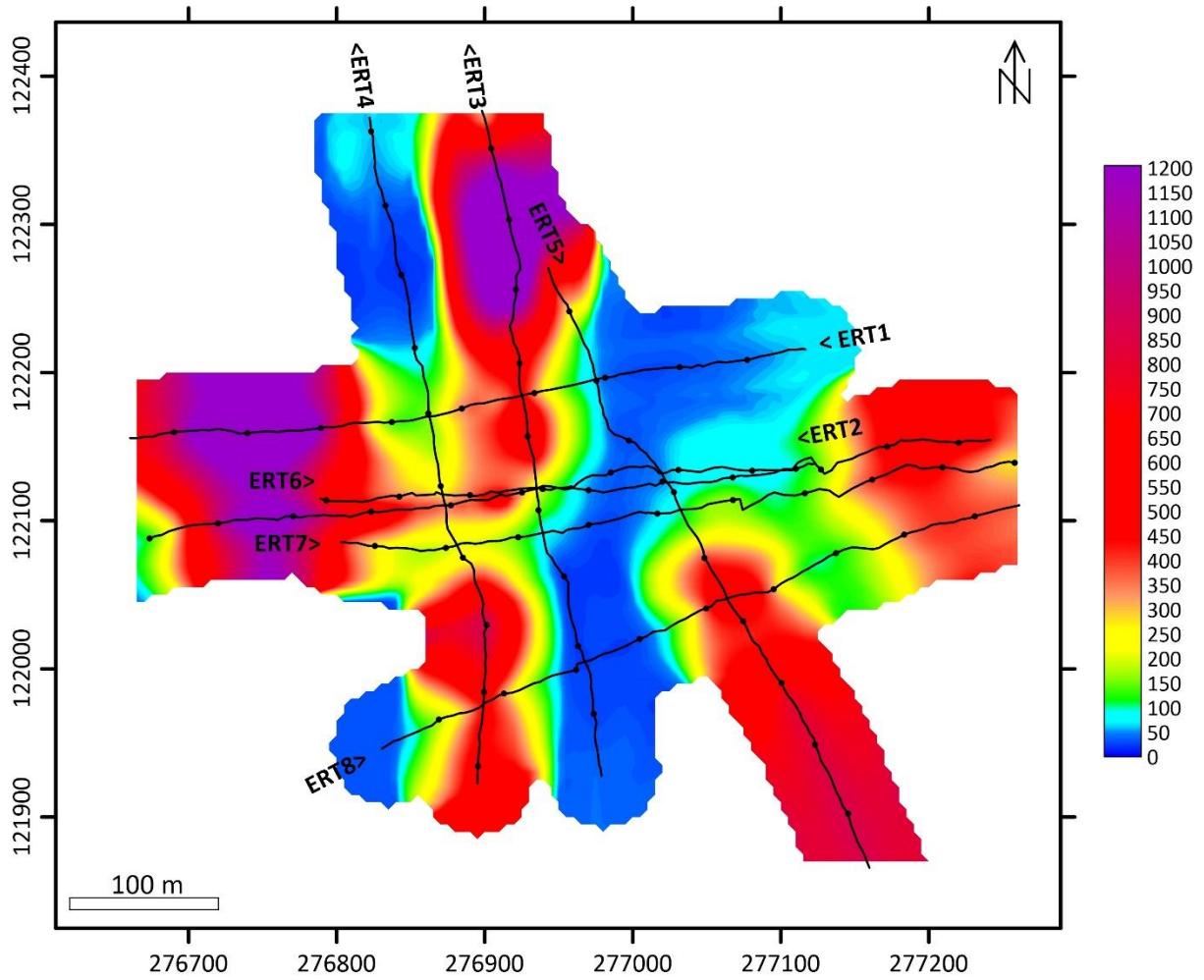


Figure III.8. Répartition de la résistivité du sous-sol à 50 m de profondeur obtenue par interpolation des modèles d'inversion 2D

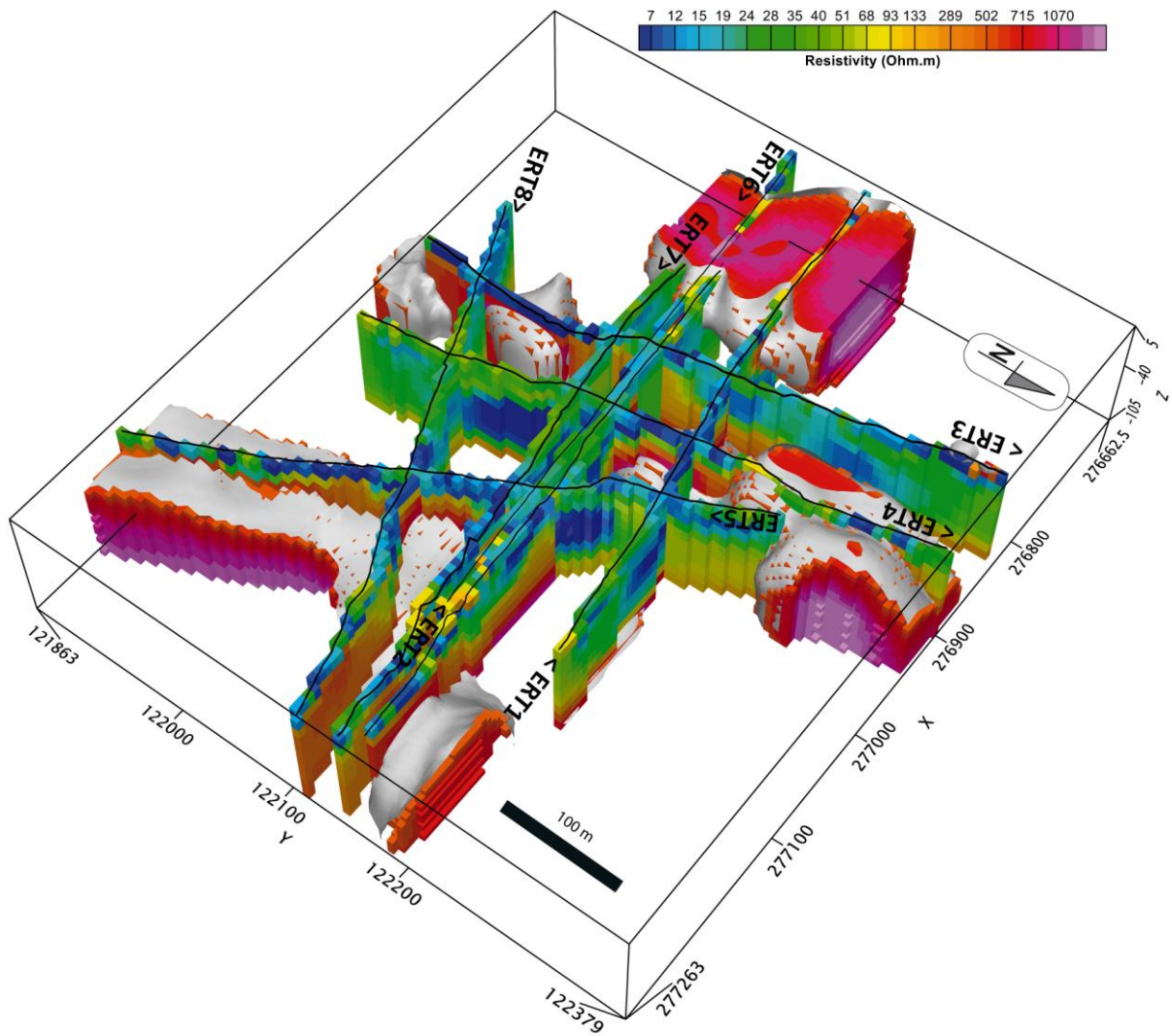


Figure III.9. Représentation en perspective 3D du modèle de la résistivité du sous-sol de la zone prospectée

## CONCLUSION

La zone de Jaidate a fait l'objet d'un levé de tomographie de la résistivité électrique réalisé par le bureau d'étude 4GEO dans le cadre de reconnaissance hydrogéologique. Notre stage de fin d'étude a porté sur la réinterprétation des résultats de ce levé géophysique mis en œuvre selon huit profils de différentes directions. L'inversion des données enregistrées durant ce levé à l'aide du logiciel RES2DINV nous a permis d'établir des modèles de résistivité 2D qui rendent compte de la structure profonde de la zone d'étude. Cette zone se situe à la limite entre le bassin du Haouz et le massif hercynien des Jebilets. Sa géologie locale est dominée par des affleurements localisés du socle paléozoïque. Ainsi, les variations de la résistivité réelle du sous-sol mise en évidence par ces modèles ont été interprétées en termes de blocs du socle délimitant des dépressions qui seraient remplies de dépôts sédimentaires miocène, pliocène et quaternaire. Plusieurs failles responsables de cette structuration de la zone d'étude ont été cartographiées par analyse des modèles d'inversion en coupes verticales 2D des différents profils ERT et des plans niveaux établis à différentes profondeurs.

Au terme cette étude, trois zones d'intérêt hydrogéologique matérialisant des dépressions du socle ont été identifiées et reportées sur la carte de synthèse illustrée sur la figure III.10.

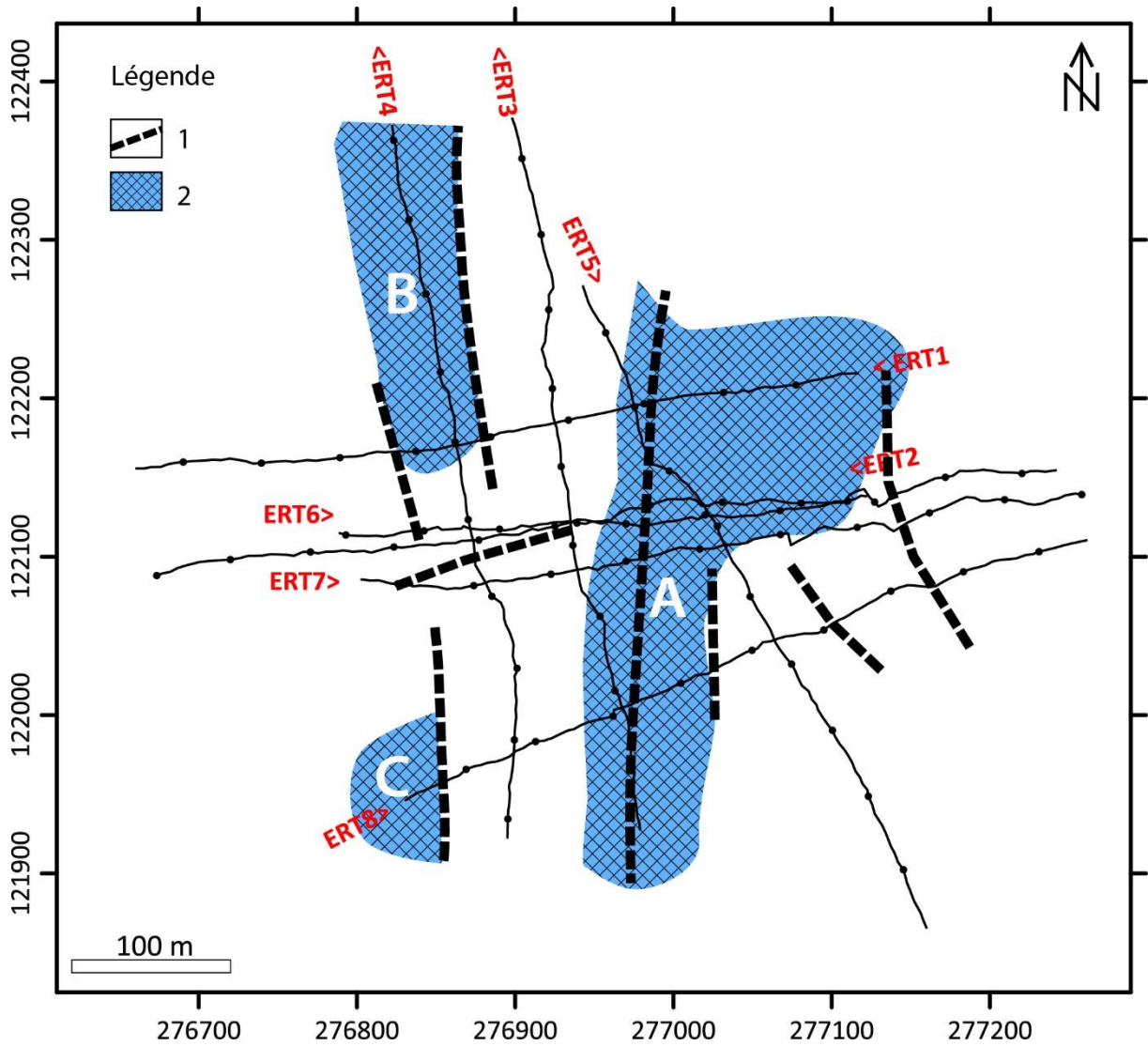


Figure III.10. Carte d'interprétation géophysique. 1. Faille interprétée, 2. Zone d'intérêt hydrogéologique



## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BOUCHER, M., (2007). Estimation des propriétés hydrodynamiques des aquifères par Résonance Magnétique des Protons dans différents contextes géologiques, de l'échantillon à l'échelle hydrogéologique.
- CHALIKAKIS, K., (2006). Application de méthodes géophysiques pour la reconnaissance et la protection de ressources en eau dans les milieux karstiques (Doctoral dissertation, Université Pierre et Marie Curie-Paris VI).
- DAHLIN T., (2001) – The development of DC resistivity imaging techniques. *Computers & Geosciences*, 27 (9), 1019-1029.
- DURAN, L., (2015), Approches physique, conceptuelle et statistique du fonctionnement hydrologique d'un karst sous couverture.
- ESSAIFI, A.; POTREL, A.; CAPDEVILA, R. & LAGARDE J.-L. (2003). Datation U-Pb: âge de mise en place du magmatisme bimodal des Jebilet centrales (chaîne Varisque, Maroc). Implications géodynamiques. *Compte Rendus Geoscience*, 335: 193-203.
- GOLLE, O., and COTE, P., (2017). Guide des méthodes géophysiques pour la détection d'objets enfouis sur les sites pollués, ADEME-IFSTTAR.
- IRIS INSTRUMENTS (2018). Syscal-Pro Switch 96 version, 20 channels Resistivity Meter for Resistivity and Chargeability measurements, User's manual (France), 114p.
- KARROUM, M., (2015). L'apport de la géophysique et de la géochimie dans l'identification hydrogéologiques et la qualité des eaux de la plaine de la Bahira (Maroc centrale), Université Cadi Ayyad Faculté des sciences SEMLALIA – MARRAKECH, 210 p.
- LOKE M.H., BARKER R.D., (1996). Rapid least-square inversion of apparent resistivity pseudosections by a quasi-Newton method. *GeophysicalProspecting*, 44 (2), 131-152.
- MOUKHCHANE, M., 1983. Contribution à l'étude des réservoirs profonds de la bordure nord de l'Atlas entre Demnat et Imin'tanout (Maroc). Thèse de 3ème cycle. France: Besançon.
- OUADJOU, A. (1997). Pétrographie, géochimie et structure des roches magmatiques anté-schisteuses des massifs hercyniens des Guemassa et Souktana. Thèse de 3ème cycle, Université de Marrakech, 236 pp.
- ROCHDANE, S., EL MANDOUR, A., JAFFAL, M., HIMI, M., CASAS, A., AMRHAR, M., KARROUM, M. (2014) : Géométrie de l'aquifère du Haouz oriental et Tassaout amont, Maroc occidental : approche géophysique et hydrogéologique, *Hydrological Sciences Journal*. <http://dx.doi.org/10.1080/02626667.2014.979174>
- SINAN, M., 1986. Paramètres hydrogéologiques et géoélectriques en milieu alluvial fortement hétérogène (exemple de la nappe du Haouz, Maroc). Thèse 3ème cycle, Univ. Sci. Tech. Languedoc, Montpellier, France.
- SINAN, M., MASLOUHI, R., ET RAZACK, M., 2003. Utilisation des SIG pour la caractérisation de la vulnérabilité et de la sensibilité à pollution des nappes d'eau souterraine. Application à la nappe du Haouz de Marrakech. In 2nd FIG Regional Conference (Marrakech, Morocco, 2–5 December 2003).
- SOULAIMANI, A. (1991). L'évolution structurale des massifs hercyniens du Haouz de Marrakech : Guemassa N'fis (Maroc). Thèse de troisième cycle, Université de Marrakech, 139 pp.