

## Sommaire

<b>Introduction générale.....</b>	<b>1</b>
<b>Première partie : Etude Climatologique, Géologique et Hydrogéologique</b>	
<b>1. CADRE GEOLOGIQUE.....</b>	<b>3</b>
1.1 Situation géographique de la zone d'étude .....	3
1.2. Réseau hydrographique .....	4
1.3. Contexte climatologique .....	5
<b>2. GEOLOGIE ET HYDROGEOLOGIE.....</b>	<b>11</b>
2.1. Géologie .....	11
2.1.1 Contexte Géologique de la Mauritanie.....	11
2.2 Hydrogéologie	20
2.2.1 Contexte Hydrogéologique de la Mauritanie	20
<b>3. CONCLUSION.....</b>	<b>34</b>
<b>Deuxième partie: Etude des fracturations pour l'implantation des forages par la Géophysique dans la région d'Adrar</b>	
<b>1. MATERIELS ET METHODES D'ETUDE</b>	<b>40</b>
1.1. La reconnaissance géologique et hydrogéologique sur le terrain	40
1.3. Méthodes géophysiques utilisées	40
1.3.1. Méthode électrique	41
1.3.2. Méthode électromagnétique	43
<b>2. RESULTATS ET INTERPRETATIONS</b>	<b>46</b>
2.1. Par la méthode électromagnétisme	46
2.1.1. Secteur de Foug Chouer	47
2.1.2. Secteur d'Agueni nord	47
2.2. Par la méthode électrique	52
2.2.1. Secteur de Foug Chouer	52
2.2.2. Secteur d'Agueni nord	58
<b>3. IMPLANTATIONS DES OUVRAGES HYDRAULIQUES</b>	<b>67</b>
3.1. Secteur de Foug Chouer	67
3.2. Secteur d'Agueni nord	67
<b>4. TECHNIQUES DE RECHARGE SELECTIONNEES</b>	<b>70</b>
<b>5. CONCLUSION.....</b>	<b>71</b>
<b>CONCLUSION GENERALE</b>	<b>73</b>

## INTRODUCTION GENERALE

La région d'Adrar, de climat aride à semi-aride, dépend des eaux souterraines pour l'alimentation en eau potable des populations. Leur accessibilité demeure cependant difficile et le coût de leur exploitation souvent prohibitif. En Adrar la recherche de l'eau se fait dans les zones de fractures et/ou des failles alimentées ; elle nécessite l'utilisation combinée des images satellitaires, des photos aériennes et des méthodes géophysiques appliquées à la recherche de l'eau.

Dans le cadre d'un des volets du projet intitulé «recherche appliquée sur le potentiel souterrain», le projet a mis en évidence le besoin d'une étude spécifique sur le comportement hydrogéologique des roches de socle. Ce s'agit de milieux fissurés, caractérisés par une grande complexité dont le comportement, difficile à appréhender, nécessite la mise en œuvre de méthodologies adaptées. D'autant plus que les projets antérieurs initiés dans la région d'Adrar pour résoudre les problèmes des besoins en eau des populations de la ville d'Atar qui ne cessent d'augmenter, n'ont pas pris en considération l'influence de l'exhaure sur le devenir des oasis.

Pour résoudre ce problème, le gouvernement de la Mauritanie a décidé de sécuriser et améliorer durablement les conditions de production agricole et de vie dans les oasis de la région d'Adrar, milieu fortement menacé par la désertification. Le projet d'aménagement rural dans les oasis de l'Adrar (PAROA), financé par le Fonds Européen de Développement (FED) et confié au BCEOM en partenariat avec le bureau d'études HYDRO-CONSEIL, devra, dans ce contexte d'aquifères discontinus, s'appuyer sur des études géophysiques détaillées pour l'implantation des forages.

La présente étude s'est fixée pour objectifs spécifiques de :

- déterminer le réseau de fracturation par l'interprétation des images satellitaires et des photos aériennes ;
- réaliser des profils électromagnétiques afin de recouper les zones de linéament observées sur les images spots et des photos aériennes ;
- confirmer avec des traînés électriques à double longueur de lignes les variations détectées par les profils électromagnétiques ;
- effectuer des sondages électriques au niveau des anomalies pour donner une idée sur la coupe géo électrique des anomalies ;
- voir les méthodes les plus efficaces pour la recharge des nappes.

Ce mémoire est présenté comme suit :

- la première partie fait l'état sur les connaissances antérieures dans la région d'Adrar du point de vue climatique, géologique et hydrogéologiques ;
- la deuxième partie consistera en l'étude de fracturations de la zone d'étude par les méthodes géophysiques pour l'implantation des ouvrages hydrauliques de recharge des nappes, de surveillance et de production d'eau potable.

**Première partie :**

**SYNTHESE DES CONNAISSANCES**

**ANTERIEURES DANS LA REGION**

**D'ADRAR**

# Première partie : SYNTHÈSE DES CONNAISSANCES ANTERIEURES DANS LA REGION D'ADRAR

## 1. CADRE GEOGRAPHIQUE

### 1.1. Situation géographique de la zone d'étude

La zone d'étude se trouve dans la région d'Adrar au centre de la République Islamique de la Mauritanie. Elle est située au nord-est de la ville d'Atar et s'étend entre la latitude  $20^{\circ}30'$  et  $20^{\circ}50'$  nord et la longitude  $13^{\circ}00'$  et  $13^{\circ}10'$  Ouest (Fig. 1).

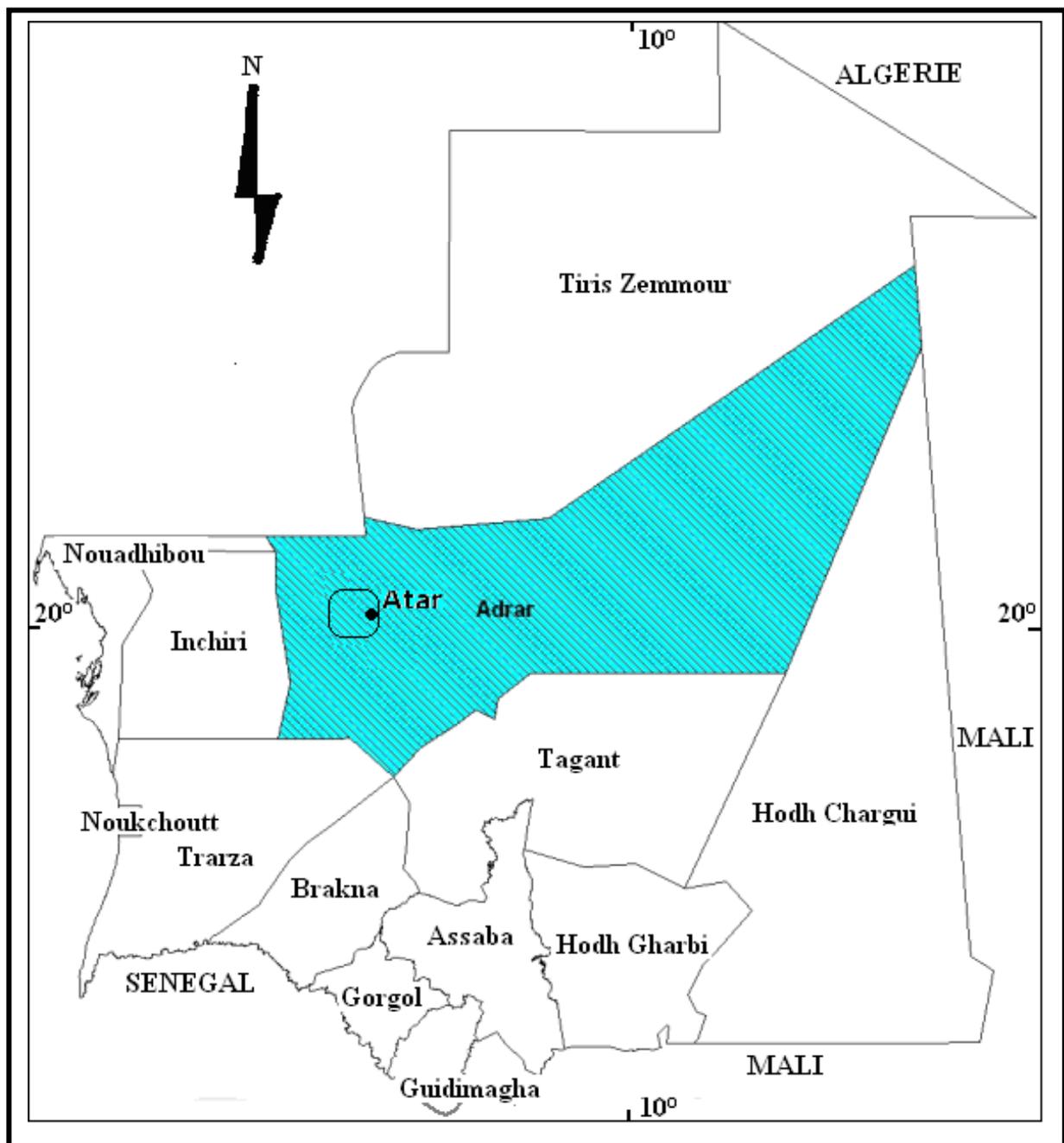


Figure 1 : Carte de localisation de la zone d'étude

La région d'Adrar est limitée à l'est par la région du Hodh Charghi, à l'ouest par la région d'Inchirie, au sud par la région du Tagant, au nord par la région de Tiris Zemmour, au sud est par la région du Trarza et au nord est par la République du Mali.

## 1.2. Réseau hydrographique

La région d'étude est fortement marquée par une tendance à l'endoréisme : la plupart des oueds se perdent sans atteindre un réseau hydrographique qui les drainerait vers la mer. La figure 2 met en évidence que le réseau hydrographique sur la région d'étude, est structuré principalement autour de deux principaux oueds : Segelil et El Abiod.

L'oued Segelil peut se décomposer en deux parties :

- une partie au sud ouest d'Atar, sous forme d'un lit ancien et bien encaissé dans les formations géologiques anciennes (formations sédimentaires et socle métamorphique) ;
- une partie au nord est d'Atar où il est ramifié en une série d'affluents d'inégale importance, dont les principaux sont Azougui-Teyeret, Ksar Torchane, Tarioufet, Amder - Tawaz.

L'oued El Abiod, plus court, n'est constitué dans sa partie amont que de deux affluents principaux dont l'oued Mhairth-Oujeft.

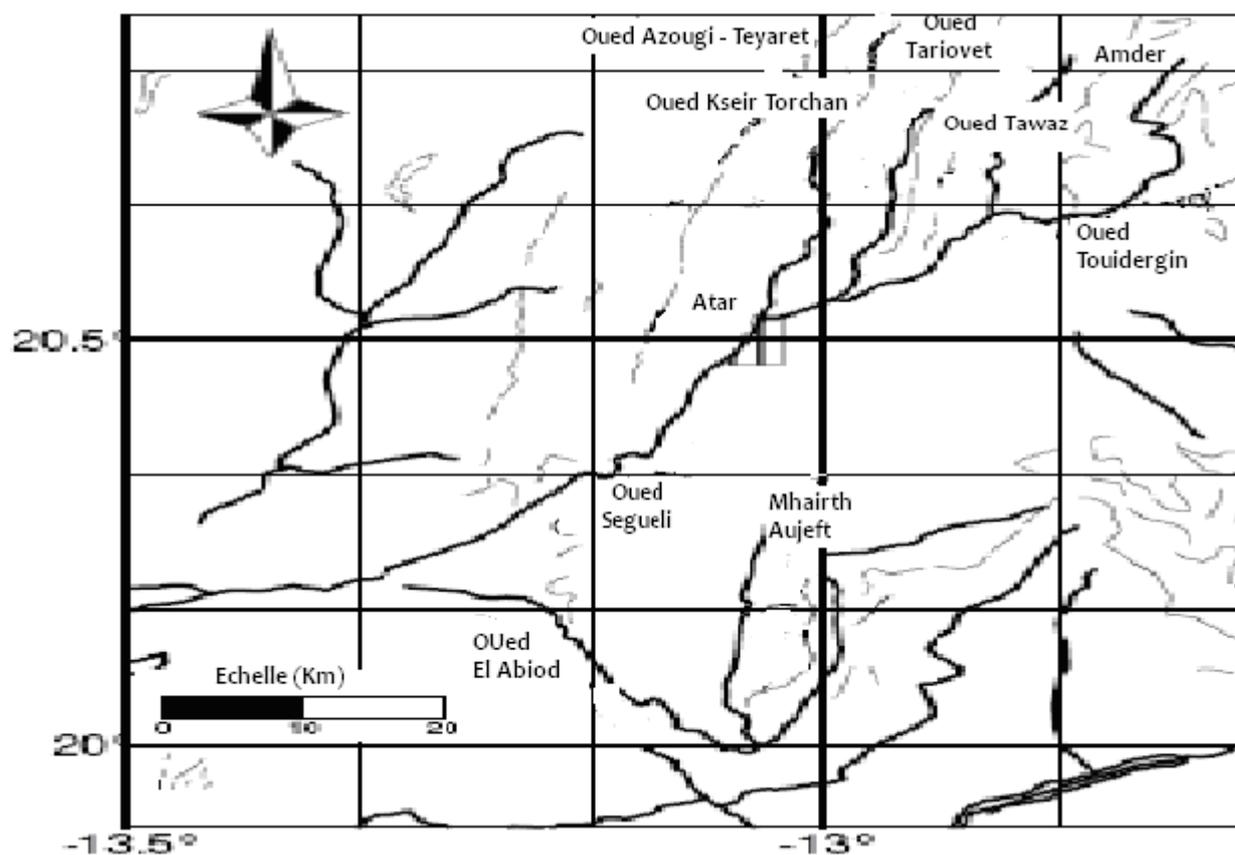


Figure 2 : Réseau Hydrographique de la zone d'étude

Ce réseau d'oueds s'est principalement développé le long des fractures majeures qui affectent les formations sédimentaires, ou perpendiculairement au pendage des couches, dans les argilites, formations tendres, souvent encadrées par des bancs saillants de grès ou de calcaires.

Dans leur partie aval, les vallées des oueds sont partiellement comblées d'alluvions quaternaires souvent fines, essentiellement des alluvions fluviales anciennes recouvertes ou non de sables éoliens récents.

Le plus souvent, le lit mineur ne s'installe pas à l'emplacement du lit ancien. Les oueds actuels entaillent la sédimentation ancienne, avec un lit mineur généralement très peu profond et souvent variable d'une crue sur l'autre.

En zones arides en général et en Adrar en particulier, aucun des cours d'eaux n'est pérenne : ils transportent les eaux de surface de façon intermittente, en réponse à l'irrégularité des précipitations. La rareté des précipitations et leur concentration expliquent donc que ces oueds ne sont fonctionnels que quelques jours par an, et de plus peuvent même ne pas couler du tout pendant plusieurs années de suite.

Compte tenu de l'important transport solide et des modifications de lit mineur dû à u déplacement des sables éoliens, il est extrêmement difficile d'envisager la mise en place de stations de jaugeage. En conséquence, très peu de données hydrographiques ont été acquises sur la zone d'étude.

Les quelques valeurs acquises à Hamdoum ont permis à Trompette (1967) de calculer un coefficient de ruissellement inférieur à 7%. Il émet l'hypothèse que les ruissellements ne sont causés que par les seules pluies significatives, peut-être de l'ordre de 20 mm. Pour les pluies d'intensité plus faibles, la lame d'eau toute entière est infiltrée dans le sol et/ou évaporée (en surface ou en sub-surface).

### **1.3. Contexte climatologique**

Le climat en Adrar de Mauritanie est sec et de type saharien. L'ensoleillement y est très important, les températures souvent élevées le jour, les précipitations y sont rares et souvent violentes. D'octobre à avril, les vents dominants soufflent du nord est ou de l'est. Ils s'infléchissent ensuite au nord de mai à juin. Ils sont secs, chauds le jour et froids la nuit, avec une intensité maximale diurne. De juin à septembre, les vents sont très variables mais généralement orientés S-W. Ce sont les vents de mousson, humides, d'origine australe.

Dans le secteur d'étude, seule la station météorologique de l'aéroport d'Atar, situé sur le *baten*, fonctionne. Les paramètres climatiques (température, humidité relative, évaporation, pluviométrie, insolation et vents) y sont enregistrés en continu depuis 1923.

### 1.3.1. Température

La variation de la température d'une période à l'autre donne une courbe sous forme de cloche (Fig. 3). La température moyenne mensuelle est chaude entre mai et octobre avec une température maximum de l'ordre de 35°C dans les mois de juin et juillet et 34° dans les mois de mai et octobre. La température maximale moyenne est de 35,7°C ; la température minimale moyenne est de 20,5°C (respectivement environ 35°C et 20°C à Chingetti), avec un maximum absolu de 48,8°C enregistré en août et un minimum absolu de 13,0°C enregistré en janvier. Au cours de la saison froide, de novembre à mars, la température maximale moyenne est de l'ordre de 32°C alors qu'elle dépasse 40°C en saison chaude. La température maximum enregistrée est de 48,8°C au mois de juillet. Une Température moyenne mensuelle qui se trouve dans l'intervalle de 18°C et 20°C en décembre à 28°C en avril. La température minimum enregistrée est de 08°C au mois de janvier.

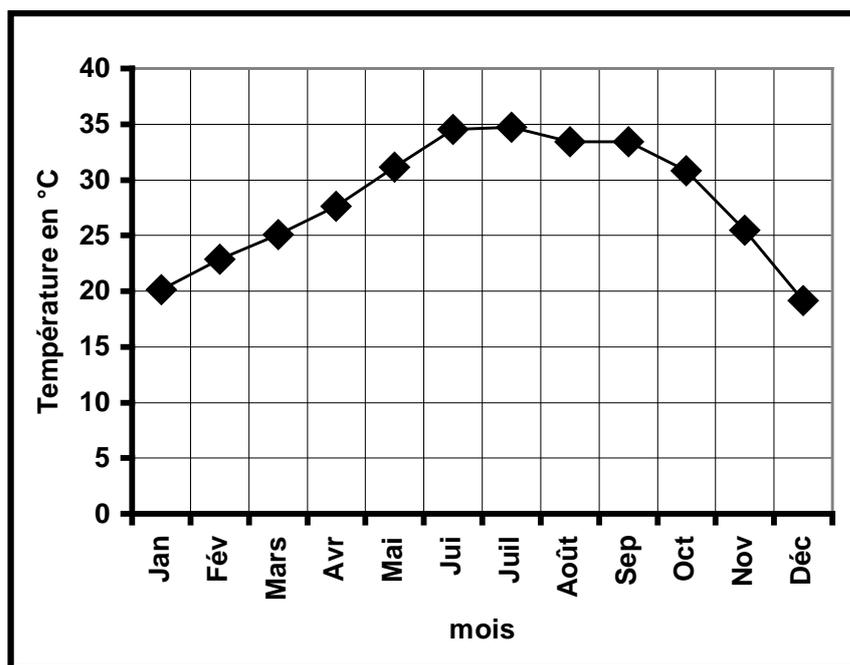


Figure 3 : Moyennes mensuelles des températures à la station d'Atar (1922-2007)

### 1.3.2. Evaporation

Tous ces paramètres concourent à une évaporation potentielle très forte. L'évaporation potentielle moyenne annuelle est de 4,20 m (évaporomètre Piche). Le maximum journalier est de 15,5 mm en juin et le minimum journalier de 8,2 mm en décembre (Fig. 4). Une étude

conduite en 1955 pour l'alimentation en eau de la mine de cuivre d'Akjoujt a montré que l'évaporation moyenne à 1 m de profondeur (bac Colorado) était encore de 1 mm.jour<sup>-1</sup>.

La courbe d'évaporation moyenne mensuelle montre l'existence de trois périodes importantes selon les valeurs d'évaporation :

- dans les mois de mai et juin, l'évaporation est maximum et elle atteint 600 mm.mo<sup>-1</sup> sous l'influence du vent chaud (Harmatan) ;
- dans les mois de mars, avril, juillet et août, l'évaporation est moyenne, elle atteint 500 mm.mo<sup>-1</sup> ;
- de novembre à février l'évaporation est minimum, elle atteint 400 mm.mo<sup>-1</sup>.

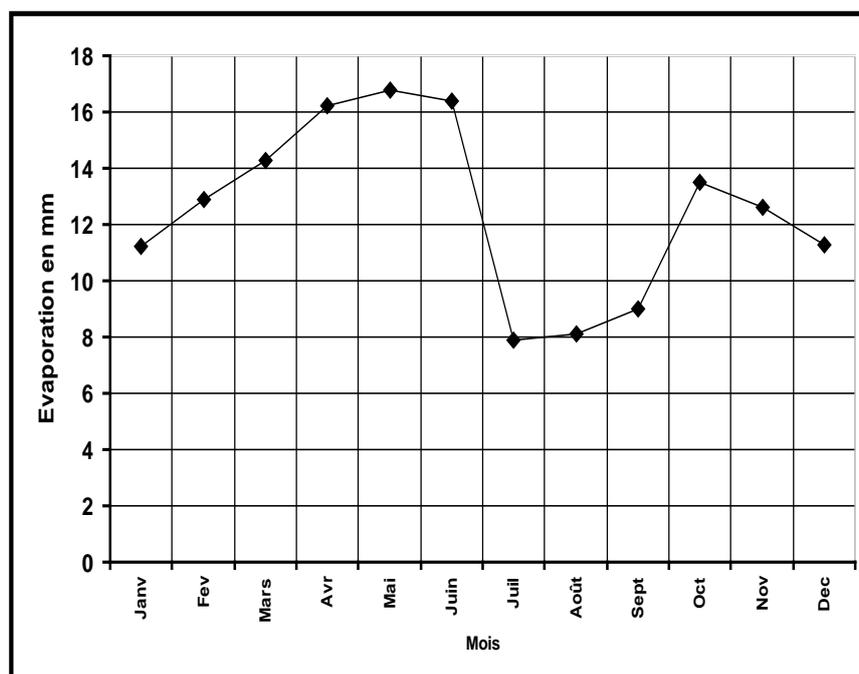


Figure 4 : Moyennes mensuelles de l'évaporation à la station d'Atar (1922-2007)

### 1.3.3. Humidité relative

La variation de l'humidité relative montre deux valeurs maximum et deux valeurs minimum :

- les valeurs maximales de 35% à 38% se trouvent dans les mois de décembre à février et 40% dans le mois d'août.
- les valeurs minimales de 26% de mai à juin et 32% en octobre.

La période la plus humide est enregistrée comme le montre la présente courbe aux mois d'août et septembre ; c'est la période de l'hivernage dans la zone (Fig. 5)

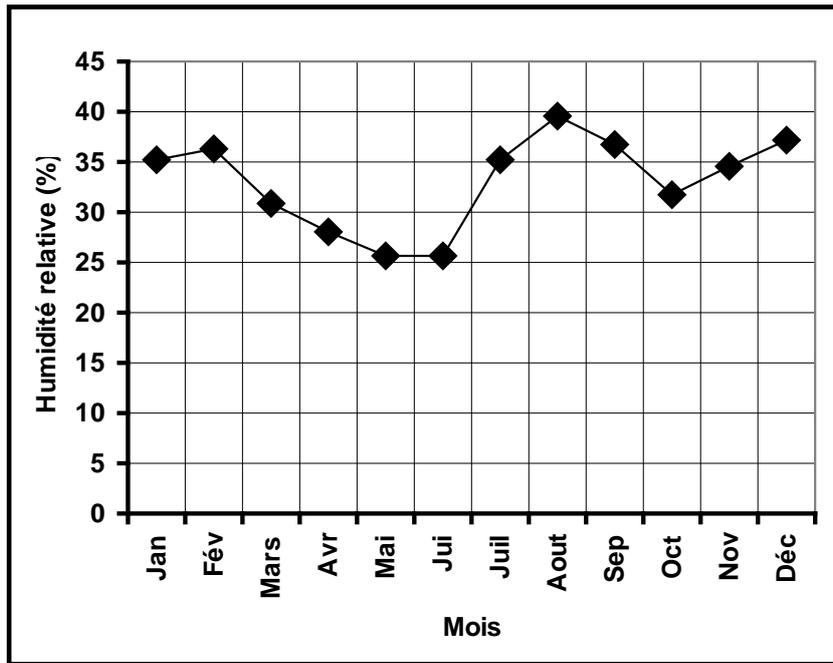


Figure 5 : Moyenne mensuelles des humidités relatives à la station d'Atar (1922 - 2007)

### 1.3.4. Insolation

La zone d'étude est une zone aride et désertique ce qui multiplie l'influence de l'insolation et de la diminution de la durée du jour (Fig. 6). Les heures de l'insolation dépendent essentiellement de la saison durant toute l'année.

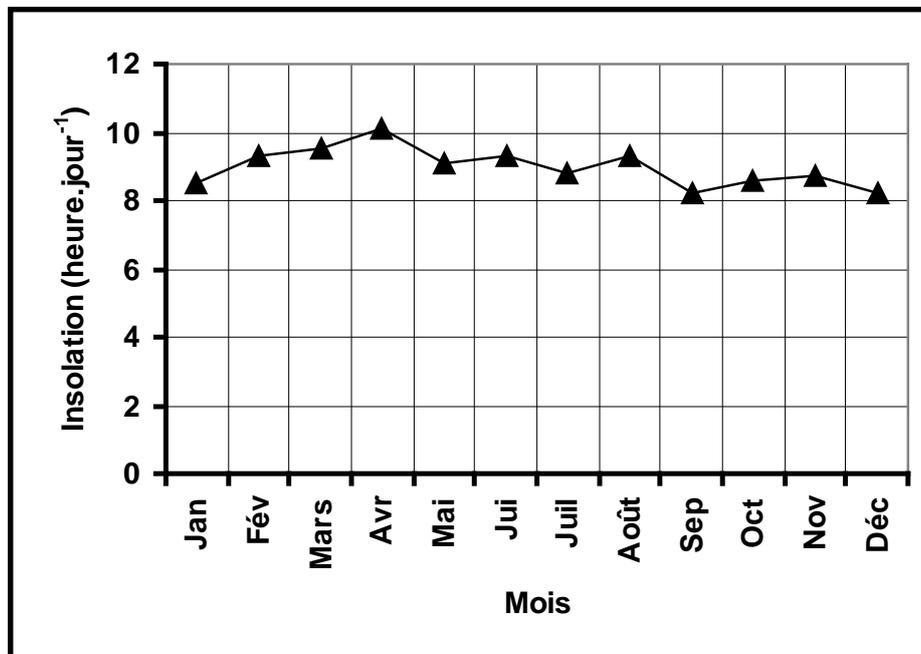


Figure 6: Moyennes mensuelles de l'insolation à la station d'Atar (1922 - 2007)

La courbe d'évolution de l'insolation, montre que durant toutes les périodes la durée de l'insolation en Adrar est plus de 8 h.j<sup>-1</sup> avec deux valeurs maxima de 10 h.j<sup>-1</sup> et 9 h.j<sup>-1</sup> respectivement en avril et août et deux minima de 8 h.j<sup>-1</sup> et 8,5 h.j<sup>-1</sup> en septembre et janvier.

### 1.3.5. Vents

La vitesse et la direction du vent varie d'une période à l'autre (Fig. 7).

De mai à juin le vent souffle du NNE vers le SSO avec des vitesses du vent de l'ordre de 6 m.s<sup>-1</sup> à 5,4 m.s<sup>-1</sup>, le vent est chaud et sec "Harmattan".

De juillet à décembre la direction du vent est SO avec des vitesses de l'ordre de 5,6 m.s<sup>-1</sup> en juillet allant jusqu'à 4 m.s<sup>-1</sup> en novembre et décembre. Ce vent humide d'origine australe, appelé « Mousson » est responsable des précipitations dans la région d'étude.

De janvier à mai le vent est froid avec une vitesse en général stable dans les environs de 5 m.s<sup>-1</sup>.

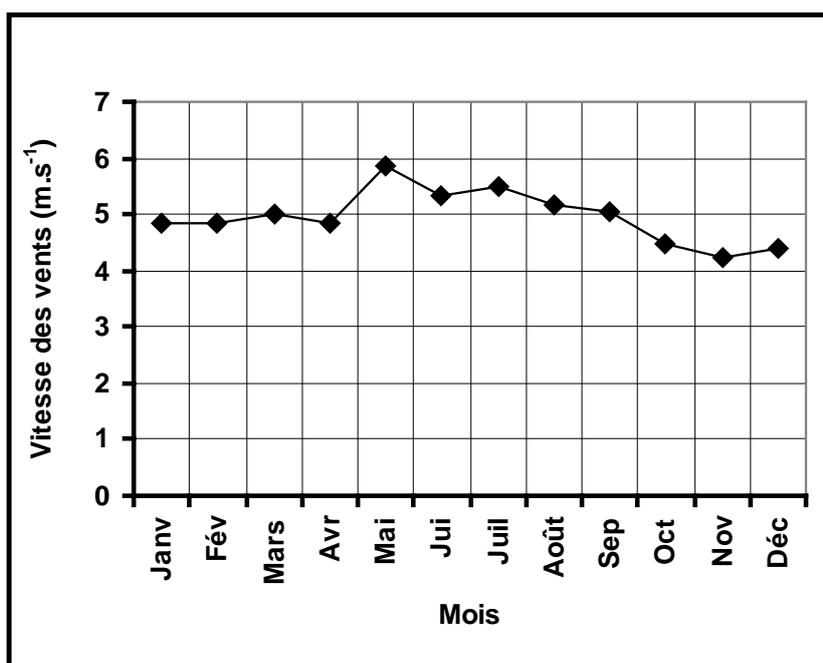


Figure 7 : Vitesse moyenne mensuelle du vent (m.s<sup>-1</sup>) à la station d'Atar (1922 - 2007)

### 1.3.6. Pluviométrie

D'une manière générale dans tout le Sahara, les précipitations sont commandées par les mouvements de deux zone pluvieuses : le front polaire et la mousson soudanaise.

Globalement, la région d'Adrar n'est couverte par aucun de ces fronts pluvieux. La limite méridionale du front polaire passe au nord de la Mauritanie et la limite septentrionale de la mousson n'atteint l'Adrar que très tardivement dans l'année. En dehors de l'éventuelle remontée

de la mousson, les précipitations en Adrar sont dues au passage des dépressions soudano-sahariennes qui relient la zone tropicale à la zone tempérée.

Il existe donc en Adrar deux périodes telles que mises en évidence sur le graphe de la figure 8 :

- l'une pratiquement dépourvue de précipitations de décembre à mai, avec un minimum absolu en avril.

- l'autre dite pluvieuse, de juin à novembre, avec des maximums de précipitations d'août à septembre, qui correspond à l'avancée de la mousson. De l'importance de l'extension septentrionale maximale du front de la mousson et de sa durée de stationnement sur l'Adrar dépend le volume des précipitations.

La région d'Adrar en Mauritanie est une région désertique à cause de l'absence des précipitations qui a touché la région depuis les années 1970 jusqu'à nos jours. L'évolution interannuelle de la pluviométrie entre 1922 et 2007, montre une courbe en dents de scie caractéristique d'une irrégularité des précipitations (Fig. 9), mettant ainsi en évidence une succession des périodes à pluviométrie déficitaire et des périodes à pluviométrie excédentaire avec une tendance générale à la baisse de la pluviométrie ces dernières années. Cette baisse de la pluviométrie à sans aucun doute une implication directe sur les régimes des cours d'eau et surtout sur la recharge des nappes.

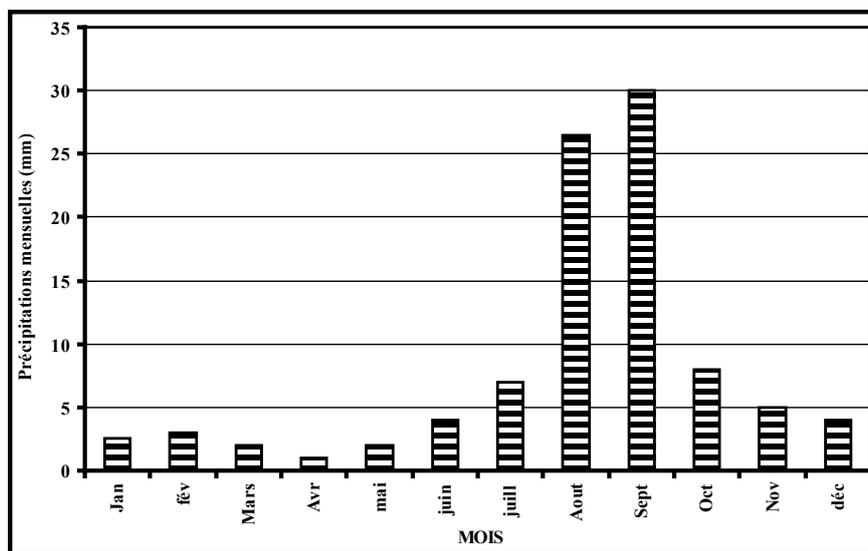


Figure 8: Pluviométrie moyennes mensuelles à la station d'Atar (1922-2007)

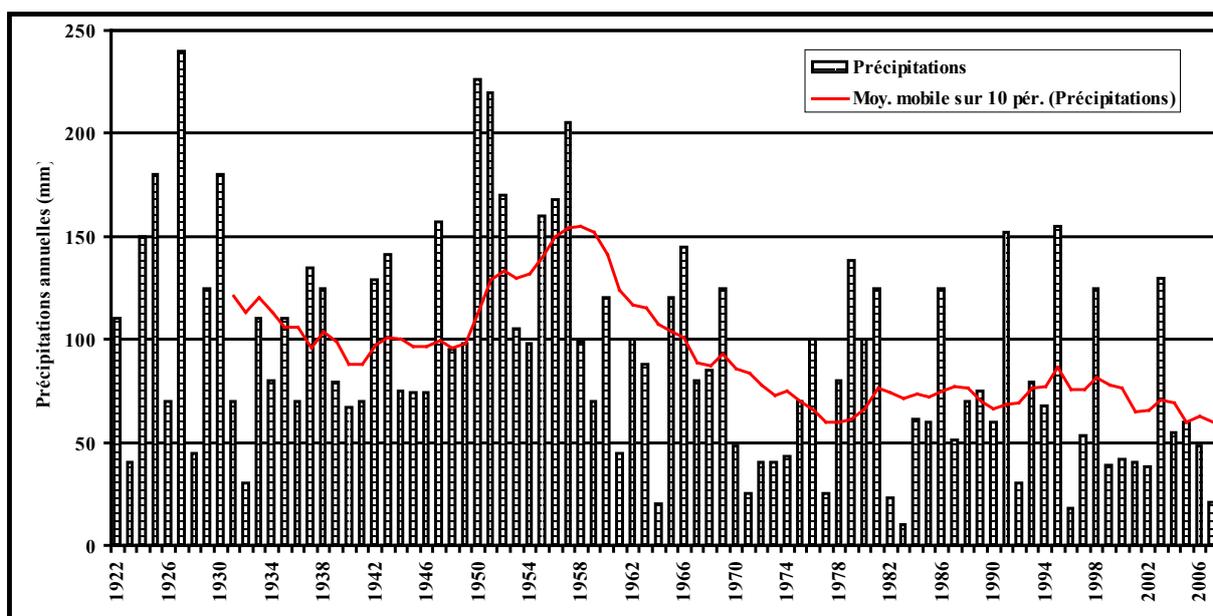


Figure 9 : Pluviométrie annuelle à la station d'Atar de 1922 à 2007

## 2. GEOLOGIE ET HYDROGEOLOGIE

### 2.1. Géologie

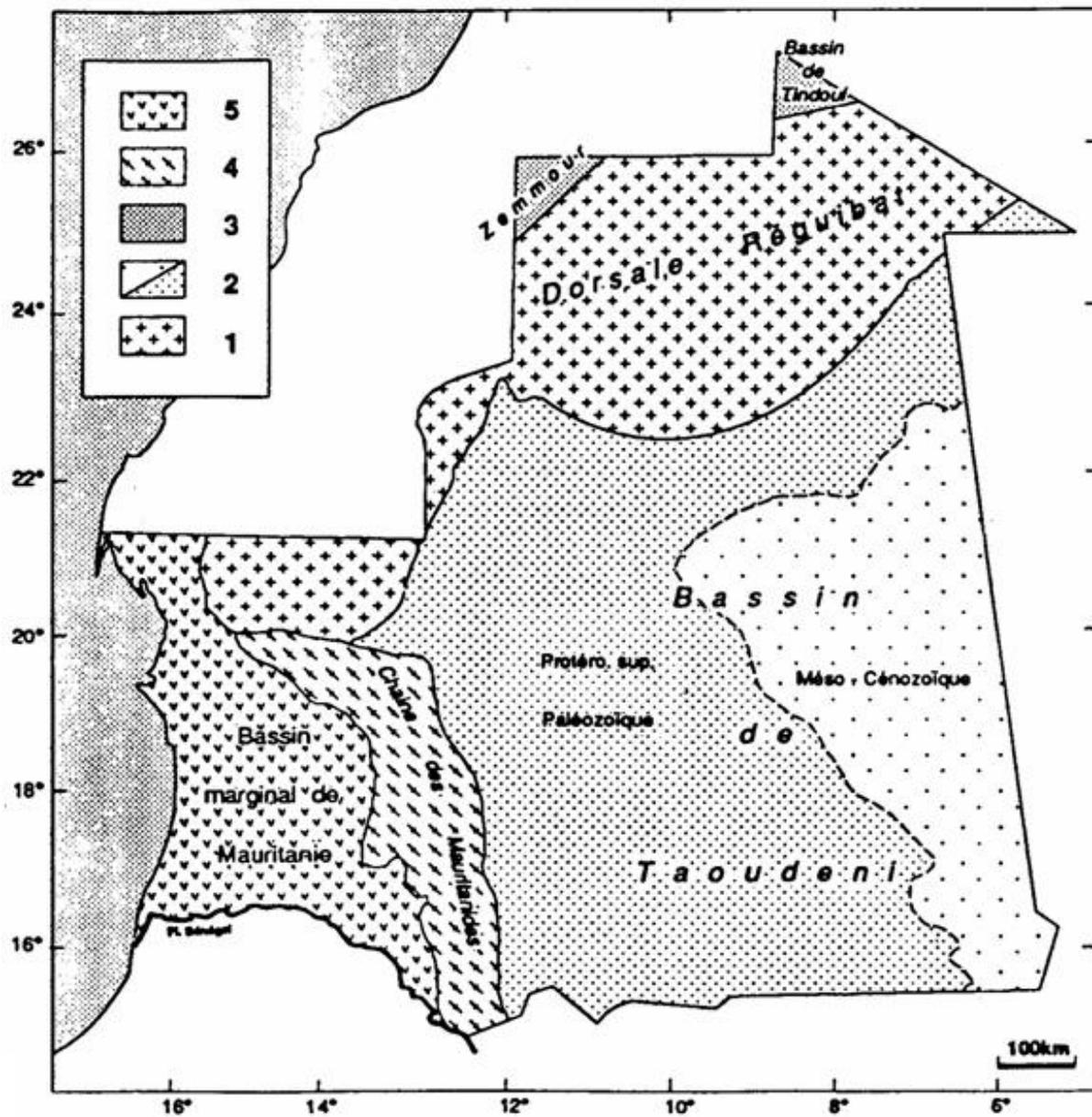
#### 2.1.1. Contexte géologique de la Mauritanie

Les formations géologiques de la Mauritanie sont caractérisées par plusieurs ensembles lithostratigraphiques et structuraux qui composent l'Afrique de l'Ouest (Caruba et Dars, 1991 ; Carité, 1989) (Fig. 10) :

- un socle cristallin représenté par la dorsale Réguibat, couvrant tout le nord et plongeant sous des bassins anciens stables et peu profonds (bassin de Tindouf). Cette dorsale présente des séries très anciennes du Précambrien, érodées et granitisées. Les séries de la Kedia Idjil et de Mhaoudat présentées comme des anomalies, à cheval entre les formations du bassin de Taoudenni et celles de la dorsale Réguibat, sont moins métamorphisées et contiennent des quartzites riches en hématite ;

- la chaîne hercynienne des Mauritanides, formée de matériel cristallin et métamorphique, et affectée par des mouvements tectoniques latéraux importants ;

- le bassin paléozoïque et secondaire de Taoudenni à l'est, dont la partie occidentale présente des formations inclinées vers l'est, généralement masquées par les recouvrements dunaires qui empêchent une meilleure connaissance des formations qui le composent;



- 1) Dorsale Reguibat
- 2) Bassin de Taoudenni
- 3) Bassin de Tindouf au nord et Zemmour au nord-ouest
- 4) Chaînes de Mauritanides
- 5) Bassin marginal de Mauritanie

Figure 10 : Schéma de localisation des grands ensembles géologiques de la Mauritanie (Caruba et Dars, 1991 modifié).

- le bassin côtier secondaire et tertiaire sénégal-mauritanien orienté vers l'Atlantique s'épaissit vers l'ouest où l'on distingue les formations du Maastrichtien (Secondaire) de l'Eocène et du Continental Terminal (Tertiaire) du Tafarien et du Nouakchottien (Quaternaire).

### **2.1.2. Place de la zone d'étude dans le bassin de Taoudenni**

La zone d'étude appartient à l'immense bassin sédimentaire de Taoudenni (Fig. 10). Ce bassin est une énorme synéclyse qui intègre la bordure Est du Tiris-Zemour, l'Adrar, le Tagant, l'Assaba, la bordure Est du Guidimakha et les deux Hodh. Il se prolonge au Mali jusqu'à la bordure occidentale des formations cristallines de l'Adrar des Iforas (Phy-GéoConsult, 1998).

Sur le territoire mauritanien, le centre du bassin est masqué par les recouvrements. Si l'on excepte la bordure Sud Ouest qui a subi les contrecoups de la tectonique des Mauritanides, le bassin de Taoudenni n'est pas plissé. Les formations sont presque horizontales avec des pendages de l'ordre d'un degré (Trompette, 1975).

Le bassin de Taoudenni correspond à une vaste synéclyse qui s'étend de l'Algérie à la Mauritanie et au Mali. Il est constitué de terrains sédimentaires qui n'ont globalement été ni déformés ni métamorphisés, terrains qui couvrent une large part du craton ouest africain.

L'Adrar mauritanien forme l'extrémité Nord-occidentale de ce vaste bassin sédimentaire. A l'Ouest, le socle métamorphique forme la pénéplaine dite de l'Amsaga. Les formations qui sont affleurantes dans la zone du projet sont les séries sédimentaires les plus anciennes du bassin. La série lithologique de ce vaste bassin sédimentaire a été abondamment décrite et son interprétation chrono stratigraphique a donné lieu à de nombreuses publications.

### **2.1.3. Géologie de l'Adrar de la Mauritanie**

A l'affleurement, notamment au nord d'Atar, apparaît une succession d'assises carbonatées, dures, en relief dans le paysage, et d'argilites, plus tendres, qui forment une série de dépressions.

Les formations géologiques anciennes dans le secteur d'Atar sont des ensembles tabulaires à faible pendage vers le centre du bassin de Taoudenni, et vers l'ESE (Fig. 11). Ces ensembles ne sont pas plissés. Ils sont affectés par de grands accidents non déformants. L'épaisseur des ensembles sédimentaires s'accroît en direction du centre du bassin. A l'échelle de la zone d'étude, cette augmentation d'épaisseur n'est pas très significative (Bertrand-Sarfati et al., 1998).

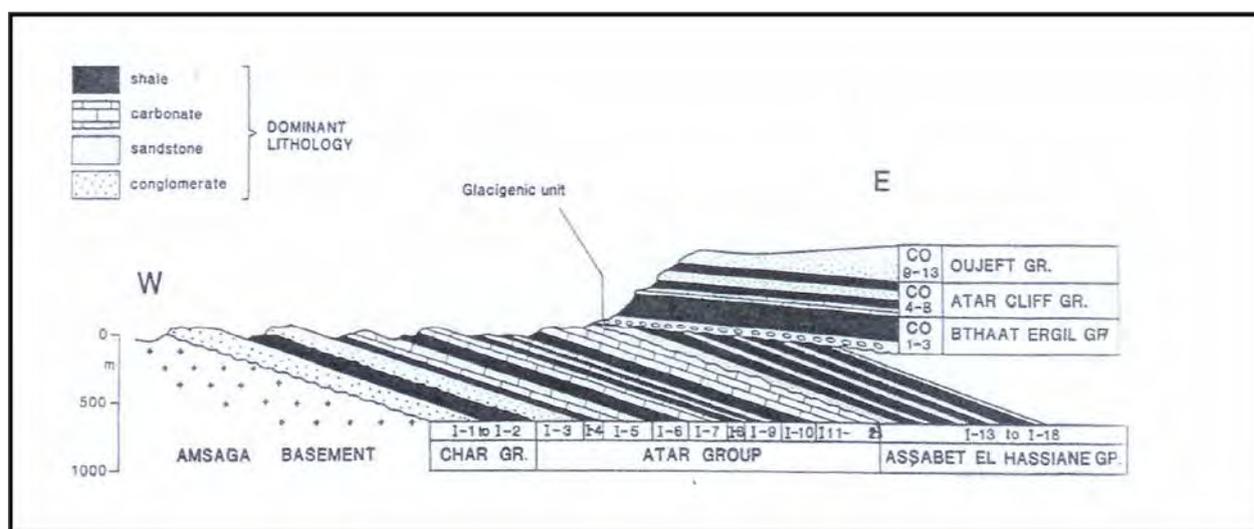


Figure 11 : Coupe schématique de la série sédimentaire paléozoïque (Bertrand-Sarfati et *al.*, 1998 modifiée)

La succession des terrains en Adrar a été définitivement établie par le B.R.G.M. Trompette (1966) ; les dénominations et les symboles des différentes unités sont toujours en usage aujourd'hui. La figure 12 représente la coupe litho stratigraphique de référence simplifiée. Les séries infracambriennes (Précambrien) et paléozoïque de la bordure occidentale du synclinal de Taoudenni reposent en discordance sur le socle métamorphique granitisé qui affleure dans l'Amsaga à 17 km à l'ouest de la ville d'Atar (B.R.G.M., 1966).

### 2.1.3.1. Le socle

Il est constitué essentiellement de granites, de gneiss et de leptynites recoupés par des filons de roches basiques précambriennes (Trompette, 1966).

### 2.1.3.2. La série infracambrienne (Précambrien)

#### a)- Les grès d'Agueni (I<sub>1</sub>)

Ils représentent la première formation sédimentaire qui repose en discordance sur les migmatites de l'Amsaga, sont constitués de grès claires durs quartziques, cette formation base sur le schiste. L'épaisseur estimée de la formation varie de 150 à 200 m (BRGM, 1966).

Le programme IWACO (1994) a réalisé un forage ayant atteint 126 m de profondeur (forage le plus profond dans la zone) dans les grès et ce forage n'a pas touché le substratum cristallin. La base exacte de cette formation est inconnue car aucun forage n'a jamais traversé cette formation.

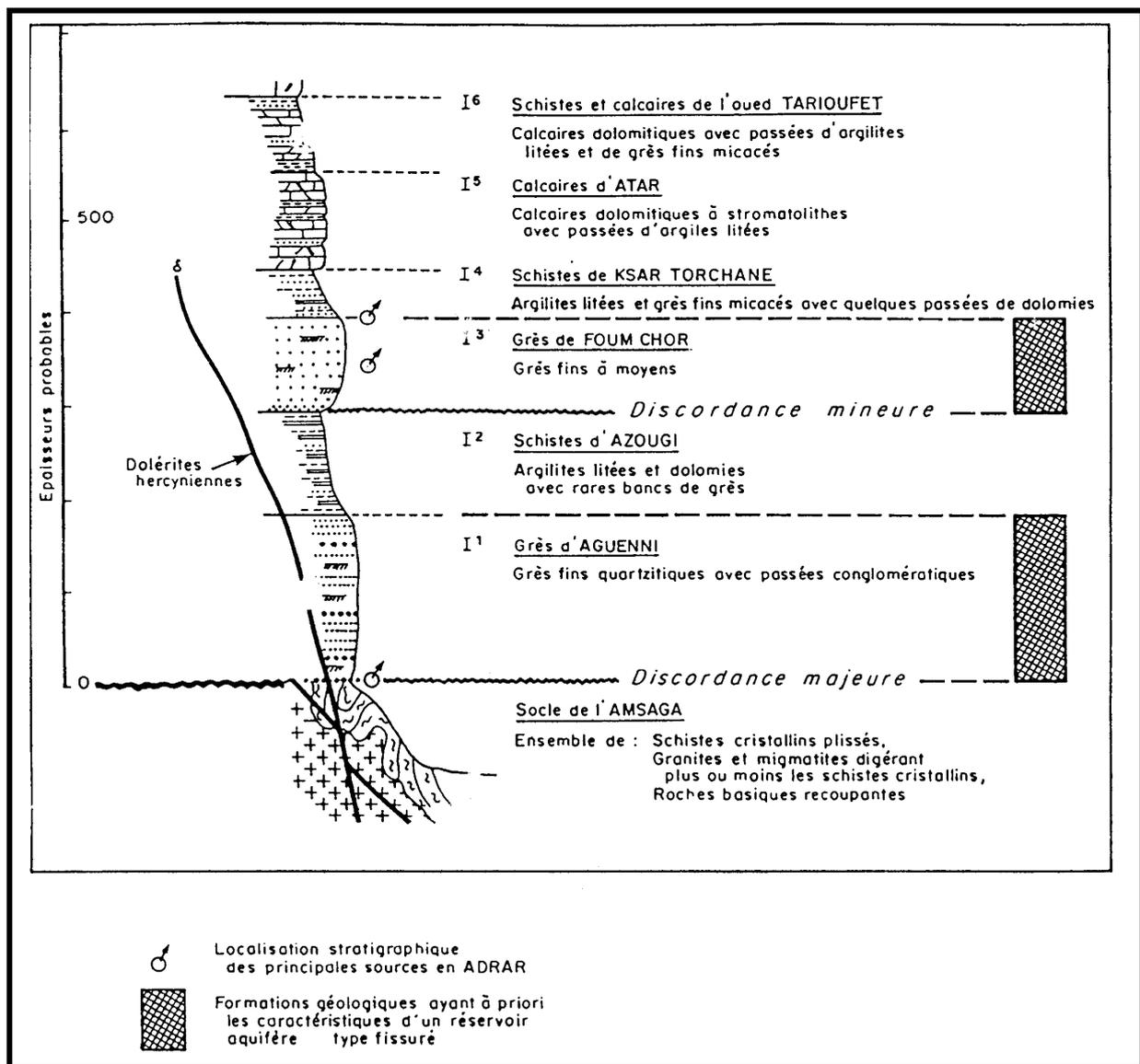


Figure 12 : Coupe litho stratigraphique simplifiée d'Atar (B.R.G.M., 1966)

### b)- Les schistes d'Azougui (I<sub>2</sub>)

C'est une série de schistes bariolés à quelques intercalations dolomitiques, les points d'intercalations sont très clairs dans le forage de Taizent réalisé par la Direction de l'Hydraulique en 1985. Ce forage a traversé les schistes jusqu'à la profondeur de 109 m et il n'a pas atteint la fin des schistes et le toit de grès d'Agueni.

La Direction de l'Hydraulique en 1999 a réalisé un forage profond à Tarioueft ; ce forage a rencontré les schistes d'Azougui à une profondeur de 363 m ; l'étude du forage profond a estimé que cette formation continue jusqu'à la profondeur de 534 m.

### **c)- Les grès de Foug Chouer (I<sub>3</sub>)**

Les grès de Foug Chouer sont des grès quartzitiques fins à moyens, de couleur blancs, son épaisseur varie de 100 à 150 m selon des zones (BRGM, 1966).

Les forages profonds qui ont été réalisés (le forage d'Atar et le forage de Tarioueft) ont traversé cette formation. Dans le forage d'Atar les grès de Foug Chouer se trouvent entre 90 et 220 m de profondeur soit 130 m d'épaisseur. Dans le forage de Tarioueft les grès de Foug Chouer sont des grès quartzitiques et a presque la même épaisseur qu'à Atar (BRGM, 1966).

### **d)- Les schistes de Ksar Torchane (I<sub>4</sub>)**

L'épaisseur de la lithologie des schistes de Ksar Torchane varie de (BRGM, 1966) :

- 50 m à l'affleurement
- 50 m au niveau d'Atar.
- 57 m de schistes et pélites au centre, forage de Tarioueft.

### **e)- Les calcaires d'Atar (I<sub>5</sub>)**

Les calcaires d'Atar sont des calcaires dolomitiques souvent siliceux ; dans cette formation il y a plus de vingt mètres d'alternance de bancs carbonatés et pélitiques. La partie supérieure de cette série a été reconnue à l'affleurement par de nombreux forages (BRGM, 1966).

Dans le forage d'Amder cette formation a été traversée de profondeur de 66 à 196 m soit une épaisseur de 130 m, et son épaisseur dans le forage de Tarioueft est de 173 m. Le calcaire est compacte dans les deux formations (D.H., 1985).

### **f)- Les schistes et calcaires de Tarioueft (I<sub>6</sub>)**

Le forage de reconnaissance d'Amder a traversé cette série sur les 66 premiers ; les pélites sont majoritaires et les bancs calcaires sont d'épaisseurs réduites entre 3 et 8 m (D.H., 1985).

## **2.1.3.3. La série cambro-ordovicienne**

Cette série repose en discordance sur la série précédente par l'intermédiaire d'une tillite. A la base, le groupe de la falaise est formé généralement de grès très fins argileux tendres avec intercalation de jaspes et phanites et de calcaires d'Amojar. Au sommet, le groupe des plateaux est composé des grès quartzites de Chinguetti et d'Aoujeft.

#### 2.1.3.4. Les formations superficielles

Ces formations sédimentaires ne sont jamais très puissantes dans la zone d'étude et peuvent être de différentes natures (BRGM, 1966) :

- □ des éboulis et colluvions se forment au pied des principales falaises de la zone ;
- □ des dépôts salins sont visibles, souvent à l'affleurement, dans les grandes dépressions fermées ;
- les sables éoliens forment des massifs dunaires, sur le *baten* ou les plateaux et couvrent une partie des alluvions plus anciennes du lit des oueds de la zone ;
- les vallées des oueds sont partiellement comblées d'alluvions quaternaires.

Sur le *baten*, constitué par une alternance (orientée grossièrement nord-sud) de calcaires et grès durs et de dépressions creusées dans les argilites tendres, le lit majeur des oueds s'est installé dans les dépressions, perpendiculairement au pendage des couches. Il est encadré par des bancs saillants de grès ou de calcaires. Dans leur partie aval, ces vallées sont partiellement comblées d'alluvions quaternaires hétérogènes souvent fines, essentiellement des alluvions fluviatiles anciennes recouvertes ou non de sables éoliens récents (Mamou, 1991) (Fig. 13).

Dans le lit mineur des oueds, les alluvions sont majoritairement sableuses, fines, peu ou pas cimentées. Dans le lit majeur et sous les alluvions sableuses du lit mineur, les dépôts les plus anciens, sont hétérogènes. Les investigations menées dans le secteur d'Atar ont permis de mettre en évidence des épaisseurs d'alluvions n'excédant pas 13 m dans l'oued Segelil et 27 m dans l'oued El Abiod (Mamou, 1991).

Des alluvions grossières apparaissent le plus souvent à la base des dépôts. Il s'agit de graviers et localement des galets qui peuvent atteindre 20 cm de diamètre, cimentées par une formation argilo sableuse quelque fois riche en carbonates (alors appelée *Tarouss*) (Mamou, 1991).

Dans tous les cas, leur épaisseur ne dépasse jamais quelques mètres. Au-dessus, le reste de la série est sablo argileuse à sableuse. Certains sites, probablement associés à des seuils rocheux et/ou à des dépressions, présentent des niveaux argileux d'origine lacustre comme Tawaz et Amdar, ou argilo gypseux comme Azougui (Mamou, 1991).

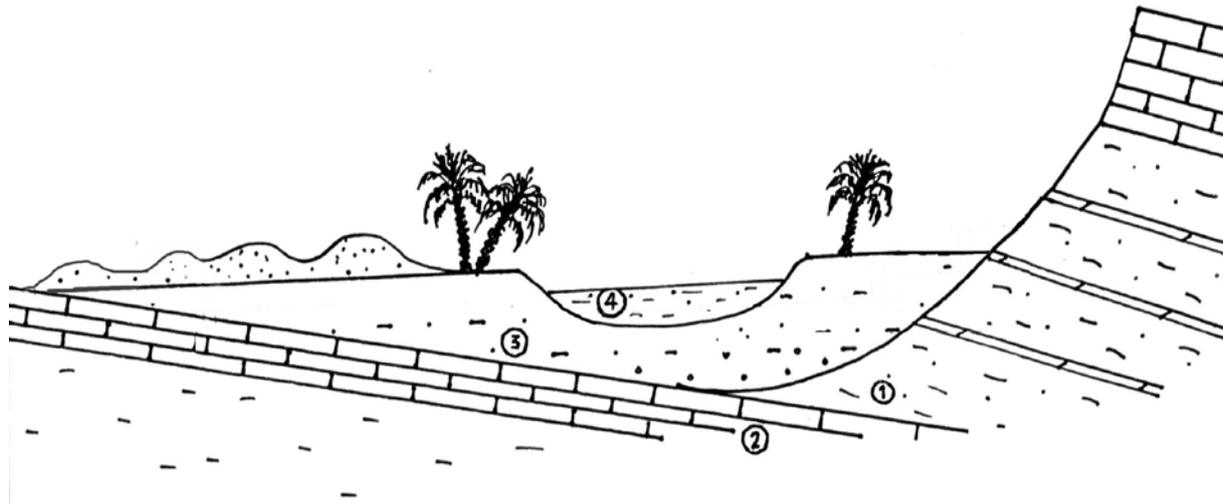


Figure 13 : Coupe schématique des alluvions des oueds du *baten* (Mamou, 1991 modifiée). 1 Substratum paléozoïque tendre (pélites, argilites), 2 Substratum paléozoïque dur (calcaires, grès), 3 Alluvions anciennes (lit majeur), 4 Alluvions récentes (lit mineur).

### 2.1.3.5. Tectonique de la région d'étude

Du point de vue structural, la zone d'étude appartient à la bordure occidentale du bassin sédimentaire de Taoudenni. Les terrains s'empilent sur le socle d'ouest en est avec un pendage faible qui diminue vers le centre du bassin où les couches deviennent pratiquement horizontales. Les images spot mettent en évidence trois familles de fractures (Spot Image, 2000) (Fig. 14) :

- les accidents sensiblement nord-sud qui affectent à l'ouest les formations de base ; ce sont des failles normales à compartiment ouest effondré, leur rejet semble être négligeable à Teyaret. L'exemple le plus spectaculaire est l'accident visible sur plus de 100 Km, de Aïn el Ataya à l'erg d'Oum Arouba ;

- les accidents nord-est représentés par le grand décrochement de près de 65 Km de long par le cours des oueds Amojar et Soueigyat. L'accident de l'oued Amdar fait également partie de cette famille ;

- les failles inverses de direction NO dont la faille de l'oued El Abiod longue de 65 km. Son rejet serait d'environ 150 m. Le compartiment Sud-Ouest chevauche vers le Nord-Est mettant en contact les pélites de base avec les grès.

Ces grands accidents plurikilométriques qui correspondent à des structures cassantes régionales ne représentent qu'un très faible pourcentage, en nombre et en longueur, des fractures affectant les séries sédimentaires (Spot Image, 2000).

L'analyse statistique des discontinuités montre que les linéaments dont la longueur varie de quelques centaines de mètres à 1,5 Km, représentent 80 % du total. Ces fractures s'organisent en réseaux réguliers d'éléments parallèles ou croisés, apparaissant comme des réseaux conjugués ; la fracturation aurait été provoquée par une phase de compression de direction Nord-Est (Spot Image, 2000).

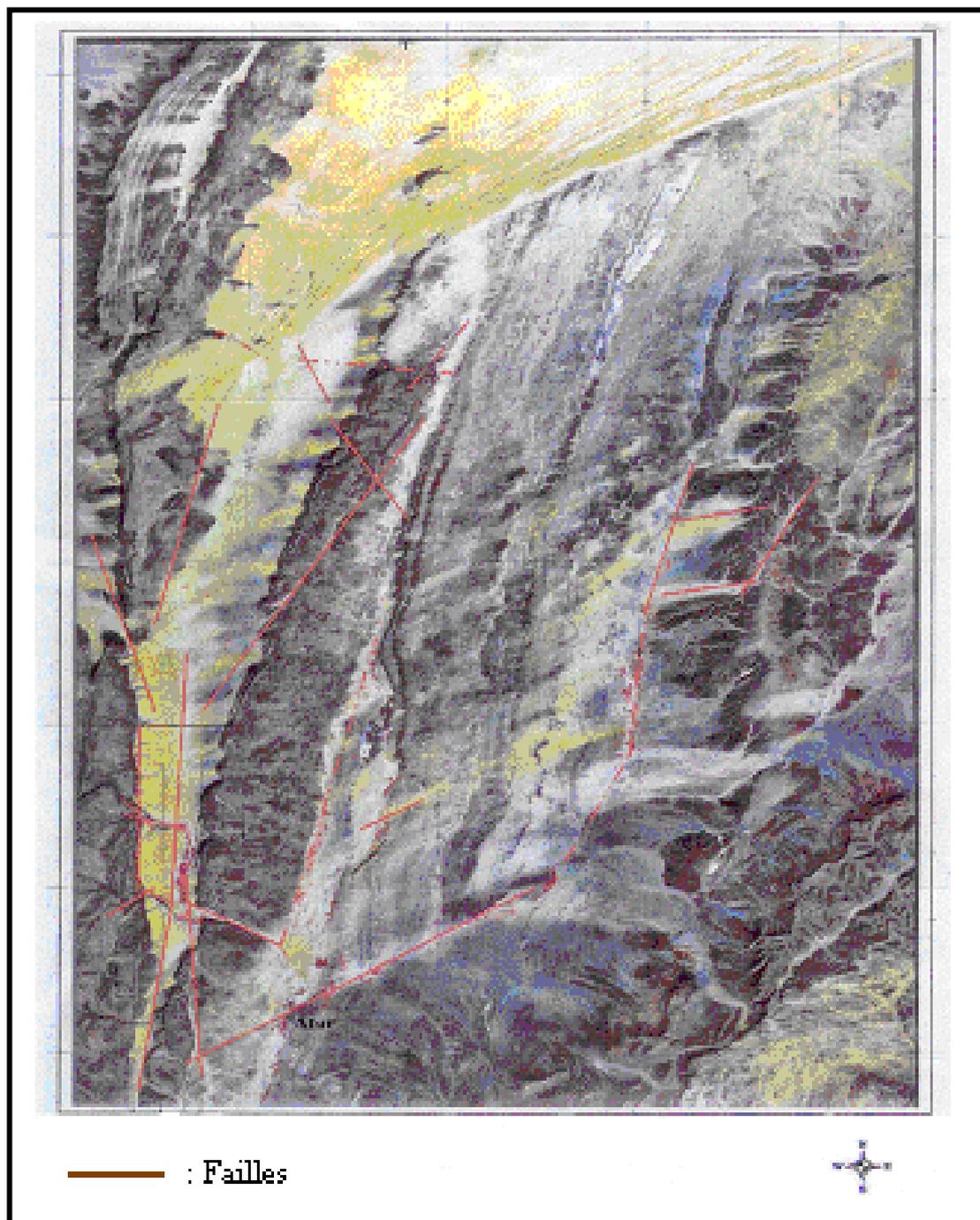


Figure 14 : Interprétation de l'image spot d'Atar (Spot Image, 2000)

Gouzes (1992) a fait une étude dans la zone d'Adrar, il a montré qu'il ya deux directions principales pour la fracturation dans la zone d'Atar : de N30°E à N60°E et de N80°E à N110°E. Dans les terrains rocheux, la fracturation joue un rôle très important et améliore les conditions des propriétés hydrauliques des aquifères (Fig. 15 et 16).

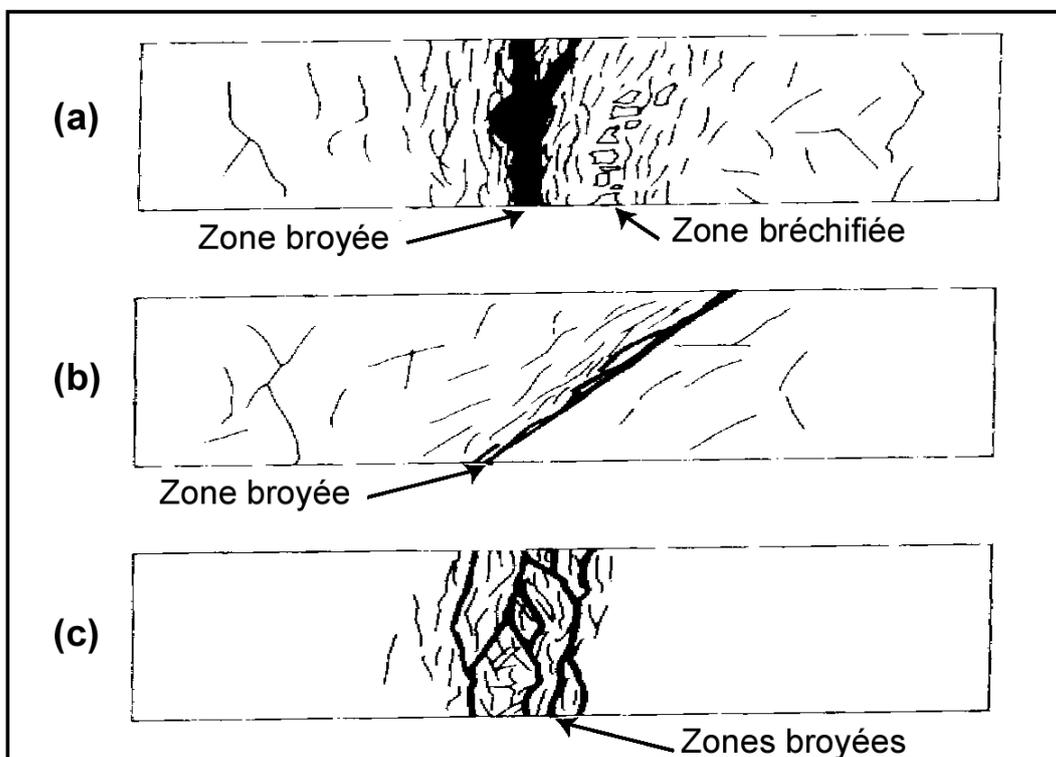


Figure 15 : Diagramme illustrant différentes géométries de zones faillées (Gouze, 1992). (a) zone broyée au centre de la zone faillée ; (b) zone broyée aux limites ; (c) réseau anastomosé de zones broyées de faible épaisseur.

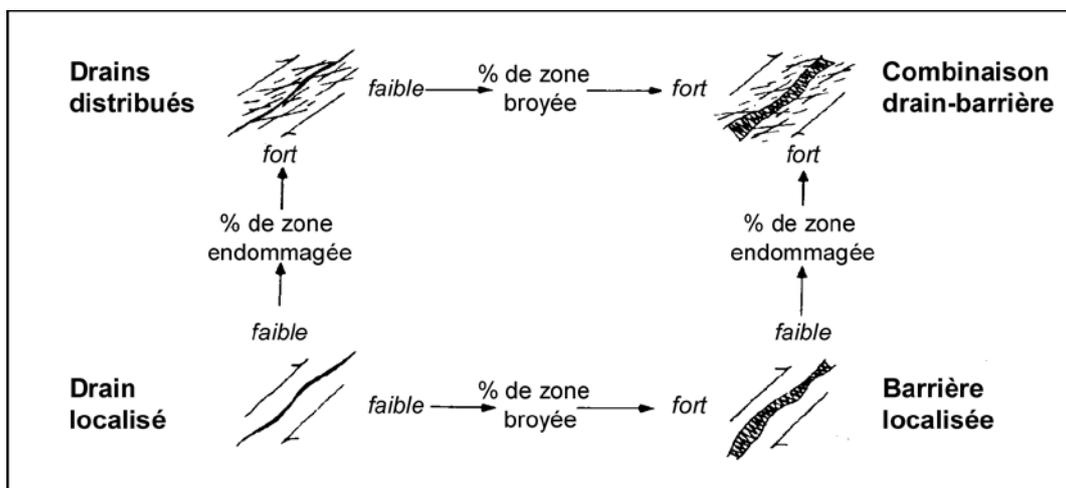


Figure 16 : Schéma du comportement hydraulique des zones faillées (Caine et al., 1996)

## **2.2. Hydrogéologie**

### **2.2.1. Contexte hydrogéologique de la Mauritanie**

En Mauritanie on distingue deux types d'aquifères (Ould Jiddou, 1994) (Fig. 17) :

- les aquifères continus situés dans des faciès poreux du bassin sédimentaire côtier, dans la couverture dunaire récente de l'Aouker et de l'Assaba, dans des alluvions quaternaires, dans les grès d'Aïoun ainsi que dans le Continental Intercalaire du bassin de Taoudenni. Les aquifères produisent des débits soutenus, et les eaux sont souvent de bonne qualité ;

- les aquifères discontinus, se rencontrent dans les autres régions du pays. Ce sont des terrains de socle granitique ou métamorphique, des formations gréseuses, calcaire pélicoliques essentiellement fracturées. Les débits obtenus sont généralement faibles.

### **2.2.2. Hydrogéologie de la région d'étude (Adrar de la Mauritanie)**

La source de la description des aquifères provient des rapports des études qui ont été fait par Phy-antéa, 2003 et le bureau d'étude Géoconsilt. La figure qui suit montre les différentes structures hydrogéologiques de la zone d'étude (Fig. 18).

Dans les alluvions des oueds, on rencontre de petites nappes sans continuité hydraulique affleurant au niveau des nombreux seuils le long des profils longitudinaux. Ces nappes sont exploitées par de nombreux puits souvent pérennes. La salinité des eaux dépend des capacités de recharge dont la faiblesse influence les vitesses d'écoulement. La recharge des nappes ne peut être due qu'à l'infiltration des eaux des crues d'oueds, à la faveur des terrains perméables (alluvions). Il n'y a pas de cours d'eau permanents, mais un réseau d'oueds à sec ne coulant qu'en période hivernage.

Il existe aussi une circulation profonde au contact du socle dans la couverture des grès dont l'eau s'écoule à travers les fractures. Le pendage des couches vers l'est et les accidents tectoniques de la bordure ouest du bassin de Taoudenni laissent penser que l'écoulement est plus régulier à l'Est.

Un programme additionnel de campagne géophysique réalisée par IWACO en 1994 a mis en évidence une anomalie conductrice bien marquée au niveau de la cible de Aweinat.

Les horizons fracturés des grès d'Agueni offrent des perspectives de forages productifs. Les débouchés des oueds qui drainent la pente structurale de ces grès sont des zones a priori favorables (Géo-Consult, 2003).



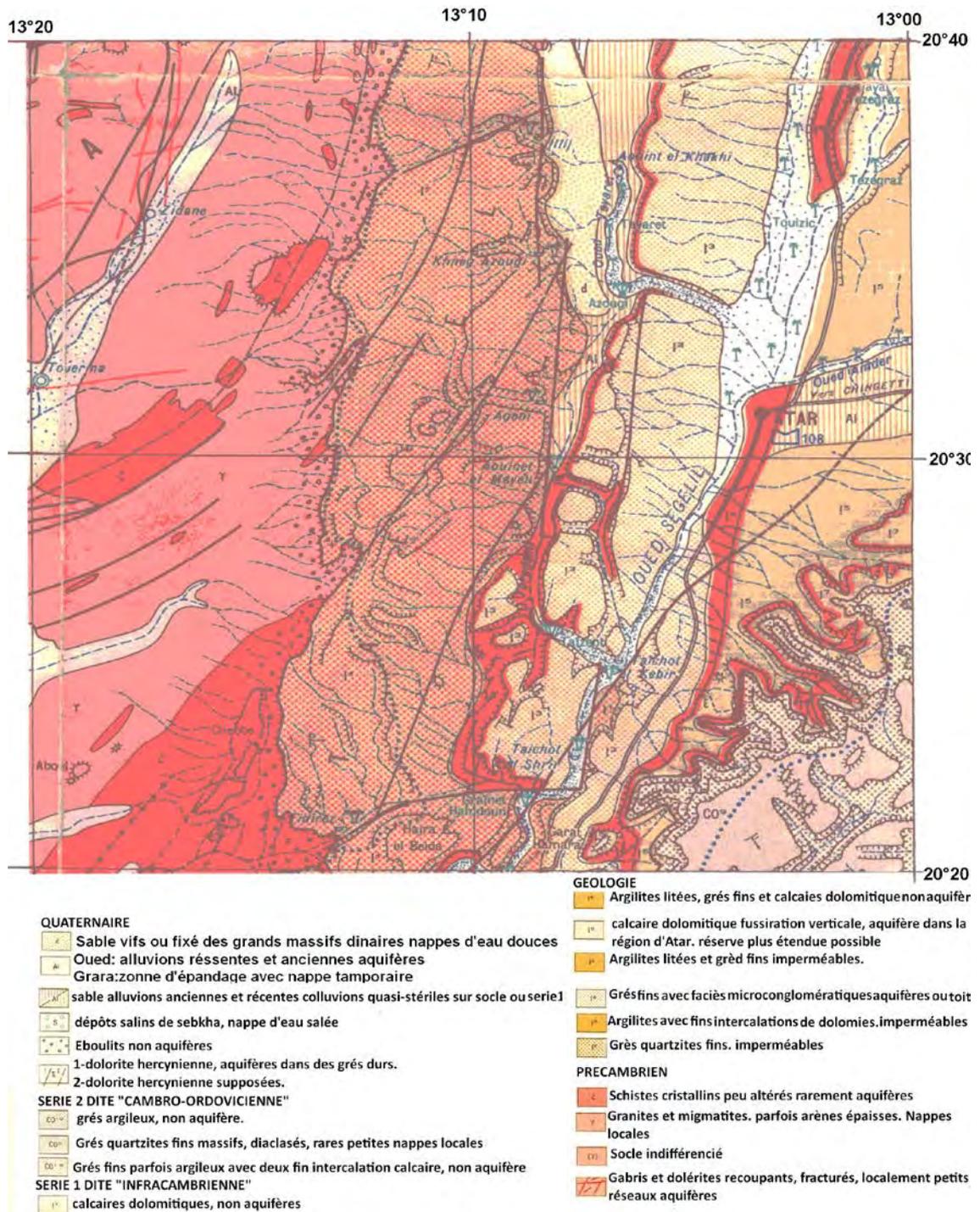


Figure 18 : Carte hydrogéologique d'Atar (B.R.G.M., 1966)

### 2.2.2.1. Aquifère des grès d'Agueni

#### a)- Description lithologique

Les grès d'Agueni sont constitués par la formation grés-quartzique de la base du bassin sédimentaire. Ces grès reposent directement en discordance sur les roches cristallines du socle précambrien. Ils sont surmontés en concordance, par l'épaisse formation schisteuse d'Azougui.

Les grès d'Agueni, bien délimités au niveau de leur toit et mur par des formations très perméables et épaisses, constituent une aquifère mono couche. Ils affleurent largement en bordure du socle (Phy/Antéa, 2003).

Dans la zone d'Agueni nord, le réservoir affleurant est limité au Sud par le lit de l'oued Soueigyat et à l'Ouest par la limite du biseau sec sur le socle. Au Nord, les grès se poursuivent très au delà d'Agueni, la faille de Foum Joul pourrait être une limite interne. A l'Est, les grès disparaissent sous les schistes d'Agueni, on remarque que le réservoir utile disparaît en profondeur par diminution de la perméabilité et l'augmentation de la minéralisation de l'eau (Géo-Consult, 2001).

Le réservoir limité au Nord par le parallèle 20°40', occupe une superficie d'environ 400 km<sup>2</sup>. Sur les forages de la SONELEC réalisés à Azougui, les grès ont été recoupés sur 120 m. Au forage F2, plus de 53 m d'intercalations schisteuses sont identifiées dans les 173 m de la formation de grès d'Agueni. Ce forage a pénétré le socle sur 23 m (Fig. 19). On admettra que l'épaisseur du réservoir utile à Azougui est de l'ordre de 100 m (Géo-Consult, 2001).

Au sud, les forages de N'Touaskas et d'El Greinat Hamdoun, situés dans la vallée de l'oued Séguélil, au droit de l'accident majeur, ont reconnu 60 m de formation des grès d'Agueni et n'ont pas atteint le socle (Géo-Consult, 2001).

Au dessous des schistes d'Azougui, on distingue entre 48 et 92 m une première série de grès quartziques durs localement fracturés, peu productifs (4 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>). Une deuxième série de grès blancs tendres, s'étage de 105 à 143 m. cette formation fournit l'essentiel du débit du forage. La base, de 143 à 174 m, est constituée par des alternances de schistes et de quartzites stériles (Géo-Consult, 2001).

## **b)- Caractéristiques hydrodynamiques**

La composition lithologique des aquifères leur confère les caractéristiques hydrodynamiques suivantes (Géo-Consult, 2001) :

- les transmissivités sont comprises entre 0,7 et 5 10<sup>-3</sup> m<sup>2</sup>.s<sup>-1</sup>. Il semble que la plus élevée correspond au secteur de Grain et Hamdoun où la tectonique a été plus intense ;

- les essais de pompage de longue durée à Azougui montrent que l'aquifère se comporte à court terme comme une nappe continue et captive ;

- les débits instantanés produits par les ouvrages sont très variables (1 à 40 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>). La perméabilité de fractures est probablement dominante.

On peut admettre que le contexte n'est pas favorable à une alimentation importante. Les possibilités de recharge sont limitées aux apports des faibles ruissellements issus des affluents provenant du socle et des grès et de l'infiltration au droit du lit mineur de l'oued Teyaret qui semble peu actif (Géo-Consult, 2001).

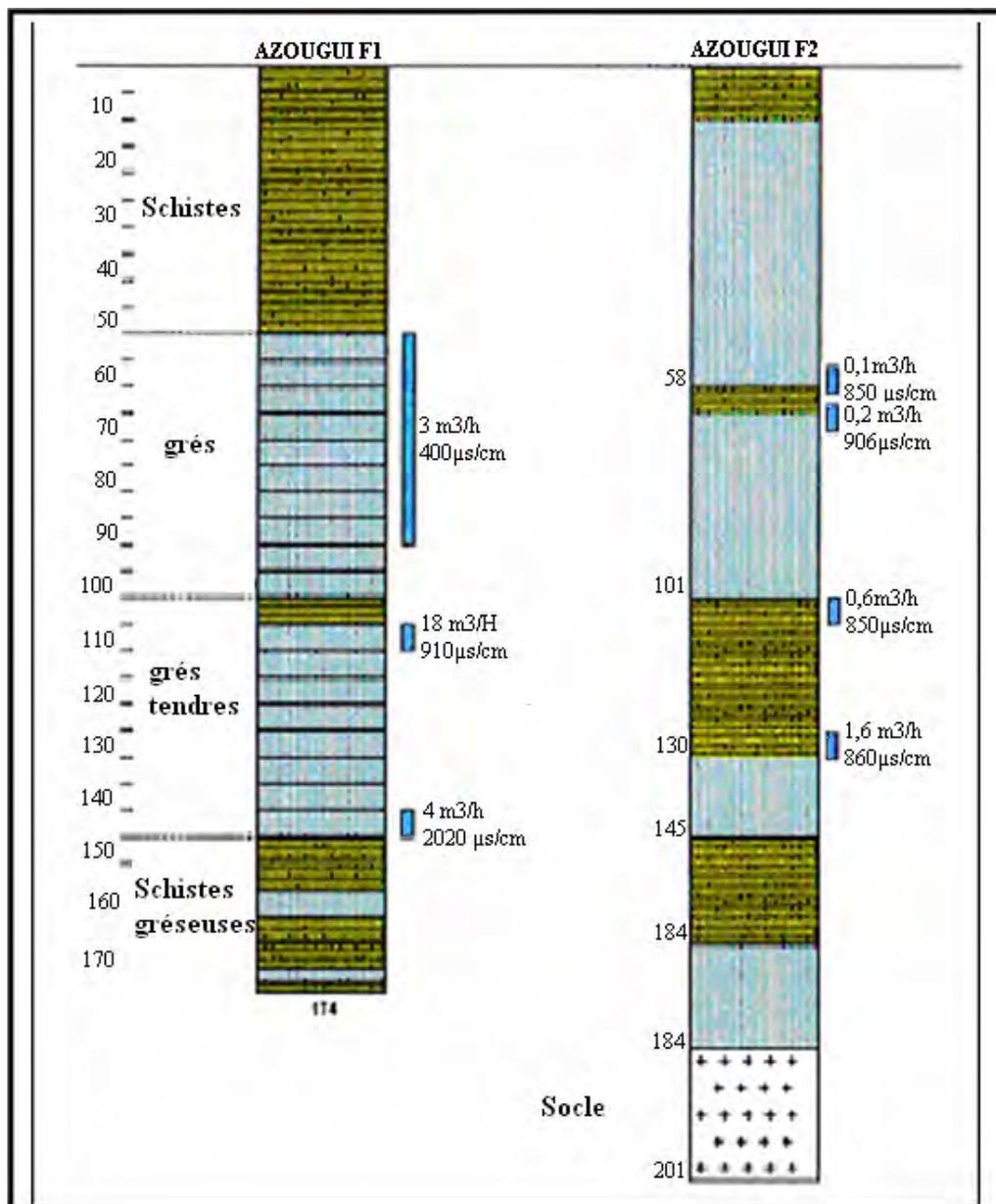


Figure 19: Forages profonds (F1 et F2) captant les grès d'Agueni (Géo-Consult, 2001)

### c)- Qualité de l'eau

Les données qualitatives des eaux des formations sédimentaires anciennes sont plus fragmentaires. Sept forages ont été réalisés dans les grès d'Agueni en 2002 en vue de l'alimentation en eau potable de la ville d'Atar. Les conductivités électriques des eaux mesurées en foration, sont comprises entre 400 et 1500  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ . Lors de la campagne de prospection de

1980 à 1983 dans ces grès d'Agueni (12 sondages au niveau du PK10 et de nombreux autres le long de la piste de Tachott, au sud d'Atar), les conductivités électriques mesurées variaient de 750 à 1300  $\mu\text{S.cm}^{-1}$ . A l'exclusion du secteur de Tachott, où les conductivités sur 7 des 8 forages étaient comprises entre 750 et 1800  $\mu\text{S.cm}^{-1}$ , les mesures en foration ont presque toujours donné des valeurs de conductivité supérieures à 2000  $\mu\text{S.cm}^{-1}$  (forages d'El Greinat Hamdoum, N'Touaskas, El Azrag et des PK9, 10, 11, 12, 13 et 14) (Phy/Antéa, 2003).

Les mesures de conductivités électriques réalisées entre 1981 et 1983 sur le forage F8 du PK10 (Donnat, 1985) ont également mis en évidence la variabilité de la salinité des eaux au cours du temps (entre 1200 et 2000  $\mu\text{S.cm}^{-1}$ ).

Dans le secteur de l'oued El Abiod, les eaux prospectées au cours de la même campagne, ont présenté des conductivités de 2600 à 4000  $\mu\text{S.cm}^{-1}$  (Donnat, 1985).

Selon Donnat (1985), les fortes salinités mesurées au cours des prospections dans les formations sédimentaires anciennes seraient imputables à la dissolution d'abondantes cristallisations de calcite, pyrite, gypse et barytine dans les fissures où les eaux circulent. Dans ces formations anciennes, les eaux prélevées dégagent quelquefois une odeur d'hydrogène sulfureux ( $\text{H}_2\text{S}$ ). Ce phénomène peut s'expliquer par les faibles vitesses de circulation des eaux, notamment dans les parties les plus basses de l'aquifère, favorables à la dissolution de la pyrite présente dans les matériaux aquifères.

Il est très probable que la variabilité de la qualité des eaux extraites des formations sédimentaires anciennes est majoritairement liée au mode d'alimentation préférentielle des fractures captées, notamment à la capacité de ces fractures à drainer les nappes alluviales localement très minéralisées. Il faut également noter qu'il n'existe que peu de données, la plupart acquises au cours d'une même campagne de prospection. Il ne faudrait donc pas exclure de possibles artefacts au moment de l'acquisition de ces données : dysfonctionnement de l'appareillage de mesure et/ou mauvais encrage des tubages protecteur et donc mélange des eaux des formations sédimentaires anciennes avec celles des formations de surface (Phy/Antéa, 2003).

## 2.2.2.2. Aquifère des grès de Foum Chouer

### a)- Description lithologique

Le réservoir est constitué essentiellement des grès de Foum Chouer. Les formations peu perméables, constituent un réservoir monocouche. Les grès sont limités au mur par les schistes d'Azougui et au toit par les schistes du Ksar Torchane (Phy/Antéa, 2003).

Les grès affleurent largement à Agueni sous la forme d'une bande de terrain centré sur le lit de l'oued Séguélil. Au sud, les affleurements disparaissent sous la série Cambro-ordovicienne, au niveau de l'oued Soueïguiat. Au nord, la formation est couverte par l'erg d'Oum Arouba. La superficie du réservoir à l'affleurement est d'environ 500 km<sup>2</sup>. Comme pour les grès d'Agueni et pour la même raison, on admettra que le réservoir utile de Foum Chor s'amincit et disparaît en profondeur, à l'est, lorsqu'il plonge sous les schistes de Ksar Torchane (Phy/Antéa, 2003).

Le réservoir gréseux a été recoupé superficiellement par quelques forages de profondeurs compris entre 36 et 72 m, situé dans la vallée de l'oued Séguélil. Il a été traversé entièrement à l'est de la vallée près d'Atar et par le forage de Tarioueft. A l'affleurement l'épaisseur des grès est estimée entre 120 et 150 m. Aux forages profonds d'Atar et Tarioueft, l'épaisseur totale est d'environ 130 m. On peut donc admettre que cette dernière valeur est représentative de la puissance du réservoir sur toute la zone d'étude (Géo-Consult, 2001).

Dans l'oued Séguélil, la lithologie des grès de Foum Chouer est invariable. Ce sont des grès fins à grossiers, à passages micro-conglomératiques et passées argilo schisteuses réduites. Ces faciès se retrouvent également en affleurement à Agueni et à l'est en profondeur ; le réservoir est remarquablement homogène (Géo-Consult, 2001).

### b)- Caractéristiques hydrodynamiques

Les informations disponibles sur les forages se rapportant aux grès de Foum Chouer sont (Géo-Consult, 2001) :

- les valeurs de transmissivités sont dans l'ordre de 3 à  $9.10^{-4} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$ ; cela peut se traduire par une homogénéité lithologique du réservoir, 40 % des ouvrages ont fourni un débit supérieur ou égal à  $10 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$ . Ce résultat est d'autant plus remarquable que les captages sont peu profonds. On note également que le pourcentage de forages négatifs est faible (14 %) ;

- le réservoir gréseux présente donc, dans sa partie superficielle, les caractéristiques d'un aquifère semi continu. Aucun historique des prélèvements et des niveaux n'est disponible pour

estimer les ressources de la nappe. On remarquera que les grès de Foug Chouer à l’affleurement occupent la vallée de l’oued Séguélil ; les conditions de recharge sont donc, à priori, optimum.

### c)- Qualité des eaux

La distribution des conductivités des eaux produites pour la nappe de Foug Chouer est représentée sur la figure 20. On note que 65 % des forages fournissent de l’eau potable admissible à la consommation humaine. Les eaux potables semblent plus abondantes à l’amont d’Atar. A l’aval les eaux douces sont localisées à la partie supérieure du réservoir (Phy/Antea, 2003).

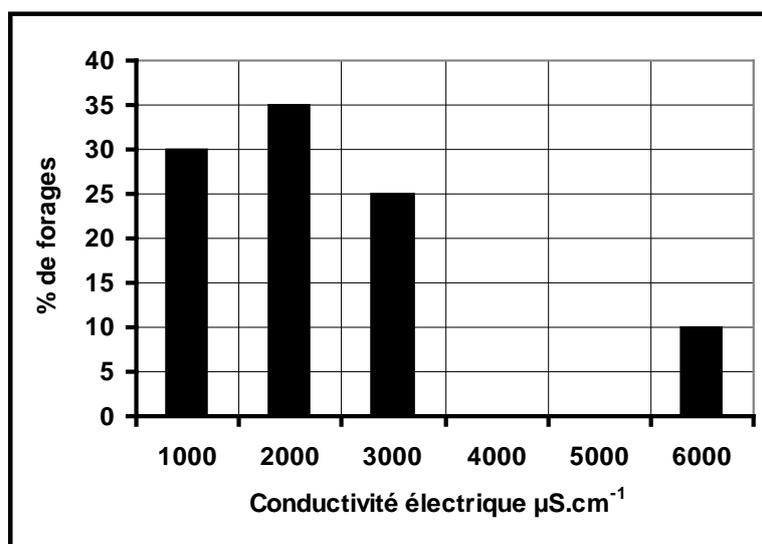


Figure 20 : Distribution des conductivités dans les grès de Foug Chouer (Phy/Antea, 2003)

### 2.2.2.3. Aquifère des calcaires d’Atar

#### a)- Description lithologique

Le réservoir est constitué par les calcaires d’Atar, limitée au mur par les schistes de Ksar Torchane, et au toit par les alternances de schistes et calcaires de Tarioueft. La limite inférieure est imperméable. La porosité de la limite supérieure varie en fonction de la lithologie (Géo-Consult, 2001).

La formation des calcaires d’Atar affleure en rive droite de l’oued Séguélil qu’elle surplombe en falaise. Elle s’étend depuis le parallèle d’Hamdoun au sud jusqu’à l’erg d’Oum Arouba où elle disparaît sous les dunes de sables. La superficie des affleurements est de l’ordre de 340 km<sup>2</sup>. Les calcaires d’Atar plongent à l’est sous les schistes et les calcaires de Tarioueft. Là encore on admet que le réservoir utile ne se prolonge pas en profondeur (Géo-Consult, 2001).

De nombreux sondages ont reconnu les calcaires d'Atar. Le quasi totalité de ces sondages est situé dans la vallée de l'oued Amder. Cette vallée de direction est-ouest, est perpendiculaire à la formation ; les sondages alignés dans la vallée ont tous recoupé ces niveaux. Par ailleurs, les forages profonds de Tarioueft et Amder ont reconnu la totalité des calcaires d'Atar (Géo-Consult, 2001).

L'épaisseur totale reconnue à Tarioueft est de 173 m, du même ordre de grandeur que les 150 m estimés à l'affleurement. Pour apprécier le potentiel hydraulique de la formation d'Atar, on dispose de quelques sondages de reconnaissance ou forages d'exploitation. Il est probable que la recharge par les crues des oueds soit faible car les possibilités d'infiltration sont limitées au cours aval de l'oued Amder et aux ruissellements modestes de l'oued Tarioueft (Géo-Consult, 2001).

### c)- Qualité des eaux

La distribution des conductivités électriques des eaux produites par la formation des calcaires d'Atar est représentée sur la figure 21. Un seul forage a fourni de l'eau à une conductivité inférieure à 1000  $\mu\text{S.cm}^{-1}$  et la médiane est à 5000  $\mu\text{S.cm}^{-1}$ . Ces minéralisations excessives sont un nouvel indice de l'absence de fracturation profonde (Phy/Antea, 2003).

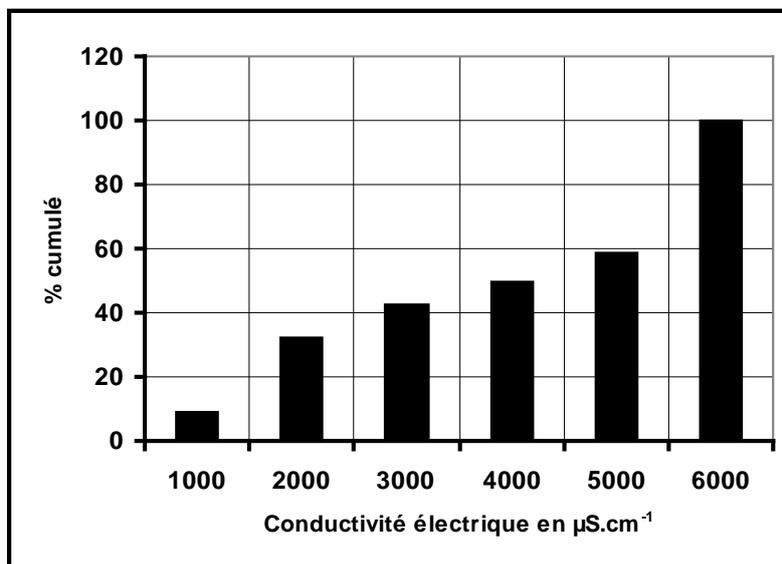


Figure 21 : Distribution des conductivités dans les calcaires d'Atar (Phy/Antea, 2003)

Les calcaires d'Atar prospectés entre 1980 et 1983 dans le secteur d'Amder ont également donné des résultats très variables en terme de salinité, entre 950 et 5300  $\mu\text{S.cm}^{-1}$  et jusqu'à 14850  $\mu\text{S.cm}^{-1}$  dans le secteur d'Ararich (Donnat, 1985).

## 2.2.2.4. Aquifères des alluvions

### a)- Description lithologique

Le réservoir alluvial est constitué par les formations détritiques récentes déposées par les oueds dans les fonds de vallées. Ces formations perméables reposent en continuité hydraulique sur les calcaires ou les grès infracambriens. Sur quelques mètres d'épaisseur, ce substratum karstique altéré et fissuré présente au droit des alluvions une perméabilité anormalement élevée. Les alluvions et le substratum constituent donc un aquifère bicouche comprenant un aquifère supérieur continu qui assure par sa bonne porosité la fonction transmissif et un aquifère inférieur discontinu transmissif (Géo-Consult, 2001).

Dans cette zone les vallées alluviales se développent sur environ 150 km. La largeur des lits majeurs est très variable : de 3 km entre Foum Chouer et le débouché de l'oued Amdar ; à quelques dizaines de mètres dans les parties amonts des cours (Géo-Consult, 2001).

Comme toutes formations détritiques continentales, les alluvions sont hétérogènes ; des argiles aux galets toutes les granulométries sont représentées. L'analyse des nombreux sondages réalisés au cours des études (B.R.G.M., 1966) montre que globalement, les argiles sableuses constituent le faciès dominant.

Dans le bassin de Séguélil, le substratum des alluvions dessine une série de cuvettes plus ou moins profondes limitées par des seuils sub-affleurants. L'épaisseur du remplissage est donc variable ; le maximum au centre des dépressions du substratum n'excède pas 13 m ; ces reconnaissances donnent une bonne idée de la variabilité des épaisseurs et des lithologies rencontrées sur un tronçon restreint de la vallée (Géo-Consult, 2001).

L'oued El Abiod présente un remplissage différent, nettement plus épais que dans le bassin du Séguélil et dépourvu de niveaux argileux. On distingue un niveau sableux au sommet et un niveau graveleux à la base. L'épaisseur atteint environ 20 m dans la zone d'étude (Géo-Consult, 2001).

### b)- Caractéristiques hydrodynamiques

L'importante fraction argileuse des dépôts anciens en fait des formations aquifères de faible productivité : les transmissivités mesurées sont comprises entre  $10^{-3}$  et  $10^{-5} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ .

### **c)- Qualité des eaux**

Une étude de la qualité des eaux dans le secteur d'Atar réalisée par Gouzes (1966) et rapportée par Mamou (1991) a mis en évidence la variabilité de la minéralisation des nappes alluviales. La majorité des eaux captées dans le Quaternaire sont de type chloruré-sodique, avec une dureté toujours élevée et une salinité souvent faible. Ces observations sont confirmées par les mesures réalisées en 1991 sur les puits de l'Adrar dans le cadre du Projet dit « Projet Oasis ». Sur 82 mesures de conductivités électriques réalisées, 74 % sont inférieures à  $1500 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  et aucune ne dépasse  $5000 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  (Géo-Consult, 2001).

De façon générale, il a été mis en évidence que les eaux des alluvions anciennes sont significativement plus minéralisées que les eaux météoriques contenues dans les sables récents (lit mineur). Ces phénomènes peuvent s'expliquer par la différence de nature des dépôts : les alluvions du lit mineur sont souvent des sables inertes alors que les alluvions anciennes sont au minimum argilo-sableuses, localement riches en carbonates et peuvent abriter des dépôts évaporitiques. De plus, les temps de transit dans les alluvions anciennes sont significativement plus élevés que dans les sables récents de surface, ce qui augmente d'autant les phénomènes de dissolution des sels de la formation aquifère (Géo-Consult, 2001).

Localement, la minéralisation des eaux des alluvions anciennes peut être importante (jusqu'à  $7$  à  $10 \text{ g}\cdot\text{l}^{-1}$ ). De telles anomalies chimiques dans les alluvions ont notamment été identifiées en rive droite de l'oued Amder et dans la palmeraie d'Azougui. Au même titre que l'hétérogénéité précédemment décrite, cette forte minéralisation locale ne peut trouver son origine que dans la nature lithologique de l'aquifère et les temps de transit souterrain. Dans ces conditions, il est impossible de trouver une cohérence à la variabilité spatiale des paramètres hydrochimiques qui peuvent être mesurés dans les nappes alluviales d'un secteur donné (Géo-Consult, 2001).

#### **2.2.2.5. Piézométrie et recharge**

La figure 22 présente les variations des niveaux de la nappe enregistrés entre mai 2006 et mai 2008 au niveau de 26 ouvrages hydrauliques (puits villageois, piézomètres et forages) dans la zone d'Atar. Cependant, le manque des données d'observation des niveaux piézométriques sur une longue période (par exemple un cycle hydrologique), ne permet pas de mettre en évidence l'impact de la pluviométrie sur la recharge de la nappe dans la zone d'étude. Toutefois le suivi des niveaux piézométriques enfin de saison sèche (mois de mai) et enfin de saison de pluies (mois septembre) entre 2006 et 2008 peut donner une idée sur les fluctuations

saisonniers de la nappe. L'analyse de cette série de mesures montre que le niveau de la nappe baisse de façon continue chaque année.

Les mois qui ont été choisis, représentent des périodes importantes pour l'état de la nappe

- Le mois du mai représente le niveau de la nappe à la fin de la période de l'agriculture irriguée.

- le mois de septembre représente l'état de niveau de nappe à la fin de la période pluvieuse (période de recharge de la nappe)

- le mois de décembre représente le niveau de la nappe au milieu de la période d'irrigation.

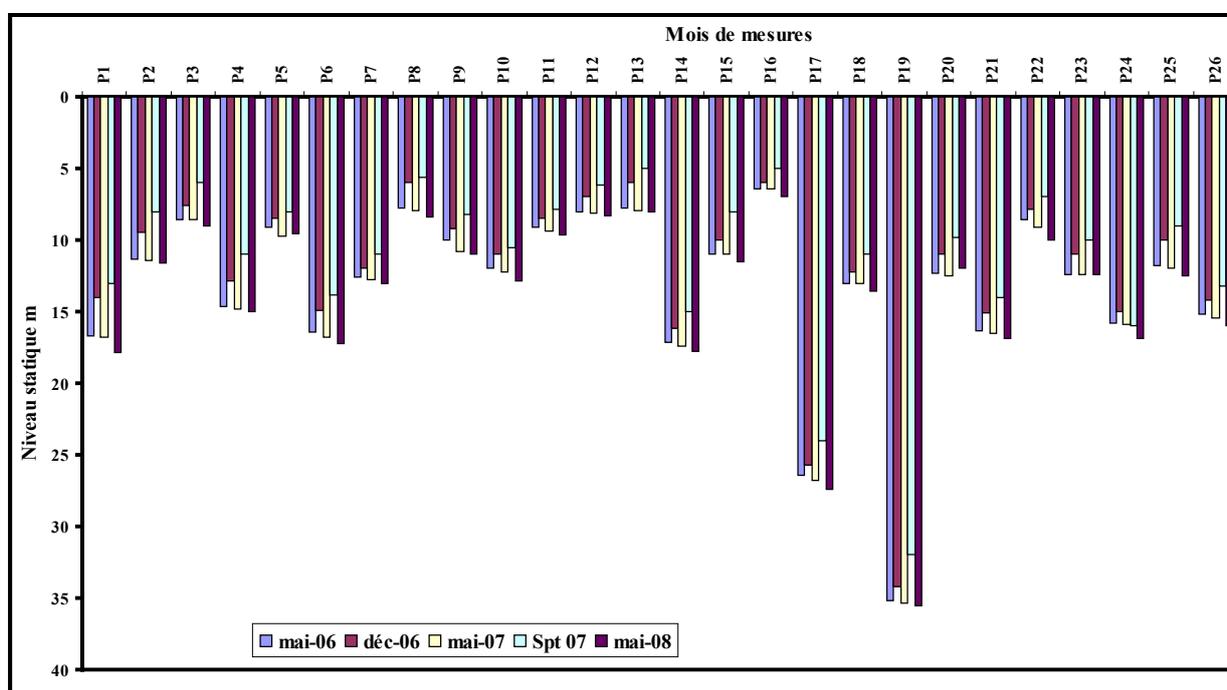


Figure 22 : variation du niveau statique de la zone d'étude

### 2.2.2.6. Fonctionnement du système aquifère de l'Adrar

Moussu et Trompette (1966a et b) indiquent que les roches carbonatées de la série 1 sont lapiazées en surface et présentent de nombreux points d'absorption des eaux de ruissellement. Ils admettent donc la recharge de ces roches carbonatées dont les propriétés aquifères sont démontrées par Donnat (1985). Trompette (1966) met en évidence la continuité hydraulique entre roches carbonatées et nappes alluviales : « la nappe [alluviale d'Atar] déborde largement les alluvions des oueds pour s'étaler dans les schistes altérés, les calcaires et les dolomies ».

Les indications nouvelles sur la qualité des eaux captées dans les roches carbonatées et sur la baisse des niveaux dans les aquifères alluviaux suite à l'exploitation des aquifères carbonatés (secteur d'Azougui pour l'AEP d'Atar, secteur de Toueizic pour l'AEP du village) permettent maintenant d'entrevoir l'étroitesse des relations qui existent entre les deux systèmes.

Il est probable que les roches carbonatées, largement fracturées, forment des aquifères discontinus hétérogènes, dont une petite partie seulement est affleurante. Ces aquifères sont séparés les uns des autres par des niveaux d'argilites, argilites elles-mêmes fracturées. Ils sont donc très probablement en communication hydraulique les uns avec les autres, sans qu'il soit possible de préciser si cette communication permet des échanges importants ou non (Fig. 23).

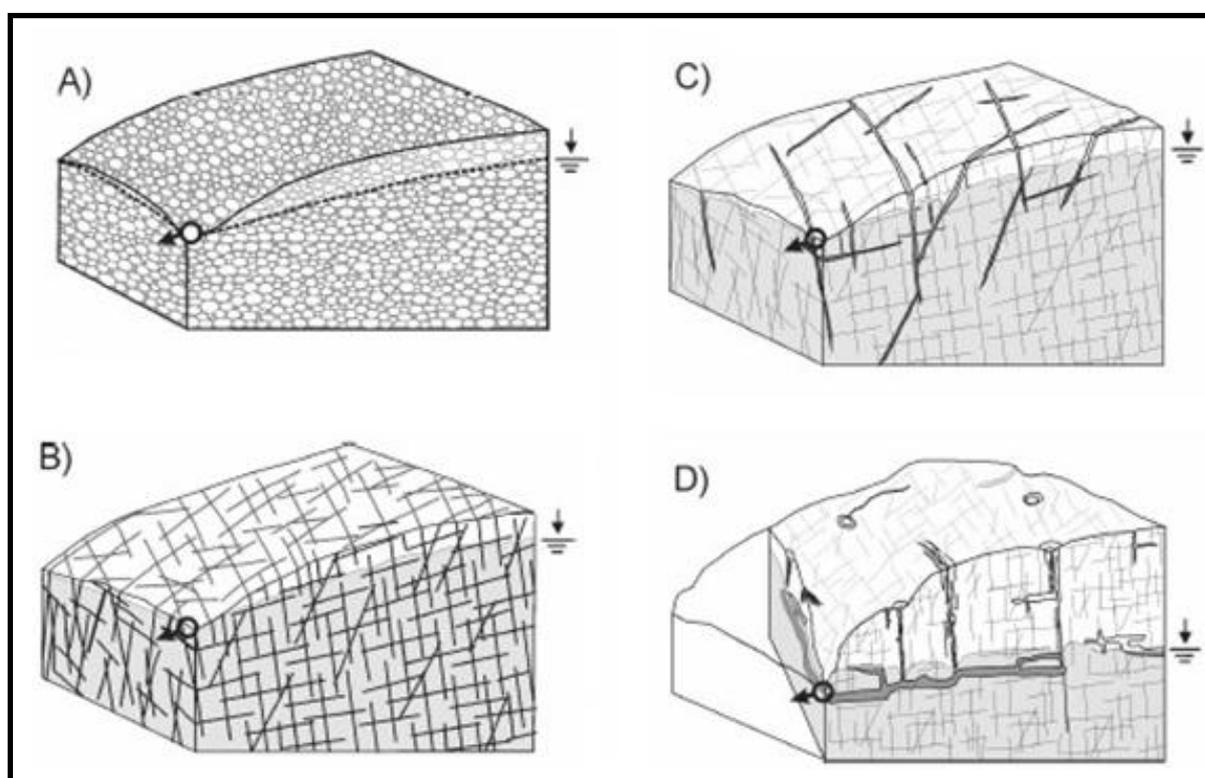


Figure 23 : Représentation schématique de quatre aquifères caractérisés par une hétérogénéité croissante (BCEOM et MCG, 2007). A) milieu poreux homogène B) milieu fissuré faiblement hétérogène C) milieu fissuré hétérogène D) milieu karstique.

Ces aquifères discontinus sont très certainement rechargés par les précipitations, directement au niveau des affleurements. A l'état naturel, cette recharge est vidangée au minimum au niveau des points bas que sont les *geltas* et les lits des oueds. Au niveau des *geltas*, les prélèvements se font majoritairement par évaporation. Dans les lits des oueds, ces roches carbonatées rechargent probablement les alluvions du Quaternaire, qui se vidangent à l'état naturel par évapotranspiration (palmeraies) ou à l'état influencé par pompage (pour l'irrigation

notamment). Lors des crues, il est probable que les échanges se font majoritairement depuis les alluvions vers les roches carbonatées.

L'exploitation des nappes alluviales, qui draineraient les roches carbonatées, ou l'exploitation directe des nappes carbonatées, ferait alors baisser les niveaux piézométriques de l'ensemble du système aquifère. L'extension des aquifères carbonatés est certainement très importante. Ils ont été largement affectés par la tectonique et il est donc très probable que ces roches restent aquifères lorsqu'elles se situent à plusieurs centaines de mètres de profondeur, comme l'ont démontré les forages profonds réalisés dans le cadre du « Projet de recherche et d'aide à la gestion des ressources en eau pour l'aménagement des oasis de l'Adrar ».

Toute exploitation du système aquifère a pour conséquence de faire baisser les niveaux piézométriques. La vidange qui se fait à l'état naturel au niveau des drains que sont les alluvions des oueds, ne se fait alors plus, ce qui a un impact significatif sur l'alimentation en eau des palmeraies. Même si les formations carbonatées sont aquifères sur de grandes profondeurs, toute exploitation au-delà des volumes rechargés annuellement aura d'importantes conséquences sur l'équilibre du système.

### **3. CONCLUSION**

L'Adrar en Mauritanie est une zone aride, la manque des précipitations surtout depuis les années 70 jusqu'à nos jours, oblige la désertification de la zone, qui augmente la température qui atteint par fois  $48^{\circ}$  et multiplie leur influence sur la désertification du terrain et sur l'évaporation qui dépasse  $4000 \text{ mm.an}^{-1}$ . La désertification où bien l'absence d'une couche végétale démultiplie l'évaporation. L'insolation dépasse par fois  $10 \text{ h.jour}^{-1}$ .

Les formations géologiques et les reliefs aussi handicapent la recharge de la nappe tel que :

- l'eau se trouve dans les zones fracturées, donc quelque soit l'hotteur d'eau précipité, la recharge de la nappe sera seulement au niveau de ces fractures, c'est-à-dire que on perd la majorité de volume d'eau qui précipite ;

- les reliefs aussi influence sur la recharge de la nappe, à cause de l'augmentation de la vitesse d'écoulement d'eau dans les cours d'eau, qui diminue le pourcentage d'infiltration d'eau dans les fractures qui ne sont pas loin des montagnes.

**Deuxième partie :**

**ETUDE DES FRACTURATIONS PAR  
LA GEOPHYSIQUE POUR  
L'IMPLANTATION DES FORAGES  
DANS LA REGION D'ADRAR**

## **Deuxième partie : ETUDE DES FRACTURATIONS PAR LA GÉOPHYSIQUE POUR L'IMPLANTATION DES FORAGES DANS LA RÉGION D'ADRAR**

Pour sécuriser et améliorer durablement les conditions de production agricole et de vie dans les oasis de l'Adrar, milieu fortement menacé par la désertification. Il faudrait qu'on sache les causes de la baisse des niveaux d'eau des nappes durant ces dernières années, et ensuite on propose des solutions pour les recharger.

De mes observations sur le terrain, ces fluctuations piézométriques seraient engendrées par :

- la rareté des précipitations constatée dans la région sahélienne ;
- la désertification de la zone, qui augmente l'évaporation ;
- la surexploitation des nappes pour l'approvisionnement en eau potable de la ville d'Atar ;
- la surexploitation de la nappe par l'utilisation des motos pompes pour l'irrigation sous les palmiers ;
- la commercialisation de l'eau à travers des points d'eau privés car l'eau de la ville est un mélange d'eaux de plusieurs forages de différentes conductivités électrique et parfois saumâtres. Par contre l'eau de la majorité des puits qui se trouvent dans les oasis est une eau de bonne qualité ; c'est pourquoi, les différents hôtels, auberges et les populations qui n'ont pas accès à l'eau des services urbains de la ville d'Atar, n'utilisent que l'eau des puits.

La zone d'étude est une zone rocheuse et l'eau se trouve dans les fractures. Pour l'étude de la recharge de la nappe ; il faudrait qu'on fasse des études qui nous permettent de schématiser le réseau de fracturation de la zone d'étude.

Le système de failles a été défini à l'aide de trois approches complémentaires :

- par un relevé systématique des linéaments sur les images satellitaires SPOT.
- par une analyse géologique des photographies aériennes.
- par une mission de reconnaissance sur le terrain.

L'analyse comparée des informations apportées à chacune des trois échelles d'observation permet d'approcher la logique de structuration du réseau de discontinuités.

Après l'étude du réseau de fracturations, la campagne géophysique (méthodes électromagnétique et électriques) permet de déterminer les points favorables pour la réalisation des forages de recharge artificielle des nappes et des forages de pompage. Ainsi après la réalisation de ces forages on fait l'étude du réseau Hydraulique pour les raccordements entre ces forages. Il faudrait aussi qu'on détermine les points de la mise en place des seilles qui permettent de ralentir la vitesse d'écoulement d'eau et stocker une quantité importante ce qui multiple l'infiltration d'eau.

## **1. MATERIELS ET METHODES D'ETUDE**

### **1.1. La reconnaissance géologique et hydrogéologique sur le terrain**

La reconnaissance sur le terrain a permis de :

- corrélérer les données photo géologiques avec les observations sur le terrain, c'est à dire repérer les zones ciblées, identifier la géologie et l'hydrogéologie locale ;
- positionner les profils électromagnétiques et les sondages électriques ;
- déterminer leur direction ;
- déterminer la profondeur d'investigation (préliminaire) ;

### **1.2. Observation de la carte photo géologique**

La photo-interprétation permet un levé rapide des fractures (majeures) kilométrique et multi kilométrique, aux immédiats des sites à étudier. Toutes les fractures détectées par l'examen des cartes photo géologiques des différents sites d'étude (Foum Chouer et Agueni nord) ainsi que leurs directions doivent être confirmées par les méthodes géophysiques mises en oeuvre.

### **1.3. Méthodes géophysiques utilisées**

Le contexte géologique de la zone d'étude se caractérisé par la présence de blocs de grès, des oueds et des dykes qui peuvent, dans certains cas, rendre difficile l'accès au terrain ou former des écrans hydrauliques.

Nous proposons pour leur mise en évidence l'utilisation de la méthode électromagnétique pour détecter les anomalies des zones cibles repérées sur l'image spot (photo géologique), doublée par des traînés électriques à double longueur de ligne et les sondages électriques pour tester ces anomalies.

Le choix des méthodes géophysiques à appliquer est fonction de plusieurs facteurs. Le but essentiel de la géophysique est la localisation des failles et contacts anormaux, de ce fait, il faut avoir en vue que :

- les variations d'épaisseurs et de natures des terrains peuvent être considérables, ce qui justifie l'application des sondages électriques ;

- les fractures sont souvent colmatées par des produits argileux ce qui est un facteur favorable pour l'application des profils électromagnétiques (grand contraste de conductivité entre les zones fracturées et les zones normales) ;

- les nappes aquifères sont parfois chargées en sels ce qui est favorable à l'application de l'électricité et de l'électromagnétisme ;

- les variations d'épaisseurs et de nature des horizons peuvent être considérables, ce qui justifie l'application des sondages électriques ;

- les fractures sont souvent colmatées par des produits argileux ce qui est un facteur favorable pour l'application des profils électromagnétiques (grand contraste de conductivité entre les zones fracturées et les zones normales).

### **1.3.1. Méthode électrique**

#### **1.3.1.1. Principe**

Cette méthode permet d'étudier les variations du paramètre résistivité apparente du sous-sol à la verticale du point d'investigation. Pour réaliser les mesures sur le terrain on renvoie dans le sol par l'intermédiaire d'électrodes A et B un courant électrique continue d'intensité (I). On mesure avec un potentiomètre la différence de potentiel ( $\Delta V$ ) existant entre deux électrodes impolarisables M et N.

La résistivité apparente est donnée par la formule suivante :

$$Pa = k \Delta V/I$$

Où K est un coefficient qui dépend de la géométrie du dispositif

En prospection par la méthode électrique, on a deux procédés d'investigations qui sont les traînés et les sondages électriques, dans cette étude seuls les sondages ont été appliqués.

#### **1.3.1.2. Les sondages électriques**

Les mesures sont effectuées en augmentant la distance AB du dispositif pour des investigations de plus en plus profondes (Fig. 24 et 25).

Le report des valeurs de la résistivité en fonction de la demi longueur AB sur papier bi-logarithmique, donne une courbe appelée diagramme électrique qui après analyse permet d'apprécier les épaisseurs et les résistivités des formations sous-jacentes.

Les sondages électriques permettent de faire une interprétation quantitative qui peut être étalonnée sur des forages lorsqu'ils existent.

Elle permet en particulier de donner une bonne information sur l'importance de l'altération et sur les principaux accidents qui peuvent affectés le toit du socle. Cette méthode permet également de reconnaître la structure d'ensemble d'une zone à partir d'un nombre limité de forages de calage. D'autre part elles sont indispensables à la définition des dispositifs du traîné électrique et à son interprétation.

### 1.3.1.3. Le traîné électrique (TE)

Pour la réalisation d'un traîné électrique on la dispositif ABMN et on le translate parallèlement à lui-même, on obtient ainsi une courbe de la résistivité apparente en fonction de la distance.

Les traînés électriques permettent de mettre en évidence la variation latérale de la résistivité (contacte Hydrogéologique et faille ...etc.). La profondeur d'investigation porte sur une tranche du sous sol d'épaisseur plus ou moins constant.

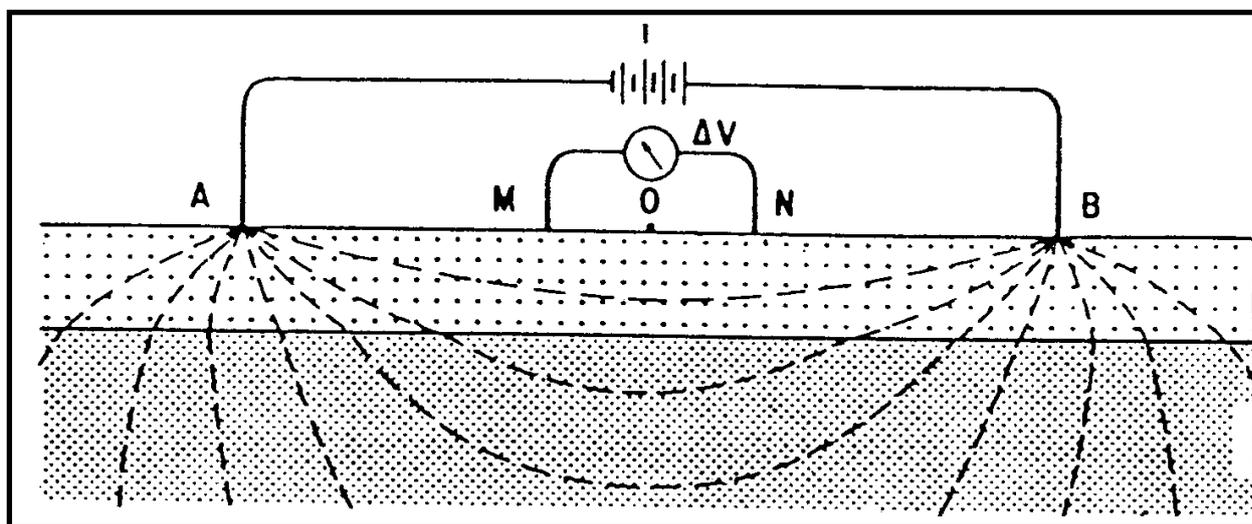


Figure 24 : Schéma du dispositif Schlumberger



### 1.3.2.2. Cas du EM 34

C'est un appareil qui permet de lire directement la conductivité apparente des sous-sols lors des mesures sur terrain. Il est essentiellement constitué d'un émetteur et d'un récepteur liés par un câble de longueur variable.

- la partie interne de l'émetteur, on a une boucle circulaire à travers laquelle circule un courant alternatif pour servir de base à la création du champ primaire ( $I_p$ )
- le récepteur est aussi constitué par une boucle circulaire mais de dimension plus petite qui permet d'enregistrer le champ magnétique secondaire ( $I_s$ ) induit dans le sous-sol en présence du champ ( $I_p$ ).

Avec cette appareil on a deux dispositifs de mesure selon que les axes des boucles émettrice et réceptrice sont disposés verticalement ou horizontalement (Fig. 26).

A chaque station on réalise deux mesures :

- une mesure avec un dispositif vertical (dipôle vertical) quand les bobines sont en position horizontale ;
- une mesure avec un dispositif horizontal (dipôle horizontal) si les bobines sont en position verticale.

Il est donc important lors des campagnes géophysiques par méthode EM d'avoir une idée précise des conductivités des profondeurs ciblées, ce qui permet de choisir les fréquences et la longueur de câble adéquates afin de couvrir les profondeurs souhaitées.

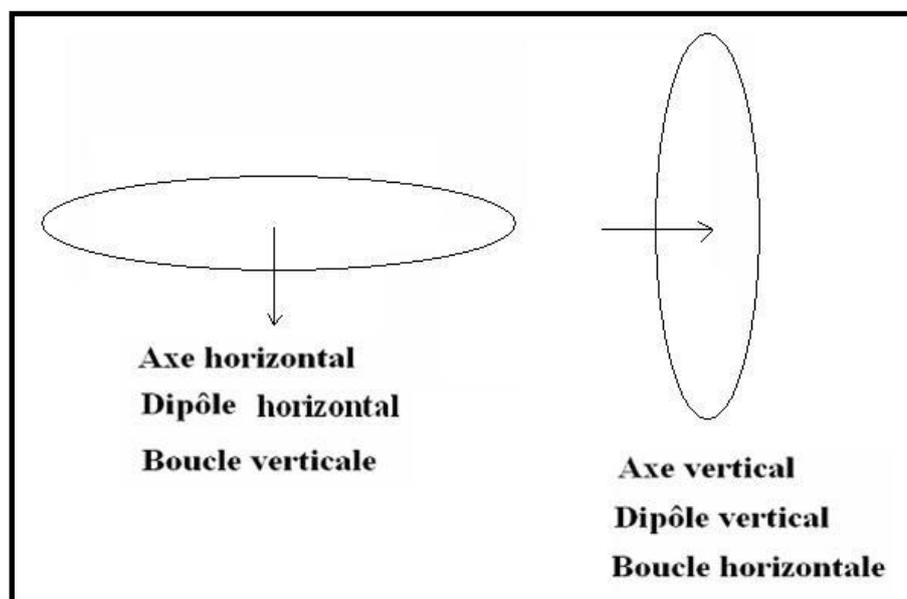


Figure 26 : Dispositifs de mesures avec le EM34

Il existe trois fréquences (ou longueur de câble S) d'opération avec l'EM34 dont les caractéristiques sont énumérées ci-dessous (Tableau 3).

Tableau 1 : Longueurs de câble du EM34

Longueur du câble (m)	Profondeur d'exploration (m)	
	Dipôles horizontaux	Dipôles verticaux
10	7,5	15
20	15	30
40	30	60

### 1.3.2.3. Avantages de la méthode EM34

L'observation des profils EM, montre que la méthode permet une bonne définition des linéaments, caractérisés par une brusque diminution de la conductivité lue en mode dipôles verticaux (boucle horizontale) lors du passage sur les linéaments ou failles. Cette diminution atteint son maximum au centre du linéament ou faille (Diallo, 1994) (Fig. 27 et 28).

L'avantage de la méthode EM par rapport à la géo-électrique est pertinent. En effet, les problèmes tel que l'injection du courant dans le sou sol, la sensibilité des électrodes aux hétérogénéités de surface ne se posent pas du fait que le contact dans le sous-sol est produit de manière inductive.

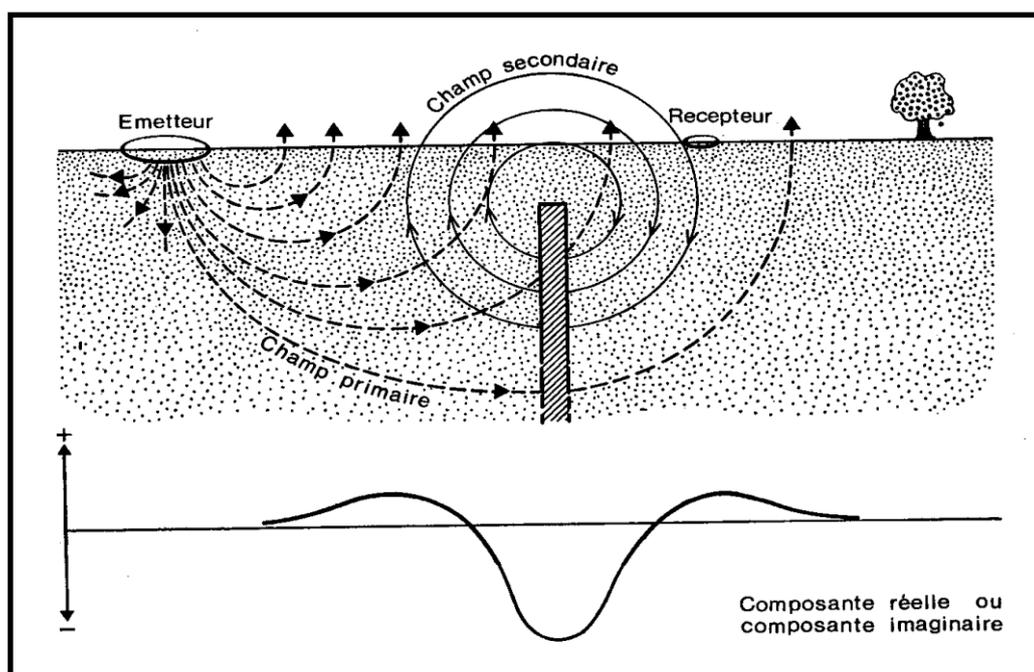


Figure 27 : Schéma du dispositif dipôle vertical (boucle horizontale) (MAYER, 1991)



Figure 28 : Dispositif de la méthode Electromagnétique

Cette méthode est relativement peu coûteuse, légère et rapide deux opérateurs sont nécessaires pour l'exécution des mesures, l'un porte l'émetteur et l'autre le récepteur, les deux étant reliés par un câble dont la longueur dépend de la profondeur du corps cherché.

## 2. RESULTATS ET INTERPRETATIONS

### 2.1. Par la méthode électromagnétisme

Les profils électromagnétiques ont été positionnés de telle sorte qu'ils recoupent les fractures des zones ciblées lors de la phase d'interprétation des photos géologiques. Lors du passage sur les linéaments ou failles, les profils électromagnétiques enregistrent une brusque diminution de la conductivité électrique lue en mode dipôles verticaux (boucle horizontale). Cette diminution atteint son maximum au centre du linéament ou de la faille. Dans cette partie, nous avons sélectionné quelques profils électromagnétiques, à travers l'interprétation de leurs coupes. Les anomalies repérés par les profils électromagnétiques sont confirmés par des traînés électriques à double longueur de ligne.

La majorité des fractures visées par les photos satellites et les photos aériennes ont été confirmées par des profils électro-magnétiques et des traînés électriques.

Dans cette zone l'expérience montre qu'à peu près :

- 30% des forages de reconnaissance sont des forages négatifs à cause du manque d'eau (forages secs) ;
- 20% des forages de reconnaissance sont des forages négatifs à cause de la salinité (conductivité très élevée) ;
- 50% des forages de reconnaissances sont des forages positifs qualitativement mais la quantité d'eau est parfois non mesurable (débit très faible).

### **2.1.1. Secteur de Foum Chouer**

De façon générale le profil électromagnétique permet de donner une idée sur la discontinuité géologique du terrain, tel que la variation de la résistivité apparente ou de la conductivité indique l'existence d'une anomalie qui explique l'existence de la fracturation, les courbes de résistivités apparentes et les courbes de conductivités électriques montrent une discontinuité importante du terrain, ce qui explique la densité des fractures de la zone d'étude (Fig. 29a et b).

Pour le profil électromagnétique (EM 10), les courbes indiquent l'existence d'énormément des anomalies dont les plus important sont :

- 160 m, 240 m, 1020 m et 1240 m, ces anomalies présentent les différents formes des anomalies « V, W,U). tant que le terrain est continu, les valeurs de conductivités et de résistivités restent dans le même intervalle ; mais dès que le profil traverse une fracture la résistivité diminue et la conductivité augmente pour prendre la valeur de la conductivité et la résistivité de la nouvelle formation traversée.

Pour les profils 11 et 01, les courbes montrent l'existence de beaucoup d'anomalies dans le secteur. Les anomalies détectées présentent les formes de V, W.

Toutes les anomalies détectées par les profils électromagnétiques seront confirmées par les traînés électriques et les sondages électriques.

### **2.1.2. Secteur d'Agueni nord**

Les courbes des profils électromagnétiques (Fig. 30a et b) montrent l'existence d'énormément anomalies qui expliquent la discontinuité du terrain mettant en évidence l'existence des fractures qui facilitent l'orientation des traînés électrique.

Les anomalies détectée par les différent Profils Electromagnétiques présentent les formes de V, W, U et per fois M.

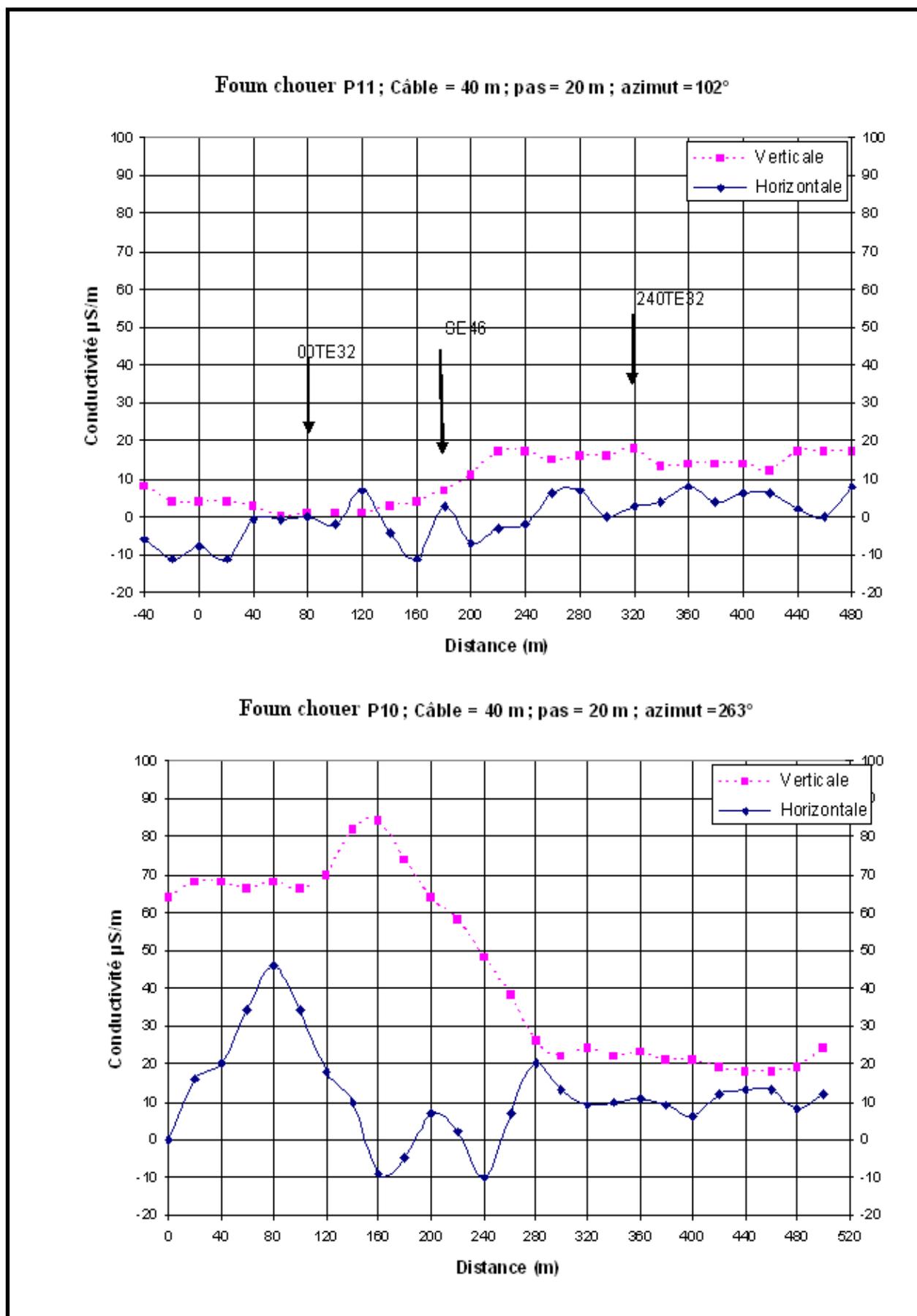
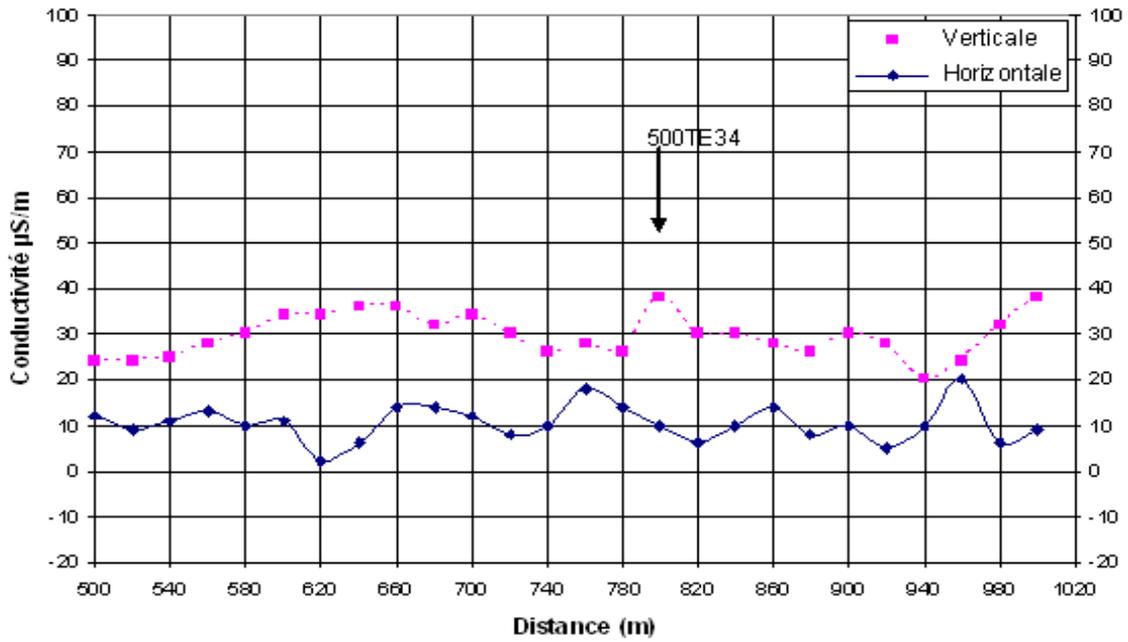


Figure 29a : Profils électromagnétiques sélectionnés dans le secteur de Fourn Chouer

Foum chouer P1; Câble = 40 m ; pas = 20 m ; aazimut = 263°



Foum chouer P10; Câble = 40 m ; pas = 20 m ; azimut = 263°

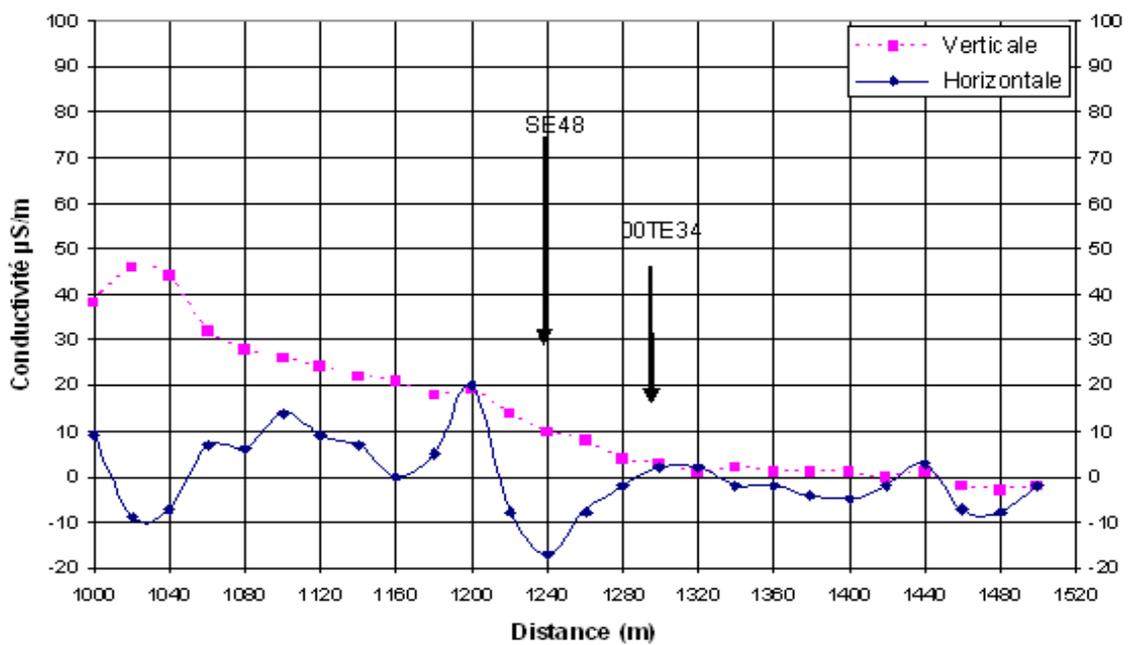


Figure 29b : Profils électromagnétiques sélectionnés dans le secteur de Foum Chouer

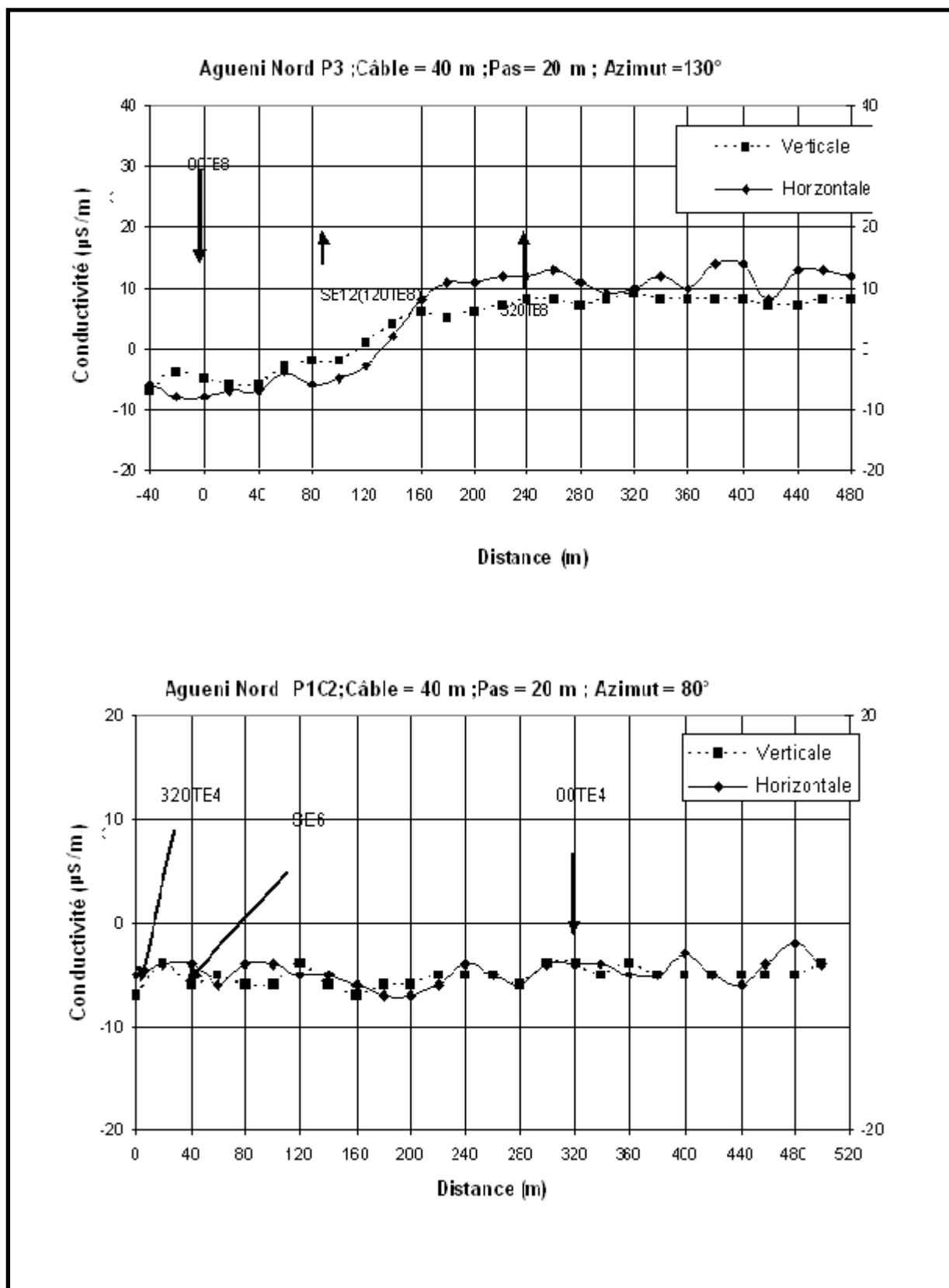


Figure 30a : Profils électromagnétiques sélectionnés dans le secteur d'Agueni nord

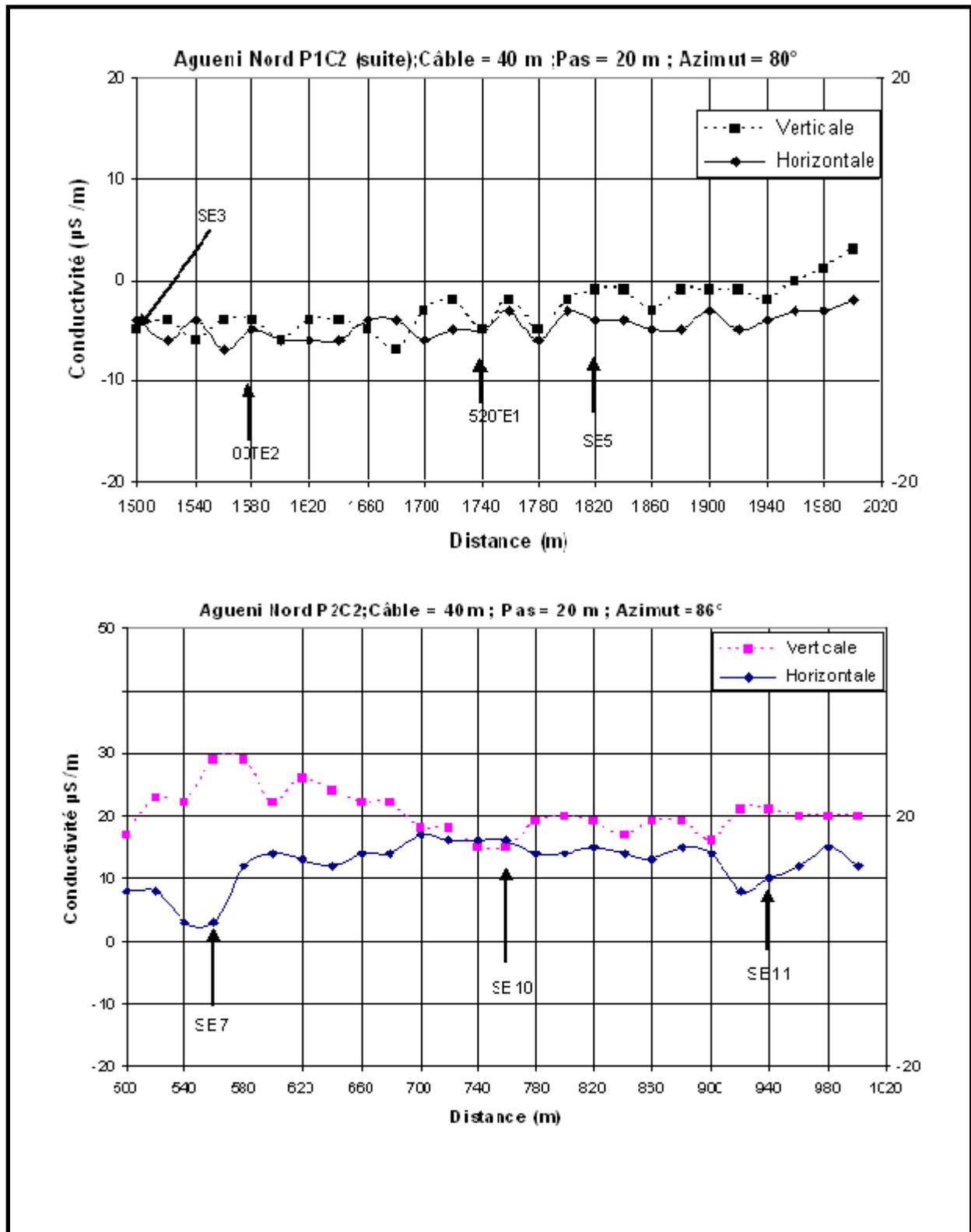


Figure 30b : Profils électromagnétiques sélectionnés dans le secteur d'Agueni nord

Par exemple le Profil EM P2C2 indique l'existence de beaucoup d'anomalies, dont les plus importants sont :

- de 900 à 940 m la baisse de la courbe de résistivités apparentes montre l'existence d'une anomalie. Cette anomalie a été confirmée par la courbe de conductivités qui est élevée et par le sondage électrique SE 11.

- de 520 à 580 m, la courbe de conductivités indique l'existence d'une anomalie tel que la résistivité apparente a baissé et la conductivité a pris une valeur élevée. Cette anomalie est confirmée par le sondage électrique SE 7.

Le profil EM P1C2 présente une perturbation importante du terrain, des anomalies détectées sur ce profil ont été confirmées par les Traînés Électriques TE1 et TE2 et d'autres confirmées par les sondages Électriques SE 3 et SE 5.

Ces anomalies devraient être confirmées par des traînés électriques et des sondages électriques.

## **2.2. Par la méthode électrique**

L'interprétation des résultats des méthodes électriques et électromagnétiques a confirmé la majorité des fractures repérées par les photos satellites et les photos aériennes.

Les traînés électriques (TE) réalisés et les profils électromagnétiques ont marqué énormément des anomalies dans la zone d'étude, ces anomalies indiquent l'existence des fractures ou des changements de la résistivité ou de la conductivité sous l'influence du changement de la lithologie du terrain.

### **2.2.1. Secteur de Foug Chouer**

Les courbes des TE montrent l'existence de plusieurs fractures. Ces traînés ont été faits après la réalisation des profils électromagnétiques, pour confirmer les anomalies détectées par les profils électromagnétiques (Fig. 31).

Le TE 33 montre l'existence d'une anomalie importante de 40 à 160 m. Cette anomalie a été confirmée par le sondage électrique SE 47.

Pour TE 24, ce traîné a confirmé l'existence d'une anomalie entre 80 et 100 m qui a été confirmée par le sondage électrique SE 37.

Le TE 27 confirme l'existence d'une anomalie de 20 à 100 m. Cette anomalie a été confirmée par la SE 38.

Les courbes des traînés de doubles longueurs de ligne (TE 31) montrent l'existence de deux anomalies une à 220 m et l'autre à 380 m. Ces anomalies ont été confirmées par les sondages électriques SE 44 et SE 46.

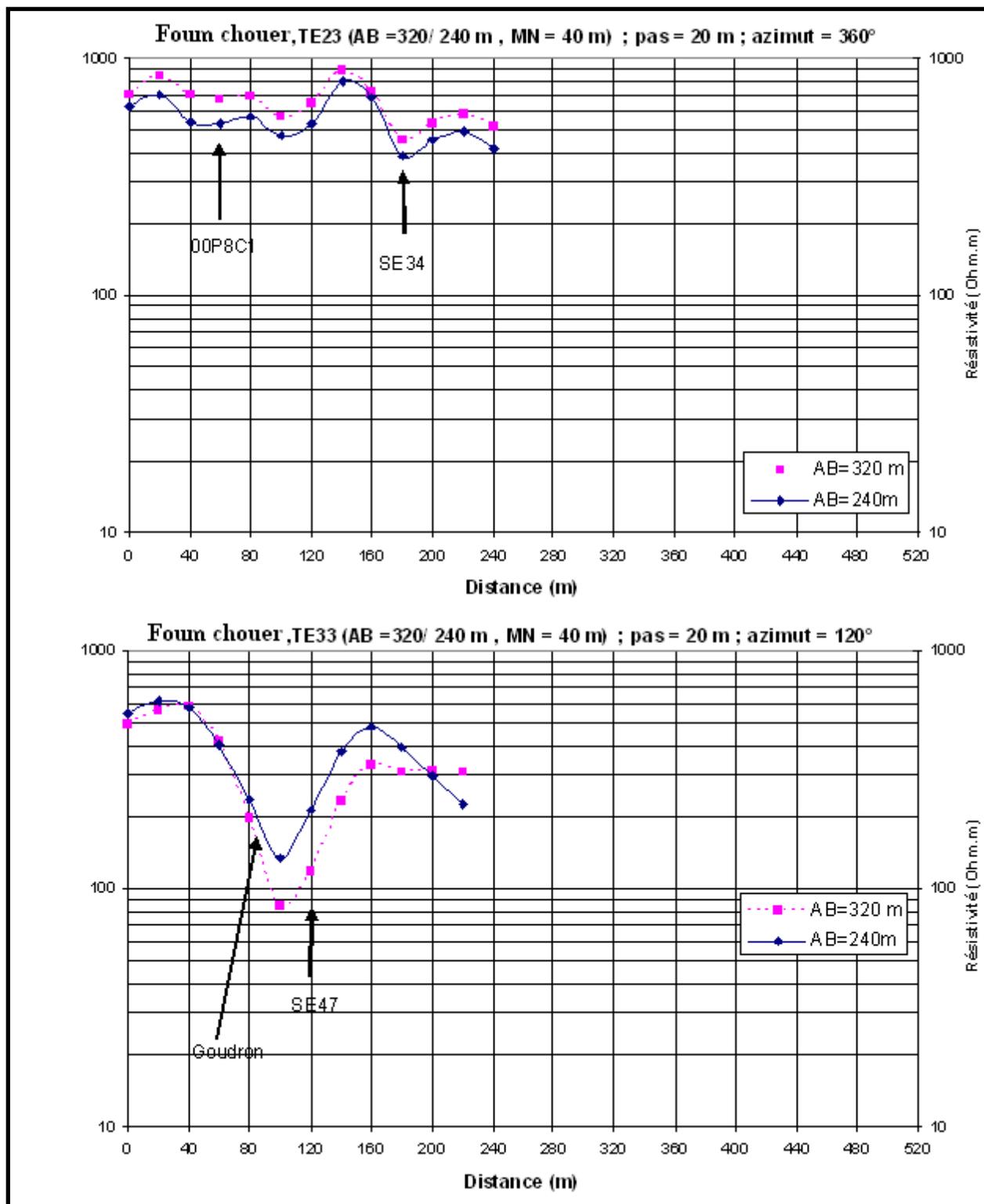


Figure 31a : Traînés électriques sélectionnés dans le secteur Fourn Chouer

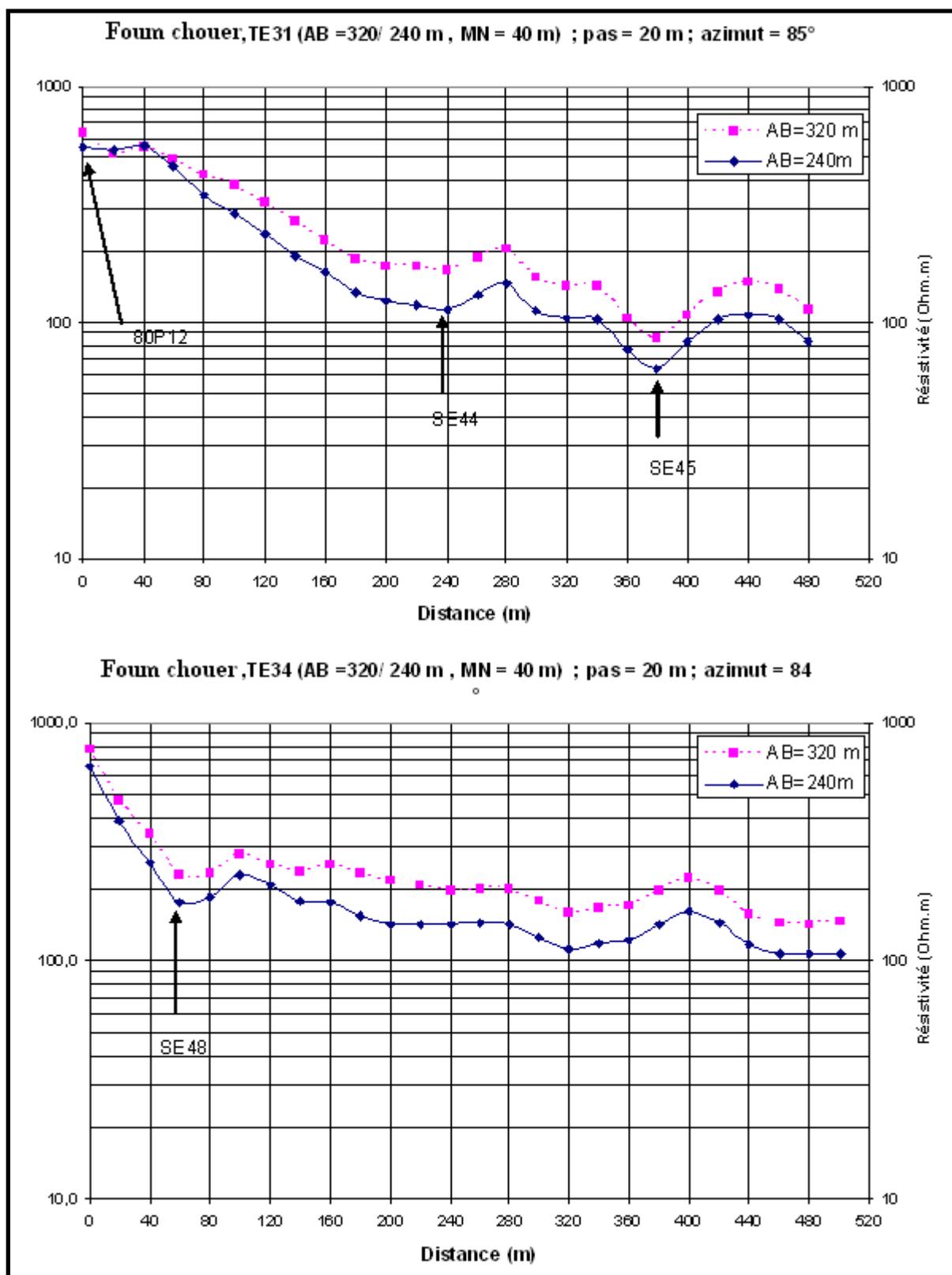


Figure 31b : Traînés électriques sélectionnés dans le secteur Fourn Chouer

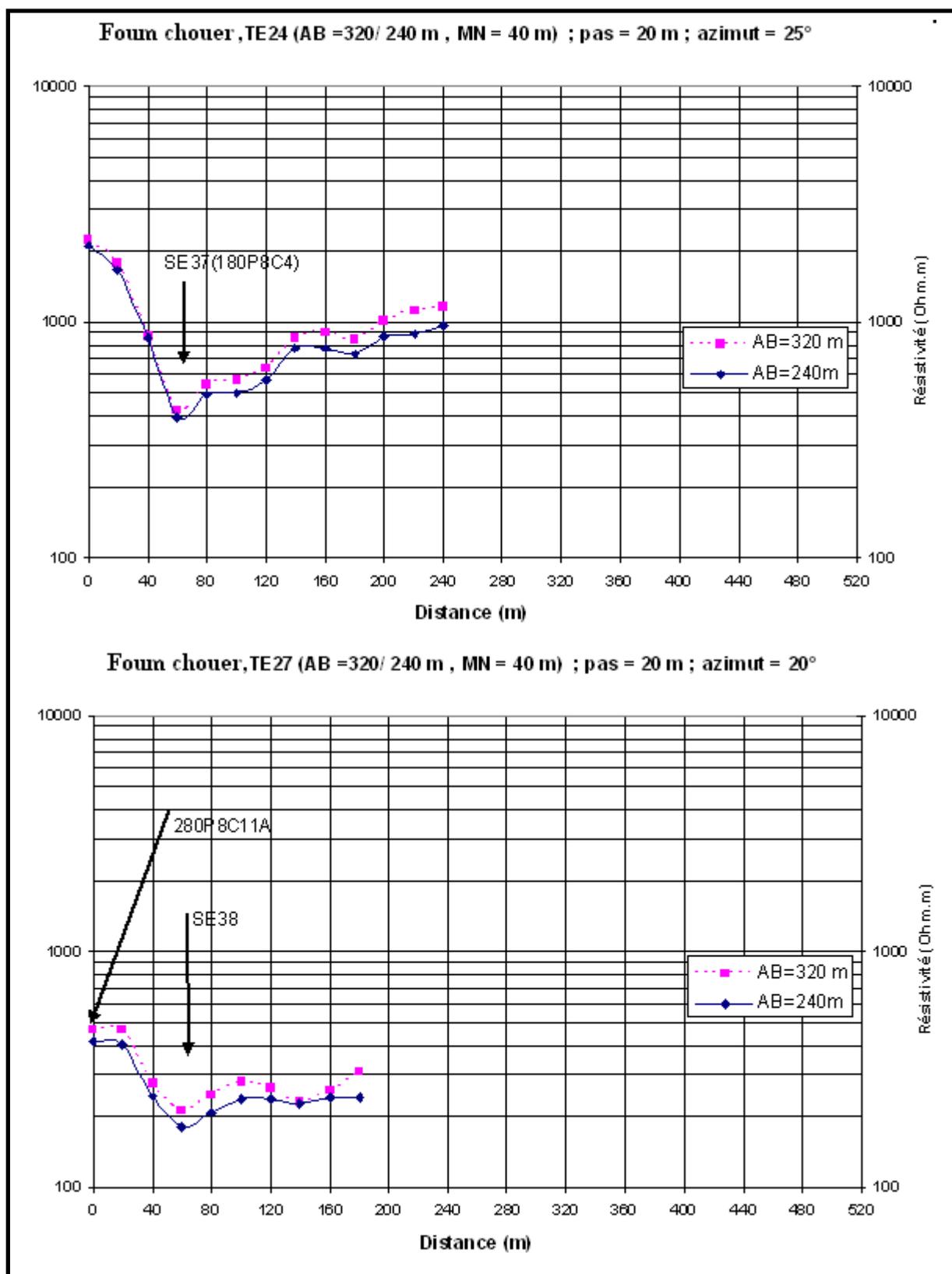


Figure 31c : Traînés électriques sélectionnés dans le secteur Fourn Chouer

Pour les TE 23, les courbes montrent l'existence de beaucoup d'anomalies dont la plus importante se trouve entre 160 et 200 m. Cette anomalie a été confirmée par le sondage électrique SE 34.

La courbe du TE34 est perturbée. Elle montre une anomalie à 60 m et cette anomalie a été confirmée par le sondage électrique SE 48.

L'interprétation de l'ensemble des courbes de sondages électriques d'étalonnages réalisés dans le cadre de la campagne des sondages électriques dans la zone d'étude, montre que :

- il est impossible de trouver de l'eau dans la majorité de ces sondages ;
- les profils qui montrent la possibilité de trouver de l'eau n'indiquent pas l'existence d'une quantité importante ou de bonne qualité (eau salée).

Les anomalies conductrices les plus marquées sur les profils ont été testées par des sondages électriques de longueur  $AB/2=100$  m.

Les résultats représentés sur graphes bi logarithmiques donnent les courbes de sondages électriques. La majorité des sondages électriques réalisés montre que le secteur de Foum Chouer est une zone fracturée. On peut diviser ces courbes en trois parties selon la résistivité du terrain (Fig. 32) :

- des terrains conducteurs : ces terrains diminuent la possibilité de l'existence de fracturation et donc de trouver de l'eau. Ces types de terrains sont rares dans le secteur de Foum Chouer ;

- des terrains résistants : ces terrains sont fracturés, mais la qualité de l'eau est mauvaise à cause des éléments minéraux ;

- des terrains moyens : ces terrains présentent une fracturation importante et une eau généralement de bonne qualité mais pas en quantité suffisante.

La superposition de plusieurs sondages électriques réalisés dans le secteur de Foum Chouer donne une allure plus ou moins hétérogène (Fig. 33).

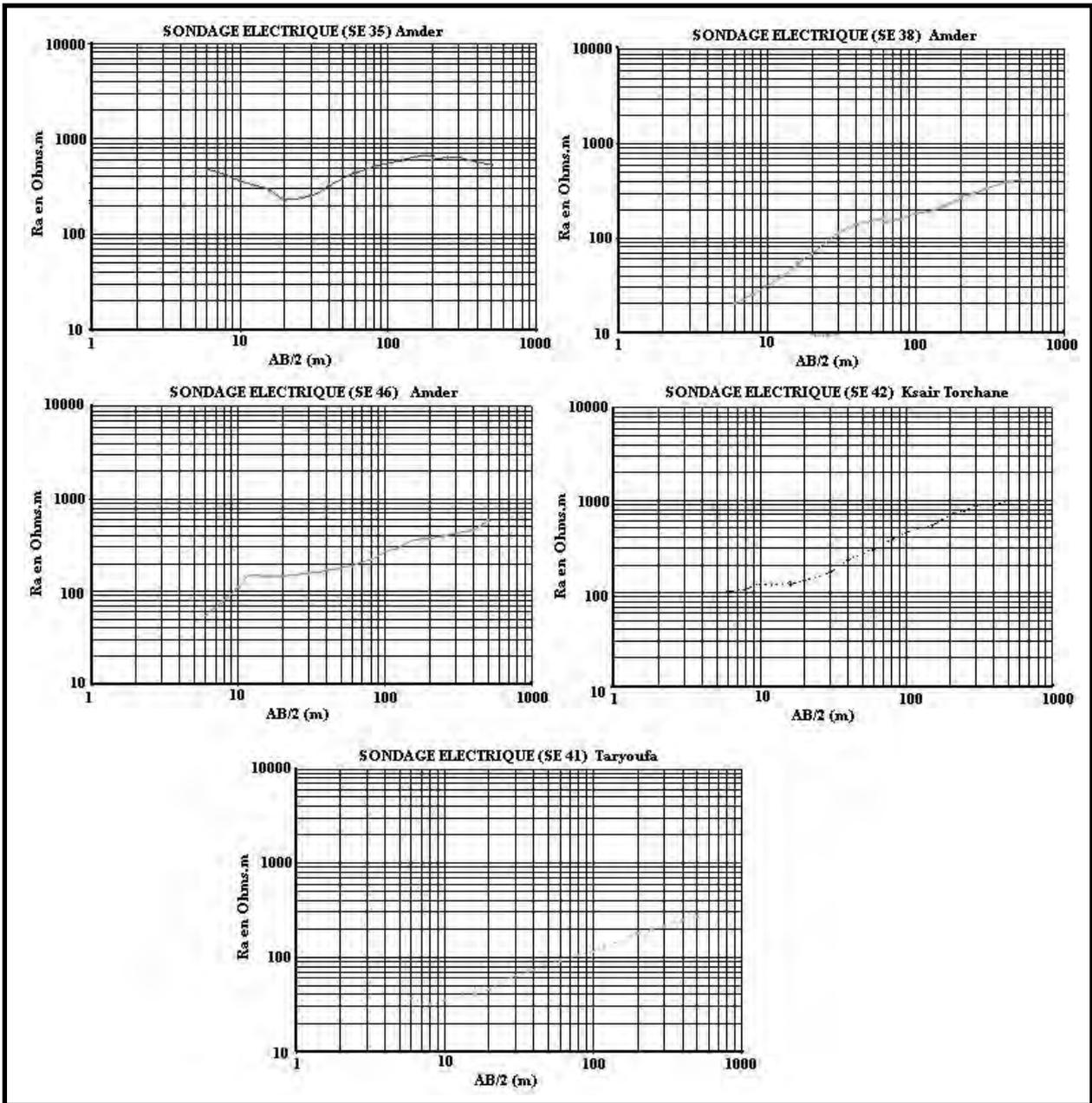


Figure 32 : Courbes des sondages électriques sélectionnés dans le secteur de Foum Chouer

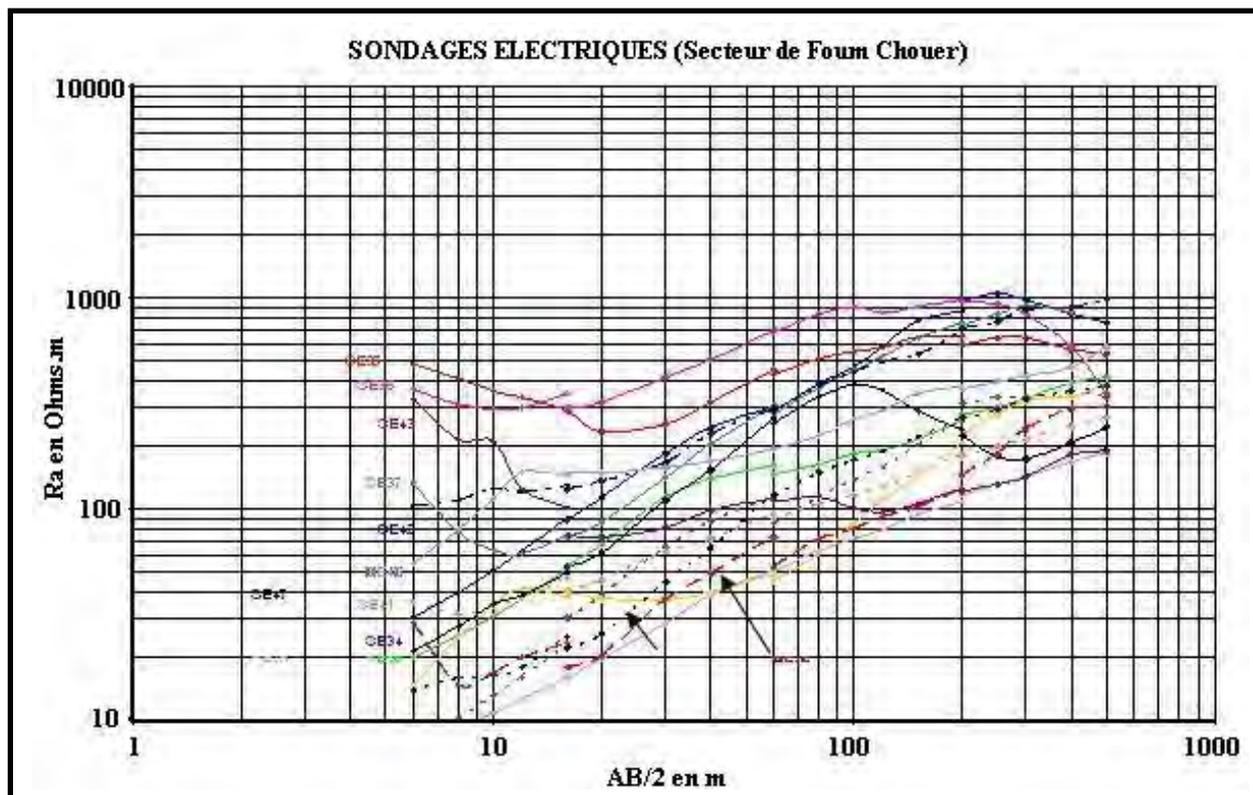


Figure 33 : Superposition des courbes de sondages électriques dans le secteur de Foug Chouer (HYDRO-CONSEIL, 2008)

### 2.2.2. Secteur d'Agueni nord

De façon générale tous les traînés électriques indiquent la discontinuité du terrain (Fig. 34).

Le TE 5 montre l'existence de deux anomalies très importantes dont la première se trouve à 180 m avec une résistivité apparente de 70 avec  $AB = 320$  m, 75m et 240 m. Cette anomalie avait fait l'objet d'un sondage électrique SE 7. La deuxième anomalie se trouve à 280 m. Cette anomalie a été confirmée par le sondage électrique SE 10 et par le profil électromagnétique P2C2 à 760 m.

Le TE 12 montre l'existence d'une anomalie à 60 m, confirmée par le sondage électrique SE18, et une autre se trouve à 280 m confirmée par le sondage électrique SE 14.

Le TE 17 a été confirmée par le profil électromagnétique P6C1, dont la courbe a montré plusieurs anomalies dont les plus importants sont :

- à 100 m confirmée par le sondage électrique SE 24 ;
- à 260 m confirmée par le sondage électrique SE 25 ;
- à 340 m confirmée par le sondage électrique SE 20.

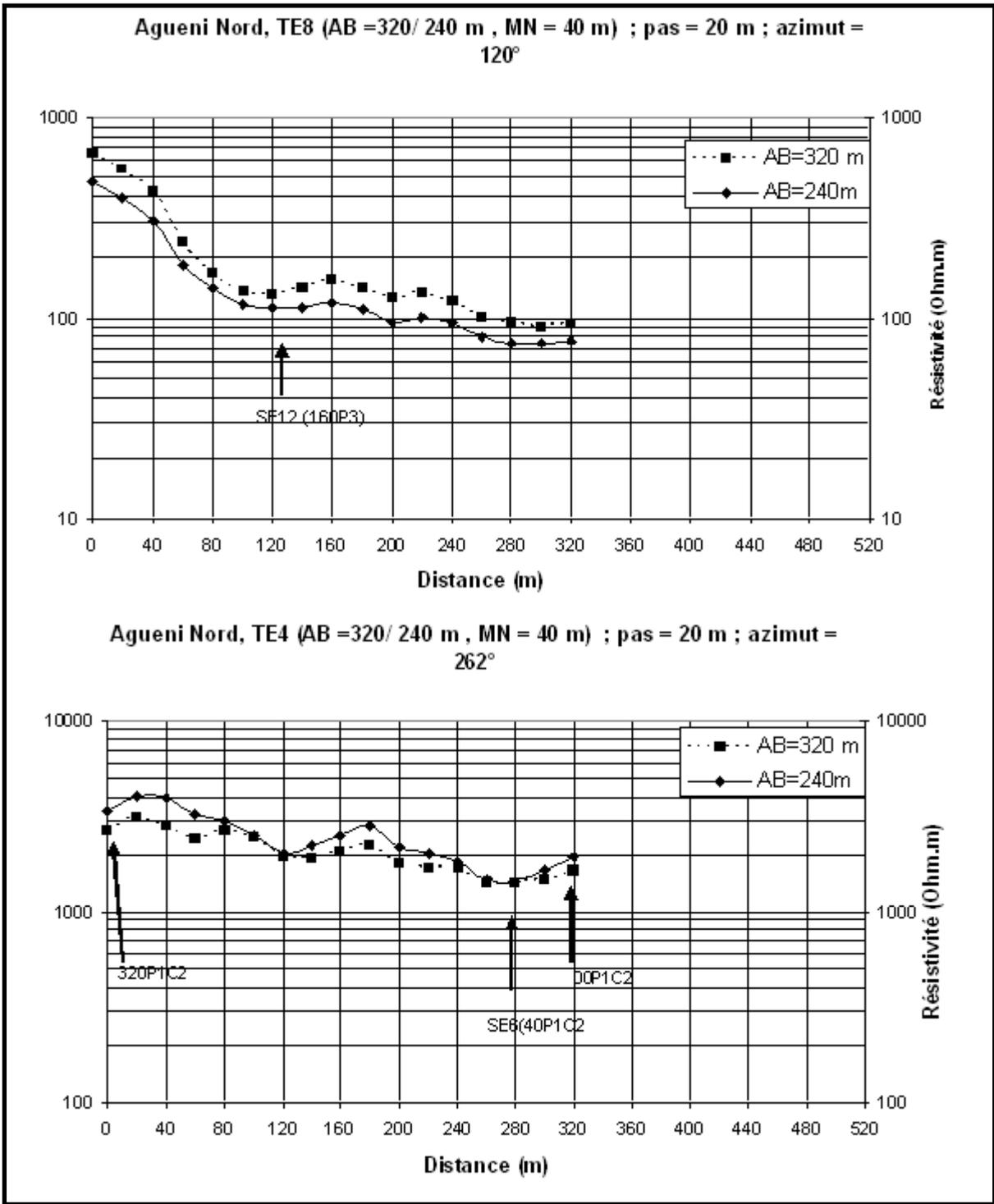


Figure 34a : Traînés électriques sélectionnés dans le secteur d'Agueni nord

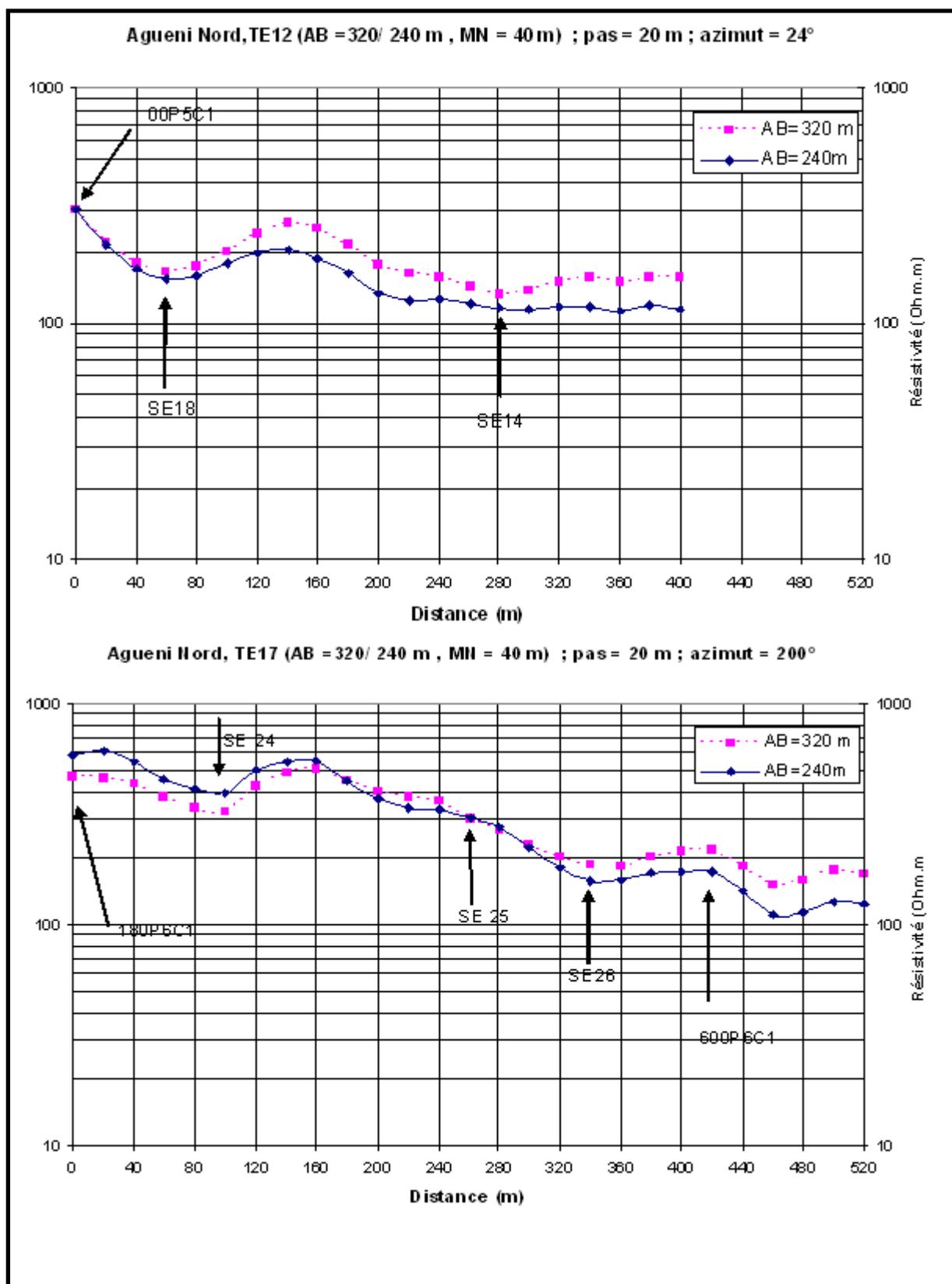


Figure 34b : Traînés électriques sélectionnés dans le secteur d'Agueni nord

Comme à Foug Chouer, dans le secteur d'Agueni nord, on peut aussi diviser les courbes des sondages électriques en trois parties selon le degré de fracturation et la qualité et la quantité d'eau (Fig. 35) :

- des terrains conducteurs : ces terrains diminuent la possibilité de l'existence de fracturation et donc de trouver de l'eau. Ces types de terrains sont rares également dans le secteur d'Agueni nord ;

- des terrains résistants : ces terrains sont fracturés, mais la qualité de l'eau est mauvaise à cause des éléments minéraux ;

- des terrains moyens : ces terrains présentent une fracturation importante et une eau généralement de bonne qualité mais pas en quantité suffisante.

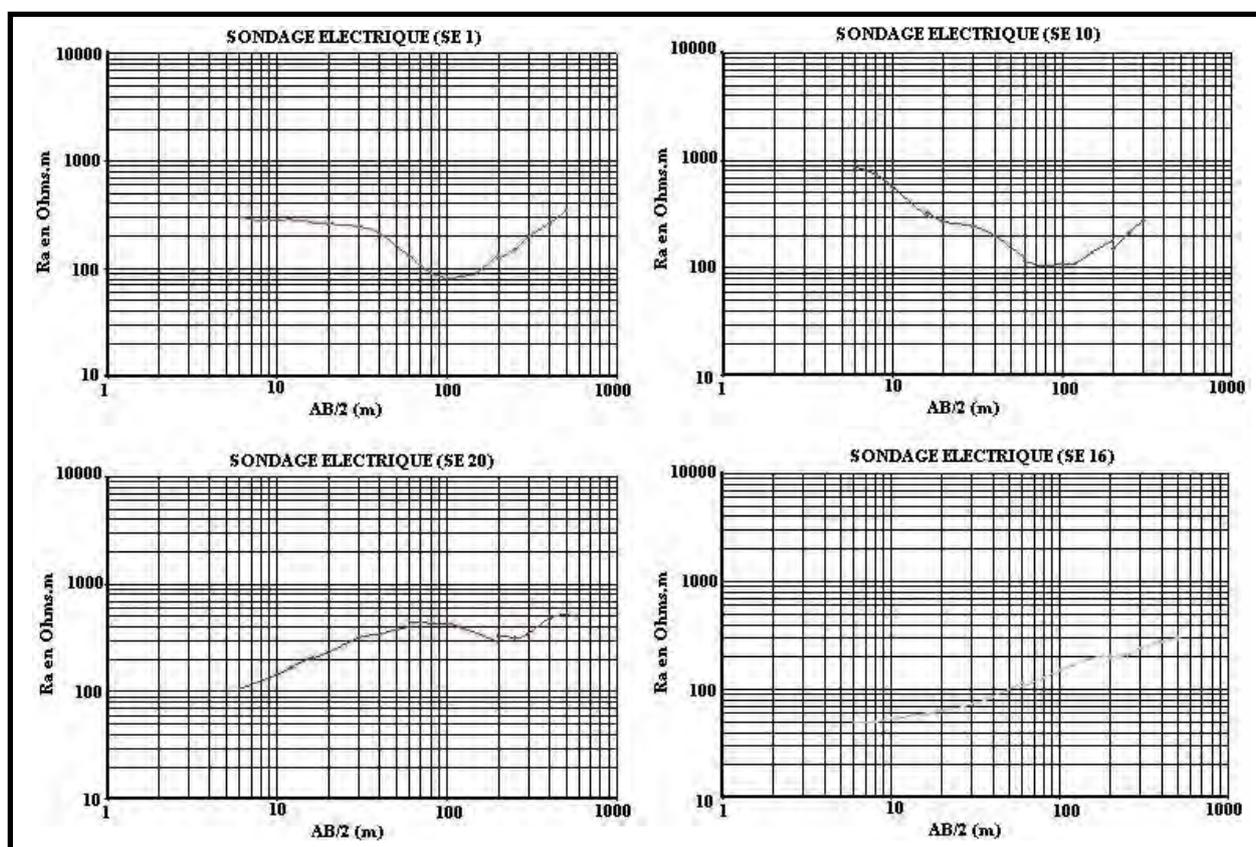


Figure 35 : Courbes des sondages électriques sélectionnés dans le secteur d'Agueni nord

Par contre dans le secteur d'Agueni nord, la superposition de plusieurs sondages électriques donne une allure plus ou moins homogène (Fig. 36).

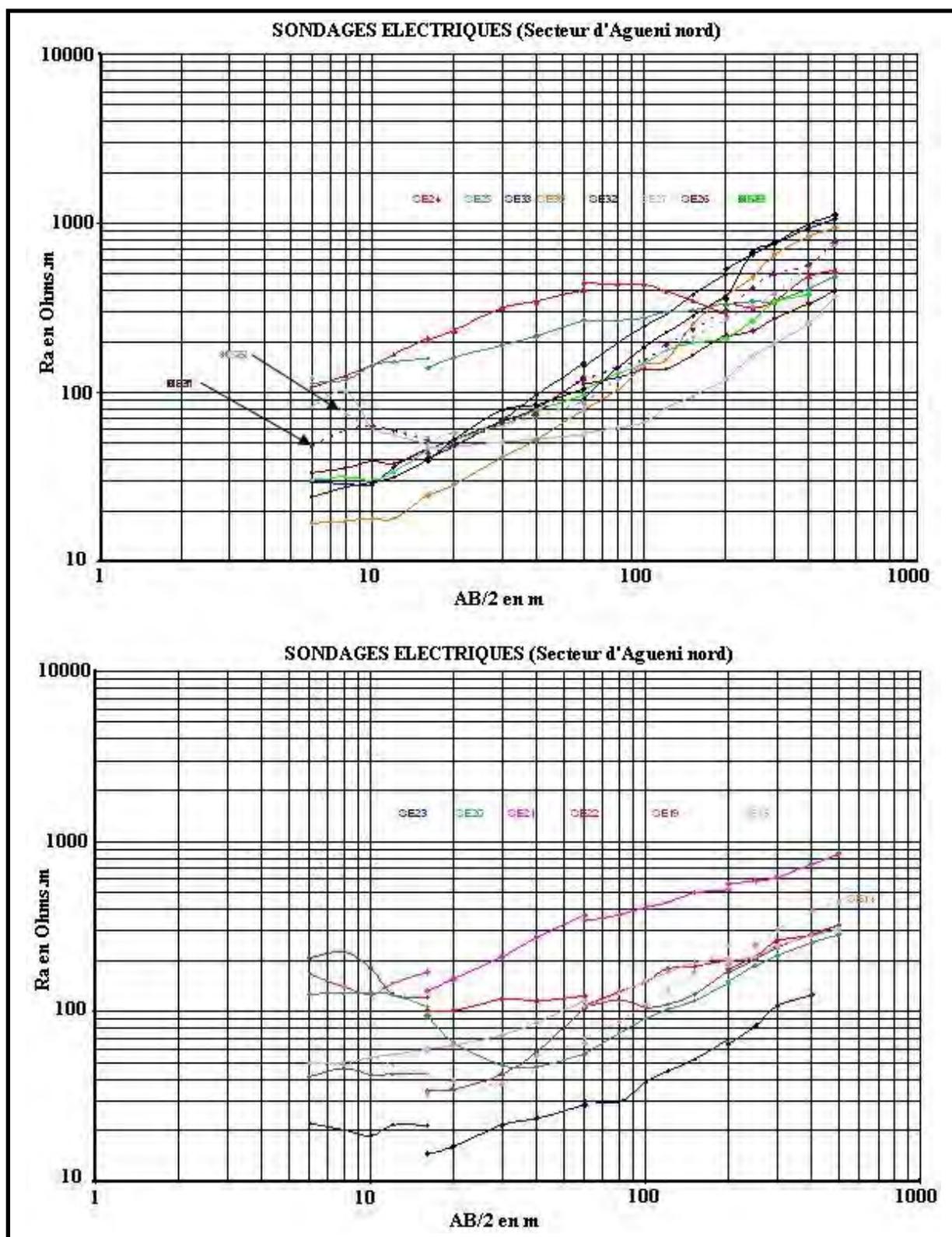


Figure 36: l'ensemble des sondages électriques sélectionnés dans le cadre de la campagne électrique (HYDRO-CONSEIL, 2008)

### **2.3.3. Coupes géo électrique**

Les courbes de sondages électriques tracées à l'aide du logiciel Win-Sev 04 donnent une appréciation des épaisseurs sans pour autant préciser les différents horizons.

La comparaison de ces courbes avec celles des sondages de calage permet de pré définir ces horizons. L'interprétation des courbes de sondages électriques donne les coupes géo-électriques ci-après (Fig. 37 et 38) :

#### **2.2.3.1. Secteur de Foum Chouer**

##### **Sondage électrique (S.E. 35)**

00 à 10 m alluvions

10 à 20m calcaires fracturés

20 à 60m schistes

60 à 150m calcaires sains

Au de la de 150m Schistes

##### **Sondage électrique (S.E. 38)**

00 à 8m Argile sableux

08 à 35m calcaires + argile

35 à 150m schistes fracturés

Au de la de 150m Schistes sains

##### **Sondage électrique (S.E. 46)**

00 à 08m Argile

08 à 80m calcaires fracturés

80 à 160m schistes et calcaires

Au de la de 160m Schistes dur

##### **Sondage électrique (S.E. 42 Ksair Torchane)**

00 à 10 m Sables

10 à 65m calcaire altéré

65 à 115 calcaires fracturés

115 à 158 m Calcaires durs

Au de la de 158 Grés Sains

**Sondage électrique (S.E. 41 Taryoufet)**

00 à 7m argiles

07 à 75 calcaires altérés

75 à 115 calcaires fracturés

115 à 145 calcaires durs

Au de la de 145 Grés.

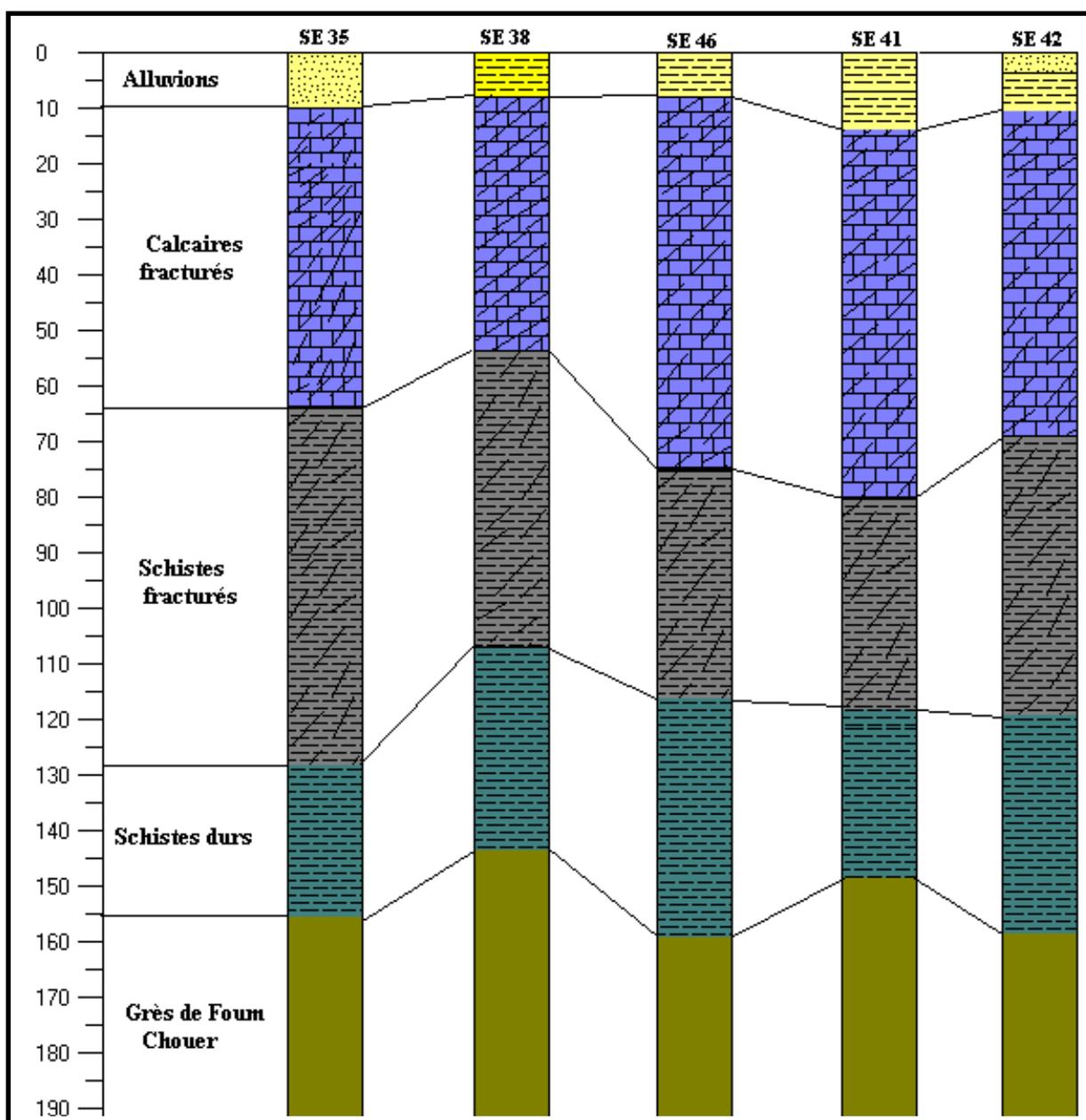


Figure 37 : Coupes géo électriques dans le secteur de Foug Chouer

### **2.2.3.2. Secteur d'Agueni nord**

#### **Sondage électrique de calage SE1**

- de 0 à 18 m, un recouvrement de sables d'une résistivité de 250  $\Omega.m$  ;
- de 18 à 35 m, on a une formation schisteuse de résistivité 200  $\Omega.m$  ;
- de 35 à 115 m, une résistivité de 80  $\Omega.m$  comparable à celle des pélites ;
- au-delà de 115 m, on a des grès fracturés à passages pélitiques de résistivité 150  $\Omega.m$ .

#### **Sondage électrique SE 10**

- de 0 à 15 m, un horizon sableux de résistivité d'environ 300  $\Omega.m$  ;
- de 15 à 44 m, une formation schisteuse de résistivité 200  $\Omega.m$  ;
- de 44 à 105 m, une formation des pélites de résistivité 100  $\Omega.m$  ;
- au-delà de 105 m, grès fracturés à passages pélitiques de résistivité 150  $\Omega.m$ .

#### **Sondage électrique SE 20**

- de 0 à 20 m, un recouvrement sableux avec des passages rocheux de résistivité de 300  $\Omega.m$  ;
- de 20 à 55 m, une formation constituée de schistes d'une résistivité d'environ 400  $\Omega.m$  ;
- de 55 à 185 m, un horizon gréseux fracturé d'une résistivité d'environ 300  $\Omega.m$  ;
- au-delà de 185 m, grès sains avec des horizons résistants de 500  $\Omega.m$ .

#### **Sondage électrique SE16**

- de 0 à 15 m, une couche de sables argileux de résistivité d'environ 50  $\Omega.m$  ;
- de 15 à 55 m, une couche de schistes avec de pélites de résistivité de 100  $\Omega.m$  ;
- de 55 à 140 m, des schistes de résistivité d'environ 200  $\Omega.m$  ;
- au-delà de 140 m, des grès avec des horizons schisteux de résistivité de 300  $\Omega.m$ .

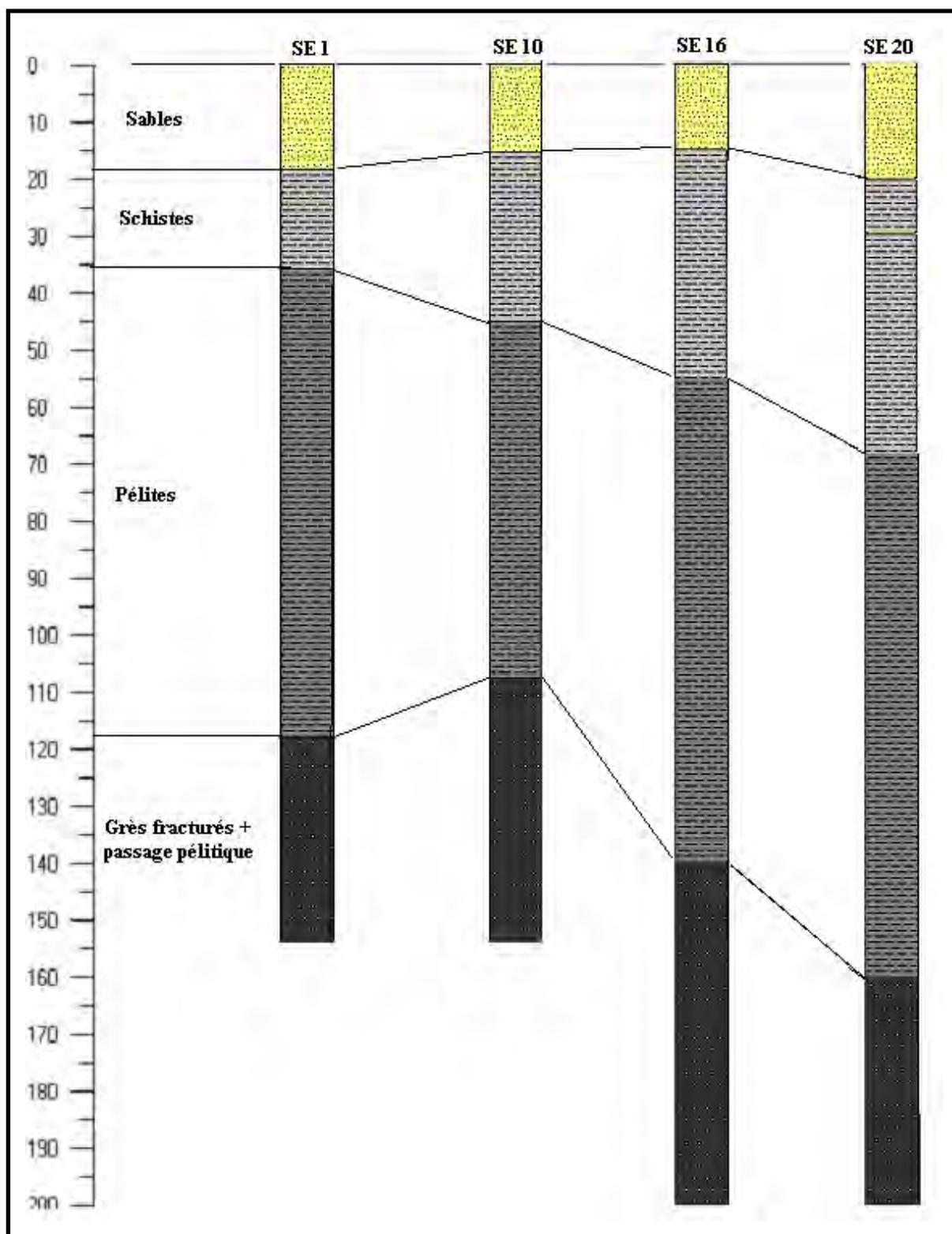


Figure 38 : Coupes géo électriques dans le secteur d'Agueni nord

### 3. IMPLANTATIONS DES OUVRAGES HYDRAULIQUES

Le choix des implantations s'opère après analyse des anomalies reconnues sur les profils. Il a été constaté qu'une anomalie bien marquée dans un même contexte géologique ne soit pas productrice tandis qu'une autre moins marquée soit productrice. D'où l'intervention de certains critères qui permettent de faciliter la tâche de la géophysique dans l'implantation des forages.

- **Critères géologiques** : l'élément fondamental est la position du site par rapport à une zone de recharge :

- présence d'oued important ;
- présence de barrage ou digue de retenue d'eau ;
- présence d'une zone de fracturation.

- **Critères géophysiques** : les études antérieures dans différentes régions de l'Afrique se sont orientées vers les formes d'anomalies répertoriées et classées dans plusieurs catégories : (U-W-V-L-K-H-M).

Les statistiques donnent suivant les régions des taux de succès par type d'anomalies. Toute anomalie est prospective quelle que soit sa forme et son amplitude.

Le choix se base essentiellement sur l'allure de l'anomalie (forme et contraste) sur le profil et l'interprétation de la courbe de sondage électrique.

L'ordre de priorité des implantations dépend des coupes géo électriques interprétatives des courbes de sondages électriques au droit des anomalies. Par exemple, une anomalie avec une épaisseur de fracturation très importante, est prioritaire à une autre avec une épaisseur moindre. Après l'interprétation des différents sondages électriques 49 points ont été choisis pour être transformés en forages hydrauliques. Pour la première phase de cette études, tous les forages sont des piézomètres qui permettront dans la venir de suivre les fluctuations des niveaux piézométriques des nappes. Cependant, la seconde phrase mettra en place les forages d'injection pour la recharge des nappes.

La figure 39 résume le plan de positionnement des forages d'injection et des piézomètres d'observations à partir des résultats des campagnes géophysiques réalisées dans la zone d'étude.

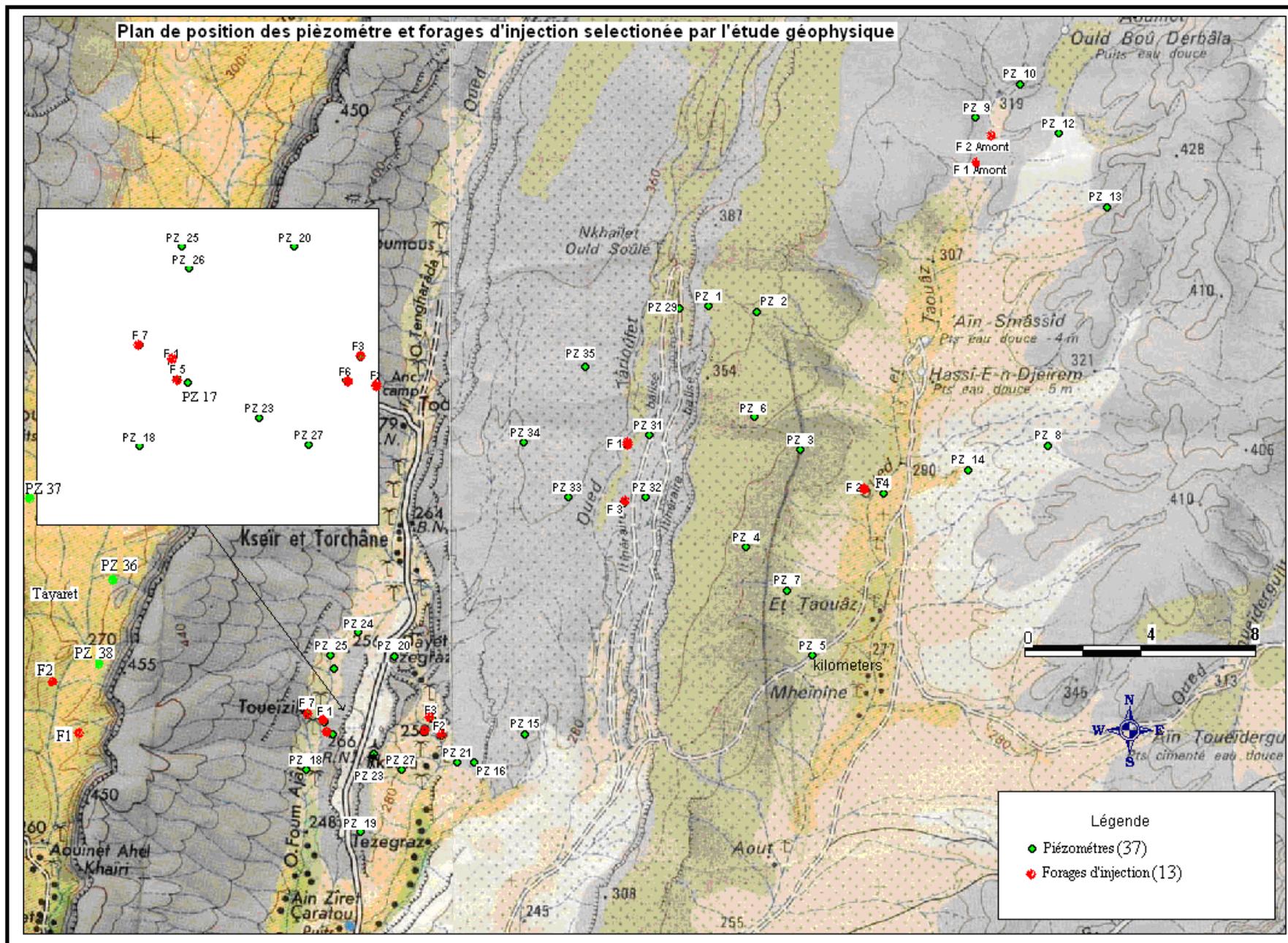


Figure 39 : Plans de localisation des ouvrages hydrauliques d'injection (Piézomètres et forages)

### 3.1. Secteur de Foug Chouer

Les caractéristiques des points retenus pour la réalisation des forages d'injection et des piézomètres d'observation dans le secteur de Foug Chouer sont résumées dans le tableau 1.

Tableau 1 : Implantations des forages d'injection et des piézomètres à Foug Chouer

Localités	Ouvrages hydrauliques	Altitudes (m)	Sondages électriques	Coordonnées GPS	
				Longitudes	Latitudes
Foug Chouer	F1	248	35	13°08'32"	20° 41' 46"
	F2	250	43	13°06'28"	20° 32' 39"
	F3	252	44	13°06'14"	20° 32' 55"
	F4	249	45	13°07'09"	20° 33' 28"
	F5	250	2	13°08'36"	20° 41' 54"
	F6	251	6	13°08'37"	20° 43' 39"
	F7	248	37	13°06'53"	20° 37' 28"
	PZ 15	285	10	13°07'42"	20° 42' 31"
	PZ 16	268	22	13°06'56"	20° 32' 46"
	PZ 17	266	46	13°06'54"	20° 35' 52"
	PZ 18	266	16	13°08'28"	20° 33' 53"
	PZ 19	264	5	13°07'12"	20° 41' 02"
	PZ 20	265	8	13° 08' 20"	20° 43' 41"
	PZ 21	267	30	13° 08' 17"	20° 28' 31"
	PZ 22	254	7	13° 07' 26"	20° 42' 56"
	PZ 23	255	42	13° 06' 44"	20° 35' 28"
	PZ 24	267	26	13° 06' 41"	20° 33' 51"
	PZ 25	269	18	13° 08' 46"	20° 37' 23"
	PZ 26	269	45	13° 07' 09"	20° 33' 28"
PZ 27	255	41	13° 06' 30"	20° 35' 25"	

### 3.2. Secteur d'Agueni nord

Les caractéristiques des points retenus pour la réalisation des forages d'injection et des piézomètres d'observation dans le secteur d'Agueni nord sont résumées dans le tableau 2.

Tableau 2 : Implantations des forages d'injection et des piézomètres à Agueni nord

Localités	Ouvrages hydrauliques	Altitudes (m)	Sondages électriques	Coordonnées GPS	
				Longitudes	Latitudes
Agueni nord	F1	270	10	13°06'13.9"	20°31'05.5"
	F2	267	12	13°07'05.3"	20°30'46.4"
	PZ 36	268	20	13°06'56.1"	20°28'17.7"
	PZ37	264	9	13°08'02.2"	20°31'14.4"
	PZ 38	270	5	13°07'52.5"	20°34'02.2"

#### 4. Techniques de recharge sélectionnées

Après la réalisation des ouvrages d'injection et des ouvrages d'observation (la première phase du projet), la deuxième qui consisterait à la réalisation de quelques ouvrages production d'eau potable et pour la petite irrigation doit prendre en ligne de compte la nature des ouvrages qui doivent être construits dépend de la technique utilisée.

Toutes les expériences de recharge des nappes menées en milieu aride ont demandé que la recharge des nappes ne peut se faire qu'à partir d'une eau nul en matière en suspension (MES).

Après l'étude des différentes techniques réalisées pour la recharge de la nappe, les travaux réalisés par le projet devrait donc associer les ouvrages suivants :

- des seuils dans le lit des oueds, ces seuils permettent de ralentir la vitesse d'écoulement d'eau au moment de crues, il permette aussi de créer une retenue d'eau qui permet d'augmenter le volume d'eau injecter, en effet, à l'absence des bassins de retenue d'eau la nappe ne sera alimenté que les jours des crues des oueds. Cette retenue d'eau permette d'allonger significativement la durée de fonctionnement du système après chaque crue, et le volume d'eau qui sera injecté ;

- un système de filtration des eaux de la retenue, il s'agit de la construction des bassins de décantation pour l'élimination des matières en suspension (MES). Cette méthode n'est la plus efficace dans le cas d'une zone aride et rurale (température élevée, évaporation important, nécessité d'un entretien régulier est coûteux....) il est doc choisi de filtrer les eaux de la retenue ;

- des ouvrages d'injection, ces ouvrages pourront être de toute nature, mais le projet a choisi seulement la réalisation des puits et forages, le type d'ouvrage nécessaire qui doit être sélectionné dépend du contexte hydrogéologique du site. La préférence sera donnée à l'injection

dans les formations les plus perméables, de manière à maximiser le volume d'eau injecté lors de chaque crue,

- des canaux et des conduites de liaisons entre ces différents ouvrages.
- des réseaux piézométriques de contrôle du fonctionnement efficace des ouvrages.

NB : D'autres méthodes existent (barrages enterrés, et barrages hydrauliques) mais leur efficacité est très douteuse, nous avons donc délibérément choisi de ne pas les citer.

## **5. CONCLUSION**

L'interprétation des résultats des campagnes géophysiques réalisée dans la zone d'étude :

- réalisation des profils électromagnétiques
- réalisation des traînés électriques
- réalisation des sondages électriques

Ces étapes étaient nécessaires pour la schématisation du réseau de fracturations.

Les anomalies qu'ont été détecté par la méthode Electromagnétique sont confirmées par la méthode Electrique.

La campagne des Sondage Electrique nous donne une idée sur les épaisseurs des couches lithologiques et une idée sur le pourcentage de la possibilité de l'existence de l'eau.

Les campagnes détectent les fractures qu'ont été visé sur les photos satellites et les photos aériennes.

D'autres anomalies on été détectées, mais elles ne sont pas visées sur les photos utilisées ; la figure 29 précise comme il faut le réseau de fracturation, la direction des chaque fracturation et les inters sections entre ces fracturations.

# **CONCLUSION GENERALE**

## CONCLUSION GENERALE

La zone d'Adrar en Mauritanie est une zone désertique, la manque de couverture végétal, des précipitations importantes, le degré de température est élevé le jour elle atteint par fois 48 °C, l'évaporation est important elle dépasse par fois 4000mm.an<sup>-1</sup>. L'objectif de cette étude est la recharge artificielle de la nappe qui alimente les différents palmiers de l'Adrar qui ces dernières années a connu une baisse considérable de la piézométrie. Elle permet de tracer le réseau de fracturations de la zone d'étude afin de résoudre le problème de la recharge de la nappe.

La zone est une zone rocheuse, et les aquifères demandés se trouvent dans les fracturations, c'est-à-dire que la recharge sera seulement au niveau de ces fracturations, la nature géologique et la topographie du terrain limite la recharge, la minéralisation sera élevée et la quantité d'eau sera limitée.

Dans cette zone il est difficile de trouver une eau de qualité et de quantité et l'accès à ces point d'eau est difficile, ce qui oblige la nécessité d'une gestion durable qui vise la venir et pose tout les probabilités possible et propose les solutions de ces problème avant de nous attaquer comme la baisse du niveau de la nappe de la zone.

La localisation des fractures majeures reconnues sur les photos géologiques s'est faite en deux étapes : une reconnaissance sur le terrain de ces fractures sur le terrain suivie d'un profilage électromagnétique pour obtenir un meilleur positionnement.

L'interprétation des courbes de sondages électriques exécutés au droit des anomalies, a permis de décrire les coupes géo-électriques. L'analyse de ces coupes est un facteur très déterminant dans le choix des sites retenus pour l'exécution des forages. C'est ainsi que 49 ouvrages hydrauliques (forages d'injection et piézomètres d'observation), ont été implantés dans la zone d'étude.

L'étude a également proposé la réalisation des seuils qui ont pour rôle de ralentir la vitesse d'écoulement d'eau en cas des crues. Ils peuvent aussi stocker une quantité d'eau importante augmentant la possibilité de l'infiltration d'eau vers la nappe.

Ainsi pour résoudre à long terme le problème de la baisse du niveau de la nappe, il faudrait éviter la surexploitation de la nappe quelque soit pour l'approvisionnement en eau potable de la ville d'Atar que pour l'irrigation des jardins. Cependant, il faudrait financer d'autres projets pour l'approvisionnement en eau potable de la ville d'Atar et pour la petite irrigation des palmiers d'Atar.

# **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

**BERTRAND-SARFATI J. et MOUSSINE-POUCHKINE A. (1998)** - Mauritanian microbial buildups, meso-neoproterozoic stromatolites and their environment - Field trip Nov. 28 to Dec. 5, 1998 - Guidebook - *IGCP Project 380*, Université de Montpellier II, Faculté des sciences et techniques de l'Université de Nouakchott, p 51-63.

**BCEOM et MCG (2007)** - Mission d'assistance technique au projet d'aménagement rural dans les Oasis de l'Adrar, *Rapport d'études techniques dans la zone d'intervention du projet-Adrar de Mauritanie*. pp80.

**B.R.G.M. (1966)** - Notice explicative de la carte hydrogéologique d'Atar au 1/200 000 ; *Rapp. B.R.G.M.* 1966. 125 pp.

**CARITE, D. (1989)** – Géologie en Mauritanie. *Edition EDISUD, Paris*, 1989. 284 p.

**CARUBA, R ET DARS, D. (1991)** – Géologie de la Mauritanie. *Edition C.R.D.P., Nice*, 1991. 321 p.

**CASENAVE A., VALENTIN C. (1989)** – Les états de surface de la zone sahélienne. Influence sur l'infiltration. *Edition. ORSTOM*, 229 p.

**Diallo M. 1994** – utilisation du EM 34 (Appareil électromagnétique) dans la prospection géophysique appliquée à l'hydrogéologie. Exemple en Mauritanie (un colloque international Eau et Assainissement), DHA, 307p.

**DONNAT J.-J. (1985)** - Etude des eaux souterraines de l'Adrar - *Rapport pour le compte de la Direction de l'hydraulique, République Islamique de Mauritanie*, pp76.

**DONNAT J.-J. (1985)** - Recherches hydrogéologiques en vue de l'alimentation en eau de la ville d'Atar - Reconnaissances effectuées depuis 1981 - *Rapport final* - Rapport pour le compte de la Direction de l'hydraulique, République Islamique de Mauritanie, 32p.

**GAY N.C., ORTLEPP W.D. (1979)** - Anatomy of a mining-induced fault zone. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 90, p. 47-58.

**GEO-CONSULT (2001)** – AEP de la ville d'Atar. Rapport de fin d'études hydrogéologiques et géophysiques d'implantation de 6 Forages dont 3 d'exploitation. *Rapp. GEO-CONSULT*, 2001. 12 p.

**GOUZES R. (1992)** - Recherche de ressources en eau par sondage profond pour l'approvisionnement de la ville d'Atar (République Islamique de Mauritanie. - Rapport de synthèse, programme des travaux - *Rapport BRGM R 34529 EAU 4S 92*, Ambassade de France en République Islamique de Mauritanie. , Mission de coopération et d'action culturelle, pp 342.

**MAMOU A. (1991)** - Ressources en eau des nappes alluviales de l'Adrar - *Rapport* pour le compte de la Direction de l'hydraulique, République Islamique de Mauritanie, 45p.

**MAYER DE STADELHOFEU C. (1991)** – Application de la géophysique aux recherches d'eau. Ediction Lavoisier TEC et DOC, 183p.

**MOUSSU H. et TROMPETTE R. (1966a)** - Notice explicative de la carte hydrogéologique au 1/200.000, Atar - *BRGM* pour le compte de la direction des services techniques du Ministère de la construction, des travaux publics et des transports, République Islamique de Mauritanie, pp 132.

**MOUSSU H. et TROMPETTE R. (1966b)** - Notice explicative de la carte hydrogéologique au Synthèse géologique et hydrogéologique provisoire du secteur d'Atar, pp 92.

**OULD JIDDOU E. (1994)** – Les ressources en eau de la Mauritanie, (un colloque international "Eau et Environnement"). Edit. DHA, 307p.

**PHY/ANTEA, (2003)** – Etude hydrogéologique et géophysique en vue de l'alimentation en eau potable de la ville d'Atar et des communes environnantes. *Rapp. PHY/ANTEA*, 2003. 27 p.

**SPOT IMAGE, (2000)** - Projet 7 A CPMAU077. Analyse sur le terrain des résultats de l'interprétation des Scènes spot sur la plaine de l'Amsaga; *Rapp. SPOT IMAGE*, 2000. 33 p.

**TROMPETTE, R. (1966)** – les grandes lignes de l'hydrogéologie de la série dite infracambrienne en Adrar de Mauritanie. *Mém Doct. 3em cycle hydrogéologie.*, Paris, 1966. doc. ined., 77p.

**TROMPETTE, R. (1975)** – les grandes lignes de l'hydrogéologie de la série dite infracambrienne en Adrar de Mauritanie. *Mém Doct. 3em cycle hydrogéologie.*, Paris, 1966. Doc. Ined, 77 p.

**WALLACE R.E., MORRIS, H.T. (1986)** - Characteristics of faults and shear zones in deep mines. *Pure and Applied Geophysics*, v. 124, p 107-126.

## Table des matières

<b>INTRODUCTION GENERALE .....</b>	<b>1</b>
<b>Première partie : SYNTHESE DES CONNAISSANCES ANTERIEURES DANS LA REGION D'ADRAR</b>	
<b>1. CADRE GEOGRAPHIQUE .....</b>	<b>3</b>
<b>1.1. Situation géographique de la zone d'étude .....</b>	<b>3</b>
<b>1.2. Réseau hydrographique .....</b>	<b>4</b>
<b>1.3. Contexte climatologique .....</b>	<b>5</b>
<b>1.3.1. Température .....</b>	<b>6</b>
<b>1.3.2. Evaporation .....</b>	<b>6</b>
<b>1.3.3. Humidité relative .....</b>	<b>7</b>
<b>1.3.4. Insolation .....</b>	<b>8</b>
<b>1.3.5. Vents .....</b>	<b>9</b>
<b>1.3.6. Pluviométrie .....</b>	<b>9</b>
<b>2. GEOLOGIE ET HYDROGEOLOGIE .....</b>	<b>11</b>
<b>2.1. Géologie .....</b>	<b>11</b>
<b>2.1.1. Contexte géologique de la Mauritanie .....</b>	<b>11</b>
<b>2.1.2. Place de la zone d'étude dans le bassin de Taoudenni .....</b>	<b>13</b>
<b>2.1.3. Géologie de l'Adrar de la Mauritanie .....</b>	<b>13</b>
<b>2.1.3.1. Le socle .....</b>	<b>14</b>
<b>2.1.3.2. La série infracambrienne (Précambrien) .....</b>	<b>14</b>
<b>2.1.3.3. La série cambro-ordovicienne .....</b>	<b>15</b>
<b>2.1.3.4. Les formations superficielles .....</b>	<b>17</b>
<b>2.1.3.5. Tectonique de la région d'étude.....</b>	<b>18</b>
<b>2.2. Hydrogéologie 21</b>	
<b>2.2.1. Contexte hydrogéologique de la Mauritanie .....</b>	<b>21</b>
<b>2.2.2. Hydrogéologie de la région d'étude (Adrar de la Mauritanie) .....</b>	<b>21</b>
<b>2.2.2.1. Aquifère des grès d'Agueni .....</b>	<b>23</b>
<b>2.2.2.2. Aquifère des grès de Foug Chouer .....</b>	<b>27</b>

2.2.2.3. Aquifère des calcaires d'Atar .....	28
2.2.2.4. Aquifères des alluvions .....	30
2.2.2.5. Piézométrie et recharge .....	31
2.2.2.6. Fonctionnement du système aquifère de l'Adrar .....	32
<b>3. CONCLUSION .....</b>	<b>34</b>

**Deuxième partie : ETUDE DES FRACTURATIONS PAR LA GEOPHYSIQUE POUR L'IMPLANTATION DES FORAGES DANS LA REGION D'ADRAR**

<b>1. MATERIELS ET METHODES D'ETUDE .....</b>	<b>40</b>
1.1. La reconnaissance géologique et hydrogéologique sur le terrain .....	40
1.2. Observation de la carte photo géologique .....	40
1.3. Méthodes géophysiques utilisées .....	40
1.3.1. Méthode électrique .....	41
1.3.1.1. Principe .....	41
1.3.1.2. Les sondages électriques .....	41
1.3.1.3. Le traîné électrique (TE) .....	42
1.3.2. Méthode électromagnétique .....	43
1.3.2.1. Principe .....	43
1.3.2.2. Cas du EM 34 .....	44
1.3.2.3. Avantages de la méthode EM34 .....	45
<b>2. RESULTATS ET INTERPRETATIONS .....</b>	<b>46</b>
2.1. Par la méthode électromagnétisme .....	46
2.1.1. Secteur de Foug Chouer .....	47
2.1.2. Secteur d'Agueni nord .....	47
2.2. Par la méthode électrique .....	52
2.2.1. Secteur de Foug Chouer .....	52

<b>2.2.2. Secteur d'Agueni nord</b>	<b>58</b>
<b>2.2.3. Coupes géo électrique</b>	<b>63</b>
<b>2.2.3.1. Secteur de Foug Chouer</b>	<b>63</b>
<b>2.2.3.2. Secteur d'Agueni nord</b>	<b>65</b>
<b>3. IMPLANTATIONS DES OUVRAGES HYDRAULIQUES</b>	<b>67</b>
<b>3.1. Secteur de Foug Chouer</b>	<b>69</b>
<b>3.2. Secteur d'Agueni nord</b>	<b>69</b>
<b>4. Techniques de recharge sélectionnées</b>	<b>70</b>
<b>5. CONCLUSION</b>	<b>71</b>
<b>CONCLUSION GENERALE</b>	<b>73</b>

## Liste de Figures

Figure 1 : Carte de localisation de la zone d'étude

Figure 2 : Réseau Hydrographique de la zone d'étude.

Figure 3 : Moyennes mensuelles des températures à la station d'Atar (1960-2007).

Figure 4 : Moyennes mensuelles de l'évaporation à la station d'Atar (1960-2007).

Figure 5 : Moyenne mensuelles des humidités relatives à la station d'Atar (1960 - 2007).

Figure 6 : Moyennes mensuelles de l'insolation à la station d'Atar (1960 - 2007).

Figure 7 : Vitesse moyenne mensuelle du vent ( $m.s^{-1}$ ) à la station d'Atar (1960 - 2007).

Figure 8: Pluviométrie moyennes mensuelles à la station d'Atar (1960-2007).

Figure 9 : pluviometrie annuel de 1922 à 2007.

**Figure 10 : Schéma de localisation des grands ensembles géologiques de la Mauritanie (Caruba et Dars, 1991 modifié)**

Figure 11 : Coupe schématique de la série sédimentaire paléozoïque (Bertrand-Sarfati et *al.*,

**Figure 12 : Coupe lithostratigraphique simplifiée d'Atar (B.R.G.M., 1966).**

**Figure 13 : Coupe schématique des alluvions des oueds du *baten* (Mamou, 1991 modifiée).**

**Figure 14 : Interprétation de l'image spot d'Atar (Spot Image, 2000)**

**Figure 15 : Diagramme illustrant différentes géométries de zones faillées.**

Figure 16 : Schéma du comportement hydraulique des zones faillées (Caine et *al.*, 1996).

Figure 17 : Carte hydrogéologique de la Mauritanie (Carité, 1989).

Figure 18 : Carte hydrogéologique d'Atar (B.R.G.M., 1966).

Figure 19: Forage profonds (F2) captant les grès d'Agueni (GEO-CONSULT, 2001).

Figure 20 : Distribution des conductivités dans les grès de Fom Chouer (PHY/ANTEA, 2003).

Figure 21 : Distribution des conductivités dans les calcaires d'Atar (Phy/Antea, 2003).

Figure 22 : variation du niveau statique de la zone d'étude.

Figure 23 : Représentation schématique de quatre aquifères caractérisés par une hétérogénéité Croissante

Figure 24 : Schéma du dispositif Schlumberger

Figure 25 : Appareil SYSCAL pour la Méthode Electrique

Figure 26 : Dispositifs de mesures avec le EM34

Figure 27 : Schéma du dispositif dipôle vertical (boucle horizontale) (MAYER, 1991)

Figure 28 : Dispositif de la méthode Electromagnétique

Figure 29a : Profils électromagnétiques sélectionnés dans le secteur de Foug Chouer

Figure 29b : Profils électromagnétiques sélectionnés dans le secteur de Foug Chouer

Figure 30a : Profils électromagnétiques sélectionnés dans le secteur d'Agueni nord

Figure 30b : Profils électromagnétiques sélectionnés dans le secteur d'Agueni nord

Figure 31a : Traînés électriques sélectionnés dans le secteur Foug Chouer

Figure 31b : Traînés électriques sélectionnés dans le secteur Foug Chouer

Figure 31c : Traînés électriques sélectionnés dans le secteur Foug Chouer

Figure 32 : Courbes des sondages électriques sélectionnés dans le secteur de Foug Chouer

Figure 33 : Superposition des courbes de sondages électriques dans le secteur de Foug Chouer (HYDRO-CONSEIL, 2008)

Figure 34a : Traînés électriques sélectionnés dans le secteur d'Agueni nord

Figure 34b : Traînés électriques sélectionnés dans le secteur d'Agueni nord

Figure 35 : Courbes des sondages électriques sélectionnés dans le secteur d'Agueni nord

Figure 36: l'ensemble des sondages électriques sélectionnés dans le cadre de la campagne électrique (HYDRO-CONSEIL, 2008)

Figure 37 : Coupes géo électriques dans le secteur de Foug Chouer

Figure 38 : Coupes géo électriques dans le secteur d'Agueni nord

Figure 39 : Plans de localisation des ouvrages hydrauliques d'injection (Piézomètres et forages)

**Titre: REALIMENTATION DE LA NAPPE EN MILIEU ARIDE L'ADRAR DE MAURITANIE : CAS DE TEWEIZIKET- TAYARET A ATAR**

**Département :** Géologie

**Nom et Prénom :** MOHAMED LEMINE OULD MOHAMED

**Nature du document :** Mémoire de Diplôme d'Etudes Approfondies (D.E.A)

**Date et lieu de Soutenance :** le 02 Août 2008 à la FST-U.C.A.D. de Dakar

**Composition du jury :**

<b>Cheikh Bécaye GAYE</b>	<b>Professeur</b>	<b>Président</b>	<b>U.C.A.D.</b>
<b>Abdoulaye FAYE</b>	<b>Maitre de Conférences</b>	<b>Rapporteur</b>	<b>U.C.A.D.</b>
<b>Maguette Fary K. NIANG</b>	<b>Maitre Assisten</b>	<b>Examineur</b>	<b>IST</b>
<b>Moustapha DIENE</b>	<b>Maitre de Conférences</b>	<b>Examineur</b>	<b>U.C.A.D.</b>

### **Résumé**

La zone d'étude est une zone désertique à cause de la manque des pluies enregistrées depuis les années 70 jusqu'à nos jours, se qui justifie l'élévation de la température qui dépasse par fois 48°C et l'évaporation annuelle qui dépasse aussi 4000 mm.an<sup>-1</sup>.

L'objet de cette étude est la recharge artificielle de la nappe qui alimente les différents palmiers de l'Adrar qui ces dernières années a connu une baisse considérable du piézométrique. Elle permet de tracer le réseau de fracturations de la zone d'étude afin de résoudre le problème de la recharge de la nappe.

La localisation des fractures majeures reconnues sur les photos géologiques s'est faite en deux étapes : une reconnaissance sur le terrain de ces fractures sur le terrain suivie d'un profilage électromagnétique pour obtenir un meilleur positionnement.

L'interprétation des courbes de sondages électriques exécutés au droit des anomalies, a permis de décrire les coupes géo-électriques. L'analyse de ces coupes est un facteur très déterminant dans le choix des sites retenus pour l'exécution des forages. C'est ainsi que 49 ouvrages hydrauliques (forages d'injection et piézomètres d'observation), ont été implantés dans la zone d'étude.

L'étude a également proposé la réalisation des seuils qui ont pour rôle de ralentir la vitesse d'écoulement d'eau en cas des crues. Ils peuvent aussi stocker une quantité d'eau importante augmentant la possibilité de l'infiltration d'eau vers la nappe.

Mots clés : Atar, Agueni Nord, Foug chouer, failles, géophysique, Electromagnétique, EM34, Sondage Electrique.

# **ANNEXES**

# **ANNEXES 1**

## 1.2. Travaux géophysiques réalisés

Dans cette zone l'aquifère recherché n'est pas profond, il se trouve à une profondeur variant entre 50 et 180 m selon les endroits.

Des forages profonds ont été réalisés dans la zone d'étude mais elles montrent que la conductivité électrique augmente avec la profondeur.

Les travaux réalisés que j'ai assisté avec le bureau d'étude Hydroconseil dans cette campagne sont :

### 1.2.1. Secteur de Foug Chouer

- 6 profils électromagnétiques (longueur totale = 26 715 m) ; les profils ont été réalisés avec un câble long de 40 m et un pas de mesure de 20 m ;
- 25 traînés électriques (longueur totale = 12430 m) ; les traînés ont été réalisés avec une double longueur de ligne AB = 320 et 240 m et un pas de mesure de 20 m ;
- 48 sondages électriques.

Les résultats des travaux de la campagne des prospections géophysiques réalisés sont résumés dans les tableaux 1, 2 et 3 en (Annexes 1) et dans les profils qui suit.

Tableau 1: Profils électromagnétiques réalisés dans le secteur de Foug Chouer

Profil	Coupure	Nom du Profil	AZ en (°)	Coordonnées GPS (Degré, minute, seconde)				Longueur en m
				Début profil		Fin profil		
				Long.	Lat.	Long.	Lat.	
P1	C1	P1C1	25	13° 08' 17"	20° 42' 15"	13° 06' 26"	20° 52' 31"	750
	C2	P1C2	52	13° 14' 63 "	20° 43' 00"	13° 06' 38"	20° 43' 01"	1540
P2	C1	P2C1	75	13° 07' 52"	20°41'52"	13° 07' 17"	20° 40' 42"	1520
	C2	P2C2	92	13° 07' 31"	20° 41' 64"	13° 06' 00"	20° 42' 24"	2185
	C3	P2C3	105	13° 08' 01"	20° 41' 10"	13° 06' 53	20° 41' 31"	730
P3	C3	P3C3	145	13° 08' 03"	20° 38' 52"	13° 06' 42"	20° 36' 17"	2480
P4	C4	P4C4	115	13° 08' 32"	20° 36' 48"	13° 07' 10"	20° 34' 34"	1980
P5	C1	P5C1	35	13° 08' 12"	20° 34' 02"	13° 06' 34"	20° 32' 41"	2190
	C2	P5C2	53	13° 06' 29"	20° 33' 51"	13° 06' 07"	20° 32' 29"	930
	C3	P5C3	98	13° 06' 11"	20° 33' 42"	13° 05' 57"	20° 33' 29 "	750
	C4	P5C4	120	13° 06' 14"	20° 32' 54"	13° 06' 42"	20° 33' 51"	1980
P6	C1	P6C1	213	13° 08' 19"	20° 33' 51"	13° 07' 30"	20° 32' 27"	1920
	C2	P6C2	177	13° 07' 21"	20° 32' 04"	13° 07' 19"	20° 31' 15"	1020
	C3	P6C3	219	13°08'21''	20°41'38''	13° 07' 53"	20° 31' 28"	720
	C4	P6C4	197	13° 06' 23"	20° 33' 26"	13° 07' 58"	20° 29' 34"	930
	C5	P6C5	222	13° 08' 01"	20° 32' 08"	13° 08' 03"	20° 29' 39"	2800
	C6	P6C6	108	13° 08' 52"	20° 29' 14"	13° 08' 05"	20° 28' 43"	460
	C7	P6C7	154	13° 07' 32"	20° 29' 01"	13° 08' 05"	20° 28' 19"	1830
Nombre de profils : 6				Longueur totale (m)				26715

Tableau 2 : Traînés électriques réalisés dans le secteur de Foug Chouer

	Az	Coordonnées GPS (Degré, minute, seconde)				Long. TE en m	Observ.	
N°	TE (°)	Début TE		Fin TE				
TE		Long.	Lat.	Long.	Lat.			
TE1	195	13°07'21"	20°41'21"	13°06'51"	20°41'58"	750		
TE2	204	13°06'55"	20°41'21"	13°06'52"	20°41'56"	340	Sur P1	
TE3	250	13°06'59"	20°41'19"	13°06'48"	20°43'52"	220		
TE4	241	13°08'00"	20°41'57"	13°06'45"	20°41'41"	320		
TE5	75	13°07'02"	20°42'05"	13°07'13"	20°42'58"	860		
TE6	60	13°07'35"	20°42'16"	13°06'53"	20°42'02"	180	Sur P2	
TE7	120	13°07'52"	20°41'51"	13°07'01"	20°41'58"	600		
TE8	115	13°07'41"	20°38'32"	13°06'54"	20°36'31"	400		
TE9	90	13°07'31"	20°36'56"	13°06'89"	20°36'52"	250	Sur P3	
TE10	88	13°07'59"	20°36'13"	13°07'42"	20°36'23"	680		
TE11	92	13°06'58"	20°36'08"	13°06'47"	20°36'31"	1230	Sur P4	
TE12	42	13°06'56"	20°33'42"	13°06'59"	20°33'32"	380		
TE13	53	13°07'06"	20°32'13"	13°07'03"	20°34'13"	300		
TE14	20	13°07'01"	20°32'56"	13°07'21"	20°34'23"	450	Sur P5	
TE15	35	13°07'02"	20°32'15"	13°07'21"	20°34'42"	450		
TE16	91	13°07'54"	20°34'56"	13°07'23"	20°32'21"	420		
TE17	231	13°06'58"	20°31'52"	13°07'32"	20°33'42"	780		
TE18	210	13°07'09"	20°32'03"	13°07'34"	20°32'42"	580		
TE19	181	13°07'32"	20°31'01"	13°06'23"	20°31'42"	180	Sur P6	
TE20	205	13°06'29"	20°31'29"	13°06'49"	20°32'21"	590		
TE21	165	13°07'21"	20°33'31"	13°06'59"	20°31'40"	490		
TE22	219	13°06'13"	20°32'59"	13°06'58"	20°34'01"	500		
TE23	240	13°06'34"	20°36'31"	13°07'52"	20°33'36"	500		
TE24	250	13°06'36"	20°32'25"	13°07'31"	20°34'31"	480		
TE25	169	13°06'21"	20°33'01"	13°07' 56"	20°31'25"	500		
		<b>Longueur totale :</b>				<b>12430 m</b>		

Nb : Pas de mesure 20 m, MN = 40 m ; AB = 240 et 320 m

P1C1 : Profil 1 coupure 1,

Tableau 3: Sondages électriques réalisés dans le secteur Foug Chouer

N° SE	Coordonnées GPS		AB en m	Az en (°)	Profil
	Long.	Lat.			
SE1	13° 08' 39"	20° 38' 32"	1000	280	P3
SE2	13° 08' 36"	20° 41' 54"	1000	145	
SE3	13° 08' 31"	20° 43' 52"	1000	380	
SE4	13° 07' 32"	20° 41' 25"	1000	61	
SE5	13° 07' 12"	20° 41' 02"	1000	130	
SE6	13° 08' 37"	20° 43' 39"	800	280	P1
SE7	13° 07' 26"	20° 42' 56"	1000	100	
SE8	13° 08' 20"	20° 43' 41"	1000	106	
SE9	13° 07' 10"	20° 42' 13"	1000	100	
SE10	13° 07' 42"	20° 42' 31"	1000	100	
SE11	13° 07' 26"	20° 42' 54"	1000	105	
SE12	13° 08' 32"	20° 38' 18"	600	123	P2
SE13	13° 07' 39"	20° 36' 50"	1000	80	
SE14	13° 08' 19"	20° 33' 05"	1000	196	
SE15	13° 08' 51"	20° 34' 47"	1000	102	
SE16	13° 08' 28"	20° 33' 53"	1000	70	P3
SE17	13° 08' 21"	20° 34' 53"	1000	80	
SE18	13° 08' 46"	20° 37' 23"	1000	50	
SE19	13° 07' 35"	20° 33' 23"	1000	90	
SE20	13° 07' 55"	20° 34' 52"	1000	86	
SE21	13° 07' 14"	20° 32' 58"	1000	89	P5
SE22	13° 06' 56"	20° 32' 46"	1000	60	
SE23	13° 06' 54"	20° 35' 52"	800	86	
SE24	13° 06' 59"	20° 33' 00"	1000	155	
SE25	13° 07' 30"	20° 34' 12"	1000	190	
SE26	13° 06' 41"	20° 33' 51"	1000	150	
SE27	13° 07' 00"	20° 32' 51"	1000	190	
SE28	13° 08' 52"	20° 32' 57"	800	203	P4
SE29	13° 08' 21"	20° 31' 30"	1000	169	
SE30	13° 08' 17"	20° 28' 31"	1000	200	
SE31	13° 08' 23"	20° 31' 37"	1000	150	
SE32	13° 08' 00"	20° 31' 21"	1000	190	
SE33	13° 07' 51"	20° 28' 45"	1000	220	P5
SE34	13° 08' 42"	20° 41' 48"	1000	200	
SE35	13° 08' 32"	20° 41' 46"	1000	230	
SE36	13° 08' 31"	20° 41' 47"	1000	205	
SE37	13° 06' 53"	20° 37' 28"	800	210	
SE38	13° 08' 02"	20° 37' 10"	1000	270	
SE39	13° 07' 05"	20° 32' 45"	1000	100	P6
SE40	13° 06' 55"	20° 35' 24"	1000	100	
SE41	13° 06' 30"	20° 35' 25"	1000	100	
SE42	13° 06' 44"	20° 35' 28"	800	100	
SE43	13° 06' 28"	20° 32' 39"	1000	100	
SE44	13° 06' 14"	20° 32' 55"	1000	150	
SE45	13° 07' 09"	20° 33' 28"	800	102	

# **ANNEXES 2**

### 1.2.2. Secteur d'Agueni nord

- 6 profils électromagnétiques (longueur totale = 23120 m) ; les profils ont été réalisés avec un câble long de 40 m et un pas de mesure de 20 m ;
- 35 traînés électriques (longueur totale = 13660 m) ; les traînés ont été réalisés avec une double longueur de ligne AB = 320 et 240 m et un pas de mesure de 20 m ;
- 33 sondages électriques.

Les résultats des travaux de la campagne des prospections géophysiques réalisés sont résumés dans les tableaux 4, 5 et 6 en (Annexes 2) et dans les profile qui suit.

Tableau 4: Profils électromagnétiques réalisés dans le secteur d'Agueni Nord

N° TE	Coupure	Cordonnées GPS		Fin TE		Longueur de TE en m
		Début TE		Long	Lat	
		Long	Lat			
P1	C1	13°07'24.1"	20°33'56.8"	13°07'05.1"	20°32'33.9"	680
	C2	13°08'38.1"	20°32'59.8"	13°07'55.1"	20°33'34.9"	2260
P2	C1	13°08'59.3"	20°37'53.0"	13°07'52.0"	20°32'51.8"	1340
	C2	13°07'40.3"	20°38'39.0"	13°08'48.1"	20°34'36.9"	1380
	C3	13°08'34.9"	20°37'19.0"	13°06'37.4"	20°32'32.9"	720
P3	C3	13°07'39.5"	20°38'12.6"	13°06'58.4"	20°36'53.6"	2000
P4	C4	13°07'34.9"	20°34'29.7"	13°07'46.2"	20°34'48.8"	1020
P5	C2	13°07'37.9"	20°35'39.5"	13°06'19.4"	20°35'36.2"	2200
	C3	13°08'54.2"	20°38'51.4"	13°07'28.5"	20°36'56.2"	580
	C4	13°06'43.4"	20°35'19.5"	13°06'39.1"	20°34'31.9"	420
	C5	13°07'37.9"	20°36'42.7"	13°07'19.3"	20°35'58.4"	1760
P6	C1	13°08'50.4"	20°32'32.4"	13°05'55.9"	20°34'02.2"	2520
	C2	13°06'39.1"	20°34'38.5"	13°08'58.4"	20°32'18.8"	580
	C3	13°06'28.7"	20°32'55.6"	13°07'44.7"	20°32'59.0"	480
	C4	13°07'13.5"	20°29'53.4"	13°06'59.3"	20°33'19.6"	520
	C5	13°07'19.49"	20°34'09.7"	13°06'19.5"	20°33'51.8"	2500
	C6	13°07'51.4"	20°33'39.1"	13°06'51.2"	20°33'10.9"	750
	C7	13°07'48.5"	20°34'45.5"	13°06'53.9"	20°34'46.7"	1400
<b>Nombre de profils = 6</b>				<b>Longueur Total</b>		<b>23110</b>

Tableau 5 : Traînés électriques réalisés dans le secteur d'Agueni Nord

N° TE	Cordonnées GPS		Fin TE		Long de TE en m
	Début TE				
	Long	Lat	Long	Lat	
TE1	13°07'06.1"	20°32'37.2"	13°08'00.5"	20°29'01.5"	1200
TE2	13°06'59.6"	20°32'48.5"	13°08'01.5"	20°28'11.3"	600
TE3	13°06'56.1"	20°32'53.3"	13°07'01.8"	20°32'45.2"	240
TE4	13°06'49.9"	20°33'01.9"	13°07'05.1"	20°32'36.9"	300
TE5	13°06'46.1"	20°33'06.5"	13°06'32.0"	20°33'21.8"	250
TE6	13°06'37.3"	20°33'17.7"	13°06'17.2"	20°33'35.6"	160
TE7	13°06'32.2"	20°33'24.7"	13°06'06.2"	20°33'50.8"	200
TE8	13°06'26.1"	20°33'33.5"	13°06'09.4"	20°33'53.0"	180
TE9	13°07'11.5"	20°33'36.0"	13°05'55.9"	20°34'02.2"	240
TE10	13°06'10.8"	20°33'47.1"	13°06'33.9"	20°34'20.7"	300
TE11	13°07'08.4"	20°32'32.4"	13°06'40.4"	20°35'18.5"	860
TE12	13°07'15.1"	20°32'11.7"	13°07'05.0"	20°32'32.4"	960
TE13	13°07'22.4"	20°31'43.0"	13°07'28.2"	20°31'14.4"	860
TE14	13°07'27.1"	20°31'23.8"	13°07'44.9"	20°31'05.5"	460
TE15	13°07'51.3"	20°30'40.6"	13°07'16.9"	20°30'46.4"	600
TE16	13°07'52.5"	20°30'34.2"	13°07'18.6"	20°30'46.4"	420
TE17	13°07'54.9"	20°29'43.0"	13°07'51.8"	20°30'30.6"	540
TE18	13°07'57.3"	20°29'24.8"	13°07'53.2"	20°30'30.0"	240
TE19	13°08'00.0"	20°29'04.2"	13°07'56.6"	20°30'06.8"	240
TE20	13°08'02.2"	20°28'47.9"	13°07'51.9"	20°30'03.4"	340
TE21	13°06'13.9"	20°28'17.7"	13°08'02.9"	20°28'42.1"	220
TE22	13°08'03.4"	20°28'01.7"	13°07'59.8"	20°28'41.5"	180
TE23	13°07'05.3"	20°32'38.8"	13°08'05.0"	20°28'17.9"	240
TE24	13°06'54.6"	20°32'55.4"	13°08'00.7"	20°28'17.7"	240
TE25	13°06'29.8"	20°33'27.9"	13°08'04.8"	20°27'34.7"	200
TE26	13°06'43.7"	20°33'09.8"	13°07'15.1"	20°32'45.2"	240
TE27	13°06'28.4"	20°33'30.1"	13°07'51.3"	20°33'17.7"	180
TE28	13°06'13.9"	20°33'42.8"	13°08'03.4"	20°28'01.7"	500
TE29	13°07'09.5"	20°32'29.2"	13°06'43.7"	20°31'05.5"	560
TE30	13°07'11.5"	20°32'24.2"	13°07'11.5"	20°32'38.8"	200
TE31	13°07'12.2"	20°32'21.7"	13°07'11.5"	20°32'32.4"	480
TE32	13°07'22.7"	20°31'41.6"	13°07'54.9"	20°32'32.4"	240
TE33	13°07'26.3"	20°31'26.9"	13°06'13.9"	20°32'29.2"	220
TE34	13°07'52.0"	20°30'36.7"	13°06'13.9"	20°33'47.1"	520
TE35	13°07'56.9"	20°29'29.4"	13°07'55.0"	20°29'42.3"	240
<b>Nombre de TE =35</b>			<b>Longueur totale</b>		<b>13650</b>

Nb : Pas de mesure 20 m, MN = 40 m ; AB = 240 et 320 m

Tableau 6: Sondages électriques réalisés dans le secteur d'Agueni Nord

N° SE	Cordonnées GPS		AB m
	Long	Lat	
SE1	13°07'15.1"	20°33'21.8"	1000
SE2	13°07'22.4"	20°33'35.6"	1000
SE3	13°07'27.1"	20°33'50.8"	1000
SE4	13°07'51.3"	20°33'53.0"	1000
SE5	13°07'52.5"	20°34'02.2"	1000
SE6	13°07'54.9"	20°34'20.7"	1000
SE7	13°07'57.3"	20°35'18.5"	1000
SE8	13°08'00.0"	20°32'32.4"	1000
SE9	13°08'02.2"	20°31'14.4"	1000
SE10	13°06'13.9"	20°31'05.5"	800
SE11	13°08'03.4"	20°30'46.4"	1000
SE12	13°07'05.3"	20°30'46.4"	1000
SE13	13°06'54.6"	20°30'30.6"	1000
SE14	13°06'29.8"	20°30'30.0"	1000
SE15	13°06'43.7"	20°30'06.8"	1000
SE16	13°06'28.4"	20°30'03.4"	1000
SE17	13°06'13.9"	20°28'42.1"	1000
SE18	13°07'06.1"	20°28'41.5"	1000
SE19	13°06'59.6"	20°28'17.9"	1000
SE20	13°06'56.1"	20°28'17.7"	1000
SE21	13°06'49.9"	20°27'34.7"	800
SE22	13°06'46.1"	20°32'45.2"	1000
SE23	13°06'37.3"	20°33'17.7"	1000
SE24	13°06'32.2"	20°28'01.7"	1000
SE25	13°06'26.1"	20°31'05.5"	1000
SE26	13°07'11.5"	20°32'38.8"	1000
SE27	13°06'10.8"	20°32'32.4"	1000
SE28	13°06'43.7"	20°32'32.4"	1000
SE29	13°06'28.4"	20°32'29.2"	1000
SE30	13°06'13.9"	20°33'47.1"	800
SE31	13°07'09.5"	20°29'42.3"	1000
SE32	13°07'11.5"	20°32'29.2"	1000
SE33	13°07'56.9"	20°32'24.2"	1000