

APPLICATION DE LA GÉOPHYSIQUE (MÉTHODE GÉOÉLECTRIQUE) À LA RECONNAISSANCE DU PLATEAU DE MEKNÈS (BASSIN DE SAÏSS), MAROC

Ali ESSAHLAOUI⁽¹⁾, Hassane SAHBI⁽¹⁾ & Nacer EL YAMINE⁽²⁾

(11 figures)

1. *Département de géologie, groupe de géophysique appliquée et d'hydrogéologie, Faculté des sciences, B.P.4010, Meknès, Maroc.*
2. *Département du génie minéral, Ecole Mohammadia d'Ingénieurs, Agdal, Rabat, Maroc.*

ABSTRACT. Application of geophysical prospecting (geoelectrical method) for the hydrogeological reconnaissance of the Meknes Plateau (Saïss basin), Morocco. A geophysical study by the geoelectrical method using electrical soundings, has been carried out in the south-western and southern parts of the Meknes plateau which belongs to the Saïss basin located between the Rif mountain range to the North and the Middle Atlas range to the South. Two significant aquifers are found in the Meknes Plateau : the first one is located in the shallow Plio-Quaternary formations while the second one is inside the deep carbonate beds of the Lias. The quantitative interpretation of electrical soundings from both surface and borehole data resulted in iso-resistivity, isopach and longitudinal isoconductance maps that have both a quantitative and a qualitative interest for a better understanding of the global structure of the hydrogeological basin of Saïss.

KEYWORDS : Morocco, Meknes, water resources, geoelectric prospecting, Plio-Quaternary, Lias, iso-resistivity, electric discontinuity.

RESUME. Une étude géophysique par la méthode géoélectrique a été entreprise dans les parties Sud et Sud-Ouest du plateau de Meknès. Ce dernier constitue la partie médiane du bassin de Saïss qui est situé entre la chaîne rifaine au Nord et le moyen atlas au sud. Deux réservoirs aquifères importants sont distingués au droit du plateau de Meknès : la nappe phréatique du Plio-quaternaire et la nappe profonde du Lias. L'interprétation quantitative des sondages électriques, des données géologiques et de la description des forages, ont permis de dresser des cartes d'isoresistivité, d'isopaque, et d'isoconductance longitudinale. Ces cartes ont aidé à mieux connaître la structure globale du bassin hydrogéologique de Saïss d'un point de vue quantitatif et qualitatif.

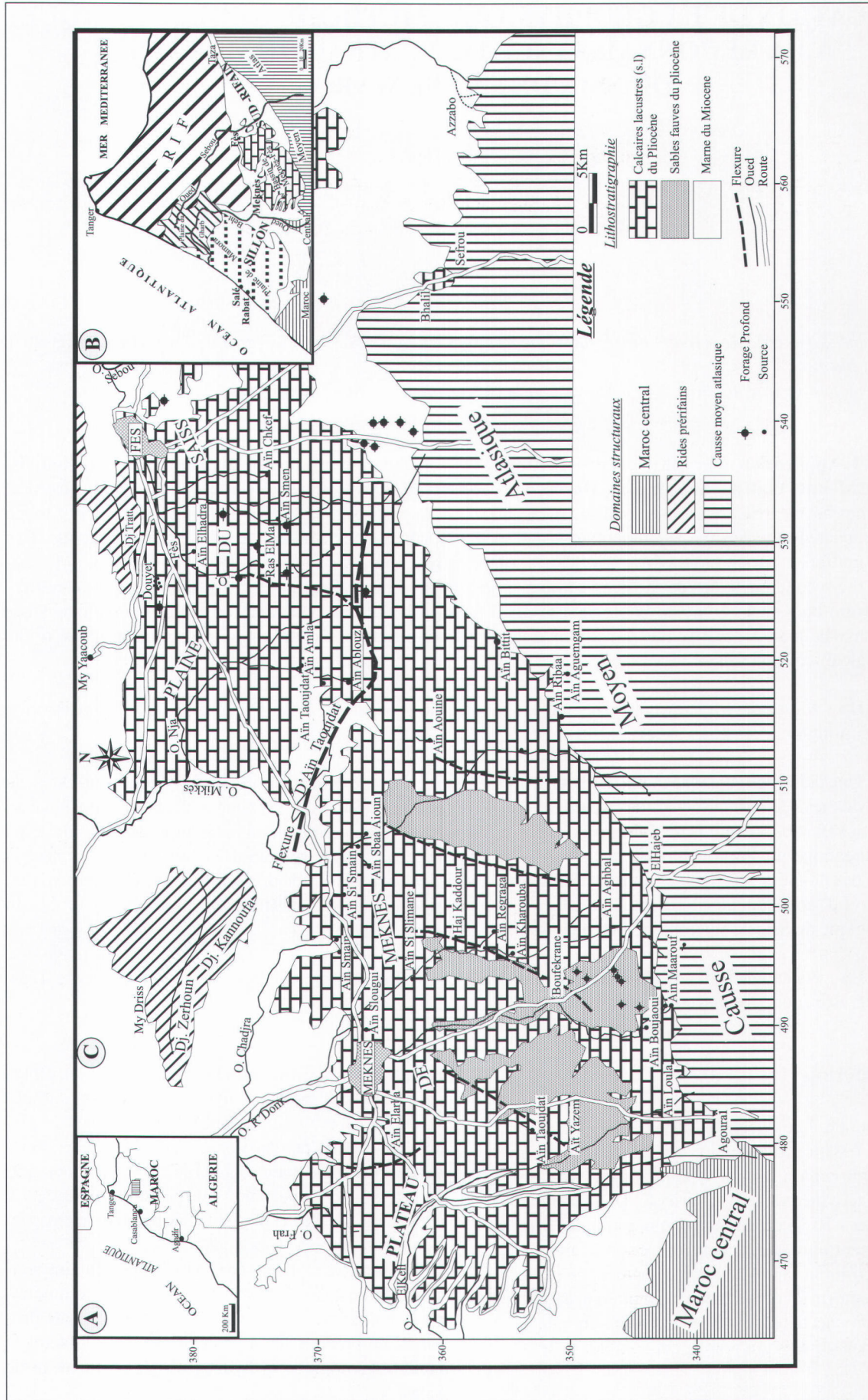
MOTS-CLES : Plateau de Meknès, ressources hydrogéologiques, Prospection géophysique, Plio-quaternaire, Lias, isoresistivité, isopaque, discontinuité électrique.

1. Introduction

La zone économique Meknès-Tafilalt, dans laquelle s'inscrit le bassin sédimentaire de Meknès-Fès (ou Saïss) est une région (Fig. 1A) caractérisée par une importante activité humaine et agricole. Depuis le début des années 70, la croissance démographique et le développement agro-alimentaire ont exigé la mise à disposition d'importantes ressources en eau, ce qui a amené les autorités compétentes à conjuguer les efforts pour prospecter, développer et mettre en valeur de nouveaux aquifères qui pourraient combler le déficit en eau.

Partant de ces considérations, une connaissance plus approfondie du potentiel hydrique du bassin s'imposait. Une investigation géophysique couvrant le plateau de Meknès pouvait constituer un jalon appréciable permettant de mieux connaître la structure des aquifères aussi bien superficiels que profonds. A cet égard, la méthode géoélectrique, constitue un outil de prospection bien approprié et adapté.

Cette étude est réalisée sur la base d'une centaine de sondages électriques. L'objectif de l'étude est d'améliorer la connaissance des aquifères superficiels et profonds, de préciser leurs géométries à fin d'obtenir le modèle géologique et hydrogéologique du bassin de Saïss.



2. Cadre géologique et hydrogéologique

2.1. Aperçu géographique et géomorphologique

Le bassin de Saïss (Meknès-Fès) constitue la partie médiane du Sillon sud-rifain (Fig. 1B). Ce dernier est une dépression qui s'étend de l'Atlantique à l'Ouest au détroit de Taza à l'Est. La dépression se prolonge jusqu'à la Méditerranée par le Couloir de Taza-Oujda. Le Sillon sud-rifain se caractérise principalement par sa situation entre deux grands domaines structuraux très différents : le domaine rifain et pré-rifain au Nord, et le domaine méseto-atlasique au Sud.

Le bassin de Saïss, est limité à l'Est par la vallée de l'oued Sebou et à l'Ouest par l'oued Beht. Il s'étend d'est en ouest sur une longueur de 100 km environ. Sa largeur est d'environ 30 km suivant une direction nord-sud. Sa superficie totale est de 2100 km².

Un accident topographique franc (Fassi, 1977), d'orientation globale est-ouest, appelé flexure d'Aïn Taoujdat, dénivelle nettement deux paliers (Fig. 1C) : le plateau de Meknès à l'Ouest et la plaine du Saïss à l'Est.

L'altitude du plateau de Meknès, décroît d'une manière générale du sud vers le nord avec une pente moyenne de 12‰. Elle passe de 1000m (à El Hajeb) à 550m (à Meknès). Dans sa partie septentrionale, le plateau se redresse brutalement au niveau des rides pré-rifaines (Djbel Zerhoun, Djbel Kannoufa, etc.).

Le réseau hydrographique dans le bassin est en général peu développé. Il est essentiellement formé par quatre oueds principaux : oued R'dom, oued Mikkès, oued El Kell, et oued Fès.

2.2. Cadre géologique

Les principales formations rencontrées dans ce bassin sont (Fig. 1C) :

Paléozoïque : représenté par un faciès monotone de schistes fins et de quartzites à intercalations de bancs gréseux. Il affleure au Sud-Ouest du plateau de Meknès, dans la vallée de l'oued El Kell.

Trias : constitué essentiellement par des argiles gypsifères et salifères (dépôts évaporitiques) à intercalations de basaltes doléritiques. Un niveau sédimentaire carbonaté, de faible épaisseur (5m au maximum), est en permanence associé à ces basaltes (Ouarghache, 1987). L'épaisseur du Trias peut atteindre 700 m (forage 290/22).

Lias : Le Lias inférieur (Lotharingien) qui affleure très largement dans le Moyen Atlas est constitué par des dolomies massives et ruiniformes.

Le Lias moyen (Domérien et Carixien) est formé par des calcaires lités à céphalopodes au sommet, puis des calcaires à silex et à chailles.

L'épaisseur connue maximale du Lias dans les forages est de 280 m. Parfois, cet étage fait défaut comme le montre le forage 137/22 situé entre Boufekrane et El Hajeb.

Miocène : le Tortonien débute par un faciès de calcaire gréseux à passées marneuses dont l'épaisseur peut atteindre une dizaine de mètres. Au-dessus de ce faciès, se développe une puissante série de marnes grises dont l'épaisseur augmente du sud vers le nord. Elle atteint 1000 m au sondage Douyet (D.R.P.E, 1989; Aït Brahim, 1991).

Au Méssinien, la sédimentation des marnes grises est continue et homogène. Localement, un niveau gréseux est situé à sa base (Aït Brahim, 1991). Au sommet, la sédimentation devient parfois marno-sableuse (Tabet et al, 1987).

Pliocène : le Pliocène inférieur est formé par des sables à matrice carbonatée surmontant des marnes grises du Méssinien (Boumir, 1987; Aït Brahim, 1991). Dans la région de Meknès, l'épaisseur de ces sables peut atteindre 50 m à 80 m. Le Pliocène moyen est constitué par une formation sableuse, d'une trentaine de mètres d'épaisseur en moyenne, qui s'est déposée sur le plateau de Meknès. Ces sables sont de couleur variable (rouge, brune, jaune, ocre et grise) et constituent les futurs sables fauves (Taltasse, 1953). Quant au Pliocène supérieur, il est constitué par une alternance de calcaires argileux pulvérulents et de calcaires micritiques. Reconnus depuis longtemps (Taltasse, 1953) comme étant lacustres, ces calcaires présentent une épaisseur moyenne de 30 m.

Quaternaire : il correspond à un complexe fluviatile daté du Quaternaire moyen et supérieur (Ahmamou, 1987). Ce complexe est constitué par des tufs, des lentilles de calcaires et des limons gris.

2.3. Cadre hydrogéologique

Deux réservoirs aquifères importants sont distingués au droit du plateau de Meknès : la nappe phréatique du Plio-quaternaire et la nappe profonde du Lias.

La nappe phréatique circule principalement dans les sables, les grès et localement dans les calcaires lacustres. Cette nappe superficielle plio-quaternaire a été reconnue par un nombre important de forages, de puits et de sources (carte hydrogéologique au 1/100.000 ; Margat, 1960). Suite à des campagnes de mesures du niveau piézométrique, la profondeur de la nappe est en moyenne comprise entre 10m et 30m, mais peut atteindre localement 45m (Essahlaoui, 1997; Essahlaoui et al., 1999; Sahbi et al., 1999).

Cette nappe a accusé depuis le début de la décennie 1980 une baisse relativement importante. Les sèche-

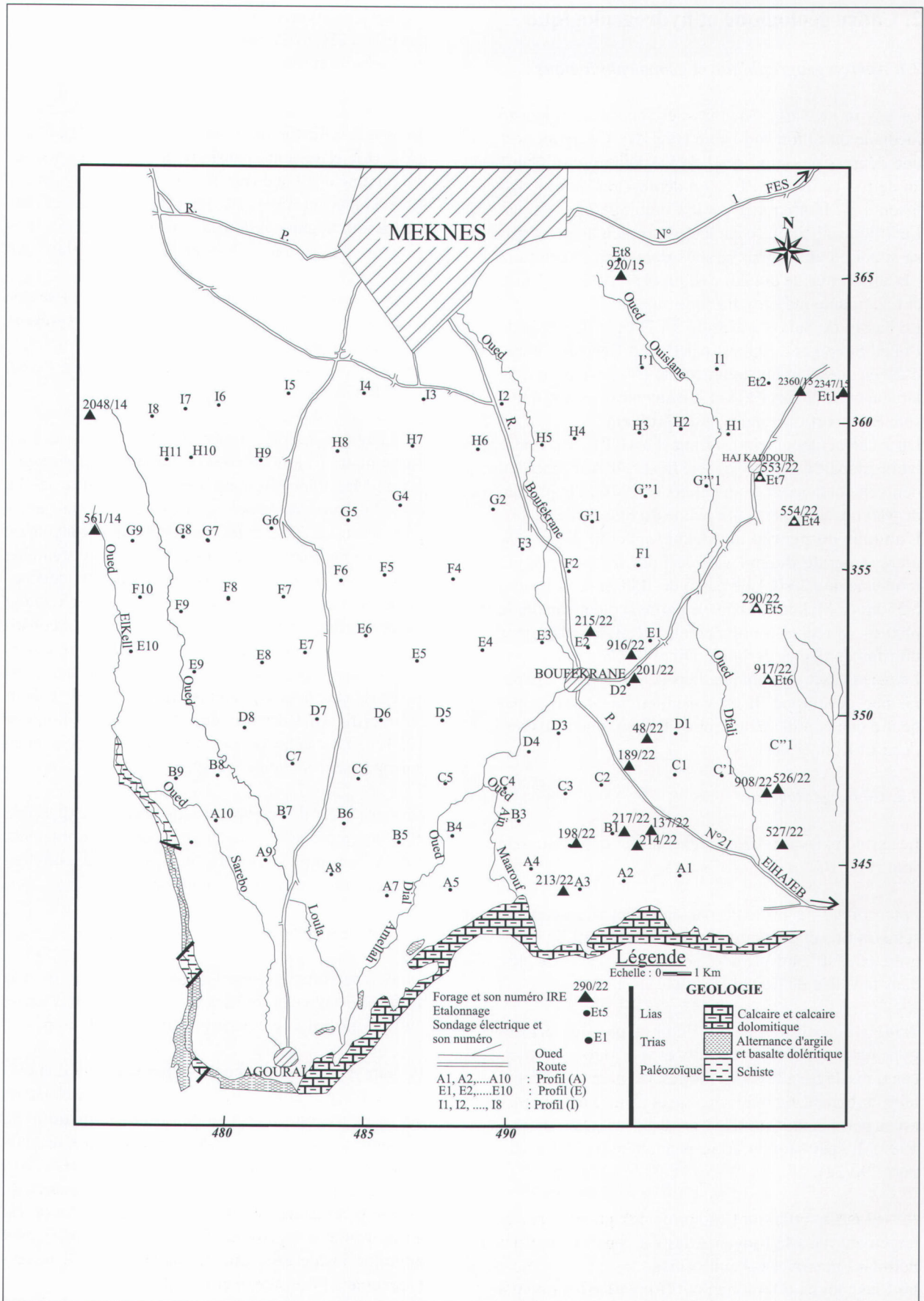


Figure 2. Carte de situation du secteur prospecté par la méthode géoélectrique et plan de situation des sondages électriques réalisés

resses des années 80 et celles enregistrées durant le début des années 90 ont eu pour conséquences la diminution des infiltrations et l'accroissement des prélèvements, ce qui s'est traduit par l'accentuation de la baisse des niveaux piézométriques. Cette baisse peut atteindre quelques mètres dans certains piézomètres (D.R.P.E, 1989; Zerouali, 1993).

La nappe profonde du plateau de Meknès a pour réservoir les calcaires et les calcaires dolomitiques du Lias. Du Sud vers le Nord, ces formations constituent d'abord un aquifère à nappe libre sur les causses et en bordure, puis captif sous les formations marneuses imperméables du Tertiaire. Cette nappe se manifeste par les exurgences et les sources de trop-plein en bordure du causse, par les sources de flexure et par les sources artésiennes hydrothermales du Saïss (Chama-you et al., 1975). L'historique des suivis piézométriques indiquent de fortes baisses annuelles du niveau de la nappe profonde. Ceci est dû essentiellement, d'une part, à la période de sécheresse qui s'est accentuée à partir de 1980 et d'autre part, aux forts débits exploités à partir des pompes.

D'un point de vue hydrogéologique, les deux nappes superficielles et profondes situées au droit du plateau de Meknès ou d'une manière générale dans le bassin de Meknès-Fès, offrent un potentiel hydrique supplémentaire qui pourrait être mobilisé pour couvrir une partie des besoins accrus pour l'alimentation en eau potable et industrielle et pour l'agriculture dans le bassin de Meknès-Fès. De ce fait, il faut utiliser des moyens d'investigation indirecte tel que la prospection géophysique pour bien connaître la structure complexe de ce bassin hydrogéologique et surtout de délimiter en profondeur les différents panneaux constituant le bassin. Ceci permettra de mieux implanter les forages d'exploitation hydrogéologique et/ou de découvrir de nouveaux panneaux à exploiter.

3. Prospection géoélectrique

La méthode géoélectrique, utilisant la technique des sondages électriques (S.E) est largement utilisée pour la recherche d'eau, permette d'obtenir des informations relatives aux épaisseurs et aux résistivités des différentes couches du terrain, dans le cas de couches approximativement horizontales.

La présente étude géoélectrique a été entreprise dans le but d'améliorer la connaissance des aquifères dans le plateau de Meknès, notamment dans les parties Sud et Sud-Ouest où ils sont mal connus. Son objectif est de préciser la géométrie des aquifères du Plio-quaternaire et du Lias, et de l'aquitard formé par les marnes du Miocène.

3.1. Situation géographique du secteur étudié

La zone étudiée se situe à proximité de la ville de Meknès (Fig. 2) et s'étend au Sud depuis la route principale n°1 (Rabat-Oujda) jusqu'au pied du causse moyen atlasique entre El Hajeb et Agouraï. Elle est limitée à l'Est par la ligne reliant El Hajeb et Haj Kaddour et à l'Ouest par l'oued El Kell. Elle présente une superficie de 530 Km² environ.

3.2. Dispositifs utilisés

Le quadripôle géoélectrique utilisé est le dispositif symétrique Schlumberger. En raison de la grande profondeur d'investigation désirée (parfois plus de 800m), la plupart des sondages électriques ont été réalisés avec un écartement d'électrodes externes de AB= 4000m, à l'exception de la zone Sud du secteur étudié où les écartements AB sont de 1000m et de 2000m. Dans cette étude, l'ensemble des sondages électriques est réparti sur neuf profils orientés sensiblement est-ouest (Fig. 2).

Dans le but de caler l'interprétation, on a effectué :

- 8 S.E étalons, au droit ou à proximité des forages mécaniques ;
- 1 S.E paramétrique, sur un affleurement du Lias dans le causse moyen atlasique (à côté d'Agouraï).

3.3. Forages mécaniques

Les forages mécaniques réalisés dans la zone, quoique peu nombreux, ont permis :

- de déterminer les épaisseurs des formations plio-quaternaires et miocènes ;
- de caler les S.E d'étalonnages ce qui a fourni des informations importantes sur les variations des résistivités des différentes formations ;
- de localiser le toit des formations carbonatées du Lias ;
- de déterminer parfois son épaisseur, surtout dans la partie Est du secteur.

3.4. Résultats obtenus

A partir des S.E d'étalonnage calés, il est plus aisé de déterminer les résistivités vraies des couches des différentes formations constituant le sous-sol. L'étude comparée des couches lithologiques mises en évidence par forage avec les horizons électriques décelés sur les diagrammes de S.E permet d'établir des corrélations géoélectriques (Fig. 3). Les résultats obtenus par les sondages électriques étalons ; ont conduit aux observations suivantes :

- Pour une même formation, la résistivité peut varier largement d'un sondage à un autre ;
- La couverture formée par les sables fauves et les calcaires lacustres d'âge Plio-Quaternaire correspond

à une alternance de niveaux résistants et conducteurs ;

- La couverture marneuse d'âge Miocène correspond au niveau le plus conducteur ;
- Le socle, dont la nature est difficile à définir en l'absence de forage, constitue le niveau résistant profond ou le substratum résistant.

Malgré ces variations de résistivités, les résultats obtenus par l'ensemble des sondages électriques, ont permis de déterminer les caractéristiques électriques des différentes unités géologiques. Celles-ci peuvent être résumées comme suit :

La couverture récente, formant la tranche superficielle du terrain, est constituée d'un niveau moyennement conducteur dans la région étudiée. Sa résistivité est généralement comprise entre 20W.m et 40W.m.

Le Plio-quatenaire présentant une grande hétérogénéité, est électriquement plus résistif que les formations qui l'encadrent. Il forme ainsi, le niveau résistif superficiel de la région. Sa résistivité varie souvent entre 50Ω.m et 150Ω.m ; elle peut atteindre 200Ω.m, voire même plus. Les valeurs élevées peuvent s'expliquer par l'assèchement de la tranche supérieure de ce niveau qui forme la nappe phréatique du bassin.

Le Miocène forme un ensemble conducteur bien développé. On y observe une importante variation de la résistivité due vraisemblablement à la présence d'intercalations sablonneuses ou gréseuses (voir 2.2). La résistivité de cette formation fluctue entre 3Ω.m et 30Ω.m

Le substratum est constitué par le groupement du Lias, du Trias et du Paléozoïque. La résistivité du Lias peut varier dans de larges limites, entre 100Ω.m et 400Ω.m. Le Trias est électriquement hétérogène ; les résistivités atteignent 30Ω.m et 100Ω.m respectivement pour les niveaux argileux et pour les basaltes doléritiques. Le Paléozoïque, forme le socle du bassin, est globalement résistif (50Ω.m à plus de 100Ω.m).

3.5. Interprétation des résultats

Les résultats de cette étude géoélectrique du plateau de Meknès, parties Sud et Sud-Ouest, ont permis l'établissement de six cartes interprétatives. Parmi elles, trois cartes de résistivités apparentes donnent une idée significative sur les variations latérales de résistivité d'une tranche de terrain. L'épaisseur de la tranche de terrain investiguée croît avec l'écartement AB des électrodes d'injection du courant.

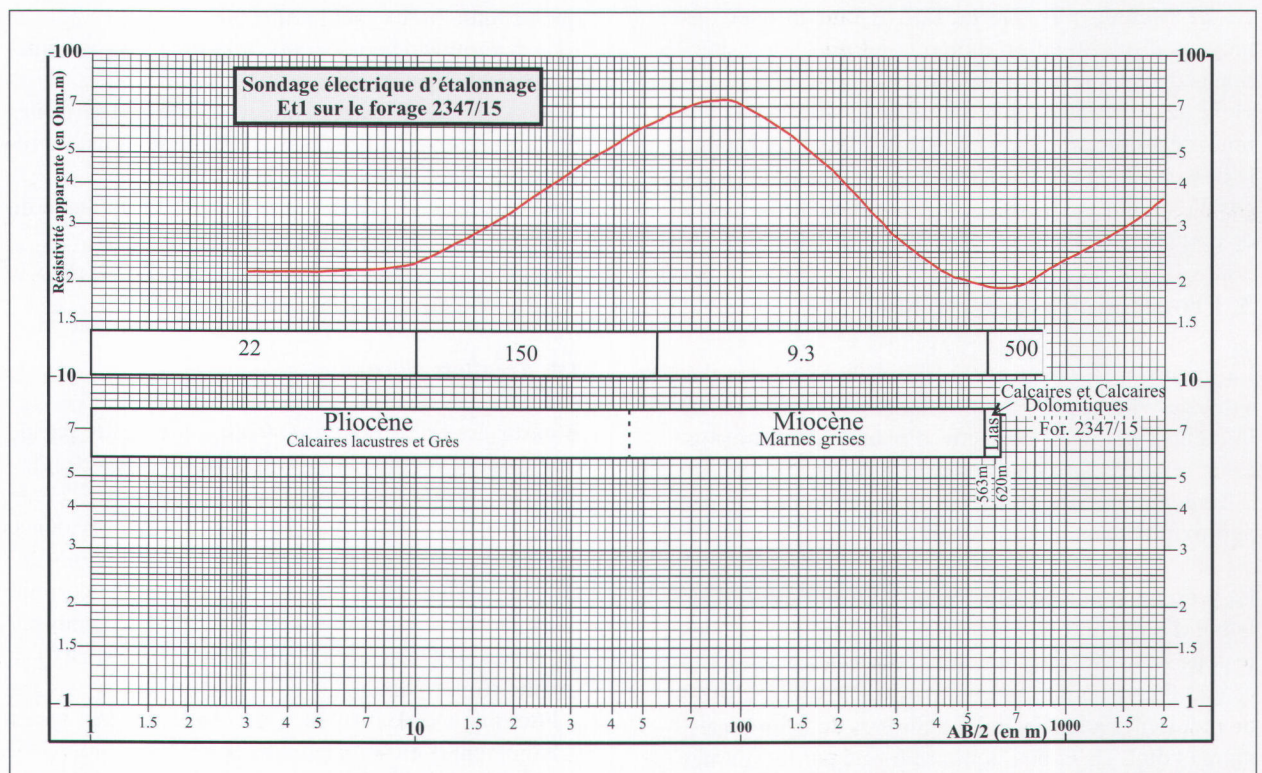


Figure 3. Exemple de sondage électrique d'étalonnage Et1 réalisé sur le forage 2347/15

3.5.1. Carte des résistivités apparentes AB=100m

Cette carte (Fig. 4) caractérise les dépôts affleurants ou sub-affleurants. On distingue :

- *Zones résistives* ($\rho\alpha \geq 50 \Omega.m$) : Ce sont des zones très larges pouvant être corrélées en règle générale aux calcaires lacustres, aux sables fauves et aux grès du Plio-Quaternaire. Ces formations sont rencontrées, entre autres, à l'Est du secteur et dans les forages 290/22, 553/22, 554/22. Les zones résistives sont localisées surtout à l'Ouest de la route principale n°21, où les formations citées ci-dessus affleurent largement : cave des Aït Souala, Dar Ferrag, Koudiat Zouar, etc.
- *Zones conductrices* ($\rho\alpha < 30\Omega.m$) : Ce sont des zones de faibles étendues qui correspondent à des dépôts de surface essentiellement argileux (cas de l'oued Dial Amellah). Certaines plages conductrices, situées à l'Ouest du secteur, correspondent à l'affleurement des marnes du Miocène dans la vallée de l'O.Loula et l'O.El Kell. La plage conductrice située vers l'Est, entre la route principale n°21 et l'axe Boufekrane-Haj Kaddour pourrait indiquer la présence de dépôts calcaires à intercalations argilo-marneuses plus ou moins importantes.

3.5.2. Carte des résistivités apparentes pour AB=1000m

Les effets des terrains sub-affleurants deviennent négligeables sur cette carte (Fig. 5). On distingue :

- *Zones résistives* ($\rho\alpha \geq 50 \Omega.m$) : Ces zones sont très réduites dans le secteur d'étude, leurs résistivités apparentes dépassent 50W.m. Elles peuvent être interprétées par les phénomènes suivants:
 - diminution importante du recouvrement marneux vers le Sud lorsqu'on se rapproche du causse où les calcaires liasiques résistants sub-affleurent, c'est le cas au Sud et au Sud-Ouest de Boufekrane.
 - présence de niveaux résistants dans le recouvrement marneux du Miocène liés à des faciès sablo-gréseux.
- *Zones conductrices* ($\rho\alpha < 20 \Omega.m$) : En général, la diminution de la résistivité apparente traduit l'épaississement de la couverture Miocène conductrice et/ou les variations de sa résistivité. Ces zones apparaissent essentiellement à l'Est de la route Meknès-Boufekrane et à l'Est de la route Meknès-Agourai dans la partie Nord. Dans ces zones les résistivités apparentes peuvent présenter parfois des valeurs inférieures à 10 $\Omega.m$.

3.5.3. Carte des résistivités apparentes pour AB=4000m

Lorsque l'écartement des électrodes d'injection de courant devient important, la variation des résistivi-

tés apparentes dépend essentiellement de la variation de l'épaisseur de la couverture conductrice du Miocène du plateau de Meknès. L'examen de la carte obtenue (Fig. 6) montre une décroissance régulière des résistivités apparentes du sud-est vers le nord-ouest. En effet, les valeurs de la résistivité apparente mesurées varient de 130 $\Omega.m$ à environ 13 $\Omega.m$. Ceci est dû à l'approfondissement du substratum résistant du plateau de Meknès dans la même direction. Cet approfondissement devient particulièrement important à l'Ouest de l'axe reliant Haj Kaddour, Boufekrane et Agourai.

Dans la zone, délimitée par Meknès, Boufekrane et Haj Kaddour, les résistivités apparentes deviennent très faibles (8 $\Omega.m$ à 11 $\Omega.m$). Elles traduisent surtout les variations de la résistivité au sein de la couverture conductrice. Dans ce cas, l'influence du substratum résistant est très faible. Le faible espacement des courbes des isorésistivités, entre Boufekrane et Haj Kaddour, dans la direction NW-SE, traduit une variation rapide de la résistivité. Cette variation peut s'expliquer probablement par l'existence d'une discontinuité électrique suivant la direction NE-SO.

Par ailleurs, l'augmentation rapide des résistivités apparentes s'explique par le remonté brutale du substratum résistant de nature variée :

- au Sud, au Sud-Est et à l'Ouest du secteur, le substratum résistant est formé par des terrains liasiques ;
- au Sud-Ouest du secteur, le substratum résistant est parfois de nature paléozoïque.

3.5.4. Carte de la conductance longitudinale totale (CI) du conducteur intermédiaire (Miocène)

En utilisant le principe d'équivalence, il est intéressant de caractériser les terrains conducteurs du Miocène par leur conductance longitudinale totale (CI). A partir des valeurs obtenues pour chaque S.E, on peut tracer la carte de la CI du conducteur intermédiaire.

L'examen de la carte obtenue (Fig. 7) permet de faire les observations suivantes :

- La zone délimitée par Meknès, Boufekrane et Haj Kaddour et caractérisé par les plus fortes valeurs de la CI (310 Ω^{-1} , 344 Ω^{-1}), correspond vraisemblablement à une zone où le remplissage marneux est à la fois relativement épais et conducteur ;
- A l'Est de cette zone, les courbes d'isoconductance longitudinale sont très serrées et matérialisent un fort gradient. Les valeurs de la CI sont faibles. Ces constatations traduisent une brusque remonté du substratum résistant au niveau de l'axe Boufekrane-Haj Kaddour. La même situation est observée au Sud-Est du secteur, avec cependant un gradient relativement constant.

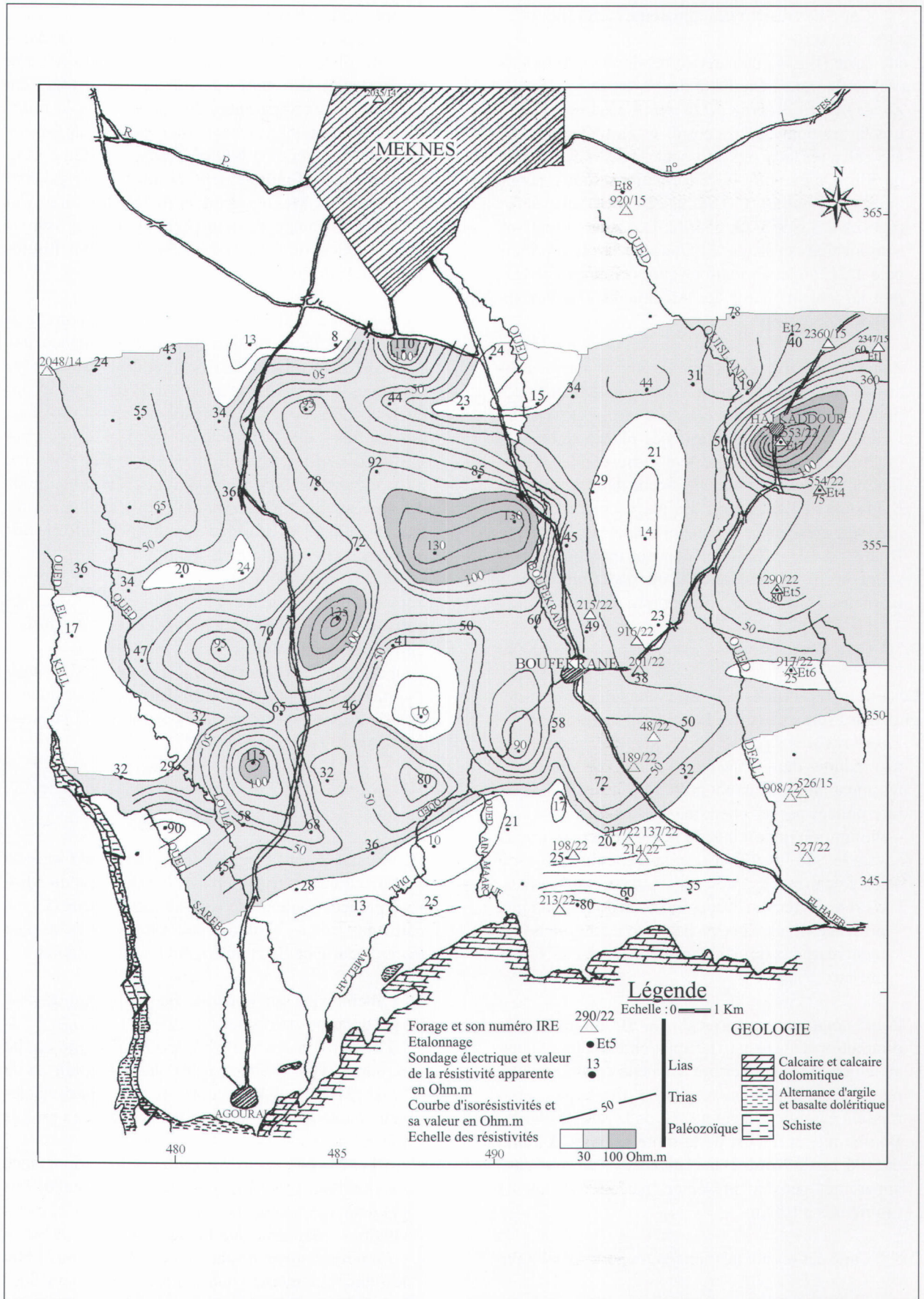


Figure 4. Carte des résistivités apparentes pour AB= 100m

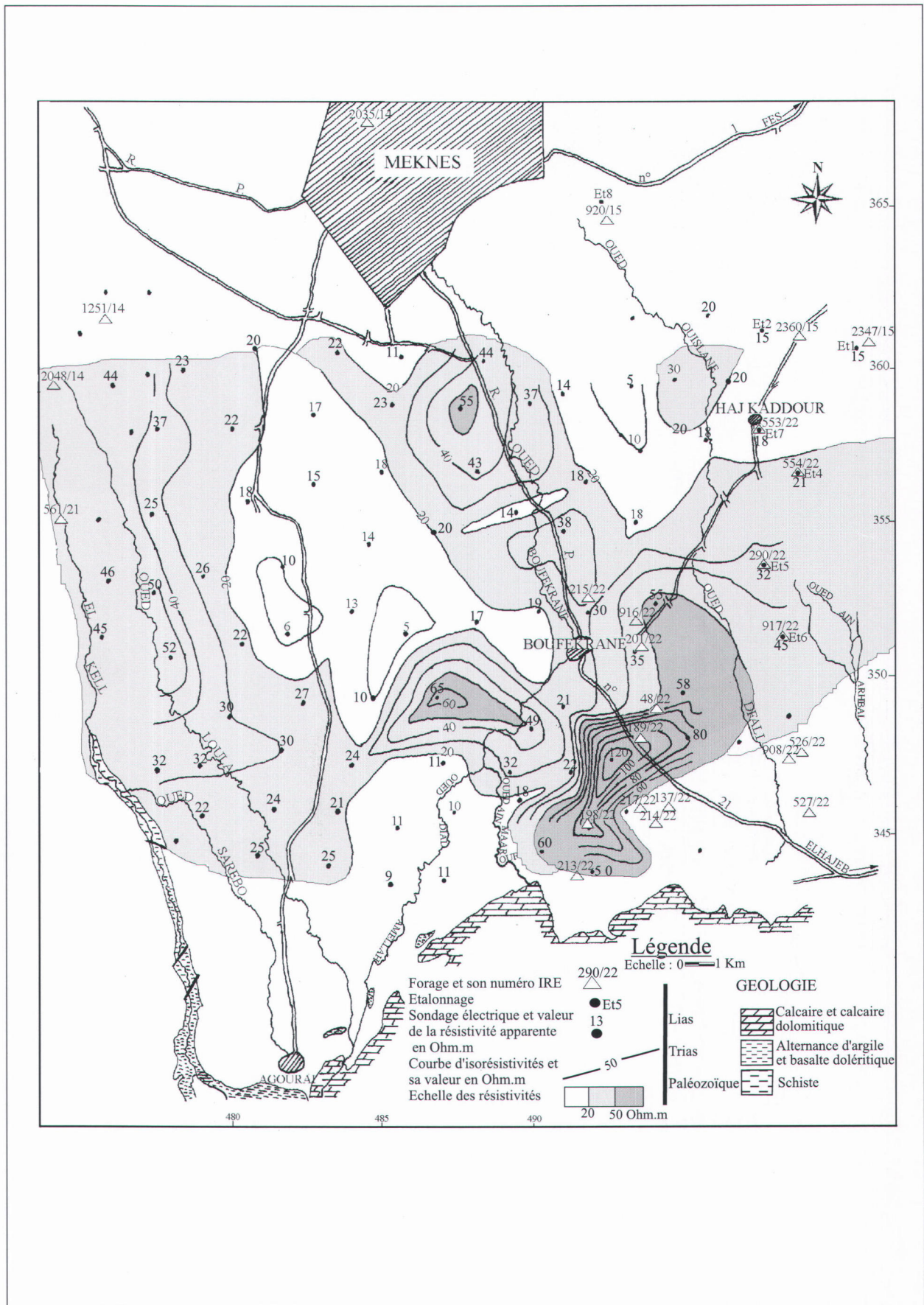


Figure 5. Carte des résistivités apparentes pour AB= 1000m

- A l'Ouest du secteur, la diminution de la conductance longitudinale au niveau de l'oued Loula et l'oued El Kell, traduit une remontée du substratum résistant et/ou les terrains deviennent plus gréseux (faciès marneux gréseux d'âge Méssinien) ;
- Vers le Nord, au Sud de Meknès, l'augmentation des conductances longitudinales ($Cl=107\Omega^{-1}$ et $117\Omega^{-1}$), traduit l'approfondissement graduel du substratum résistant.

La superposition de la carte de la Cl avec celle des résistivités apparentes pour $AB=4000m$, montre une certaine similitude, par exemple : les secteurs ayant les conductances les plus fortes montrent les résistivités apparentes les plus faibles et inversement.

La carte de la conductance longitudinale totale a une grande importance, car elle peut traduire l'allure du toit du substratum résistant à condition que le remplissage conducteur ait une résistivité relativement constante. Cependant ceci n'est pas toujours le cas, car la résistivité varie et le recouvrement conducteur est parfois hétérogène.

3.5.5. Cartes des isopaques

Ces cartes sont établies à partir des données de forages et de l'interprétation quantitative de l'ensemble des sondages électriques pour lesquels ont été évaluées les épaisseurs des différents horizons électriques du Plio-Quaternaire et du Miocène.

Deux cartes ont été établies : l'une met en relief l'extension latérale et la puissance des formations superficielles d'âge Plio-Quaternaire (Fig. 8), l'autre précise la répartition des formations imperméables à semi-imperméables du Miocène (Fig. 9). Cette dernière est nécessaire à l'établissement ultérieur d'un modèle mathématique définissant les relations verticales qui peuvent exister entre l'aquifère superficiel et l'aquifère profond.

a) Carte des isopaques des terrains plio-quaternaires

Les terrains plio-quaternaires qui forment l'aquifère superficiel sont constitués de niveaux perméables à semi-perméables. Se développant au-dessus des marnes imperméables du Miocène, et pouvant atteindre une centaine de mètres de puissance. Ils présentent une zone non saturée épaisse de 30 à 50m environ.

La détermination de la puissance des terrains superficiels, d'après les données géophysiques, est basée sur les corrélations entre les logs lithologiques de forages et l'analyse des résistivités des horizons électriques superficiels.

L'examen de la carte des isopaques de ces formations superficielles (Fig. 8) montre que les valeurs maxima-

les sont observées au NE du secteur d'étude, et principalement à l'Ouest de la route Boufekrane-Haj Kaddour, au NO du secteur (à l'Est du forage 2048/14), et très localement vers le sud (à côté du forage 137/22), où les valeurs observées avoisinent 100 m. D'une manière générale, la puissance des formations superficielles diminue rapidement à proximité des affleurements des calcaires dolomitiques du Lias au Sud, et à côté des affleurements des marnes du Miocène à l'Ouest du secteur d'étude.

b) Carte des isopaques des terrains miocènes

Cette carte (Fig. 9) correspond à la différence entre la cote du mur des formations aquifères superficielles et la cote du toit du substratum résistant assimilé au toit de l'aquifère liasique.

Les marnes miocènes conductrices reposent sur un substratum résistant dont la nature lithologique est ambiguë dans le secteur d'étude. En effet, le substratum résistant ne correspond pas toujours au calcaire et au calcaire dolomitique du Lias qui forme l'aquifère profond. De ce fait, les courbes isopaques ont été tracées uniquement dans les zones où le substratum résistant est fort probablement liasique d'après les études antérieures (D.R.P.E, 1988 ; Essahlaoui & Jaidouri, 1990).

L'examen de la carte obtenue permet de dégager les points suivants :

- l'épaississement graduel des marnes du sud (depuis le causse moyen atlasique) vers le nord où la série marneuse peut dépasser 1000 m d'épaisseur ;
- les épaisseurs maximales sont atteintes dans le triangle Meknès, Boufekrane et Haj Kaddour ;
- la dislocation en blocs séparés par des discontinuités électriques ou des "failles" ;
- la variation importante de l'épaisseur de la formation marneuse de part et d'autre de ces discontinuités ou "failles" confirme bien le jeu syn-sédimentaire de ces dernières.

Dans la partie sud-ouest du secteur, les épaisseurs indiquées sur la carte sont variables d'un sondage électrique à un autre. Ceci est dû au fait que, dans cette zone, la présence du substratum résistant liasique est improbable. Parfois le Lias est absent et ainsi le dépôt des marnes se fait :

- soit sur les argiles du Trias, et dans ce cas, les deux formations ne peuvent être électriquement distinguées. L'épaisseur du niveau conducteur intermédiaire sera alors celle des marnes du Miocène et des argiles du Trias ;
- soit directement sur le Paléozoïque, connu comme étant résistif, et dans ce cas le niveau conducteur intermédiaire est représenté uniquement par les marnes du Miocène.

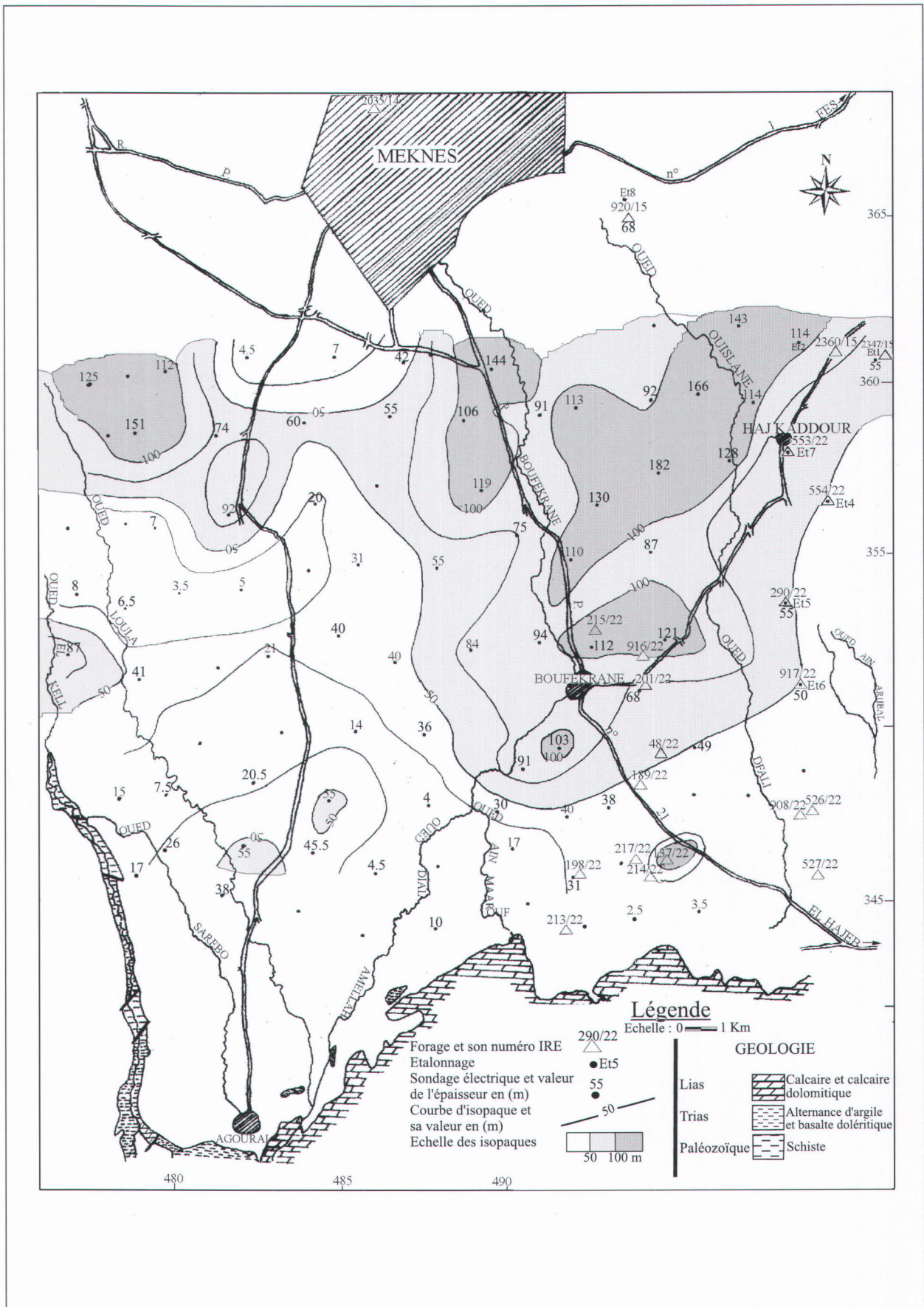


Figure 8. Carte des isopagues des terrains plio-quaternaires formant l'aquifère superficiel

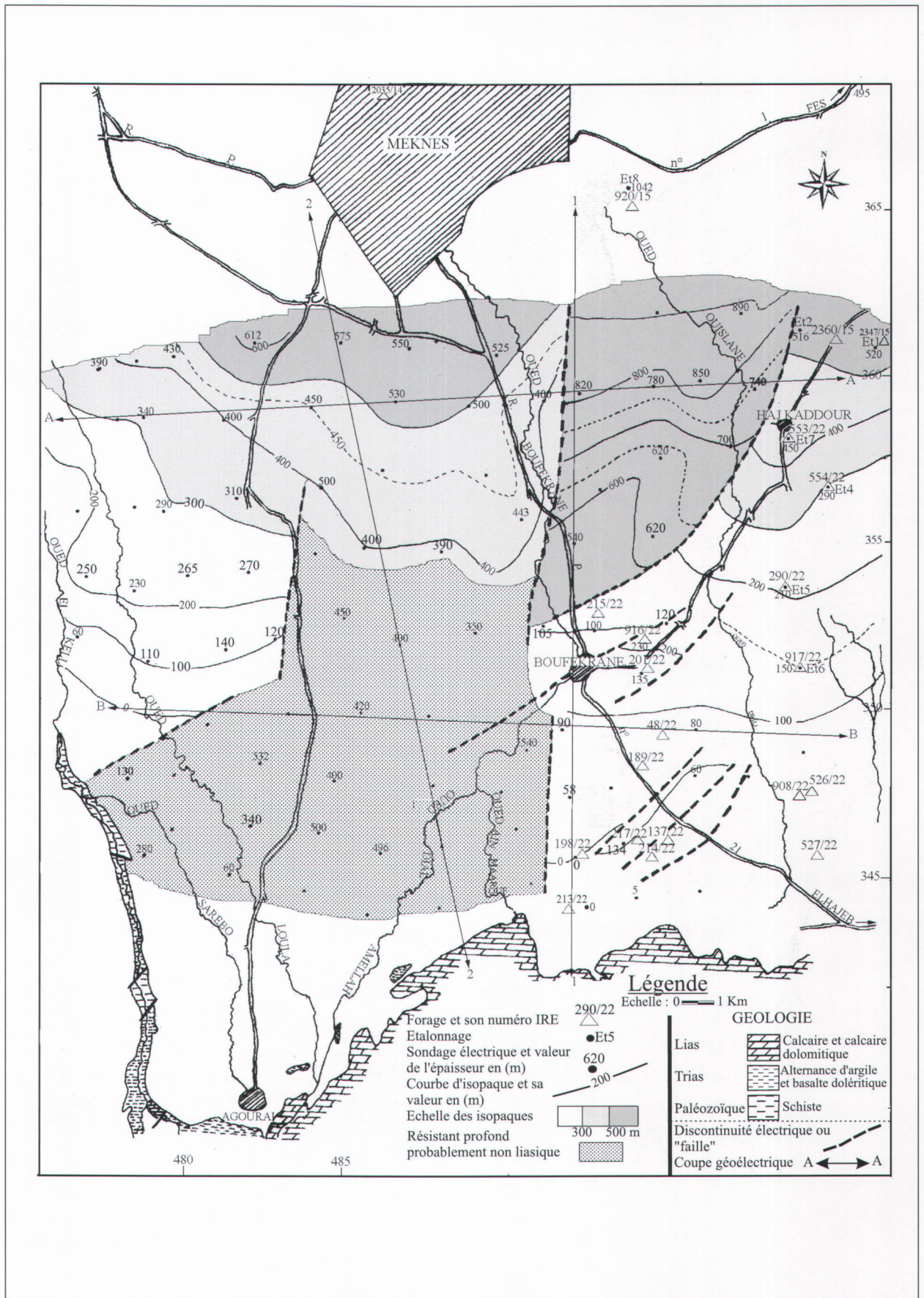


Figure 9. Carte des isopaches du conducteur intermédiaire attribué au Miocène

Du point de vue hydrogéologique, ces constatations conduisent à dire que le phénomène de drainage verticale serait faible, voire nul, d'une part, dans les secteurs où le Lias a une épaisseur réduite voire nulle, et d'autre part, dans les secteurs où les marnes du Miocène (imperméable) dépassent quelques centaines de mètres de puissance.

3.5.6. Coupes géoélectriques

Les coupes réalisées permettent, d'une part de visualiser les relations existantes entre le causse moyen atlasique au Sud et les formations du bassin au Nord, et d'autre part de déterminer la structure du toit des formations carbonatées du Lias et de préciser la nature des contacts éventuels (failles) des deux principaux aquifères du plateau de Meknès.

a) Coupes géoélectriques transversales (N-S)

Ces coupes (CGT 1-1 et CGT 2-2), représentées par la figure 10, mettent en évidence un enfoncement graduel du substratum liasique vers le Nord (Essahlaoui & Jaidouri, 1990). Cet enfoncement, avec un pendage d'environ 5% (D.R.P.E, 1987), se fait par l'intermédiaire de discontinuités électriques ou « Failles ». Elles montrent en plus les conditions d'exurgence de certaines sources situées au Sud du plateau de Meknès.

b) Coupes géoélectriques longitudinales (E-O)

Ces coupes (CGL A-A et CGL B-B), représentées par la figure 11, permettent de montrer de l'Est vers l'Ouest, un amincissement des formations aquifères superficielles. En plus, elles indiquent clairement les structures en Horst et graben affectant le substratum du bassin, les zones d'amincissement ou de disparition complète des formations liasiques et aussi les relations structurales existantes entre les différents panneaux du plateau de Meknès.

3.5.7. Discontinuités électriques ou « Failles »

Elles sont appelées ainsi car leur détermination est basée sur l'interprétation quantitative des sondages électriques et les corrélations faites à partir des coupes géoélectriques longitudinales et transversales et des cartes interprétatives dressées. La correspondance de ces discontinuités à des accidents tectoniques (Failles) qui affectent le substratum du plateau est très probable. Les données de forages situés dans la partie Est du secteur confirment cette similitude, avancée après analyse des épaisseurs des formations liasiques et du recouvrement miocène.

Les discontinuités se répartissent essentiellement en trois familles (Fig. 9), dont les directions sont respectivement NE-SO, NNO-SSE et NS (Essahlaoui et al.,

1997). La première famille est dominante surtout à l'Est du secteur où elle délimite soit les zones à effondrement important, soit les zones où le Lias est absent. Les discontinuités électriques de direction NE-SO peuvent être les prolongements vers le nord de la fracturation hercynienne du Maroc Central visible sur la carte géologique d'El Hajeb au 1/100.000.

4. Conclusions

Le plateau de Meknès, partie Ouest du bassin de Saïss, est constitué par une couverture mio-plio-quadernaire qui s'est déposée sur un socle de nature variée. Ce dernier est formé par des calcaires et des calcaires dolomitiques du Lias et localement par des argiles et des basaltes doléritiques du Trias et/ou des schistes du Paléozoïque, là où le Lias fait défaut.

D'une manière générale, le socle du plateau s'enfonce vers le Nord en une série de gradins limités par des failles. Malgré le peu d'informations géologiques correspondant aux terrains profonds et les difficultés d'interprétation, la prospection géophysique par la méthode géoélectrique réalisée sur le plateau de Meknès, a permis d'obtenir d'importants renseignements sur la structure complexe de ce plateau. En effet, Cette étude a permis de :

- définir les différents horizons électriques et leurs correspondances en termes géologiques et tectoniques;
- d'indiquer les principales discontinuités électriques qui peuvent avoir des significations tectoniques, tout en précisant leur répartition. Ces discontinuités se répartissent essentiellement en trois familles (NE-SO, NNO-SSE et NS) ;
- déterminer l'extension latérale et verticale des formations plio-quadernaire qui représentent l'aquifère superficiel. Globalement, la puissance de cet aquifère augmente du Sud vers le Nord ;
- déterminer l'extension latérale et verticale du niveau imperméable représenté par les marnes du Miocène. L'épaisseur de ces marnes, qui forment le substratum imperméable de l'aquifère superficiel, augmente du Sud vers le Nord. Au Nord de Boufekrane, un panneau très effondré, délimité par deux discontinuités électriques, montre les épaisseurs maximales de ces marnes ;
- tracer des coupes géoélectriques longitudinales et transversales qui montrent la structure en horst et graben de ce plateau ;
- dresser des cartes pouvant aider à mieux connaître la structure globale du bassin hydrogéologique de Saïss et à positionner avec bonne précision les forages de reconnaissances en fonction des objectifs à atteindre.

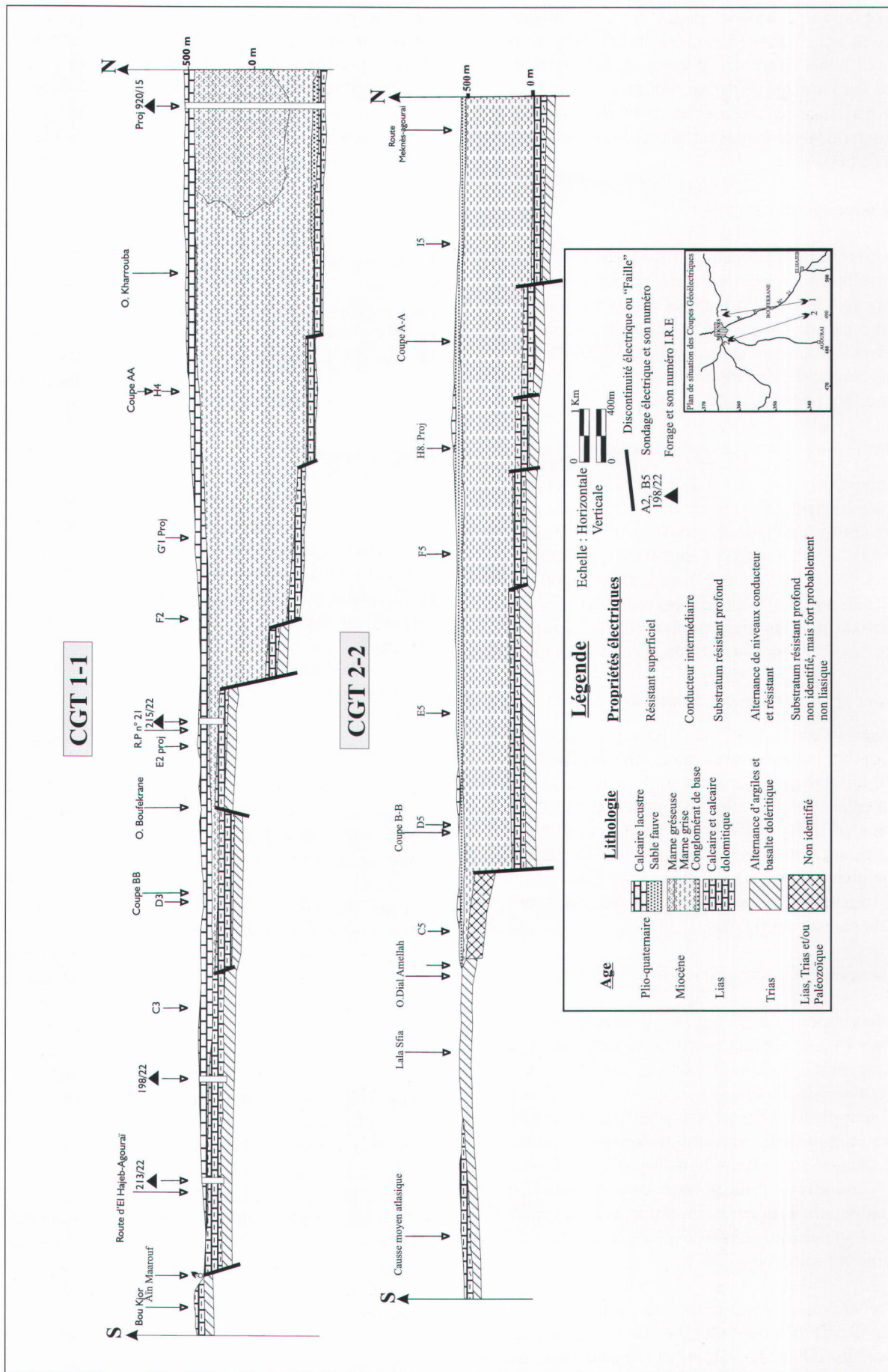


Figure 10. Coupes géoelectriques transversales (CGT 1-1 et CGT 2-2)

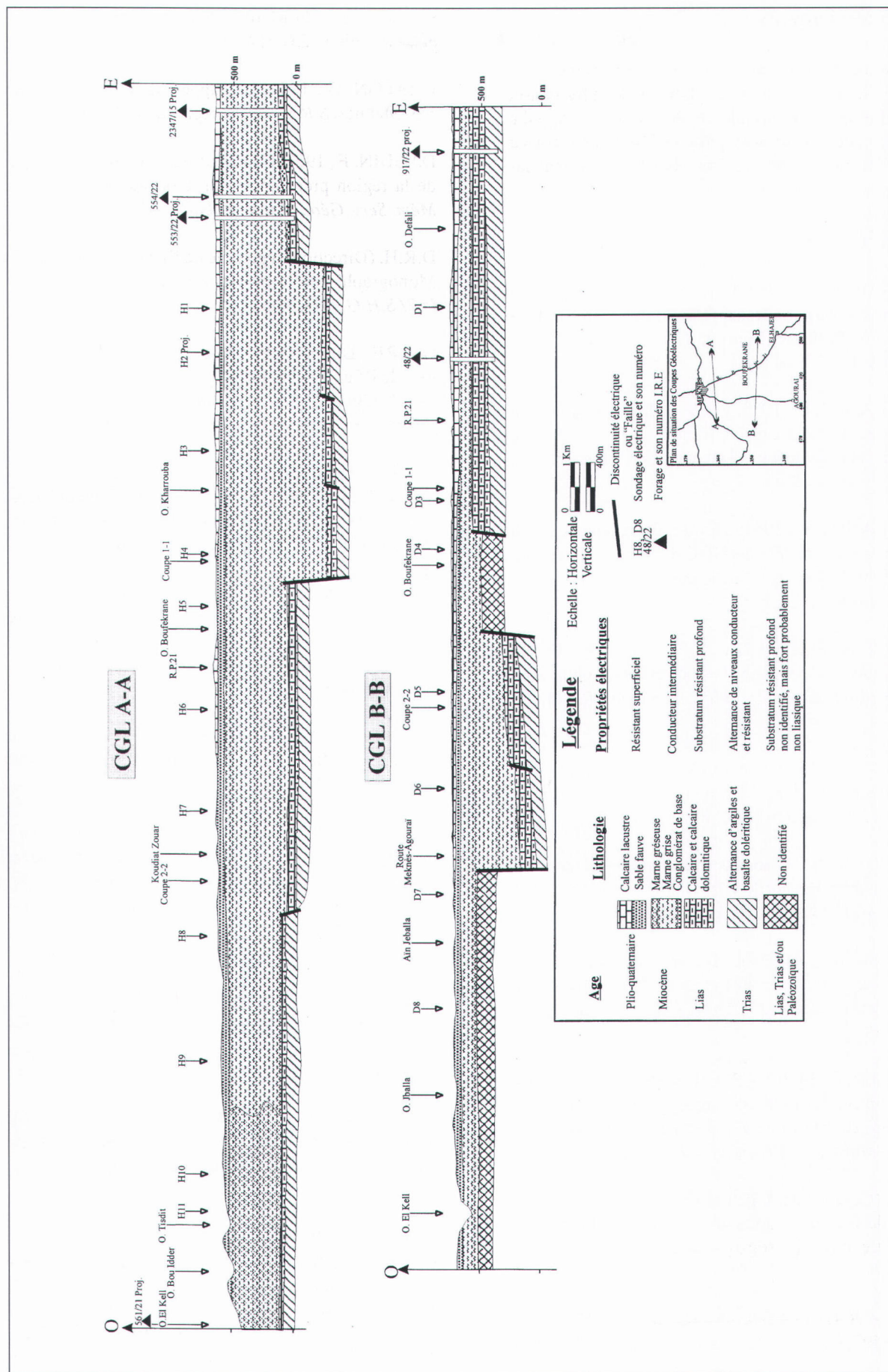


Figure 11. Coupes géoelectriques longitudinales (CGL A-A et CGL B-B)

5. Remerciements

Nous remercions le Ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche scientifique et de la formation des cadres qui, dans le cadre du Programme d'Appui à la Recherche Scientifique (PARS n° SDU 18), nous a fourni les moyens nécessaires pour la bonne réalisation de cette étude.

6. Références

- AHMAMOU, M., 1987. Etude sédimentologique des calcaires lacustres Saïssiens (Plio-Quaternaire) du bassin de Fès-Meknès (Maroc). *Thèse 3^{ème} cycle, Aix Marseille III, 178 p.*
- AIT BRAHIM, L., 1983. Etude de la déformation du Néogène à l'actuel sur la bordure sud-rifaine dans le contexte du rapprochement de plaques Afrique-Europe. *Thèse 3^{ème} cycle, Rabat, 178 p.*
- AIT BRAHIM, L., 1991. Tectonique cassante et états de contraintes récents au Nord du Maroc. Contribution à l'étude du risque sismotectonique, *Thèse Doct. Es Sci., Rabat, 223p.*
- BELLOT, A., HAMOUDA, M.F. & MAHFOUD, M., 1986. Etude par sondage électrique dans le plateau de Meknès. *Journées géol. et Min. Marocains, Rabat, 28-30 avr.*
- BELLOT, A. & MAHFOUD, M., 1986. Etude par sondage électrique dans le plateau de Meknès. *Projet P.N.U.D., S.G./D.B.S./D.G., Rap. inéd. n°123.*
- BENTAYEB, A., 1986. La recherche en nappe profonde dans le bassin de Fès-Meknès. *Colloque Géol. Franco-Marocain, Strasbourg, 24-26 mai, p.35.*
- BOUMIR, Kh., 1987. Nouvelle interprétation du mode de mise en place des sables fauves dans le bassin de Saïss (Maroc). *Thèse 3^{ème} cycle, Fès, 169 p., 55 Fig., 5 Tab., 9 Pl.*
- BOUVIER, A., FOILLARD, R. & LIMAM, N., 1989. Contribution des méthodes géophysiques à la reconnaissance du bassin de Fès-Meknès. *Colloque Géol. Franco-Marocain, Strasbourg, 24-26mai.*
- C.A.G. (Compagnie Africaine de Géophysique), 1951. Etude de reconnaissance par méthodes tellurique et sismique dans la région de Fès-Meknès. *Rap. n°021117.*
- CHAMAYOU, J., COMBE, M., GENETIER, B. & LECLERC, C., 1975. Le bassin de Meknès-Fès, Res-
source en eau du Maroc. *Notes et Mém. Serv. Géol. Maroc, Rabat, 231 :41-71.*
- CHAPON, G., 1952. La nappe captive du bassin de Fès-Meknès. *S.R.E., centre régional de Fès, Rap. inéd.*
- DAGUIN, F., 1927. Contribution à l'étude géologique de la région pré-rifaine (Maroc occidental). *Notes et Mém. Serv. Géol., Maroc, Rabat, 1, 410p., 57fig., 37pl.*
- D.R.H. (Direction Régionale de l'Hydraulique), 1987. Monographie de la province de Meknès. *87/D.R.H/002/S.H.G., Fès, Maroc.*
- D.R.P.E. (Direction de la Recherche et de la Planification de l'Eau), 1987. Etude par prospection électrique dans la région du Sud de Meknès (Saïss-phase3). *Compagnie africaine de géophysique, 4dec-16 avr.*
- D.R.P.E. (Direction de la Recherche et de la Planification de l'Eau), 1988. Synthèse géophysique des bassins de Fès-Meknès et Boudnib-Errachidia. *Projet PNUD/DTCD, MOR 86/004, C.A.G. 1^{er}avr -30 juill.*
- D.R.P.E. (Direction de la Recherche et de la Planification de l'Eau), 1989. Etude du plan directeur intégré d'aménagement des eaux des bassins Sebou, Bouregreg, Oum Errbiaa et Tensift. *Sous mission IB, Res-source en eau souterraine.*
- ELALJ, M., 1994. Aperçu géologique et géophysique du bassin de Saïss et les Rides pré-rifaines. *Journées géol., Maroc, Rabat, 26-28 oct.*
- ESSAHLAOUI, A. & JAIDOURI, S., 1990. Reconnaissance d'un substratum par sondage électrique - cas des calcaires liasiques - Plateau de Meknès. *Mém. de Fin d'Etude, Ecole Mohammadia d'Ingénieurs, Rabat, Maroc.*
- ESSAHLAOUI, A., BAHY, L., SAHBI, H. & DIRRHAMI, E.S., 1997. Apport de la géophysique à la reconnaissance du substratum liasique du plateau de Meknès (Bassin de Saïss). *14^{ème} Colloque des bassins sédimentaires marocains, Kénitra, 24-27 Sept. p. 284.*
- ESSAHLAOUI, A., 1997. Etude par prospection géoélectrique dans le plateau de Meknès et essai de reconnaissance du bassin hydrogéologique du Saïss, *D.E.A., Rabat, Maroc*
- ESSAHLAOUI, A., SAHBI, H., ELOUALI, A. & ELYAMINE, N., 1999. Contribution de la géophysique à la reconnaissance des aquifères du plateau de Meknès (Bassin de Saïss), Maroc. *15^{ème} Colloque des bassins sédimentaires marocains, Oujda, 27-29 Avr., p. 198-199.*

- FAL, S., 1990. Etude géologique, géophysique et géotechnique de deux sites de barrage sur l'O. Mikkès (région de Meknès), Maroc. *Thèse 3^{ème} cycle, Rabat, 146p.*
- FASSI, D., 1977. Géographie physique de la région de Meknès. *Revue de géographie, n°1, Maroc.*
- FAUGERES, J.C., 1978. Les Rides sud-rifaines. Evolution sédimentaire et structurale d'un bassin atlantico-mésogéen de la marge africaine. *Thèse Doct. Etat, Univ. Bordeaux I, n°290, 2vol., 510 p., 11 tab., 119 fig., 42 pl.*
- FELLAHI, M. & MARGAT, J., 1959. Un sondage artésien contribuera à l'alimentation en eau de la ville de Fès. *Bull. Dir. Min. Géol. :5., p57, prem. trim.*
- LATTATI, A., 1986. Ressources en eau karstique du Moyen Atlas. *Revue marocaine de l'eau, eau et dévelop., Rabat, 01: 16-27.*
- MARGAT, J., & TALTASSE, P., 1952. Hydrogéologie du Maroc : Bassin lacustre de Fès-Meknès. *Notes et Mém. Serv. géol., Maroc, 97: 128-141.*
- MARGAT, J., 1958. Découverte d'un nouveau bassin artésien au Maroc dans la région de Meknès. *Bull. Trim., n°2, deuxi. Trim.*
- OUARGHACHE, D., 1987. Etude géologique dans le paléozoïque et le Trias de la bordure NW du causse moyen-atlasique (S et SW de Fès, Maroc). *Thèse 3^{ème} cycle, U.P.S., Toulouse, 130p.*
- SAHBI, H., ESSAHLAOU, A., EL OUALI, A. & EL YAMINE, N., 1999. Etude hydrogéologique de la formation aquifère superficielle du plateau de Meknès (Maroc) à partir des données géoélectriques. *15^{ème}. Colloque des bassins sédimentaires marocains, Oujda, 27-29 avr., p. 212-213.*
- TABET, A., BELMESTOUR, A. & TERFAS, M., 1987. Etude géologique et structurale du plateau de Meknès. *Serv. Rég. géol, Meknès, n°86/87.*
- TALTASSE, P., 1953. Recherche géologique et hydrogéologique dans le bassin de Fès-Meknès. *Notes et Mém. Serv. géol., Maroc, 115, 300p., 71 fig., 40 pl.*
- ZEROUALI, A., 1993. Amélioration du captage des eaux thermominéraux de Moulay Yacoub. *Revue. Marocaine de l'eau, eau et dévelop., 15: 36-42, D.R.P.E, Rabat.,*

Manuscrit reçu le 03.09.1999 et accepté le 30.03.2000.