

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد الصديق بن يحيى - جيجل  
Université Mohammed Seddik Benyahia - Jijel



Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie  
Département : des Sciences de la Terre et de  
l'Univers

كلية علوم الطبيعة و الحياة  
قسم: علوم الأرض و الكون

## Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme : **Master Académique en Géologie**

Option : Eau Et Environnement

Thème

***Approche géophysique appliquée à la caractérisation hydrogéologique De  
L'aquifère du mio-pliocène de la région de Chetma, Wilaya de BISKRA***

### Membres de Jury

Président : Souhil Mahdid

Examineur: Souhila Cheddad

Encadrant : Kessasra Farés

### Présenté par :

Dehibi Djamel Eddine

Djaret Lamine

Année Universitaire 2016-2017

Numéro d'ordre (bibliothèque) :.....



## ***Remerciements***

*Nous tenons à exprimer nos profondes gratitudee avant tout à Dieu tout puissant qui nous a aidé et donné le courage pour mener à bien ce modeste travail.*

*Nos gratitudee et nos vifs remerciements vont directement à notre directeur du mémoire Mr Kessasra Farés d'avoir encadré et suivi notre travail de près avec sa rigueur scientifique exceptionnelle, ses conseils qui nous ont permis de mener à bien ce travail.*

*Nos vifs remerciements aux membres de jury, qui ont bien voulu nous faire l'honneur de juger ce travail.*

*Nous remercions les étudiants de notre spécialité pour l'aide exceptionnelle que nous donnent surtout Lakehal Zouhir, Sakta Houcine et Boulbair Yasser et El Arbi Mayach*

*Toutes nos gratitudee vont à Mr Mohamed Bdroun ingénieur hydrogéologie et chef de service d'hydrogéologie et environnement a SONATRACH. Mr Yaich Yacine responsable HSE a SONATRACH. Madame Souad Boubandir secrétaire principal de SONATRACH.*

*Nos remerciements vont à Asma Bouhchicha ingénieure hydrogéologie à ENAGEO. Mr Ben Hamida Slimane ingénieur hydrogéologie a ANRH d'Ourgla.*

*Enfin, nous tenons à remercier tous les amis et les collègues qui nous ont aidé et encouragé pour réaliser ce mémoire*

***Lamine & Djamel Eddine***



**Liste des tableaux :**

<b>Tableau</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
<b>Tableau 1</b>	Variations des précipitations moyennes mensuelles (1977 – 2000) Station de Biskra	<b>3</b>
<b>Tableau 2</b>	Données des moyennes mensuelles des températures (1977-2000) Station de Biskra	<b>4</b>
<b>Tableau 3</b>	Bilan hydrique selon C.W.Thornthwaite à la station de Biskra	<b>5</b>
<b>Tableau 4</b>	importance des différences cultures à la wilaya Biskra. (PNE-2010)	<b>10</b>
<b>Tableau 5</b>	Comparaison entre un Région de nord(Jijel) et Ziban ouest et est	<b>11</b>
<b>Tableau 6</b>	Tableau récapitulatif sur les profils électriques réalisés par ENAGEO, en 2000	<b>32</b>
<b>Tableau 7</b>	Données générales sur la nappe du Continental Intercalaire (A. Hadjer et N. Hallal 2010)	<b>82</b>

## Liste des Figures :

<b>Figure</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
<b>Figure 1</b>	localisation de la commune Chetma dans la wilaya de Biskra (source wikipedia.org 2017)	<b>2</b>
<b>Figure 2</b>	Histogramme des précipitations moyennes mensuelles (1977 -2000) Station de Biskra	<b>3</b>
<b>Figure 3</b>	Histogramme des températures moyennes mensuelles (1977-2000) station de Biskra	<b>4</b>
<b>Figure 4</b>	Carte du milieu physique de la wilaya de Biskra (sadrati, 2011)	<b>6</b>
<b>Figure 5</b>	Carte du réseau hydrographique de la wilaya de Biskra (Sedrati, 2011)	<b>7</b>
<b>Figure6</b>	répartition des superficies allouées à chaque culture dans la région de Biskra(PNE, 2010)	<b>10</b>
<b>Figure 7</b>	Carte d'esquisse géologique de la wilaya de Biskra.	<b>13</b>
<b>Figure 8</b>	Log litho – stratigraphique synthétique de la région de Biskra.	<b>14</b>
<b>Figure 9</b>	Coupe hydrogéologique d'après I N R H .1981.	<b>18</b>
<b>Figure10</b>	Carte montrant les nappes aquifères du Sahara Algérien. Le Continental Intercalaire. Le Complexe Terminal (in KOUZMINE Y.2007).	<b>20</b>
<b>Figure11</b>	Coupe hydrogéologique synthétique du Sahara septentrionale (UNESCO, 1972)	<b>22</b>
<b>Figure12</b>	Esquisse tectonique (Extrait de la carte hydrogéologique de Biskra).	<b>25</b>
<b>Figure13</b>	A Gauche l'esquisse géologique du secteur de Chetma et à droite la coupe réalisée entre Sra Chicha et Chetma qui représente l'anticlinal de Droh	<b>26</b>
<b>Figure14</b>	Quadripôle de Schlumberger (cours en ligne de géophysique, Université de Lausanne)	<b>30</b>
<b>Figure 15</b>	Equipotentiels de courant dans un sol homogène (cours en ligne de géophysique université de Lausanne)	<b>31</b>
<b>Figure16</b>	matériel utilisé dans la réalisation des sondages électriques verticaux	<b>33</b>
<b>Figure 17</b>	Plan de positionnement des Sondages Electriques Verticaux dans la région de Chetma à l'Est de Biskra	<b>34</b>
<b>Figure 18</b>	Logs de forages utilisés dans l'interprétation des coupes géo-électriques et des cartes de résistivités apparentes (ANRH d'Ouargla).	<b>35</b>
<b>Figure 19</b>	Logs de forages dans la région de Biskra (Centre de Recherche Scientifique et Technique sur les Régions Arides à Biskra, 1954-1968)	<b>36</b>
<b>Figure 20</b>	coupe géo-électrique du profil D	<b>69</b>
<b>Figure 21</b>	coupe géo-électrique du profil J	<b>70</b>
<b>Figure 22</b>	coupe géo-électrique du profil L	<b>71</b>
<b>Figure 23</b>	Carte des résistivités apparentes en AB = 100m	<b>73</b>
<b>Figure 24</b>	Carte des résistivités apparentes en AB = 600m	<b>75</b>
<b>Figure 25</b>	Carte des résistivités apparentes en AB = 1000m	<b>77</b>
<b>Figure 26</b>	Carte des résistivités apparentes en AB = 2000m	<b>79</b>
<b>Figure 27</b>	Représentation 3D des cartes de résistivités a différents profondeurs de	<b>80</b>

	Chetma	
<b>Figure 28</b>	Carte hydrogéologique du système aquifère CI et CT (UNESCO, 1972)	<b>83</b>
<b>Figure 29</b>	Carte piézométrique de référence du Continental Intercalaire (OSS, 2003)	<b>84</b>
<b>Figure 30</b>	Carte d'inventaire des forages hydrauliques exploités à Chetma-Droh	<b>87</b>
<b>Figure 31</b>	Carte piézométrique du Mio-Pliocène de la région de Chetma	<b>89</b>
<b>Figure 32</b>	Carte piézométrique du Mio-Pliocène de la région de Chetma	<b>90</b>
<b>Figure 33</b>	carte de résistivité apparent en AB = 2000 m avec plantation des forages d'eaux	<b>91</b>

# Sommaire

Remerciement

Résumé

Liste des Tableaux

Liste des Figures

Sommaire

Introduction Générale..... 1

## *Chapitre 01 : Aperçusur le milieu physique*

Introduction..... 2

1.Situation géographique..... 2

2.Climat.....3

2.1.La répartition des pluies mensuelles et saisonnières.....3

2.2. Répartition moyenne mensuelle des précipitations.....3

2.3. Répartition moyenne mensuelle des températures .....4

2.4. Le bilan hydrique .....5

3. Relief et morphologie .....6

4. Le réseau hydrographique ..... 7

5. La végétation .....8

6. Aperçu socio - économique .....8

Conclusion ..... 11

## *Chapitre 02 : contexte géologique et hydrogéologique*

Introduction..... 12

1. Aperçu géologique..... 12

2. Description litho stratigraphique.....14

2.1.Le secondaire.....15

2.1.1. Trias.....15

2.1.2. Jurassique..... 15

2.1.3. Crétacé..... 15

2.1.3.1. Crétacé inférieur.....15

2.1.3.2.Crétacé supérieur.....16



2.2. Tertiaire.....	16
2.2.1.Paléogène.....	16
2.2.1.1 paléocène.....	16
2.2.1.2.Eocène.....	17
2.2.1.3.Oligocène.....	17
2.2.2. Néogène.....	17
2.2.2.1. Miocène inférieur et moyen.....	17
2.2.2.2.Miocène supérieur.....	17
2.2.2.3.Pliocène.....	17
2.3 .Le Quaternaire.....	17
3. Caractérisation Hydrogéologique.....	19
3.1. Les nappes d’eaux souterraines.....	19
3.1.1. Nappe du Quaternaire.....	19
3.1.2.Nappe du Complexe Terminal.....	19
3.1.2.1. La première nappe des sables.....	20
3.1.2.2.la deuxième nappe des sables.....	21
3.1.2.3. Nappe des calcaires d'éocène inférieur.....	21
3.1.3. La Nappe de Continental Intercalaire.....	21
4. Tectonique .....	23
4.1. Accident Sud Atlasique.....	23
4.2.domaine atlasique.....	23
4.3.Plis.....	24
4.4.Cassure.....	24
Conclusion .....	27

### *Chapitre 03: approche géophysique*

Introduction .....	28
1. Généralités sur la méthode des résistivités .....	28
1.1 Introduction .....	28
1.2 Mesure de la résistivité du sous-sol .....	29
2. Sondage électrique .....	31
2.1 Principe du sondage électrique vertical (SEV) .....	31
3. Matériel et méthodes .....	32
4. Résultat et discussion .....	37
4.1 Profils électriques .....	37

<b>4.1.1 Profil C</b> .....	<b>37</b>
<b>4.1.1.1 Sondage C4</b> .....	<b>37</b>
<b>4.1.1.2 SondageC5</b> .....	<b>37</b>
<b>4.1.1.3 SondageC6</b> .....	<b>38</b>
<b>4.1.1.4 Sondage C7</b> .....	<b>38</b>
<b>4.1.1.5 SondageC8</b> .....	<b>39</b>
<b>4.1.2 Profil D</b> .....	<b>39</b>
<b>4.1.2.1 Sondage D2</b> .....	<b>40</b>
<b>4.1.2.2 Sondage D3</b> .....	<b>40</b>
<b>4.1.2.3.Sondage D4</b> .....	<b>41</b>
<b>4.1.2.4 Sondage D5</b> .....	<b>41</b>
<b>4.1.2.5 Sondage D6</b> .....	<b>42</b>
<b>4.1.3.Profil E</b> .....	<b>42</b>
<b>4.1.3.1 Sondage E1</b> .....	<b>42</b>
<b>4.1.3.2 Sondage E2</b> .....	<b>43</b>
<b>4.1.3.3 Sondage E3</b> .....	<b>43</b>
<b>4.1.3.4 Sondage E4</b> .....	<b>44</b>
<b>4.1.3.5 Sondage E5</b> .....	<b>44</b>
<b>4.1.3.6 Sondage E6</b> .....	<b>45</b>
<b>4.1.4.Profil F</b> .....	<b>45</b>
<b>4.1.4.1Sondage F2</b> .....	<b>46</b>
<b>4.1.4.2.Sondage F3</b> .....	<b>46</b>
<b>4.1.5.Profil G</b> .....	<b>46</b>
<b>4.1.5.1.SondageG1</b> .....	<b>46</b>
<b>4.1.5.2.SondageG2</b> .....	<b>47</b>
<b>4.1.5.3.Sondage G3</b> .....	<b>47</b>
<b>4.1.6.Profil H</b> .....	<b>48</b>
<b>4.1.6.1. Sondage H1</b> .....	<b>48</b>
<b>4.1.6.2. Sondage H2</b> .....	<b>48</b>
<b>4.1.6.3. Sondage H3</b> .....	<b>49</b>
<b>4.1.6.4. Sondage H4</b> .....	<b>50</b>
<b>4.1.6.5. Sondage H5</b> .....	<b>50</b>
<b>4.1.6.6. SondageH6</b> .....	<b>51</b>

<b>4.1.7. Profil i .....</b>	<b>51</b>
<b>4.1.7.1. SEV i1.....</b>	<b>51</b>
<b>4.1.7.2. Sondage i2 .....</b>	<b>52</b>
<b>4.1.7.3. Sondage i3.....</b>	<b>53</b>
<b>4.1.7.4. Sondage i4.....</b>	<b>53</b>
<b>4.1.7.5. Sondage i5 .....</b>	<b>53</b>
<b>4.1.7.6. Sondage i6.....</b>	<b>54</b>
<b>4.1.7.7. Sondage i7.....</b>	<b>54</b>
<b>4.1.8. Profil J .....</b>	<b>55</b>
<b>4.1.8.1. Sondage j1.....</b>	<b>55</b>
<b>4.1.8.2. Sondage j2.....</b>	<b>55</b>
<b>4.1.8.3. Sondage j3.....</b>	<b>56</b>
<b>4.1.8.4.Sondage j4.....</b>	<b>56</b>
<b>4.1.8.5. Sondage j5.....</b>	<b>57</b>
<b>4.1.8.6. Sondage j6.....</b>	<b>57</b>
<b>4.1.8.7. Sondage j7.....</b>	<b>58</b>
<b>4.1.8.8. Sondage j8.....</b>	<b>58</b>
<b>4.1.8. Profil k.....</b>	<b>59</b>
<b>4.1.8.1. Sondage k1.....</b>	<b>59</b>
<b>4.1.8.2. Sondage k2.....</b>	<b>59</b>
<b>4.1.8.3. Sondage k3.....</b>	<b>60</b>
<b>4.1.8.4. Sondage k4.....</b>	<b>60</b>
<b>4.1.8.5. Sondage k5.....</b>	<b>61</b>
<b>4.1.8.6. Sondage k6.....</b>	<b>61</b>
<b>4.1.8.7. Sondage k7.....</b>	<b>62</b>
<b>4.1.9. Profil L .....</b>	<b>62</b>
<b>4.1.9.1. Sondage L1.....</b>	<b>62</b>
<b>4.1.9.2. Sondage L2.....</b>	<b>63</b>
<b>4.1.9.3. Sondage L3.....</b>	<b>63</b>
<b>4.1.9.4. Sondage L4.....</b>	<b>64</b>
<b>4.1.9.5. Sondage L5.....</b>	<b>64</b>
<b>4.1.9.6. Sondage L6.....</b>	<b>65</b>
<b>4.1.9.7. Sondage L7.....</b>	<b>65</b>
<b>4.1.10.profil M .....</b>	<b>66</b>

4.1.10.1 Sondage M1.....	66
4.1.10.2 Sondage M2.....	66
4.1.10.3 Sondage M3.....	67
4.1.10.4 Sondage M4.....	67
4.1.10.5 Sondage M5.....	67
4.1.10.6. Sondage M6.....	68
4.2 Coupes géo-électriques.....	68
4.2.1 Coupe géo-électrique du profil D.....	69
4.2.2 Coupe géo-électrique du profil J.....	69
4.2.3 Coupe géo-électrique du profil L.....	70
4.3 Cartes des résistivités apparentes.....	71
4.3.1 Carte des résistivités apparentes en AB = 100m.....	72
4.3.2 Carte des résistivités apparentes en AB=600m.....	74
4.3.3 Carte des résistivités apparentes en AB=1000m.....	76
4.3.4 Carte des résistivités apparentes AB=2000m.....	78
4.3.5 Représentation 3D des cartes de résistivités à différentes profondeurs .....	80
Conclusion.....	80

#### *Chapitre 04: Etude piézométrique et corrélation avec la géophysique*

Introduction.....	81
1. Aquifère de Continentale Intercalaire .....	81
1.1 Aperçu général .....	81
1. 2 .La piézométrie du Continental Intercalaire .....	83
2. Présentation du mio-pliocène.....	84
2.1. Aperçu général.....	84
2.2 Inventaire des points d'eau à Biskra (Chetma).....	85
2.3 Carte piézométrique du Mio-Pliocène et corrélation avec les résultats géophysiques .....	87
Conclusion.....	91
Conclusion générale.....	93

#### **Bibliographie**

#### **Annexes**



*Chapitre I*  
*Aperçu sur le milieu*  
*physique*

## Introduction générale

La recherche de l'eau souterraine dépend de la profondeur des aquifères mais surtout du degré de connaissance et de caractérisation lithologique et structurale des formations souterraines. Contrairement aux régions du Nord de l'Algérie, celles du Sud renferment des aquifères assez profonds et leur caractérisation hydrogéologique nécessite l'application des méthodes d'investigation à grand rendement et à moindre coût. La prospection géophysique à l'aide de l'injection dans le sol de courant électrique continu représente l'outil approprié qui permet l'investigation des horizons superficiels d'alluvions mais surtout les formations et structures profondes.

Ce travail de recherche a été mené dans le cadre d'une convention signée entre la SONATRACH et l'Université de Jijel. Elle nous a permis d'effectuer un stage en entreprise au sein du service "Hydrogéologie et Environnement" de SONATRACH à Hassi Messaoud. Le projet vise plus particulièrement à étudier, caractériser et qualifier des formations et les structures favorables à une accumulation d'eau souterraine dans la nappe du Mio-pliocène de la région de Chetma à Biskra, et cela en vue d'une exploitation en employant plusieurs approches et corrélations.

L'Entreprise Nationale de Géophysique (ENAGEO) nous a fourni les mesures géophysiques acquises sur terrain en 2002 et SONTARARCH et l'ANRH d'Ouargla les différents documents ayant trait à la région de Biskra. C'est dans cette perspective que nous avons essayé, sur la base de ces travaux, de reprendre le traitement, l'analyse et l'interprétation des données de sondages électriques et les conjuguer à la description géologique et lithostratigraphique des affleurements, les logs et forages réalisés dans la région et des caractéristiques piézométriques de la nappe.

Notre manuscrit se présente sous forme de quatre chapitres, organisés comme suit :

- chapitre 1 est un aperçu général sur le milieu physique et les conditions climatiques et hydrologiques de la région de Biskra

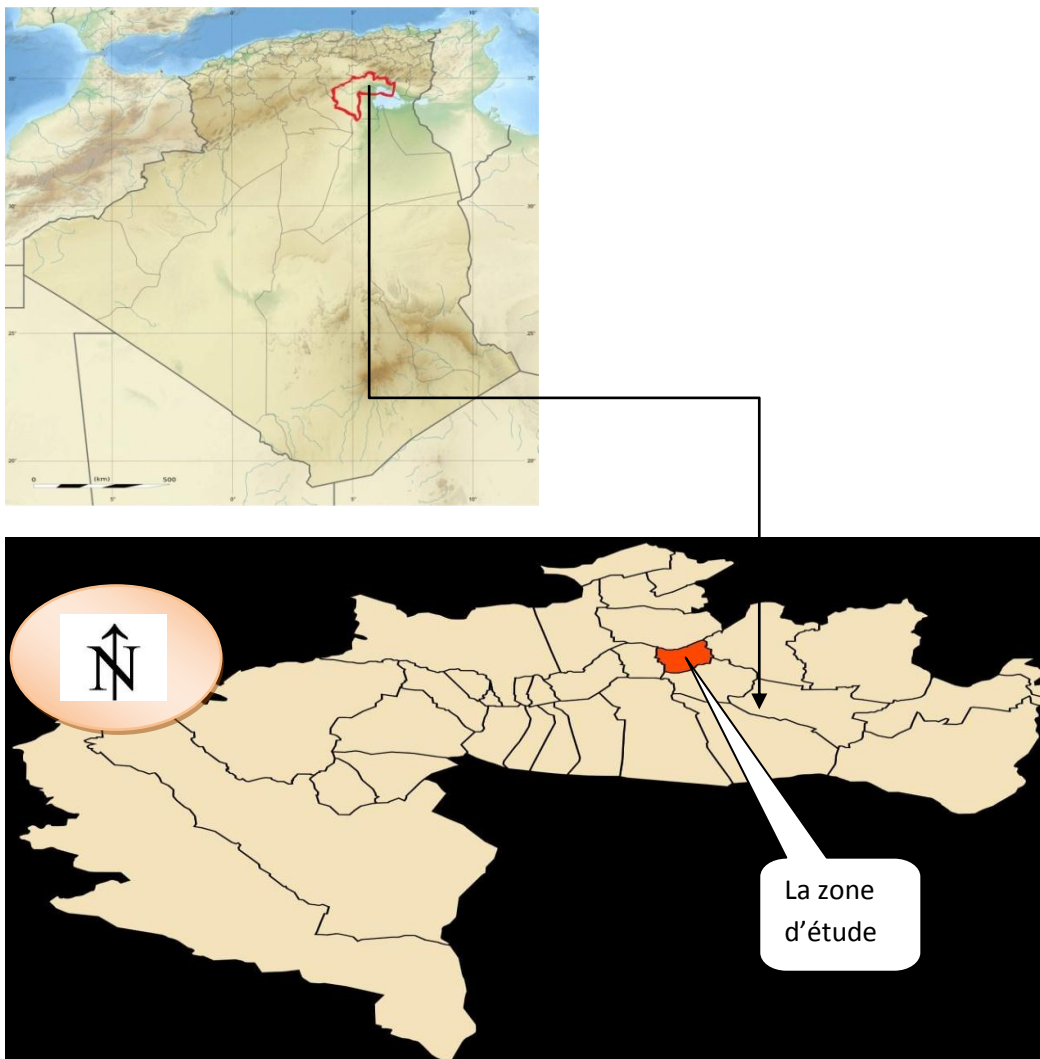
- chapitre 2 concerne la caractérisation géologique et hydrogéologique des différents affleurements, il s'agit de décrire leur lithologie et leur stratigraphie, d'identifier l'influence de la lithologie sur l'écoulement d'eaux et cibler les formations perméables et aquifères.

- chapitre 3 a été consacré à l'approche géophysique par prospection électrique de la zone d'étude. Elle permet de déterminer les paramètres physiques (résistivité électrique) et géométriques (épaisseur) des formations géologiques et de leur extension latérale.

- chapitre 4 prend en compte l'hydrogéologie de la nappe en définissant ses caractéristiques hydrogéologiques, ses paramètres hydrodynamiques et une corrélation entre les tendances piézométriques et les résultats géophysiques.

### 1. Situation géographique

d'une superficie de 21.671,2 Km<sup>2</sup>, la wilaya de Biskra est limitée au nord par la wilaya de Batna, au nord-Ouest par M'sila, au nord-Est par Khenchla, au sud par la wilaya d'El oued et au Sud-Ouest par la wilaya de Djelfa (Rouahna, 2007), la région d'étude « CHETMA » se trouve à 12 Km à l'est de son chef lieu et est entourée par des chaînes de montagnes peu élevées de direction grossièrement Est - Ouest et délimitée : Au nord par : Djebel Ras Chicha (468 m), à l'est par : Djebel Guechrice (520 m), à l'ouest par : la ville de Biskra, Au sud par : la route nationale RN 83 liant Biskra et Sidi Okba. (Sekta et Bouzanad, 2007)



**Figure 01** -localisation de la commune chetma dans la wilaya de Biskra (source wikipedia.org 2017)

### 2. Climat

Le climat est aride, sec en été et très agréable en hiver. La pluviométrie est en moyenne entre 120 et 150 mm/an. La température moyenne est de 20,9°C (Andi, 2013). Les vents sont



fréquents durant toute l'année en hiver a montré que les vents froids et humide venant les hauts plateaux et du nord-Ouest sont prédominants, en revanche, les vents issus du sud sont les plus secs et froids(Benbouza,1994).La quantité essentielle des précipitations annuelles est enregistrée pendant la période Automne-hiver; le pluies sont rares et portant un caractères torrentiel .(Sekta et Bouzanad,2007)

**2.1 La répartition des pluies mensuelles et saisonnières**

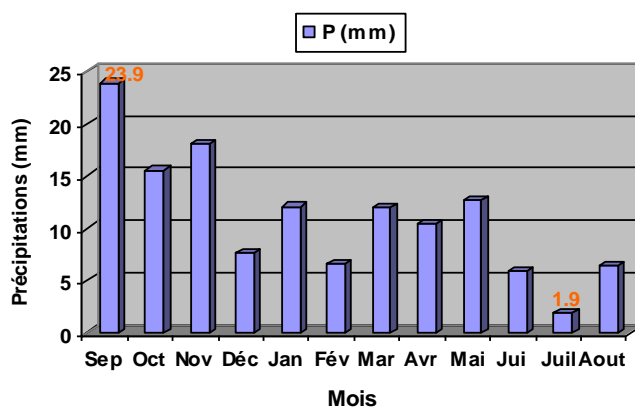
La répartition mensuelle des précipitations dans l'année et ses variations conditionnent le régime d'écoulement, ainsi que celui des nappes aquifères. La connaissance des précipitations saisonnières fait ressortir les saisons pluvieuses et non pluvieuses. Les caractéristiques climatiques de la zone d'étude sont obtenues à partir des données de laStation météorologique de Biskra pour une période s'étalant de 1977 à 2000

**2.2. Répartition moyenne mensuelle des précipitations**

**Tableau 1 : Variations des précipitations moyennes mensuelles (1977 – 2000)**

**Station de Biskra**

Mois	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars.	Avr.	Mai.	Jui.	Juil.	Août
P(mm)	23.9	15.5	18.1	7.6	12.1	6.61	12	10.4	12.7	5.9	1.9	6.4



**Figure 02-** Histogramme des précipitations moyennes mensuelles (1977 -2000) Station de Biskra

D'après l'histogramme on observe que le mois le plus pluvieux est Septembre avec une moyenne de 23.9 mm tandis que le mois le plus sec est celui de Juillet avec 1.9 mm. La représentation saisonnière montre une variation des précipitations entre les quatre saisons ; il en ressort que la saison la plus pluvieuse est l'Automne et la plus sèche est l'Eté.

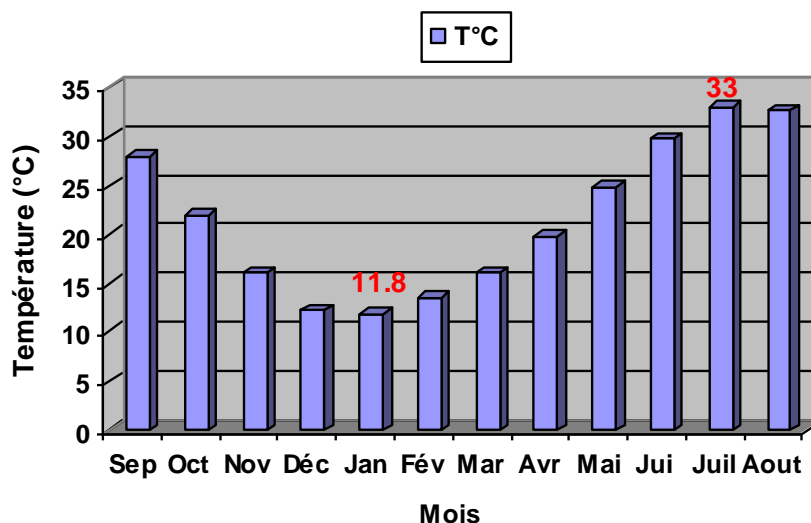
**2.3. Répartition moyenne mensuelle des températures**

La température est le second facteur après les précipitations qui conditionne le climat d'une région. Elle permet aussi d'estimer le déficit d'écoulement.

**Tableau 2 : Données des moyennes mensuelles des températures (1977-2000)**

**Station de Biskra**

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Août
T (°C)	27.9	21.9	16.1	12.2	11.8	13.5	16.1	19.8	24.8	29.8	33	32.6



**Figure 03 - Histogramme des températures moyennes mensuelles (1977-2000)**

Station de Biskra

Les données observés pendant une période de 24 ans à la station de Biskra font ressortir que les températures moyennes enregistrées prennent en général des valeurs élevées avec un maximum enregistré au mois de Juillet (33 °C) et un minimum pendant le mois de Janvier (11.8 °C), le températures saisonnières font ressortir que la saison la plus chaude est l'Eté et la plus froids est l'hiver.

**2.4. Le bilan hydrique**

Le bilan hydrique de Biskra a été établi sur une période de 24 ans, en appliquant la méthode de Thornthwaite :

$$ETP = 16(10T/I)^a$$

$$ETP_c = 16(10T/I)^a K$$

ETP : évapotranspiration potentielle annuelle en mm

ETPc : évapotranspiration potentielle corrigée annuelle en mm

T : température moyenne mensuelle en °C

I : somme des indices thermiques mensuels i avec  $i = (T/5)^{1.514}$

K : facteur de correction mensuel,

a : exposant climatique :  $a = 0.016 I + 0.5$

Les résultats obtenus sont insérés dans le tableau 3.

**Tableau 03 : Bilan hydrique selon C.W.Thornthwaite à la station de Biskra**

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Août	Annuel
<b>P (mm)</b>	23.9	15.5	18.1	7.6	12.1	6.61	12	10.4	12.7	5.9	1.9	6.4	133.11
<b>T (°C)</b>	27.9	21.9	16.1	12.2	11.8	13.5	16.1	19.8	24.8	29.8	33	32.6	21.63
<b>K</b>	1.03	0.98	0.89	0.88	0.90	0.87	1.03	1.08	1.18	1.18	1.20	1.14	
<b>I</b>	13.5	9.35	5.87	3.86	3.67	4.49	5.87	8.03	11.29	14.91	17.40	17.09	I=115.33
<b>ETP (mm)</b>	130.81	70.53	31.13	16.06	15.19	20.13	36.03	61.37	113.69	174.89	225.92	208.57	1104.32
<b>ETR (mm)</b>	23.9	15.5	18.1	7.6	12.1	6.61	12	10.4	12.7	5.9	1.9	6.4	133.11
<b>RFU (mm)</b>	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
<b>EX (mm)</b>	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
<b>DA (mm)</b>	106.91	55.03	13.03	8.46	3.09	13.52	24.03	50.97	100.99	168.99	224.02	202.17	971.21

Le déficit annuel est de 971.2 mm (1977-2000) ; il atteint son maximum au mois de Juillet avec 224 mm. Il nous donne une approximation des besoins en eau d'irrigation des cultures

pratiquées dans la région, vu que cette formule (Thornthwaite) aurait tendance à sous estimer les fortes ETP, particulièrement en zone aride et semi aride.

### 3. Relief et morphologie

La région de Biskra constitue la transition entre les domaines atlasiques plissés du Nord et les étendues plates et désertiques du Sahara au Sud. Dans la partie Nord se découpent plusieurs chaînons atlasiques dont l'altitude maximale peut aller de 1500 à 1700 m .alors que la moyenne est de l'ordre de 300m. Vers le Sud, la plaine saharienne occupe approximativement les deux tiers de la superficie.

Du point de vue morphologique, elle se présente comme un piémont sans relief marqué, qui relie par une pente douce les chaînes atlasique auxétendues sahariennes du Sud. En surface, les dépôts grossiers que l'on trouve au pied des montagnes passent à des dépôts argilo sableux, vers le Sud.

A l'est,ou se trouver la zone d'étude, le relief est caractérisé par le développement d'une vaste plaine découpée par lits d'oueds qui s'écoulent des monts de l'atlas et disparaissent dans la grande dépression fermée du Melghir (Sedrati,2011) .

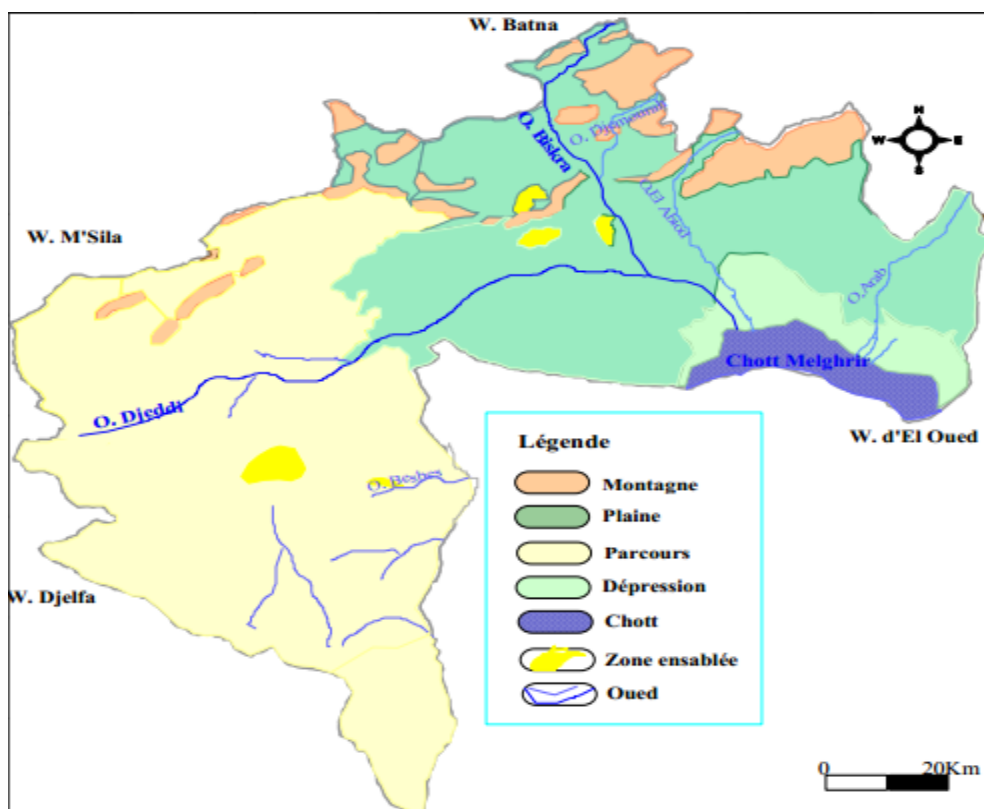
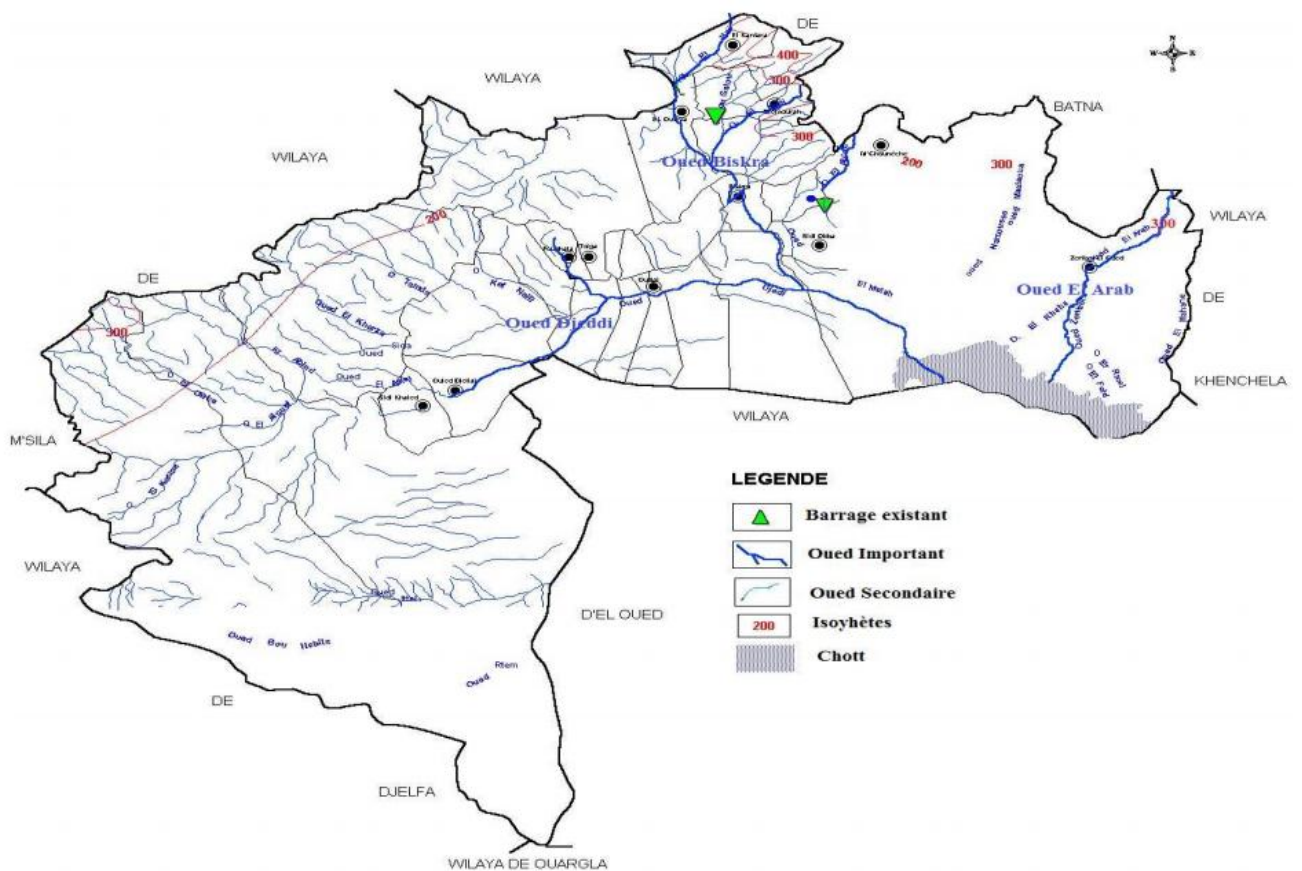


Figure 04 -Carte du milieu physique de la wilaya de Biskra.(sadrati ,2011)

#### 4. Le réseau hydrographique

La région a un réseau hydrographique qui fait partie d'un grand bassin saharien appelé « CHOTT MELHIR », qui a une superficie totale de 26.000Km<sup>2</sup>. la région est drainée par plusieurs Oueds dont les plus importants sont : Oued Djedi, Oued Biskra à l'ouest de Chetma (l'oued Biskra est drainé à l'amont par deux artères principales l'oued abdi et l'oued El- Hai-Kantra), Oued El-Areb et Oued El-Abiod.



**Figure 05** -Carte du réseau hydrographique de la wilaya de Biskra(Sedrati,2011)

Les Oueds des Aurés prennent leurs sources à 2000 m d'altitude : Oued El-Abiod et Oued abdi). ces Oueds s'écoulent rapidement vers le sud. Le réseau hydrographique comporte une proportion non négligeable de cours d'eau pérennes (Oued EL-Hai et Oued El-Abiod). Mais ces oueds sont asséchés par l'évaporation, l'infiltration et les prélèvements effectués pour l'irrigation dans les vallées en amont. Seul l'Oued El- Abiod reste pérenne jusqu'au piémont, dont le barrage de Foug El Gherza permet l'irrigation des périmètres de Seriana, Droh et Sidi Okba( Aidaoui,1994).

On pouvait estimer l'apport annuel de ces oueds sur le piémont méridional des aurés entre 50 et 70 million de m<sup>3</sup> par an (ballais,1984).des mesures plus récentes tendent à montre que l'apport serait nettement plus important puisque celui de trois des oueds les plus abondants : oued el abiod à foug el Gherza :20,7 million de m<sup>3</sup>, moyenne sur 42 ans),(oued el Hai à el Kantara:18,4 million de m<sup>3</sup>, sur 16 ans ),(oued abdi à djemorah : 16,5 million de m<sup>3</sup>,moyenne entre 1971 et 1991).dépasse les 55 million m<sup>3</sup>.(Nadji et Gali,1992).

## **5. la végétation**

L'étude de la végétation de la zone de Biskra montre une liaison étroite entre la composition floristique et les conditions du milieu,plus saharienne(ARBI, 2005).LaL'existence des nappes favorise le développement des palmeraies dattiers dans de nombreuses oasis comme ;Tolga ;BorgeBenazzouze ;Ourlel et Oumech.,(GALI, 2005)

Les cultures maraichères(Huit espèces de plantes maraichères ont été recensées. Les espèces les plus cultivées sont (Piment-poivron, 44,11%), (Tomate, 30,94%), (Melon, 11,63%) et (Aubergine, 8,74%). La production, dans sa totalité, est écoulee sur les marchés locaux et nationaux).(Belhadi et al,2015).

## **6. Aperçu socio - économique**

### **a. la population :**

la population de Biskra est établie autour de trois grandes poles : Biskra (centre), Tolga (Ouest) et Sidi Okba ( Est). Sa population totale est estimée en 2010 à 775 797 habitants, soit avec une densité moyenne de 36 habitants par km<sup>2</sup>.(Andi,2013)La demande en AEP globale est de 66 Hm<sup>3</sup> pour toute la wilaya. Celle de la ville de Biskra est établie à 23 Hm<sup>3</sup> (215 000 hab en 2010) ,Toutes les observations concordent pour constater qu'il Il y a une très forte surexploitation des ressources souterraines(PNE,2010)

### **b. Industrie:**

L'industrie est peu remarquable dans la région,elle se positionne surtout à la bordure de la ville de Biskra. Le nombre d'unité est de 43 dont 03 complexes d'envergure nationale (ENICAB, TIFIB (ex ELATEX) et ENASEL Et qui sont respectivement, unité Câblerie Electrique, Tissage Finissage Biskra et Complexe de Sel d'El Outaya.(sedrati,2011)

Selon l'office national des statistiques (2007) on note l'existence d'une zone industrielle, de 14 zones d'activité, de 3 zones d'Equipement.

L'ensemble des rejets industriels se jette directement dans l'oued principal drainant la région de Biskra qui est Oued Biskra et ses affluents.(sedrati,2011)

**c. agriculture :**

Le secteur de l'agriculture à Biskra connaît grâce aux aides publiques une croissance significative dont la locomotive principale est la mobilisation des eaux souterraines et le développement de l'irrigation. La production de dattes explose ainsi que les cultures sous serres 50 000 ha env. en 2010. La wilaya est la première fournisseuse en extra primeur du pays en produits maraîchers (PNE,2010).

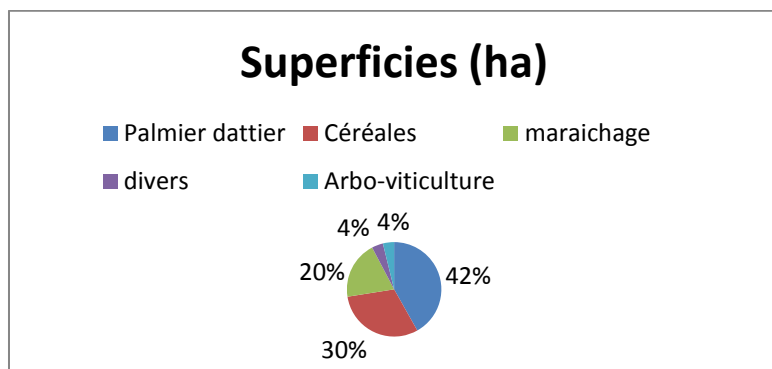
La superficie agricole utilisée totale (SAU) de Biskra est de 174132 (ha),dont laquelle se trouve une superficie physique irriguée de 84285 ha, qui représente 48,40%. La superficie physique irriguée se subdivise en deux zones, une zone d'irrigation individuelle dominante avec 58 598 ha, soit 69,52% et les périmètres collectifs moins présents avec 25687(ha) soit 30,48%. Comme la région est aride, l'irrigation à partir des eaux souterraines est largement dominante, elle représente 93,70% des besoins en irrigation de la wilaya et couvre 78 982 ha, contre seulement 6,3% à partir des eaux de surface qui couvrent une surface minuscule de 5303 ha.

Le mode d'irrigation utilisé est dominé à 83,94% par le mode gravitaire, celui-ci couvre 70 757ha, vient loin derrière le goutte a goutte qui demeure très peu développé, en effet,il couvre 12596 ha et ne représente que 14,94% (ha) et enfin l'irrigation par la technique d'aspersion qui est quasiment négligeable à 1,10% , soit 932 ha des terres irriguées.

<b>cultures</b>	<b>Superficies (ha)</b>	<b>Taux (%)</b>
Palmier dattier	36726	41,83
Céréales	26918	30,66
maraichage	17374	19,79
divers	3401	3,87

Arbo-viticulture	3368	3,83
Total	87787	100

**Tableau 04 : importance des différentes cultures dans la wilayabiskra(PNE,2010)**



**Figure 06 -répartition des superficies allouées à chaque culture dans la région de Biskra (PNE, 2010)**

Si l'on compare la surface agricole utilisée dans les ziban ouest et ziban Est avec les régions du nord de l'Algérie, à titre d'exemples les plaines côtières de Jijel, on trouve que les premières sont plus importantes (Tableau04). la culture des céréales occupe une grande partie dans la SAU des ziban, avec 18 192 ha dans les ziban Est et 5143 ha dans les ziban ouest, contre seulement 14 ha à Jijel. Cette culture est très consommatrice en eau, l'irrigation dans les ziban se fait à partir du pompage des eaux souterraines en raison de l'aridité du climat tandis que dans la région du nord l'irrigation par les eaux de surface prédominent largement.

	Plaine côtières de Jijel	Ziban ouest	Ziban est
<b>SAU TOTAL (ha)</b>	20088	63887	81540
<b>%</b>	43,22	36,68	46,82
<b>SAU PHYSIQUE(ha)</b>	3315	38347	36925
<b>%</b>	63,02	45,49	43,80
<b>EAUX SOUTERRAINES(ha)</b>	1012	37801	34337
<b>%</b>	30,52	47,86	43,47
<b>EAUX DE SURFACE(ha)</b>	2303	546	2588
<b>%</b>	69,47	10,29	48,80
<b>Céréales(ha)</b>	14	5143	18192
<b>%</b>	0,42	19,10	67,58
<b>Maraichage(ha)</b>	2820	5313	10994



%	85,06	30,58	63,27
<b>Mode d'irrigation (ha)</b>	Gravitaire	Gravitaire	Gravitaire
%	92,81	74,48	92,99

**Tableau 05 : Comparaison entre une région du nord( Jijel ) avec une région du Sud (les Ziban ouest et est), (PNE 2010)**

*La région de Biskra constitue la transition entre les domaines atlasiques plissés du Nord et les étendues plates et désertiques du Sahara au Sud. Elle est drainée par plusieurs Oueds dont Oued Djedi, Oued Biskra, Oued El-Areb et Oued El-Abiod. Son climat est aride, sec en été et très agréable en hiver. La pluviométrie varie entre 120 et 150 mm/an et la température moyenne est de 20,9 °C. Il en résulte un déficit annuel très important, il est de 971.2 mm. L'industrie est peu remarquable mais l'agriculture taille la part du lion dans le développement économique des Zibans. Les céréales et le maraichage représentent 51% des superficies irriguées, cela engendre une consommation en eau très importante. Cette eau provient à 93% des pompages dans les nappes souterraines et 6% d'eau de surface. Cela est typique des environnements arides en Algérie où les aquifères constituent la principale source d'approvisionnement en eau. D'autre part, le mode d'irrigation dominant est la technique gravitaire qui représente à elle seule 83,94%, le goutte à goutte est loin derrière avec 14,94% uniquement.*

***Chapitre II***  
***Contexte géologique et***  
***hydrogéologique***

*Dans ce chapitre nous étudierons les principaux traits géologiques et structuraux, sur la base des travaux antérieurs portant sur les caractéristiques géologiques et lithostratigraphiques du sous-sol et des aquifères de la région de Biskra. Nous identifierons également les formations aquifères et nous les qualifierons en fonction de leurs caractéristiques hydrodynamiques.*

### **1. Aperçu géologique**

La Région de Biskra a fait l'objet de plusieurs études géologiques, dont celles de Laffitte (1939), Gousskov (1964), Cornée (1989), et les travaux de Mauget (1957). Sur la base de ces études, la région de Biskra représente un pays de transition structurale et sédimentaire, au Nord c'est un pays montagneux, tandis qu'au Sud, c'est un pays effondré, qui fait partie du Sahara Septentrional. Le passage entre ces deux domaines distincts se fait par l'intermédiaire d'un ensemble de flexures, de plis-failles et de failles d'orientation Est-Ouest appelées "*accident sud atlasique*". La région de Biskra se caractérise par des terrains sédimentaires, allant du Barrémien à la base jusqu'au Quaternaire. L'esquisse géologique (fig.07) et l'échelle stratigraphique ci-dessous nous permet d'identifier les principales unités repérées sur cette région en allant du plus ancien au plus récent (Sedrati, 2011).

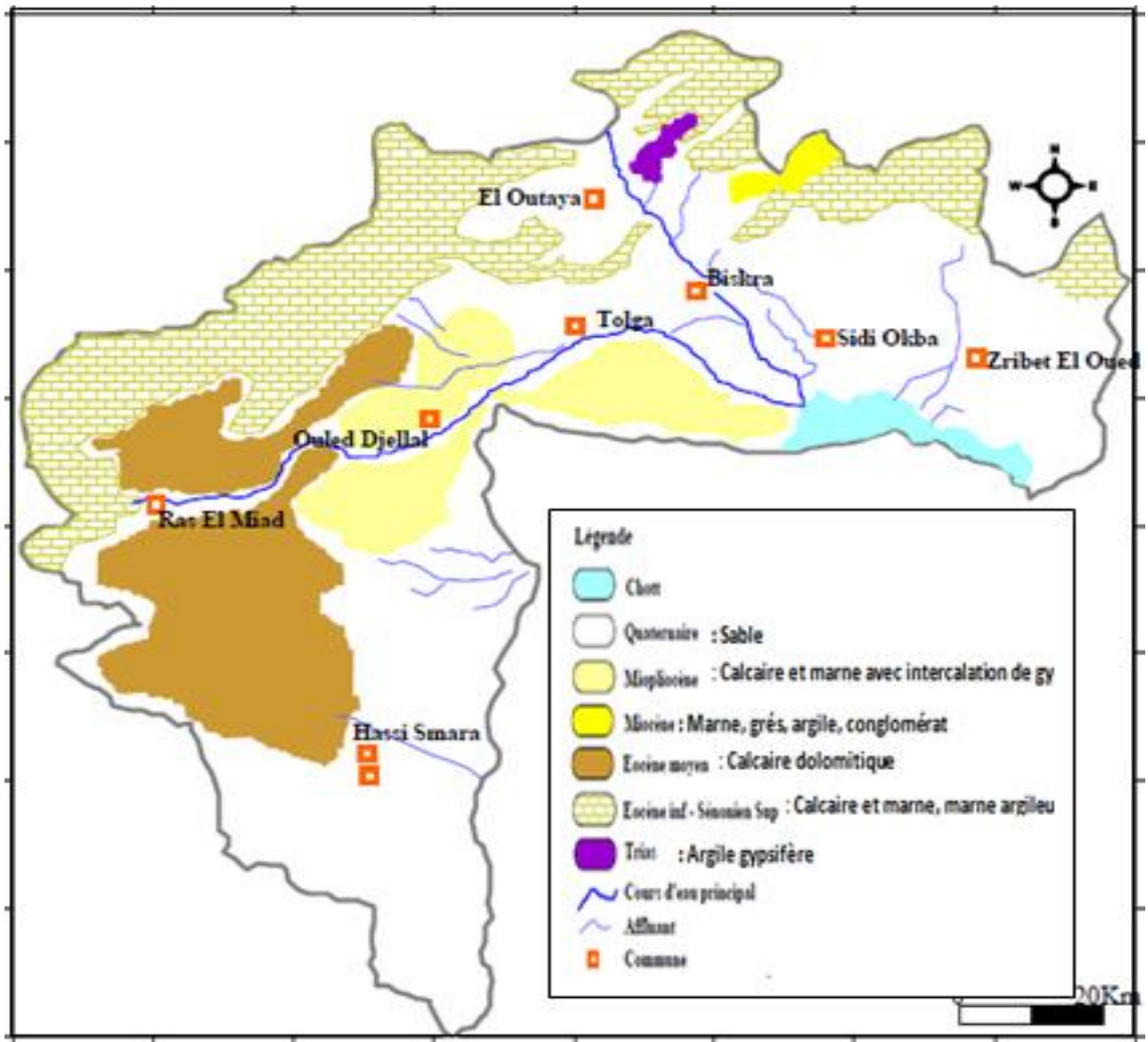


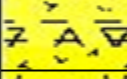

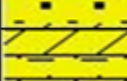
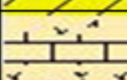
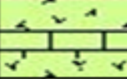


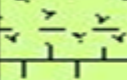

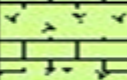





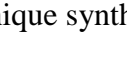


Figure 07 - Carte d'esquisse géologique de la wilaya de Biskra.

**2.Description litho-stratigraphique**

Période	Epoque	Stratigraphie	Description lithologique
Quaternaire			Sables argileux et des flacons Calcaire.
Néogène	Pliocène		Conglomérats grossiers et des lentilles gréseuses.
	Miocène supérieur		Marnes gris-verdâtres avec intercalations de gypse, argiles.
	Miocène inférieur et moyen		Conglomérats jaunes, argiles et rarement des calcaires et des évases.
Paléogène	Oligocène		Alternance des grés bruns et grés rouge.
	Eocène		Calcaire dolomitique à rares passées d'argile grises.
	Paléocène		Marnes à passées de calcaires.
Crétacé supérieur	Maestrichtien		Marnes à intercalation de calcaire.
	Campanien		Marnes argileuses grise et couche isolées de calcaire marneux.
	Santonien		Marnes feuilletées avec des bancs des calcaires.
	Coniacien		Alternance des marnes argileuses et couches des calcaires organogènes.
	Turonien		Stratification des calcaires et marnes argileuses.
	Cénomaniens		Marnes à ammonites et des calcaires.
Crétacé inférieur	Albien		Marnes gréseux formé d'une alternance de grés, faciès carbonaté représenté par des calcaires.
	Aptien		Argiles et des marnes anhydrites.
	Barrémien		Grés rouges avec quelques intercalations argileuses.
	Néocomien		Tendance argilo-gréseuses avec des intercalations des calcaires et dolomies.
Trias			Argiles (bariolées ou violettes) gypsifères et salifères.

**Figure 08** -Log litho – stratigraphique synthétique de la région de Chetma (Biskra)

## 2.1. Le secondaire

**2.1.1. Trias,** Le Trias constitue les plus anciennes formations reconnues dans la région. Il se rencontre en position stratigraphique anormale ou éjectée au sein des séries encaissantes à la faveur des cassures. Il est formé d'argiles (bariolées ou violettes) gypsifères et salifères, de quartz ou encore d'hématite. (Chebbah, 2007)

**2.1.2. Jurassique,** il n'affleure pas dans les limites de Biskra. Il n'est visible qu'entre Biskra et Batna, au niveau du Djebel Azreg où il constitue le cœur de celui-ci. Il est à dominance carbonatée, marne, calcaire marneux et calcaire. (Sakta, Bouzanad, 2007)

**2.1.3. Crétacé,** Les dépôts du Crétacé sont les plus répandus et forment la majeure partie des chaînes, ils sont représentés par différentes roches sédimentaires : calcaires, marnes, grès, argiles et leurs variétés intermédiaires qui constituent les assises d'une grande épaisseur. (Sakta, 2007). On y distingue deux séries : Crétacé inférieur et Crétacé supérieur.

### 2.1.3.1 .Crétacé inférieur :

- **Néocomien,** il est à tendance générale argilo-gréseuse, néanmoins, il admet des intercalations de formations carbonatées, calcaires et dolomies (Sakta, Bouzanad, 2007).
- **Barrémien,** Cette couche affleure uniquement vers Chaïba, elle est constituée par les grès rouges avec quelques intercalations argileuses, le Barrémien est le terme le plus ancien visible dans la région de Biskra. (Sedrati, 2011)
- **Aptien,** Cette couche est visible seulement vers Chaïba. Elle présente un faciès lagunaire avec intercalations marines, il est constitué par des argiles et des marnes multicolores, anhydrites, calcaires dolomitiques et dolomies. Sa puissance est d'environ 60 m (Sedrati, 2011)
- **Albien,** Dans le domaine atlasique (Aurès), Il se présente sous deux faciès bien distincts :
  - Un faciès marno-gréseux basal formé d'une alternance, 150 à 200 m, de grès grossiers et de marnes contenant quelques bancs de calcaires au NE qui passe à des argiles bariolées et des grès rouges au SW du massif.
  - Un faciès carbonaté sommital représenté surtout par des calcaires au NE passant à un faciès marneux gréseux au NW comparable au faciès basal, et à des calcaires subrécifaux à algues calcaires au SW. (Chebbah, 2007)

**2.1.3.2. Crétacé supérieur,** Les dépôts du Crétacé supérieur sont représentés par des assises épaisses composées de marnes et calcaires avec des restes abondants de fossiles. Tous les étages y sont développés ici sans discordance apparente. (Sakta,Bouznad, 2007)

- **Cénomanién,** A l'Est de Biskra (flanc sud d'Ahmar Khaddou), le Cénomanién est représenté par des marnes à ammonites et des calcaires au sommet. Par contre à l'Ouest au niveau de Djebel Bou Rhezal où l'épaisseur est réduite (200 m), il est formé d'une alternance de marnes et de calcaires et se termine par des marnes à huîtres contenant, à leur sommet, des bancs gypseux. (Chebbah, 2007)

- **Turonien,** les dépôts turoniens sont constitués par une interstratification de calcaires et marnes argileuses. Dans la partie inférieure prédominent des marnes avec de minces couches de calcaires compacts. Plus haut reposent des calcaires massifs avec des faisceaux de marnes argileuses feuilletées et des intercalations isolées de calcaires marneux. (Sakta, Bouznad, 2007)

#### - Sénonien inférieur

- **Coniacien,** les dépôts coniaciens sont représentés par une alternance de marnes argileuses gris-verdâtres et des couches de calcaires organogènes. (Sakta,Bouznad, 2007)

- **Santonien,** les dépôts sont représentés par des marnes feuilletées, grises verdâtres, grises foncées avec des bancs épais isolés de calcaires à grains fins gris clair. (Sakta,Bouznad, 2007)

#### - Sénonien supérieure

- **Campanien,** le Campanien est constitué par des marnes argileuses grises verdâtres et grises foncées avec des couches isolées de calcaires marneux. (Sakta,2007)

- **Maestrichtien,** ces dépôts sont représentés par les marnes feuilletées, avec des couches et intercalations isolées de calcaires microcristallins et à grains fins et de calcaires à coquilles. (Sakta, Bouznad, 2007)

## 2.2. Tertiaire

### 2.2.1 .Paléogène

**2.2.1.1. Paléocène,** Le passage du Maestrichtien au Paléocène se fait progressivement. Il est composé essentiellement de marnes à fines passées de calcaire. (Sakta,Bouznad, 2007)

**2.2.1.2.Eocène**, D'une épaisseur moyenne de 122m, il est constitué de calcaire dolomitique blanc à beige intercalés de dolomies beiges à rares passées d'argiles grises. (Ouali, 2005)

**2.2.1.3.Oligocène**, on attribue à l'Oligocène une alternance de grés brun jaunâtre et grés rouge, hétérogènes affleurant au Nord de la région d'étude. (Sakta, Bouzanad, 2007)

## **2.2.2. Néogène**

**2.2.2.1. Miocène inférieur et moyen**, constitué par des conglomérats jaunes grisâtre, des grés, des marnes, des argiles et rarement des calcaires et des gypses. (Sakta, Bouzanad, 2007)

**2.2.2.2. Miocène supérieur**, les dépôts du Miocène supérieur sont partout constitués par des marnes gris-verdâtres et dans la partie inférieure des marnes gris-bleuâtres, avec des intercalations de gypse, d'argiles, d'argilites, de grés et de rares interlits de calcaires et conglomérats. (Sakta, Bouzanad, 2007)

**2.2.2.3.Pliocène**, Il est formé de conglomérats grossiers peu consolidés et très hétérogènes à lentilles gréseuses à leur base. (brinis, 2003)

**2.3.Le Quaternaire**, Ces dépôts sont formés de couches de sable d'épaisseur allant jusqu'à plus de 20 m. Constituées de **Terrasses anciennes**, formée de poudingues remplacés progressivement par un dépôtsableux et argileux vers le sud de Biskra. des terrasses **Moyennes**, qui sont des formations calcaro-gypseuses à 2 m d'épaisseur, Elles occupent les contours des montagnes qui présentent des flancs calcaires (Tolga, Bouchagroun, Lichana, Ain Ben Noui), et enfin des terrasses **actuelles** constituées d'éboulis et de cailloutis aux pieds des montagnes et sur les pentes, des dunes constamment en mouvement et des alluvions sableuses et caillouteuses dans les lits actuels des oueds. (Sedrati, 2007)



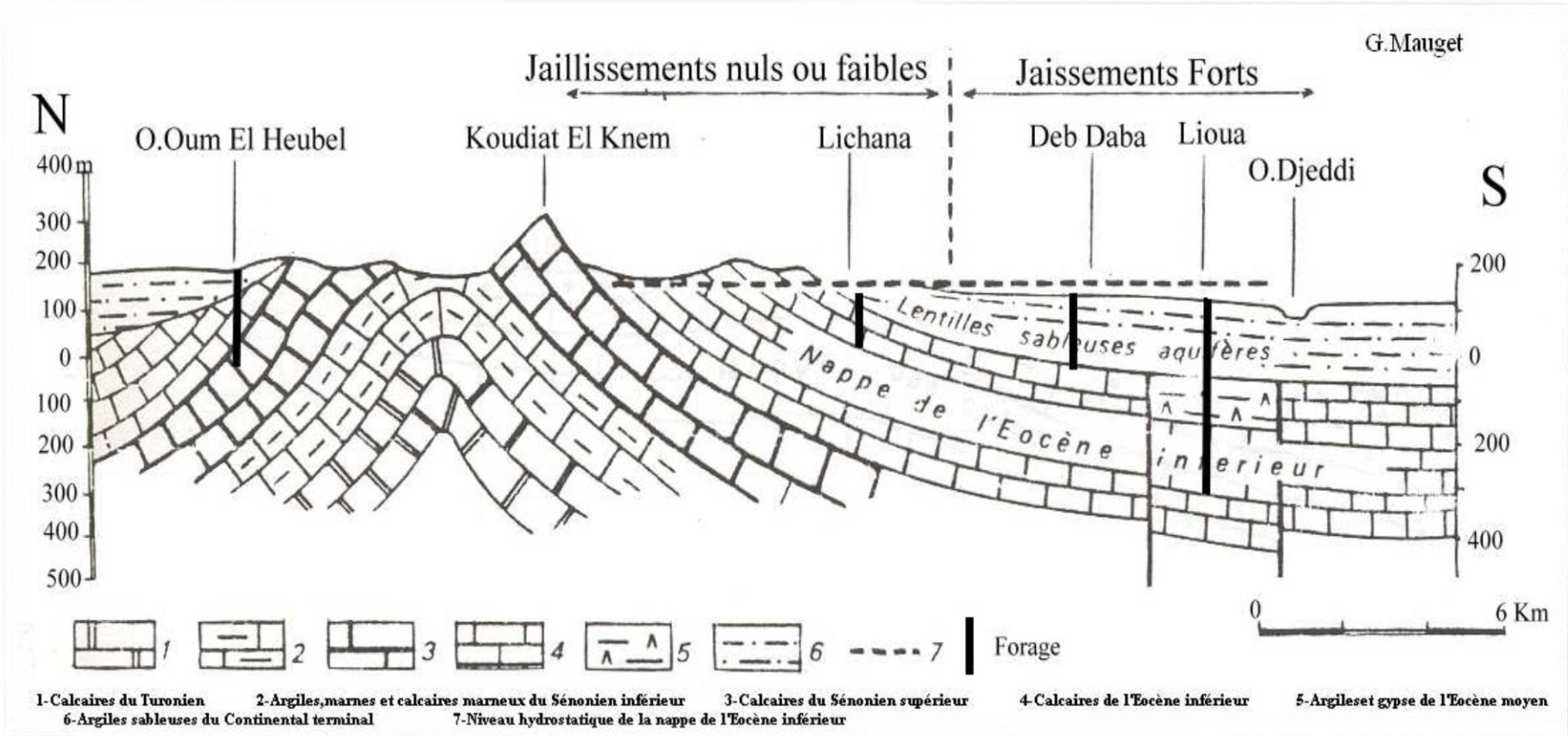


Figure 09-Coupe hydrogéologique dans la région de Biskra, d'après A N R H, 1981.

### 3. Caractérisation hydrogéologique

L'étude hydrogéologique est nécessaire à la compréhension des processus d'alimentation des aquifères d'une part, et la reconnaissance des sens d'écoulement d'autre part, ainsi que la variation du gradient hydraulique, les caractéristiques hydrodynamiques, et la détermination des conditions aux limites du système aquifère et enfin la détermination de la géométrie des nappes. (Mimoun, Zoubeidi, 2014)

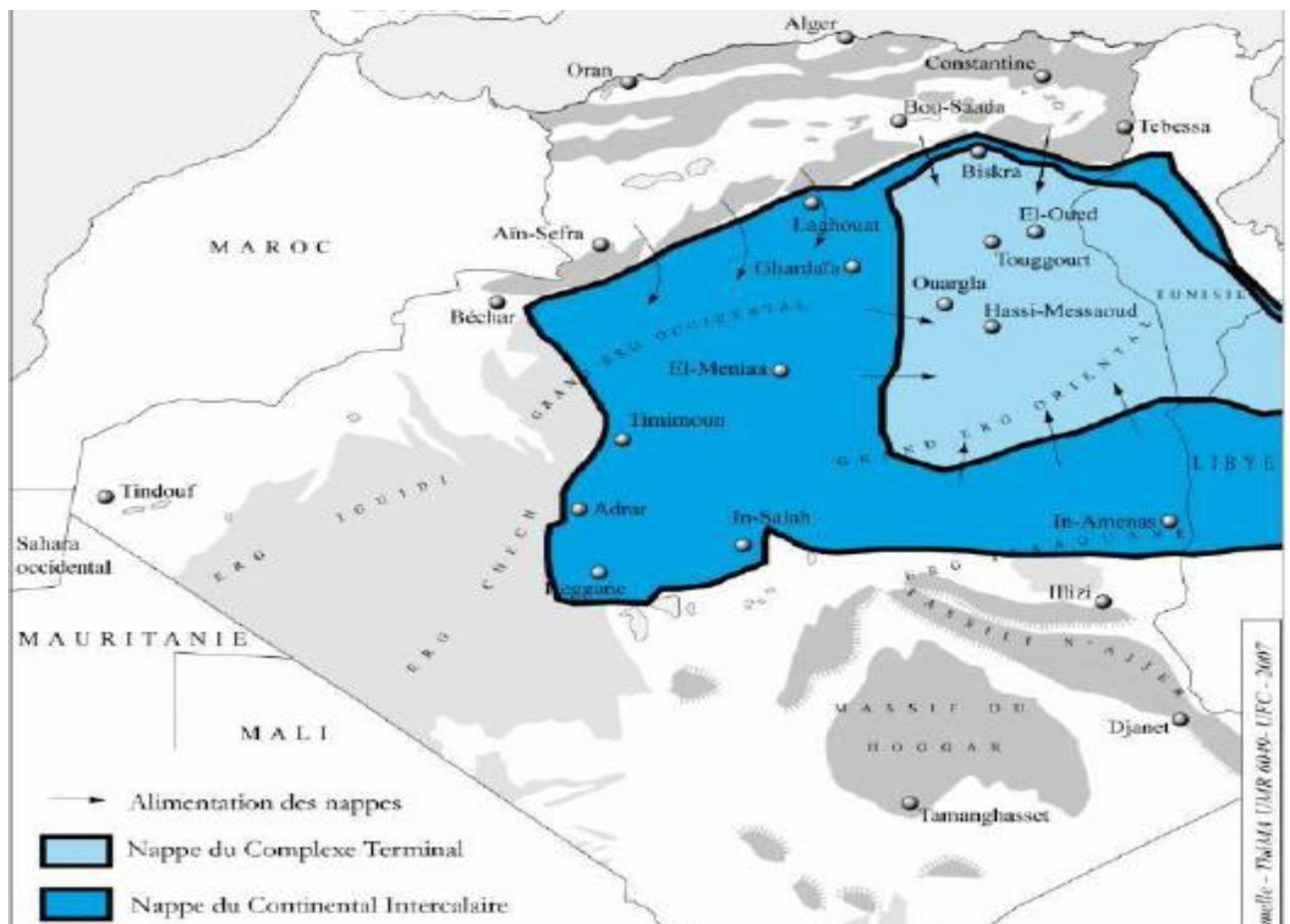
**3.1. Les nappes d'eaux souterraines,** Les études géologiques (Cornet, 1964; Busson, 1971; ERESS, 1972 Fabre, 1974) et hydrogéologiques ont montré l'existence de plusieurs niveaux aquifères hétérogènes. Ces aquifères apparaissent dans les formations d'âge Quaternaire, Mio-Pliocène, Eocène inférieur, Sénonien supérieur (Maestrichtien) et Albien. D'autres nappes de faible extension sont présentes au niveau de la région de Biskra, c'est le cas des nappes contenues dans les formations datées du Sénonien et du Turonien, elles apparaissent à la faveur de la flexure Sud Atlasique. Elles sont rarement exploitées. Cependant dans le Sahara septentrional, les nappes aquifères les plus sollicitées sont la nappe du continental intercalaire (CI) et celle du complexe terminal (CT). (Mimoun, Zoubeidi, 2014)

La campagne de la géophysique de l'ANRH réalisée en 2003, a permis de définir trois ensembles hydrogéologiques distincts:

**3.1.1. Nappe du Quaternaire,** Les formations Quaternaires couvrent une grande partie de la plaine de cette région et contiennent la nappe phréatique de Biskra. Cette nappe est présente au niveau des palmeraies de Tolga et au niveau des oueds (nappe d'inféro-flux), sa profondeur maximale est de 60 m. Son réservoir est constitué de cailloutis, de dunes de sables et d'alluvions sableuses et caillouteuses des lits actuels des oueds, ce qui indique, à priori, une hétérogénéité du réservoir. (Sedrati, 2011)

**3.1.2. Nappe du Complexe Terminal,** La nappe de complexe terminal est contenue dans les divers horizons perméables du Crétacé supérieur et du Tertiaire : le Mio-pliocène à faciès sablo-argilo-gréseux, l'Eocène moyen évaporitique, argiles avec gypse, le Sénonien supérieur à formations perméables, le Cénomaniens inférieur lagunaire à faible perméabilité, le Turonien carbonaté et dolomitique (Bettahar, 2013). Le substratum de cet aquifère est constitué d'argile du Cénomaniens et pour la couverture ce sont des argiles et des argiles sableuses du Quaternaire ou du sommet du Mio-pliocène (Bettahar, 2013)

La nappe du complexe terminal s'étend sur une superficie de l'ordre de 350.000 km<sup>2</sup>, et d'une profondeur allant de 100 à 400 m. L'épaisseur totale est de l'ordre 500 m mais l'épaisseur utile est de 371 m. Son alimentation est estimée à 583 Mm<sup>3</sup>/an. Elle s'effectue par deux voies : d'une part par infiltration des eaux de ruissellement provenant du versant de l'Atlas Saharien et d'une autre part par infiltration directe des pluies dans le grand erg oriental qui repose directement sur les terrains perméables du complexe terminal comme le montre la Figure 10. (Ouali, Khellaf, Baddari, 2007).



**Figure 10**-nappes aquifères du Sahara Algérien ; Le Continental Intercalaire et le Complexe Terminal (in KOUZMINE Y.2007).

Ce **Complexe Terminal** se subdivise en plusieurs nappes :

**3.1.2.1. La première nappe des sables**, Cette nappe est la moins profonde de 50 à 100 m. Elle est constituée de sable fin à moyen, Le faciès sableux varie largement et latéralement. Un niveau d'argiles constitue son substratum et son toit est formé par des argiles et des évaporites. C'est une nappe captive qui était jadis très exploitée (Bettahar, 2013)

**3.1.2.2. La deuxième nappe des sables,** Les formations contenant cette nappe sont également d'âge Mio-pliocène. Elle est formée essentiellement de grès, de graviers et de sables avec la présence de quelques lentilles argileuses. L'épaisseur de la couche aquifère est de 20 à 36 m. Cette nappe captive est très exploitée par des forages moyennement profonds (100 et 165 m) (Bettahar, 2013)

**3.1.2.3. Nappe des calcaires de l'Eocène inférieur,** le toit de la nappe est constitué par des formations argilo sableuses du Mio-pliocène au Nord et des marnes à gypses de l'Eocène moyen au Sud, par contre son réservoir est constitué essentiellement de calcaire blanc fissuré datant de l'Eocène inférieur et des calcaires marneux et dolomitiques appartenant au Sénonien Supérieur. (Sedrati, 2011). La porosité moyenne de cette nappe est de 20%. (Bettahar, 2013)

**3.1.3. La Nappe de Continental Intercalaire** appelé communément la nappe albienne, C'est un réservoir très important constitué essentiellement par les formations sableuses et argilo-gréseuses du Néocomien, Barrémien, Aptien, et de l'Albien. L'aquifère est continu du Nord au Sud, depuis l'Atlas Saharien jusqu'au Tassili du Hoggar, et d'Ouest en Est, depuis la vallée du Guir et de la Saoura jusqu'au désert libyen. Ils s'étend sur une superficie de 800 000 Km<sup>2</sup>, (Chergi, Azouzi, 2014) d'une profondeur entre 1600 et 2500 m et un débit moyen de 80 l/s jaillissant. Son exploitation est très coûteuse en raison de sa grande profondeur. (Sedrati, 2011)

L'artésianisme est élevé au centre et maximum dans la région de l'Oued Rhir. L'alimentation est faible, environ 268 Mm<sup>3</sup>/an (Ouali, Khellaf, Baddari, 2007), celle-ci s'effectue grâce à l'infiltration durant les périodes pluvieuses du Quaternaire. Les ressources de cet aquifère sont fossiles (non-renouvelables), son substratum est constitué de Formations argilo-sableuses, argileuses ou carbonatées selon les régions et les âges et la couverture sur la majeure partie est argilo-évaporitique du Cénomani. L'écoulement des eaux de cette nappe, se fait dans la partie occidentale du Nord vers le Sud et dans la partie orientale de l'Ouest vers l'Est et du sud vers le Nord comme le montre la **figure 10**. (Bettahar, 2013)

Avec des pressions d'artésianisme très fortes comprises entre 5 et 25 bars (Guendouz, 1997) La porosité établie à l'aide des diagraphies a donné des valeurs variant entre 22.6 et 28.7 %. L'étude du BURGEAP et celle de ERESS ont donné comme valeurs pour le forage de Sidi Khaled une transmissivité de  $2.10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s et une perméabilité de  $2.10^{-5}$  m/s. (Chabour, 2006)

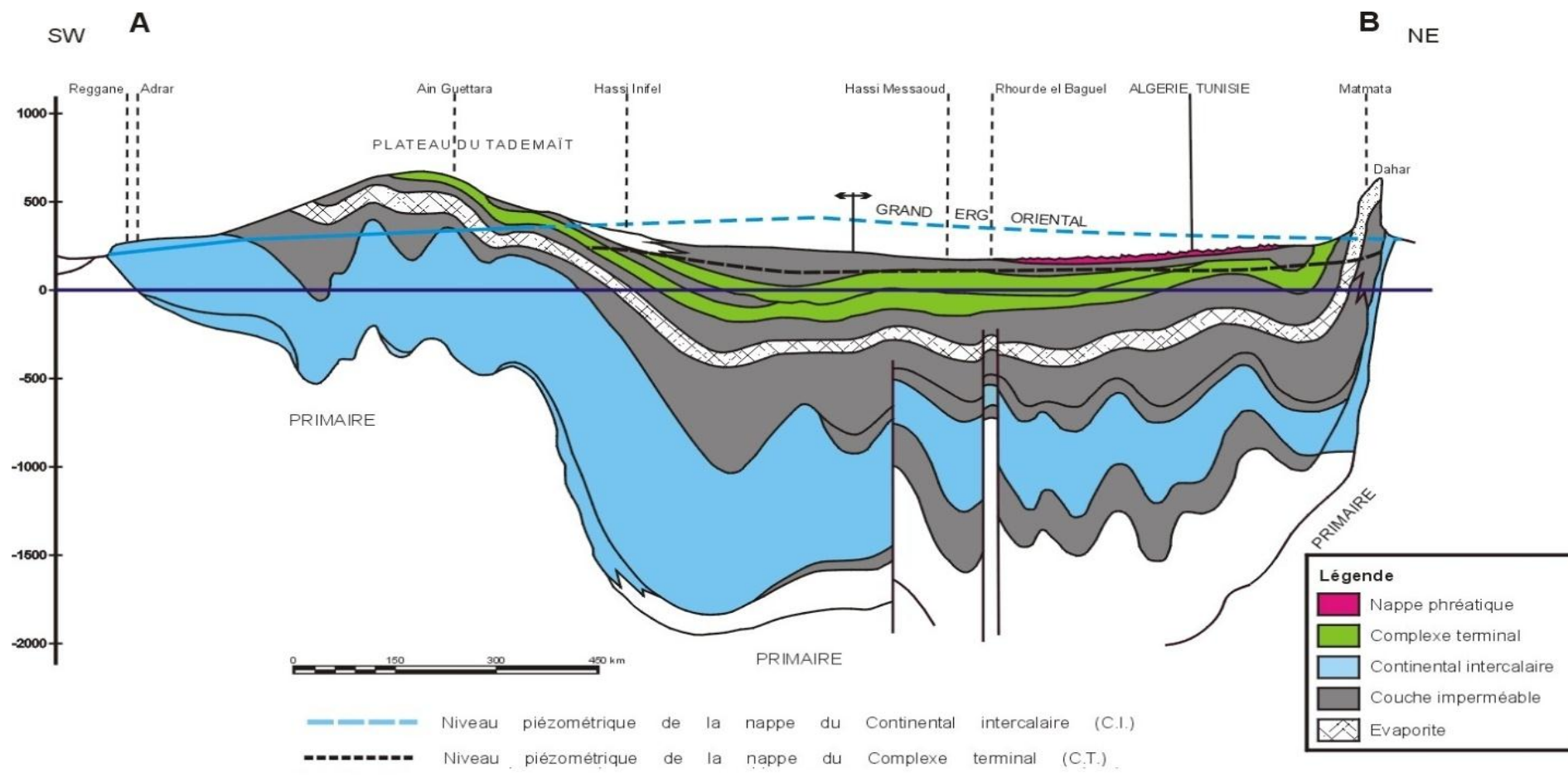


Figure 11 -Coupe hydrogéologique synthétique du Sahara septentrional (UNESCO, 1972)

## 4 .Tectonique

**4.1. Accident Sud Atlasique,** L'accident Sud Atlasique est une ligne continue de failles et de flexures qui met en contact les vastes étendues monotones du domaine saharien et les chaînes montagneuses du domaine atlasique. Il s'agit d'un alignement très remarquable désigné le plus souvent par l'une des expressions suivantes : Accident Sud-atlasique (ou atlasien), Flexure Saharienne ou Accident Nord-saharien. (Brinis, 2003).

La description de cet accident par Laffitte semble la plus complète, et de laquelle Guiraud (1990) tire les conclusions suivantes :

- Continuité de l'accident entre Agadir au Maroc et Khanget Sidi Nadjial'Est de Biskra.
- Difficultés de fixer parfois le tracé précis ou un tracé unique suite à la présence de plis assurant un effondrement assez progressif des structures, au sud de l'atlas saharien en particulier.
- Présence d'une gouttière synclinale discontinue aux pieds des premiers reliefs du domaine atlasique (domaine pré-africain).
- Age fin pliocène de la surrection du domaine atlasique avec cependant des mouvements antérieurs à des époques variables dans des secteurs localisés.
- Obliquité de l'accident par rapport aux plis atlasiques mais parallélisme avec les chaînes récentes (chaîne de Rhélliss). (Brinis, 2003)

### 4.2 .domaine atlasique:

Le domaine atlasique correspond à deux grands ensembles morpho-structuraux bien individualisés, l'Atlas Saharien et l'Aurès décalés selon un mouvement dextre et se raccordent par une zone charnière, la région M'Doukal-Biskra celle-ci présente la particularité de contenir l'ensemble des traces des principales déformations ayant affecté le domaine. De ce fait, avant de décrire les principales structures dans cette région, nous donnerons ses limites L'ensemble structural de M'Doukal – Biskra est limité par :

- L'accident sud – atlasien au Sud
- Le faisceau de failles sur lesquelles s'interposent les plis de l'Aurès, entre Kef Nsara et Foum el Kherza.
- L'accident de Roumana- Chaiba à l'Ouest
- L'accident nord – atlasien qui longe tout d'abord le flanc sud du Djebel Meharga, et ensuite légèrement décalé de façon senestre à partir de l'Oued el Melah et se poursuit au Nord des djebels Saoura et Fozna en direction de la pointe nord – occidentale du Djebel Metlili.

**4.3. Plis,** Dans la région de Biskra, comme dans l'ensemble du domaine atlasique, on distingue deux types de plis présentant des dimensions et une géométrie différentes qui se sont succédés en se superposant ou en s'interférant.

- **plis atlasiques,** Les terrains anté-néogènes dessinent diverses structures plus ou moins masquées par le Miocène et découpées par de nombreuses cassures.
- **plis post-pliocènes,** Dans l'Aurès, le Miocène supérieur est déformé par le rejeu plus ou moins important de certaines structures atlasiques et de l'apparition sur les bordures du massif de nouvelles structures obliques sur les précédentes ; ce deuxième épisode de plissement, dans lequel le Pliocène est impliqué lorsqu'il est conservé, est attribué à la phase du Quaternaire basal.

Dans la figure 13, nous avons repris une coupe géologique réalisée par Chebbah en 2007 dans la région de Chetma. Elle est orientée N-S et montre la structure principale représentée par l'anticlinal de Droh. Il faut signaler que la coupe représente les formations mio-pliocènes sur une profondeur d'environ 100m. Ce sont des conglomérats, des grès et argiles à gypse. Les calcaires du maestrichtiens n'y figurent pas car ils sont plus profonds. La base de la coupe est constituée d'argiles gypseuses ; leur épaisseur est difficile à estimer, car elles forment, à l'affleurement le flanc sud de l'anticlinal de Droh

**4.4. Cassures,** C'est dans cette région, qu'on rencontre des nombreux accidents, de diverses orientations et qui ont joué de façon variable au cours des phases anté, intra ou post Miocène. Cet ensemble de fractures se répartit en quatre familles principales selon leur orientation : N-S à N 30° E, N 45 ° E, N80 à 100° E et N 120 à 160° E.(Brinis,2003)

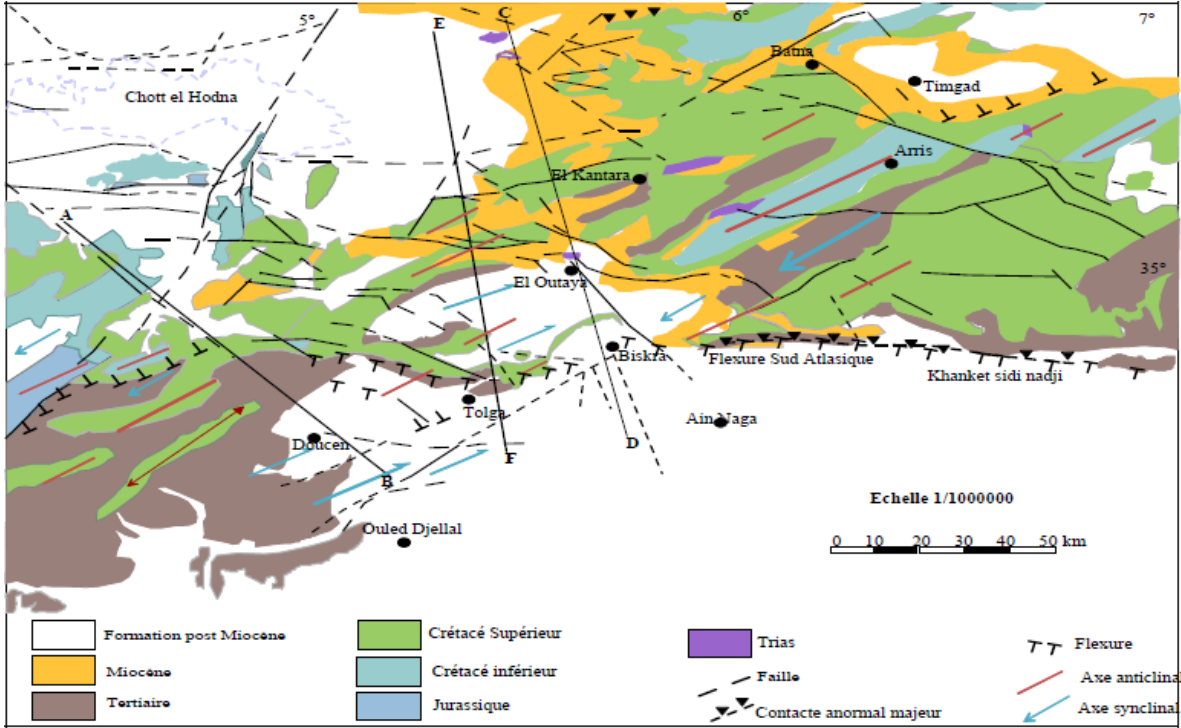
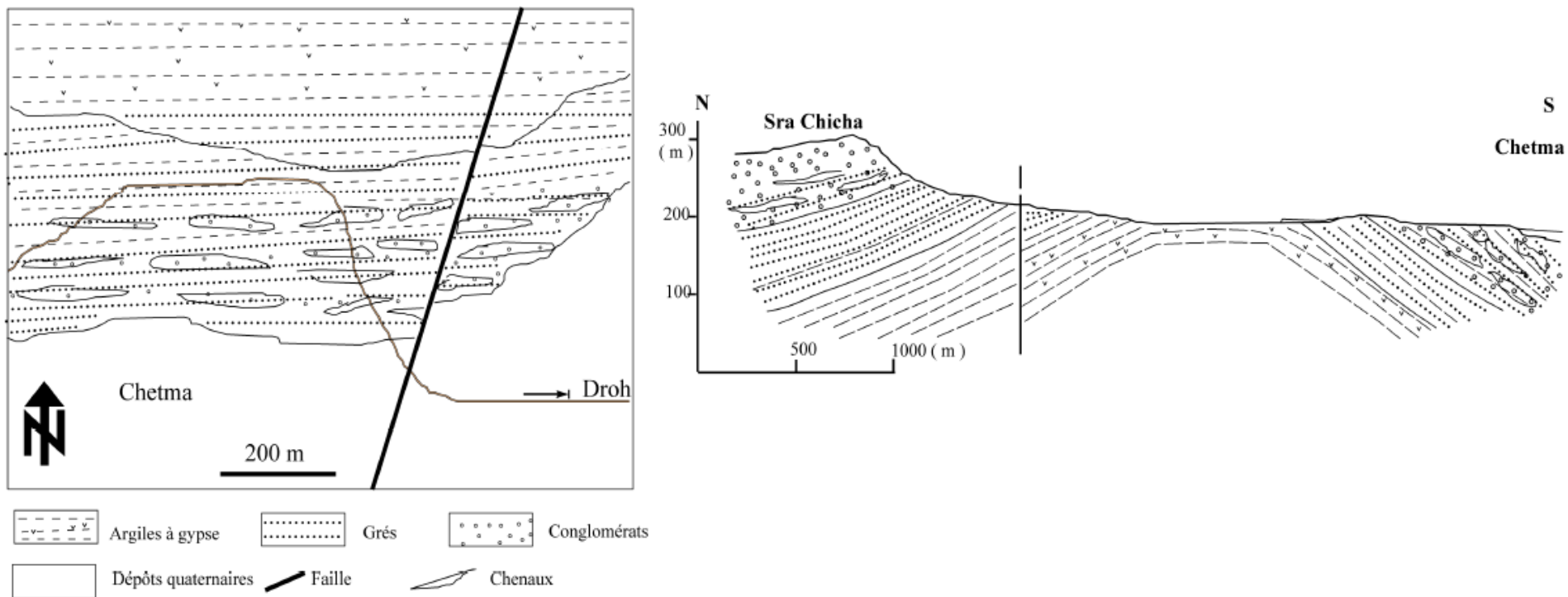


Figure 12: Esquisse tectonique (Extraite de la carte géologique de Biskra in Sedrati, 2011).





**Figure 13** -A Gauche l'esquisse géologique du secteur de Chetma et à droite la coupe réalisée entre Sra Chicha et Chetma qui représente l'anticlinal de Droh

*Géologiquement notre zone d'étude comprend deux unités structurales principales, le Mio-pliocène composé de formations calcaires et marnes avec des intercalations de gypse, et l'Eocène composé de formation calcaire et marne. Nous distinguons deux ensembles hydrogéologiques : le Continental Intercalaire et le Complexe Terminal. A Biskra le complexe terminal est contenu dans les divers horizons perméables du Crétacé supérieur et du Tertiaire, le Mio-pliocène à faciès sablo-argilo-gréseux, l'Eocène moyen évaporitique, argiles avec gypse, le Sénonien supérieur à formations perméables, le Cénomanién inférieur lagunaire à faible perméabilité, le Turonien carbonaté et dolomitique. Le continental intercalaire est constitué essentiellement par les formations sableuses et argilo-gréseuses du Néocomien, Barrémien, Aptien, et de l'Albien elle est de type captif et plus profonde.*

***Chapitre III***  
***Approche géophysique***

*La recherche des eaux souterraines a donné lieu à des études qui ont abouti à la mise au point de certaines méthodes géophysiques dont l'utilisation est actuellement bien répandue. Cette dynamique de prospection a été motivée par le grand rendement qu'avait montré certaines méthodes à l'image de la prospection électrique, laquelle, dès les premières applications a fourni de résultats assez fiables. La recherche des eaux dépend de la profondeur des aquifères mais surtout du degré de connaissance et de caractérisation lithologique (nature de la formation) et structurale (degré de fissuration et fracturation) des formations souterraines. La région de Chetma, située à l'Est de la ville de Biskra, a fait l'objet d'une vaste campagne de prospection géophysique. Ces travaux de prospection électrique réalisés par la méthode des sondages électriques (SEV) ont comporté 109 sondages électriques verticaux répartis sur 13 profils notés de A à M. Parmi les objectifs de cette prospection :*

- *Déterminer les paramètres physiques (résistivité électrique) et géométrique (épaisseur) des formations géologiques et de leur extension latérale.*
- *Déterminer la structure géologique locale.*
- *Localiser les couches susceptibles de constituer des aquifères afin de mieux cibler les meilleurs emplacements pour l'implantation d'un dispositif de captage. = (forages) destinés à l'alimentation en eau des populations de Biskra et à l'irrigation des aires agricoles.*

## **1. Généralités sur la méthode des résistivités**

### **1.1 Introduction**

La prospection électrique s'intéresse à l'identification des structures et des caractéristiques des terrains à partir de mesures de leur paramètre physique: la résistivité électrique. La résistivité électrique dépend de la nature pétrographique, de la structure des roches et de leur teneur en eau plus ou moins saline. En fait, ce dernier facteur joue le rôle le plus important dans la conductibilité du sous-sol. La résistivité électrique d'une roche sera ainsi fonction de la porosité, du degré de cimentation de la roche, du degré de saturation en eau des pores et de la résistivité de l'eau d'imbibition. Cette relation est exprimée par la loi d'Archie établie en 1942:

$$\rho_r = a\rho_w\phi^{-m}S_w^{-2}$$

Où  $\rho_r$  est la résistivité électrique de la roche, en ohm-m,  $\rho_w$  est la résistivité électrique de l'eau d'imbibition, en ohm-m,  $\phi$  est la porosité en %,  $S_w$  est le degré de saturation des pores, en %,  $m$  est le facteur de cimentation ; il dépend de la forme de pores, des liaisons entre pores et varie entre 1.3 et 2.2,  $a$  est le facteur caractérisant la lithologie et varie entre 0.6 et 2.

Si la formation est complètement saturée en eau, ce qui intéresse les hydrogéologues, c'est à dire  $S_w = 1$ , alors on aura plus simplement

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

On a l'habitude de regrouper sous le terme de facteur de formation :  $F = a\phi^{-m}$  ce qui donne :

$$\rho_r = F\rho_w$$

Dans la pratique on admet pour les formations meubles la formule d'Humble

$$\rho_r = 0.62\phi^{-2.15}\rho_w$$

et pour les roches bien cimentées :

$$\rho_r = \phi^{-2}\rho_w$$

Les mesures de résistivité permettent donc de repérer facilement les formations les plus poreuses. Pour que celles-ci constituent des réservoirs utilisables, encore faut-il qu'elles présentent une bonne perméabilité. D'autres facteurs interviennent dans la résistivité d'une roche dont il faudra souvent tenir compte, tels que la température, la répartition géométrique des pores et leur mode de communication.

## 1.2 Mesure de la résistivité du sous-sol

La méthode employée pour la mesure de la résistivité électrique utilise divers dispositifs. Nous avons adopté pour nos mesures le quadripôle Schlumberger. Le principe de la méthode (**Figure 14**), consiste à injecter dans le sol un courant électrique continu ou alternatif

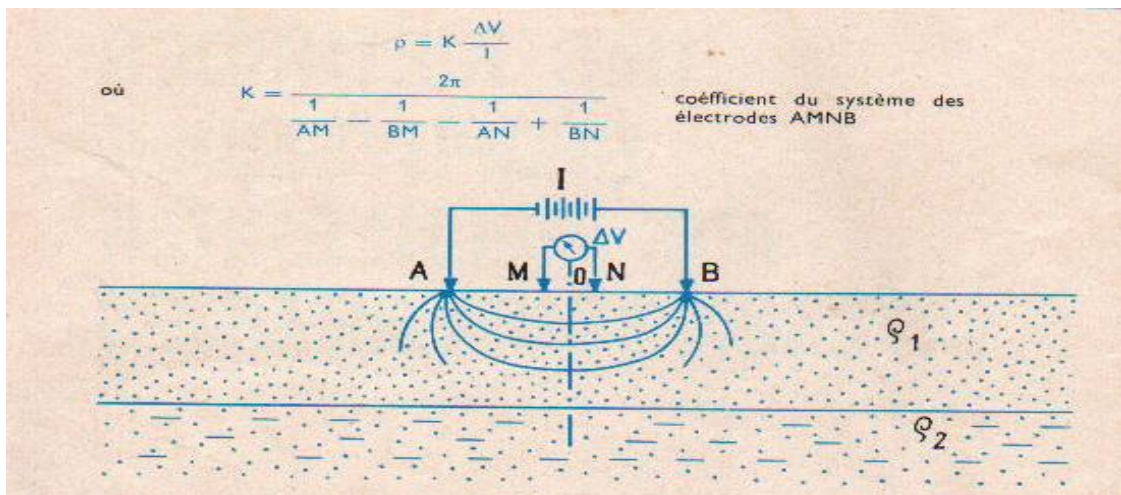
d'intensité  $I$  créé par un générateur, entre deux électrodes d'injection A et B et à mesurer une différence de potentiel  $\Delta V$  provoquée par le passage du courant, entre deux électrodes de réception M et N. La résistivité est obtenue grâce à la formule :

$$\rho_a = K \cdot \frac{\Delta V}{I}$$

Déduite de la loi d'Ohm, où K est un coefficient qui dépend de la géométrie du dispositif.

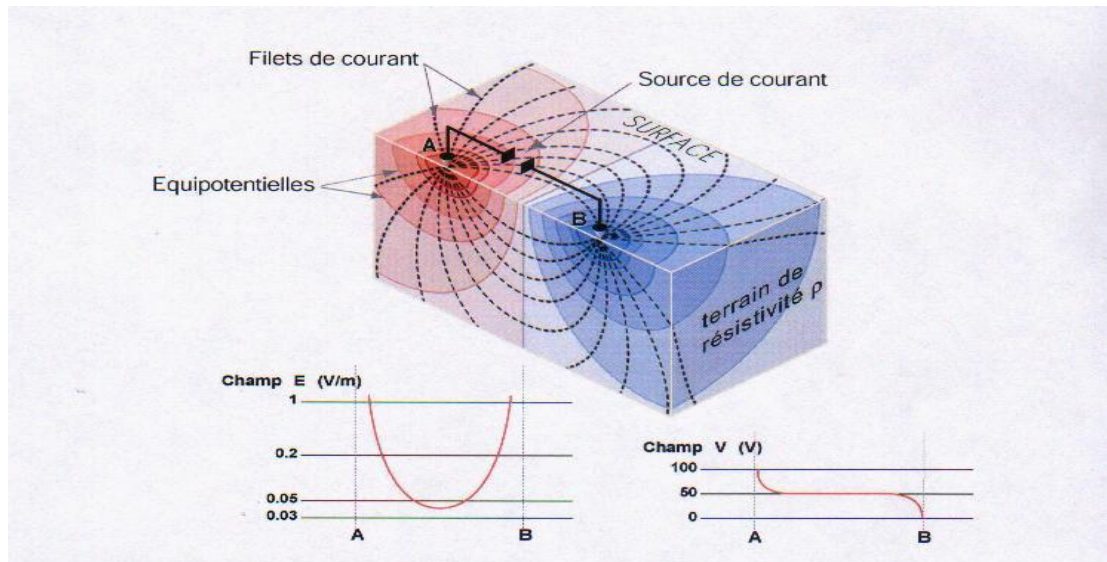
Pour le dispositif Schlumberger:  $K = \pi \cdot \frac{AM \cdot AN}{MN}$

La profondeur d'investigation d'un tel dispositif est fonction de l'écartement des électrodes d'émission A-B, ainsi que des épaisseurs et des résistivités des terrains rencontrés.



**Figure 14** -Quadripôle de Schlumberger (cours en ligne de géophysique, Université de Lausanne)

Lorsque les filets de courant circulent entièrement dans un même niveau homogène, la résistivité mesurée correspond à la résistivité vraie de ce terrain (Figure 15). C'est le cas notamment des mesures tests ou paramétriques effectuées sur des formations sub-affleurantes d'épaisseurs et d'extensions suffisamment importantes par rapport à l'écartement de la ligne d'émission.



**Figure 15-**Equipotentiels de courant dans un sol homogène (cours en ligne de géophysique université de Lausanne)

Mais généralement, les filets de courant traversent plusieurs horizons différents; dans ce cas, la résistivité est fonction des résistivités spécifiques des différents terrains et de leurs épaisseurs. Les résistivités mesurées sont dites résistivités apparentes et c'est à partir de ces valeurs que nous essayons de déterminer les résistivités vraies  $\rho_i$  et les épaisseurs  $h_i$  caractérisant chaque niveau.

## 2.Sondage électrique

### 2.1 Principe du sondage électrique vertical (SEV)

Pour réaliser un SEV, on effectue à partir d'un même point une série de mesures de la résistivité apparente en augmentant progressivement les dimensions du dispositif de mesure, le centre et la direction restant constants. En supposant que la résistivité spécifique et l'épaisseur du terrain superficiel ne varient pas de façon considérable d'une mesure à l'autre, les variations de la résistivité apparente sont dues essentiellement aux changements verticaux de la résistivité spécifique. On voit donc que la profondeur d'investigation augmente en fonction de l'espacement AB. Dans la pratique cette profondeur d'investigation est proportionnelle à la longueur du dispositif dans le rapport approximatif et empirique de 1/4 à 1/10. Généralement, On continue les mesures jusqu'à ce que la formation géologique recherchée soit atteinte.

Lors de l'exécution des sondages avec un dispositif Schlumberger, le principal problème consiste à conserver un  $\Delta V$  suffisamment grand pour être mesuré. Or au fur et à mesure que A et B s'éloignent  $\Delta V$  diminue. La technique utilisée est exclusivement celle du sondage électrique de type Schlumberger. Pour ces mesures, dont les principes généraux ont été exposés dans la partie précédente de ce travail, les longueurs de lignes d'émission (distance entre les électrodes d'envoi de courant A et B) étaient variables de  $AB = 2000$  m.

### 3. Matériel et méthodes

Tous les profils ont une orientation NW-SE. Les mesures de terrain ont été effectuées le long de ces profils avec un pas de 1000 m, sauf dans le cas du profil H où l'existence d'un obstacle a empêché d'exécuter le sondage H 2 . La longueur de la ligne d'émission AB était généralement de 2000 m . Le dispositif utilisé est celui de Schlumberger, le tableau 5 résume les caractéristiques de chaque profil. Ces sondages électriques verticaux sont ensuite interprétés à l'aide du logiciel IPI2 Win. Il y'a lieu de signaler que le logiciel utilisé fournit parfois des répartitions non-conformes à notre sous-sol étudié, nous nous tacherons à adapter les résultats de l'optimisation obtenus par IPI2WIN avec la réalité de notre sous sol.

**Tableau 6: Tableau récapitulatif sur les profils électriques réalisés par ENAGEO, en 2000**

profil	Nombre de SEV	Début de Profil UTM WGS84	Fin de Profil UTM WGS84	AB max (m) MN max(m)	$\rho_a$ min (Ohm.m.) $\rho_a$ max (Ohm.m.)
<b>A</b>	3	X : 754577 Y : 3857823,5	X : 753107,7 Y : 3859321,7	AB max : 2000 MN max : 600	$\rho_a$ min : / $\rho_a$ max : /
<b>B</b>	9	X : 755397,1 Y : 3857793	X : 750263,6 Y : 386918,5	AB max : 2000 MN max : 600	$\rho_a$ min : / $\rho_a$ max : /
<b>C</b>	9	X : 756402,7 Y : 3857792,9	X : 751319,8 Y : 3863902,2	AB max : 2000 MN max : 600	$\rho_a$ min : 15,89 $\rho_a$ max : 515,45
<b>D</b>	9	X : 757408,6 Y : 3857794,8	X : 752292,1 Y : 3863905,5	AB max : 2000 MN max : 600	$\rho_a$ min : 11,78 $\rho_a$ max : 350
<b>E</b>	9	X : 758406,4 Y : 3857799	X : 753249,7 Y : 3863923,7	AB max : 2000 MN max : 600	$\rho_a$ min : 7,37 $\rho_a$ max : 420
<b>F</b>	10	X : 760700 Y : 3856988,1	X : 754266,5 Y : 3863929,6	AB max : 2000 MN max : 600	$\rho_a$ min : 7,79 $\rho_a$ max : 372,36
<b>G</b>	9	X : 760393 Y : 3857790,4	X : 755257,1 Y : 3863928,8	AB max : 2000 MN max : 600	$\rho_a$ min : 9,06 $\rho_a$ max : 152,64
<b>H</b>	8	X : 761409,9 Y : 3857796,9	X : 756412,1 Y : 3863860,4	AB max : 2000 MN max : 600	$\rho_a$ min : 14,47 $\rho_a$ max : 525
<b>I</b>	9	X : 762406,9 Y : 3857793,5	X : 757256,7 Y : 3863919	AB max : 2000 MN max : 600	$\rho_a$ min : 10,08 $\rho_a$ max : 286,36

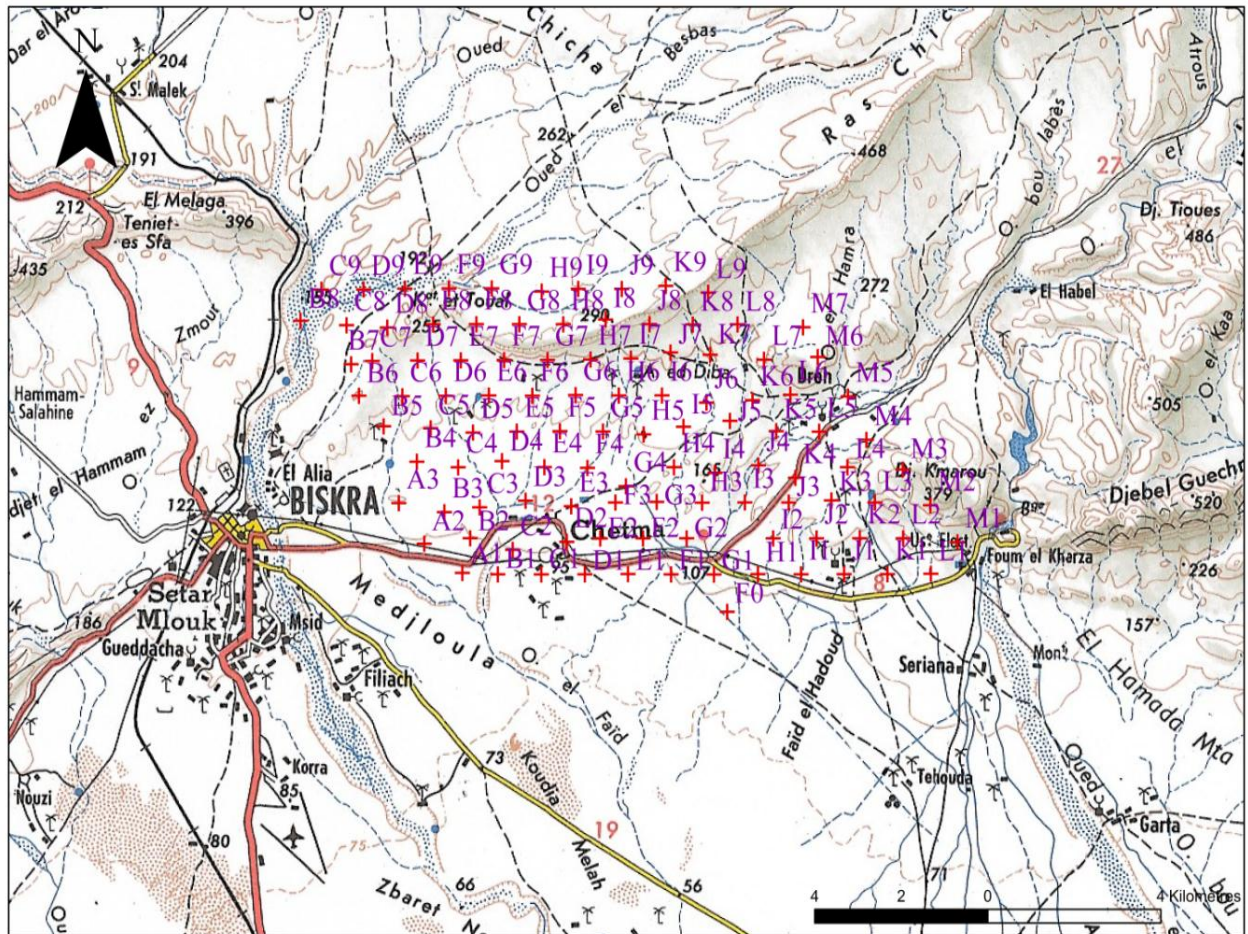


<b>j</b>	9	X : 763400,4 Y : 3857796,4	X : 758262,6 Y : 3863915,6	AB max : 2000 MN max : 600	$\rho_{a\min}$ : 8,6 $\rho_{a\max}$ : 287,34
<b>K</b>	9	X : 764404,2 Y : 3857798	X : 759278,3 Y : 3863982,1	AB max : 2000 MN max : 600	$\rho_{a\min}$ : 19,66 $\rho_{a\max}$ : 720
<b>L</b>	9	X : 765406,5 Y : 3857804,5	X : 760259 Y : 3863836,7	AB max : 2000 MN max : 600	$\rho_{a\min}$ : 15,58 $\rho_{a\max}$ : 281,84
<b>M</b>	7	X : 766021,3 Y : 3858481,3	X : 762451,6 Y : 3863094,6	AB max : 2000 MN max : 600	$\rho_{a\min}$ : 17,23 $\rho_{a\max}$ : 684,87

Le matériel utilisé par l'ENAGEO est illustré en figure 15, il s'agit du résistivimètre, des électrodes et des bobines de câbles électriques.

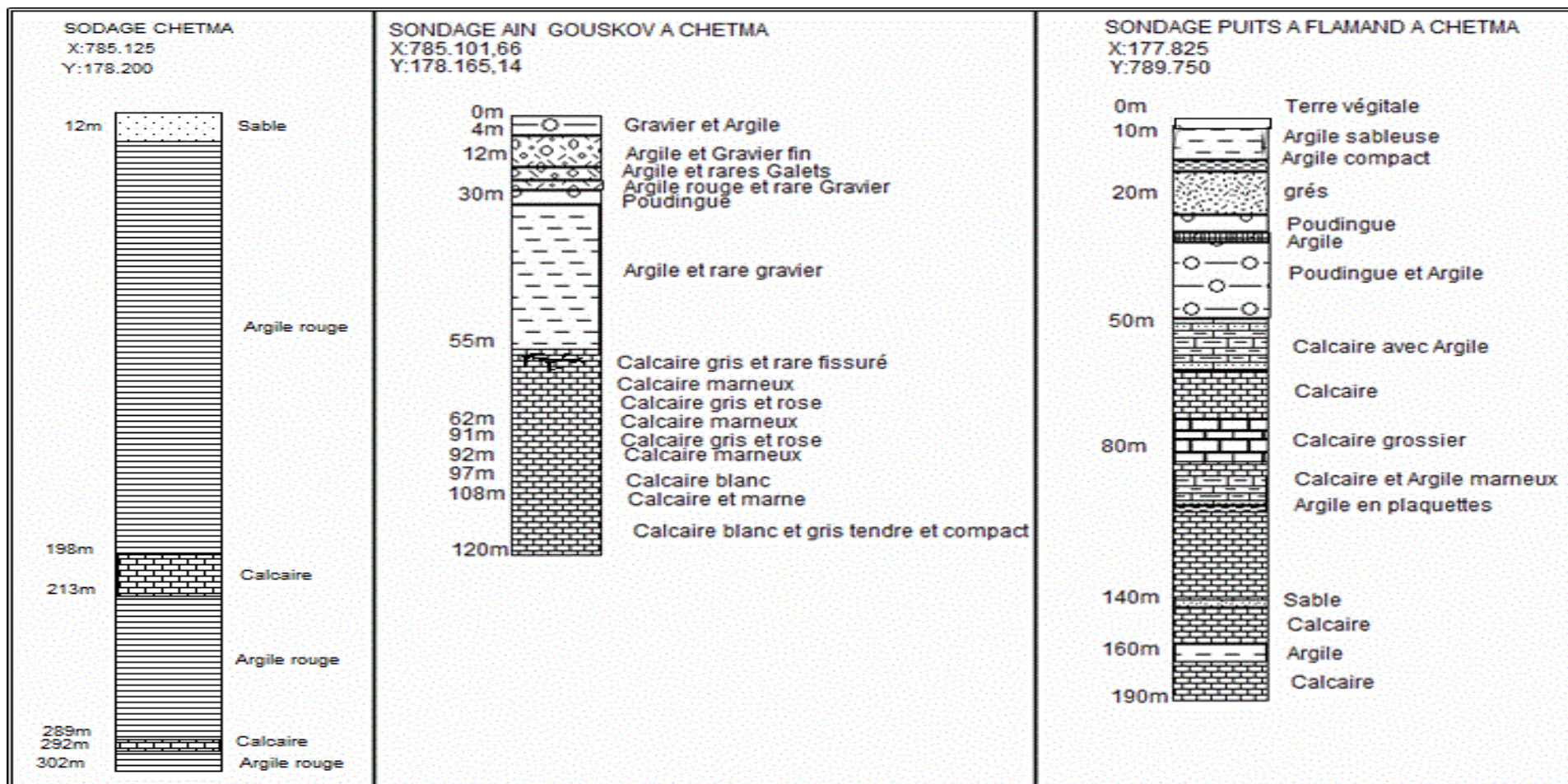


**Figure 16-** matériel utilisé dans la réalisation des sondages électriques verticaux

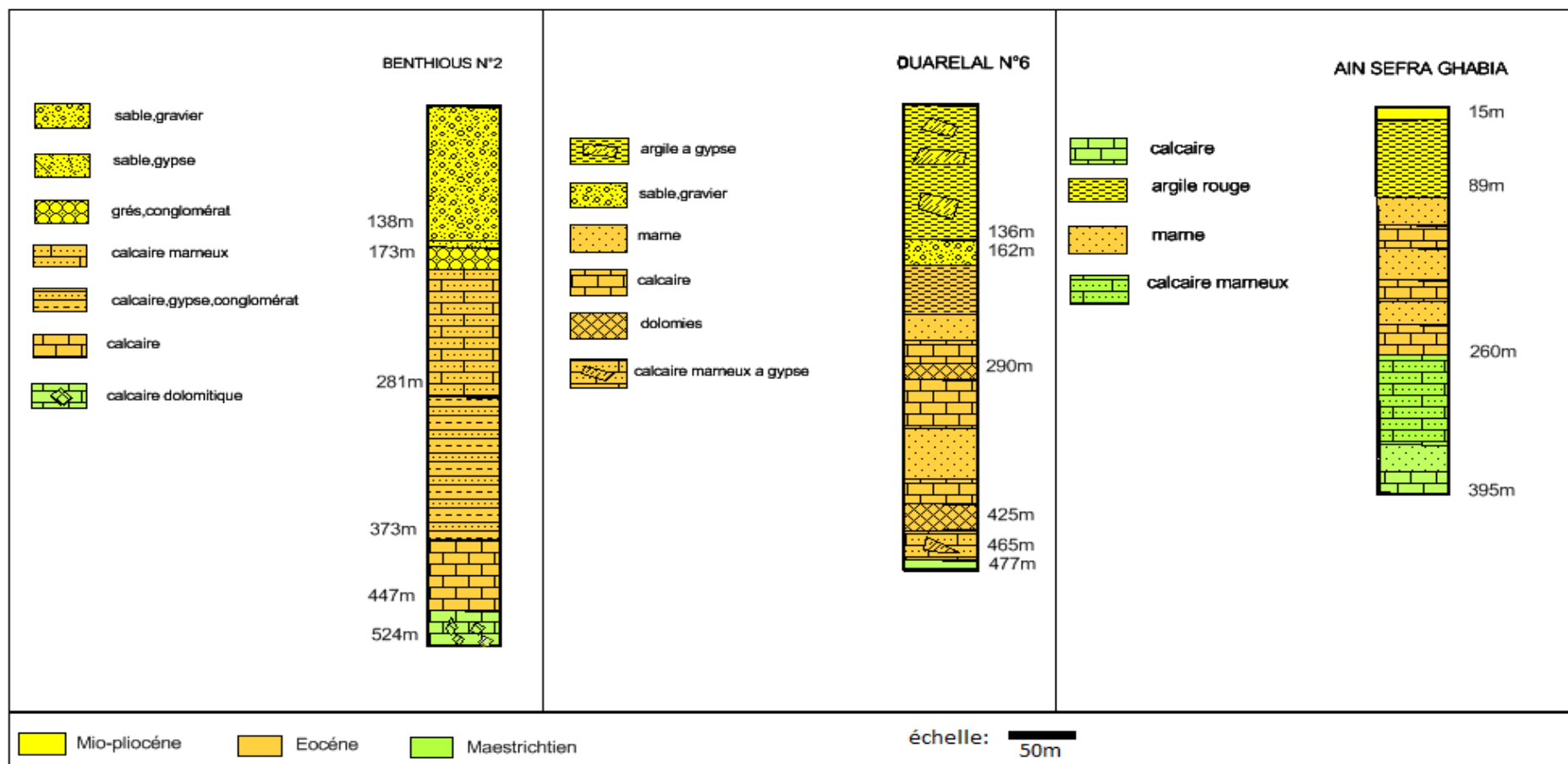


**Figure 17** -Plan de positionnement des Sondages Electriques Verticaux dans la région de Chetma à l'Est de Biskra

Afin d'identifier les formations géologiques situées à de grandes profondeurs, l'interprétation des sondages électriques verticaux (SEV) est accomplie par l'utilisation des logs de forages mécaniques. Pour cela, nous avons eu recours à des logs de forages récupérés de l'ANRH d'Ouargla et du Centre de Recherche Scientifique et Technique sur les Régions Arides à Biskra. Ces forages ont été réalisés entre 1950 et 1984, et d'autres plus récents de 2017. Ils sont situés généralement au Nord, au Centre et au Sud de Chetma.



**Figure 18-** Logs de forages utilisés dans l'interprétation des coupes géo-électriques et des cartes de résistivités apparentes (ANRH d'Ouargla).



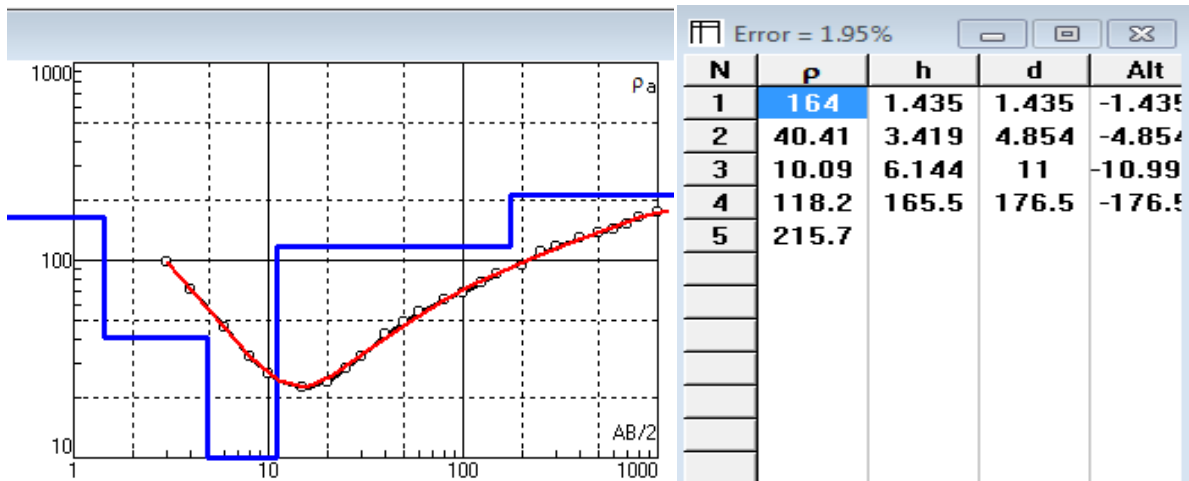
**Figure 19-** Logs de forages dans la région de Biskra (Centre de Recherche Scientifique et Technique sur les Régions Arides à Biskra, 1954-1968)

**4. Résultat et discussion**

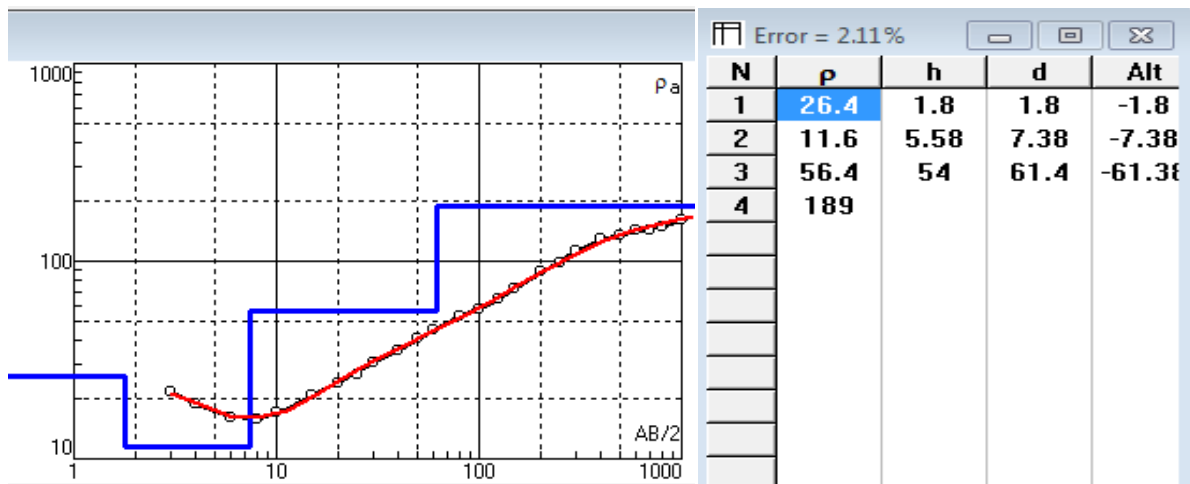
**4.1 Profils électriques**

**4.1.1 Profil C** Le profil C est situé à l'ouest de la région d'étude, il comporte Neuf SEV, orientés NW-SE

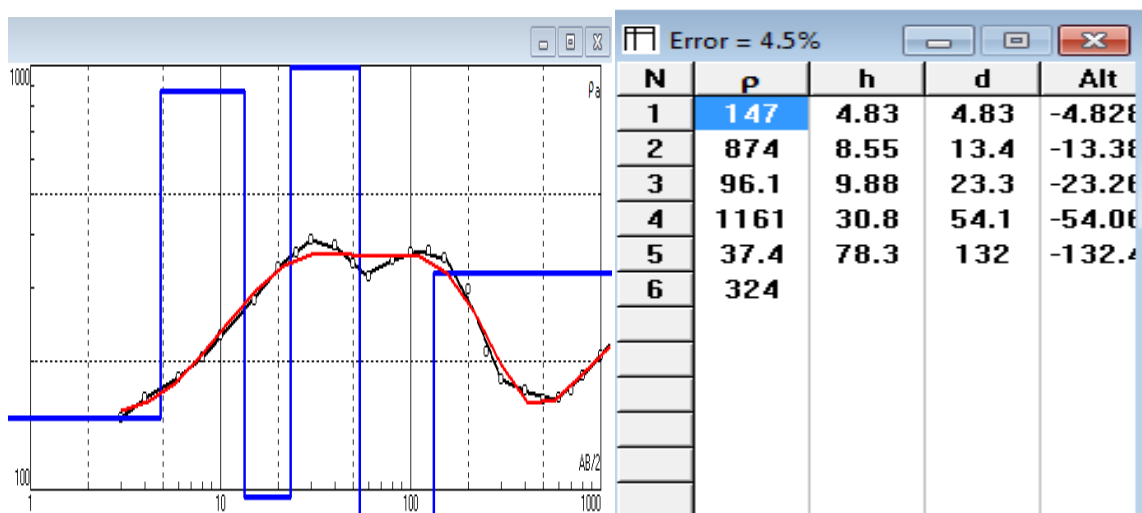
**4.1.1.1 Sondage C4**, Trois couches ressortent de la courbe expérimentale du C4, elle montre la présence d'un terrain superficiel, mince et résistant de 164 Ωm que surmonte un terrain moins résistant de 50 Ωm , et épais de 10m. A partir de 10 m de profondeur, on rencontre un imposant terrain résistant de 118 Ωm et puissant de 160m.



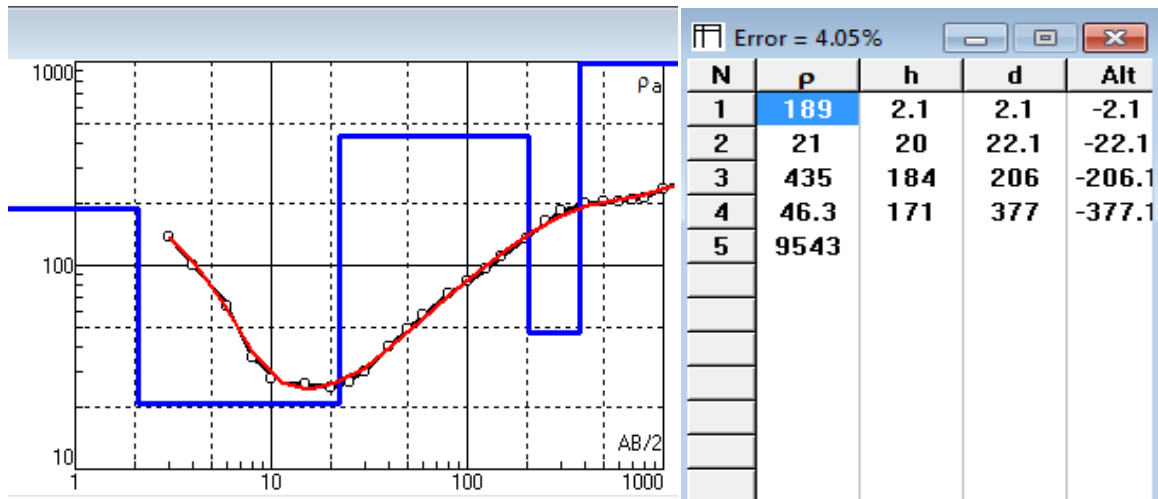
**4.1.1.2 Sondage C5**, La courbe expérimentale du C5, montre la présence de trois horizons distincts. un terrain superficiel mince (1,8m) et conducteur avec une résistivité de 26,4 Ωm, que surmonte un terrain plus conducteur de 11,5 Ωm et d'une épaisseur d'environ 6 m, ce dernier superpose un troisième horizon plus ou moins résistant en profondeur avec 56,4Ωmet puissant de 54 m.



**4.1.1.3 Sondage C6,** La courbe expérimentale du C6 montre la présence de trois à quatre couches. De haut en bas, un terrain superficiel résistant de 147  $\Omega\text{m}$  et d'une épaisseur d'environ 5m que surmonte un terrain moins résistant de 96  $\Omega\text{m}$  et épais de 10m. La série sédimentaire se termine par un troisième terrain conducteur de 37,4  $\Omega\text{m}$  dont l'épaisseur est importante, elle est supérieure à 75m.

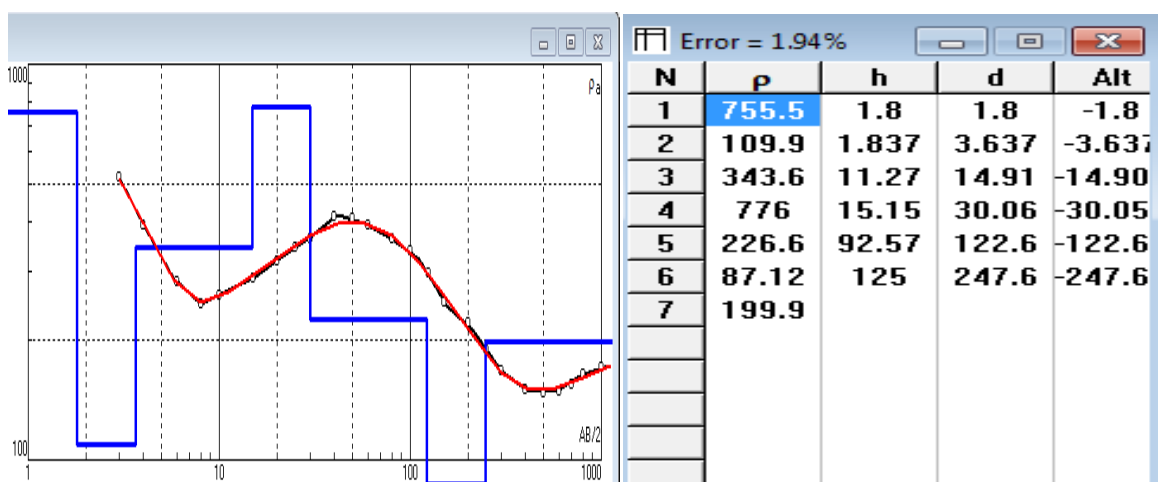


**4.1.1.4 Sondage C7,** La courbe expérimentale du C7 montre trois couches qui lui sont associées. Un terrain superficiel mince et résistant de 189  $\Omega\text{m}$ , il superpose deux horizons conducteurs, l'un à 21  $\Omega\text{m}$ , épais de 20m et l'autre en profondeur dont sa résistivité est établie à 46  $\Omega\text{m}$ , il marque une épaisseur très importante, elle est supérieure à 170m.



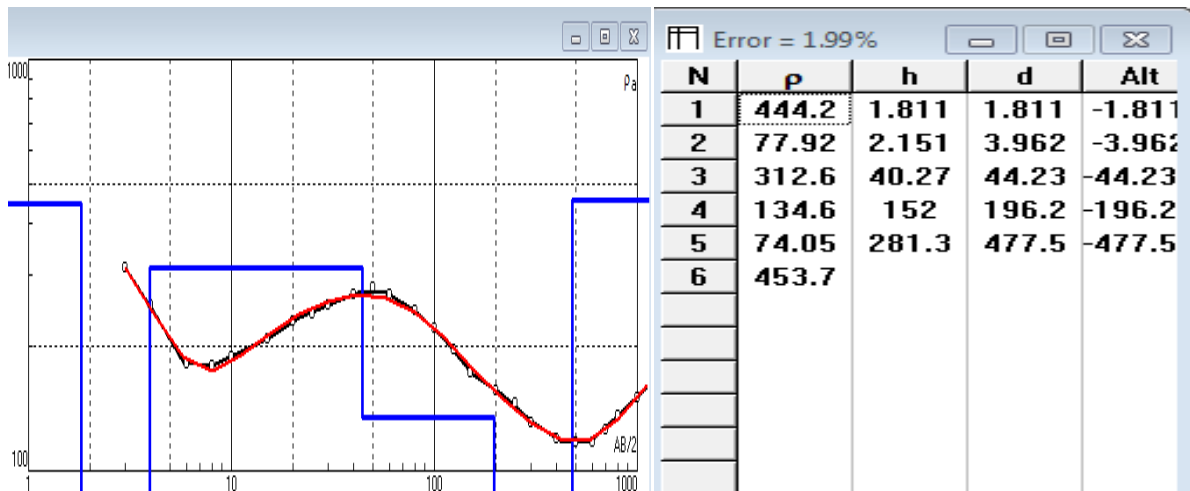
**4.1.1.5 Sondage C8**, La courbe expérimentale du C8 montre la présence de quatre couches, qui sont de haut en bas :

- un terrain superficiel résistant de 755  $\Omega$ m, il s'agit d'une résistivité de contact entre le sol et l'électrode.
- un deuxième terrain relativement résistant de 110  $\Omega$ m et épais de 2m.
- un troisième horizon plus résistant que le précédent avec 343,6  $\Omega$ m, il est épais de 11m;
- un dernier horizon très épais, son épaisseur avoisine les 125 m, il se montre moins résistant et à tendance conductrice, il est enregistré à 87 $\Omega$ m.

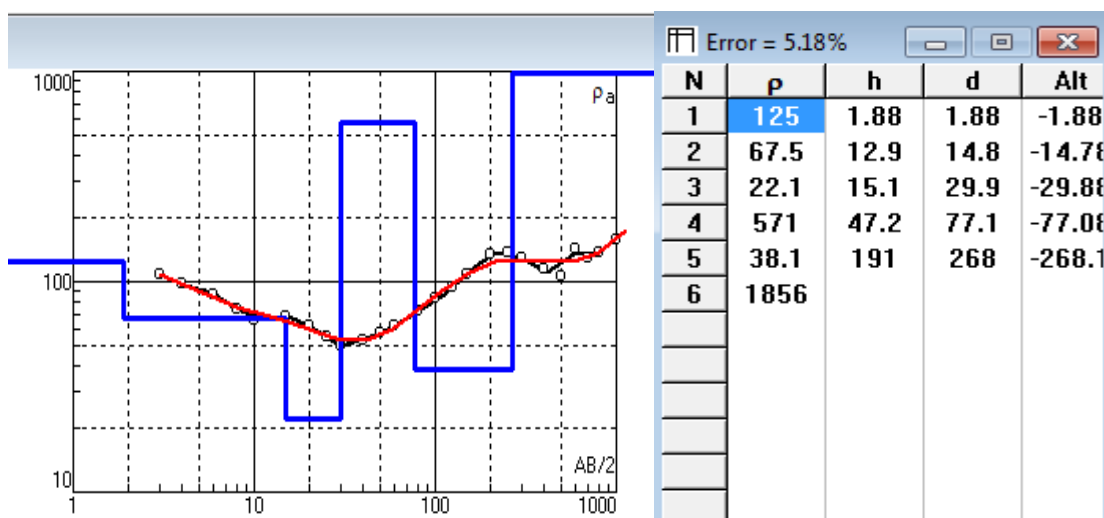


**4.1.2 Profil D** Ce profil est situé à l'ouest de la région d'étude, il contient neuf SEV orientés du Nord-Ouest au Sud-est

**4.1.2.1 Sondage D2**, La courbe expérimentale du D2 montre la présence de trois à quatre couches. un terrain résistant de 134  $\Omega\text{m}$  et puissant de 152m compris en sandwich entre deux horizons conducteurs, l'un superficiel de 78  $\Omega\text{m}$  et l'autre profond de 74  $\Omega\text{m}$  dont l'épaisseur est très importante, elle est supérieure à 280m. Il est à signaler que la résistivité de contact s'exprime par une forte valeur de 444  $\Omega\text{m}$ .



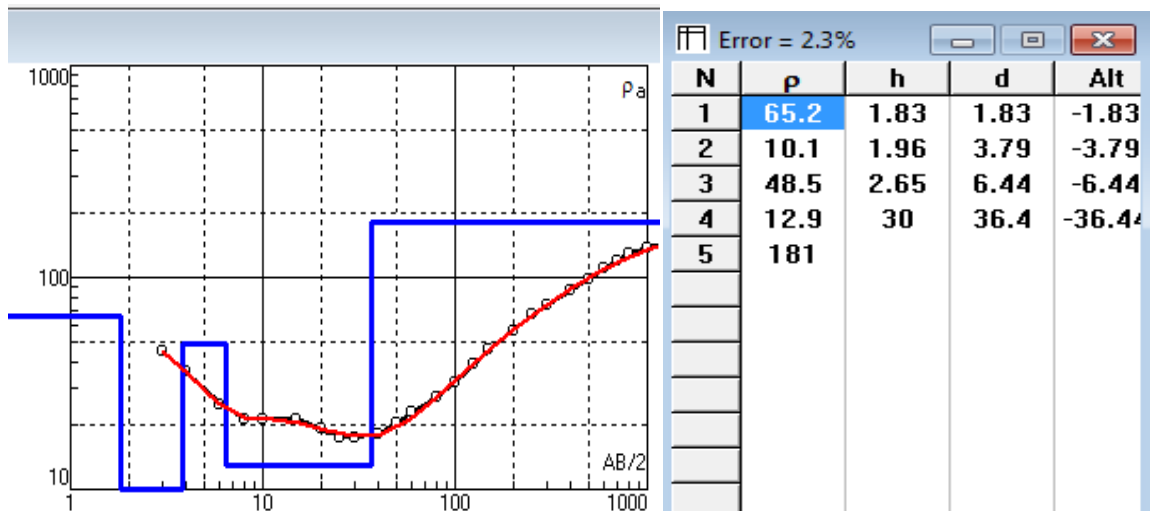
**4.1.2.2 Sondage D3**, La courbe expérimentale du D3 montre la présence de trois à quatre couches. un terrain superficiel résistant de 125  $\Omega\text{m}$ , d'une épaisseur d'environ 2m, suivi d'un terrain relativement résistant de 67.5  $\Omega\text{m}$  que surmonte un terrain conducteur à deux niveaux, l'un de 22  $\Omega\text{m}$  et 'une épaisseur de 15m et l'autre de 38  $\Omega\text{m}$  dont l'épaisseur est très importante, elle est supérieure à 190m.



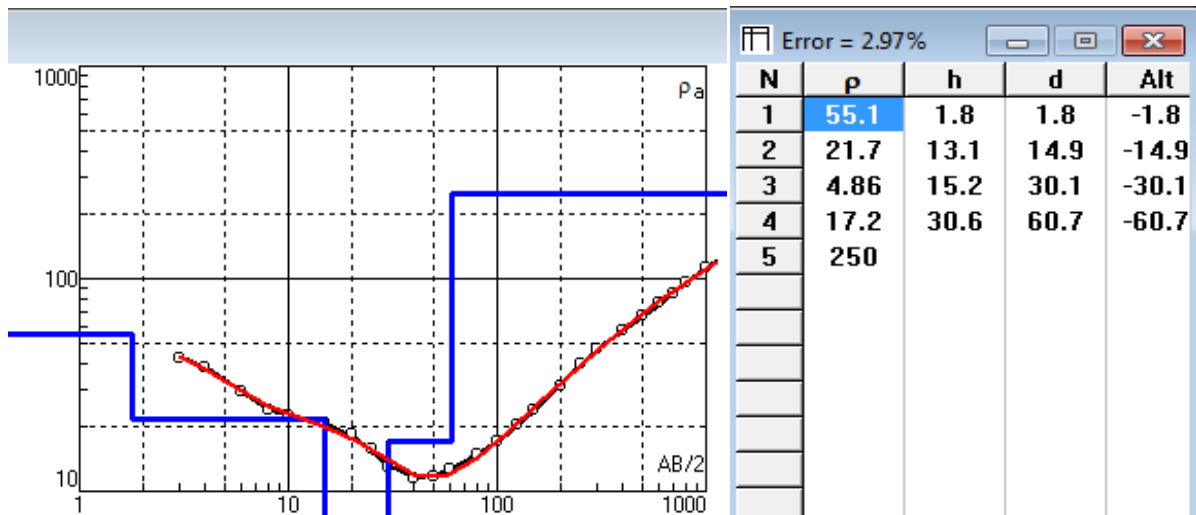


**4.1.2.3. Sondage D4**, La courbe expérimentale du D4 montre la présence de quatre couches avec de haut en bas les niveaux suivants:

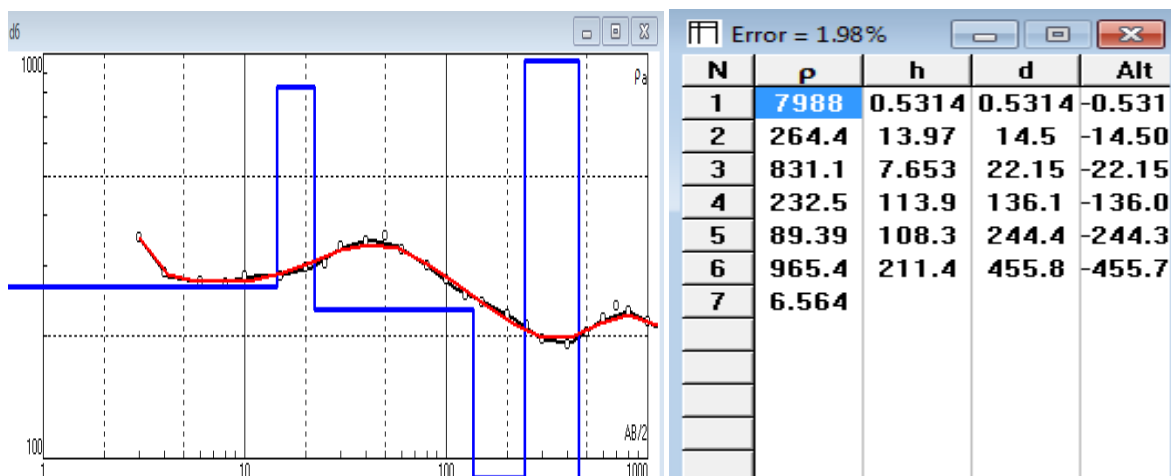
- un terrain superficiel peu résistant à tendance conductrice de 65  $\Omega\text{m}$  et une épaisseur d'environ 2m
- un terrain mince et très conducteur de 10  $\Omega\text{m}$ .
- un troisième terrain plus résistant que le précédent, enregistré à 48  $\Omega\text{m}$  mais se montre très mince, à moins de 3 m d'épaisseur,
- un dernier horizon plus conducteur rencontré à 6 m de profondeur, il présente une faible résistivité de 13  $\Omega\text{m}$  et une épaisseur de 30 m.



**4.1.2.4 Sondage D5**, La courbe expérimentale du D5 montre la présence de trois couches. un terrain superficiel peu résistant de 55  $\Omega\text{m}$  et d'une épaisseur de 2m que surmonte un terrain très conducteur de 5  $\Omega\text{m}$ , épais de 15m. La série sédimentaire se termine par un troisième terrain conducteur, sa résistivité est basse, mesurée à 17  $\Omega\text{m}$  et son épaisseur est supérieure à 30m.



**4.1.2.5 Sondage D6,** La courbe expérimentale du D6 montre la présence de trois à quatre couches. un terrain superficiel résistant de 264,4  $\Omega\text{m}$ , d'une épaisseur d'environ 14m, suivi d'un terrain très résistant de 831  $\Omega\text{m}$  avec une épaisseur de 7,6 m, que surmonte un moins terrain résistant que le précédent avec 232,5  $\Omega\text{m}$  dont l'épaisseur est importante, elle est supérieure à 110 m. Pour finir, un terrain à tendance conductrice de 89,3  $\Omega\text{m}$  dont l'épaisseur est supérieure à 100m

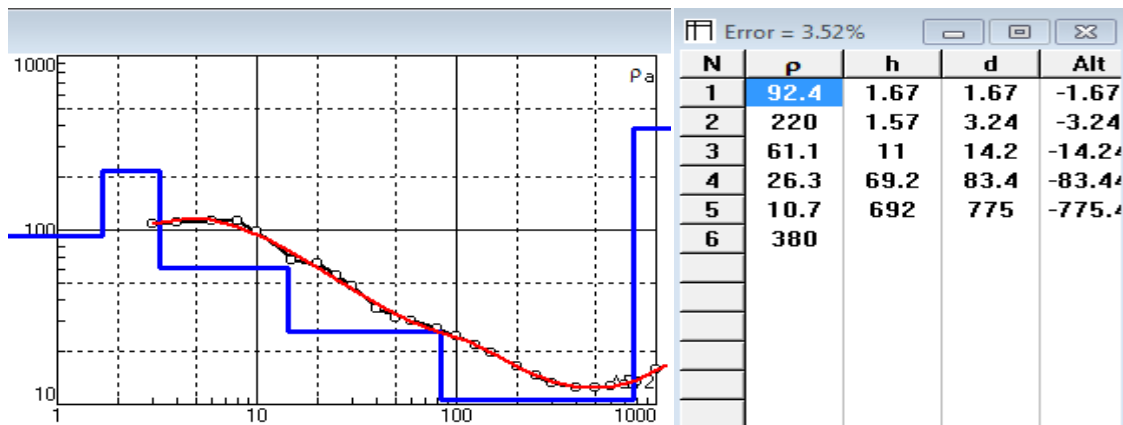


**4.1.3. Profil E** le profil E est situé à l'Est de la région d'étude, il contient neuf SEV, orientés NW-SE

**4.1.3.1 Sondage E1,** La courbe expérimentale du E1 montre la présence de deux à trois couches selon la disposition suivante:

- un terrain superficiel moyennement résistant de 92,4  $\Omega\text{m}$  d'une épaisseur de 2 m.
- un terrain peu résistant de 60  $\Omega\text{m}$  et une épaisseur de 11 m.

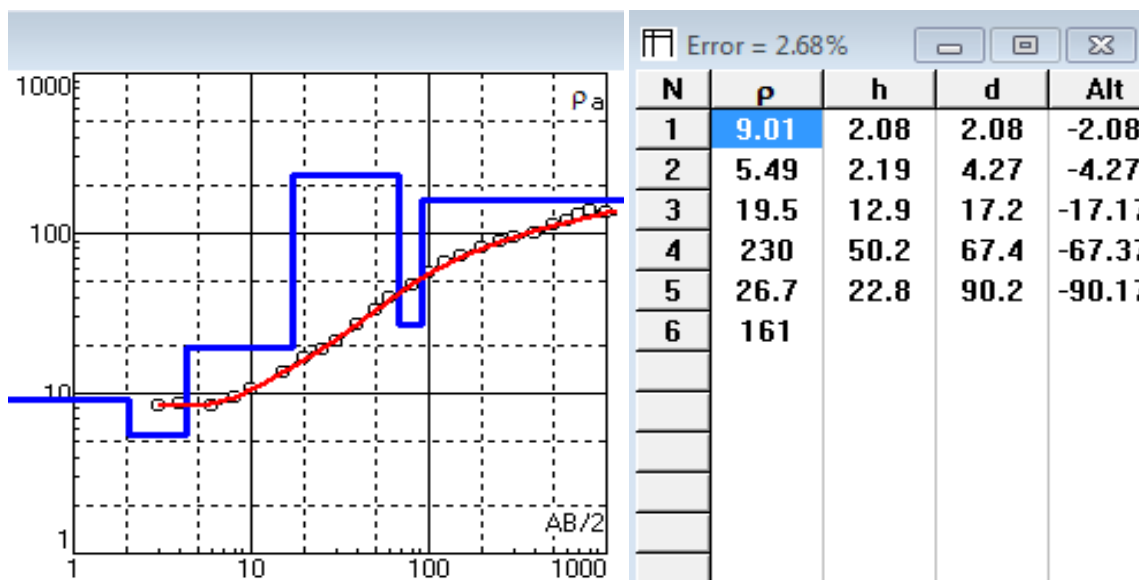
- un terrain conducteur de  $10,7 \Omega\text{m}$  dont l'épaisseur est très importante, supérieure à 690m



**4.1.3.2 Sondage E2**, La courbe expérimentale du E2 montre la présence de trois à quatre couches essentiellement conductrices avec de haut en bas:

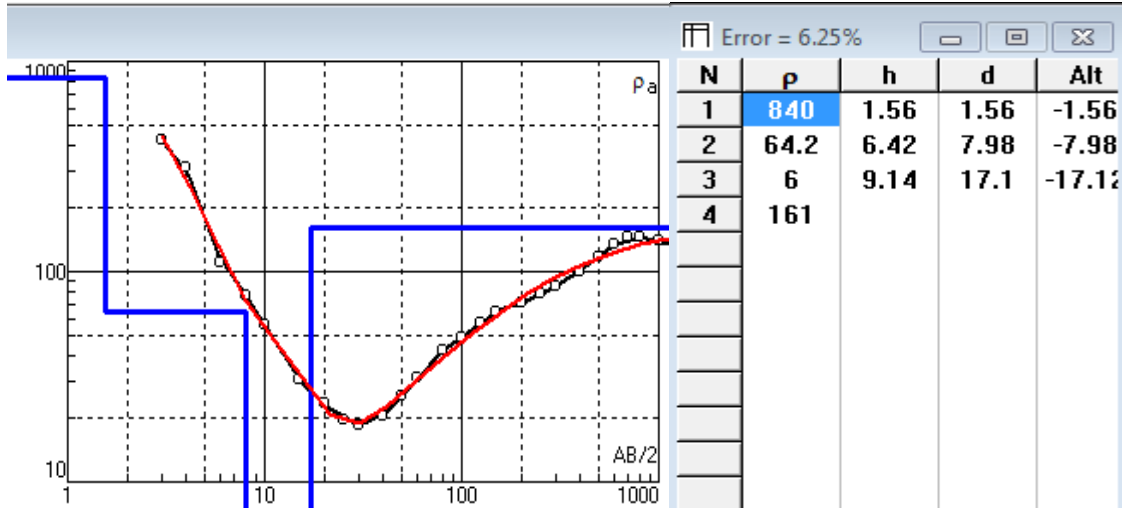
- un terrain superficiel qui se décline en deux niveaux, l'un très conducteur, sa résistivité est de  $9\Omega\text{m}$  et son épaisseur de 2 m et l'autre à  $19,5 \Omega\text{m}$ , épais de 13m.

- la série sédimentaire se termine par un terrain également conducteur de  $26,7 \Omega\text{m}$  dont l'épaisseur est d'environ 23 m. Les fortes résistivités présentées dans le tableau ne sont que l'effet de calculs d'optimisation qui génèrent par défaut des valeurs aberrantes.

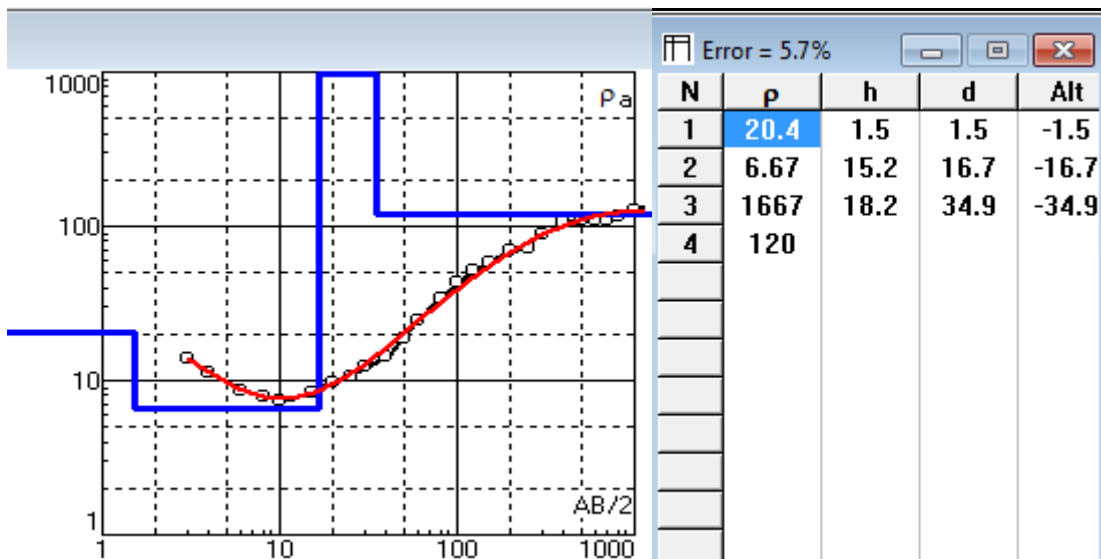


**4.1.3.3 Sondage E3**, La courbe expérimentale du E3 montre la présence de trois à quatre couches. En effet, en surface, un terrain superficiel très résistant avec  $840 \Omega\text{m}$  il surmonte un deuxième horizon conducteur avec  $64.2 \Omega\text{m}$ , suivi d'un terrain très conducteur de  $6 \Omega\text{m}$ , épais

de 10. L'ensemble sédimentaire est supporté par un dernier horizon à partir de 18 m de profondeur plutôt résistant enregistré à 161  $\Omega\text{m}$ .

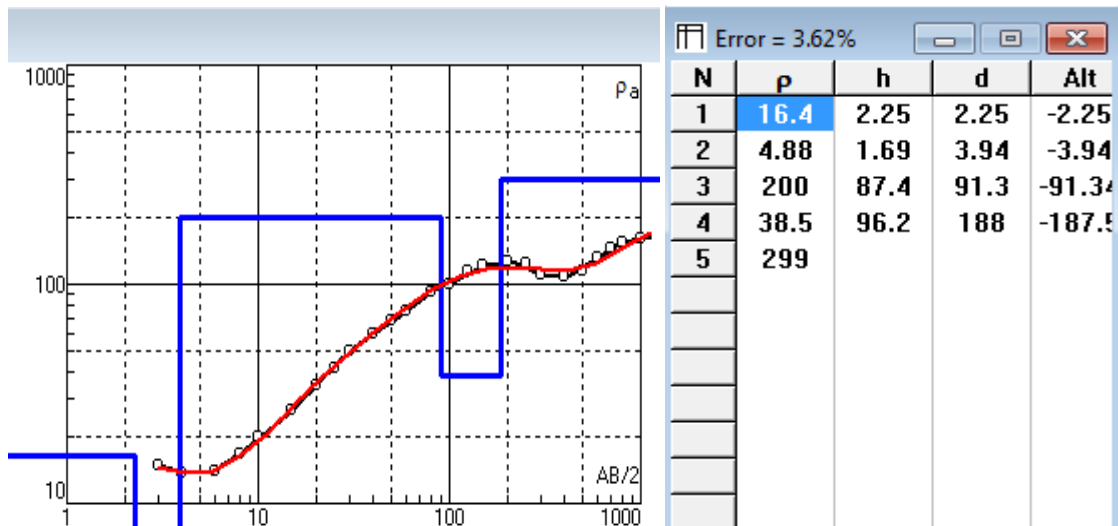


**4.1.3.4 Sondage E4**, La courbe expérimentale du E4 montre la présence de trois couches. Un terrain superficiel mince et conducteur de 20  $\Omega\text{m}$ , il vient surmonter un terrain de plus en plus conducteur de 6  $\Omega\text{m}$  et d'une épaisseur de 15m, l'ensemble se termine par un terrain à tendance résistante de 120  $\Omega\text{m}$

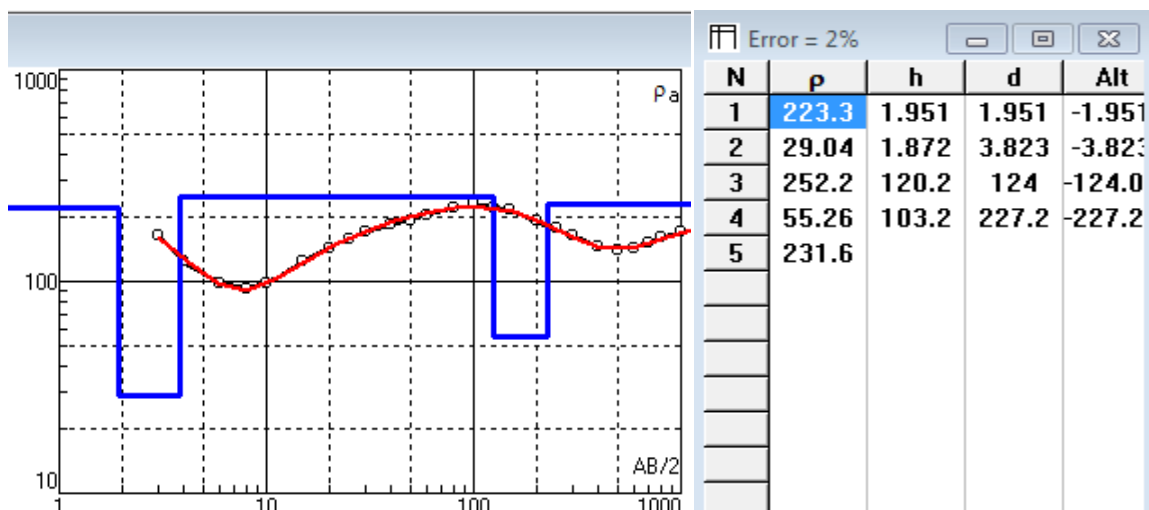


**4.1.3.5 Sondage E5**, La courbe expérimentale du E5 montre la présence de trois terrains ,en général, le premier terrain est une terre végétale présentant une résistivité égale à 16,4  $\Omega\text{m}$  et une faible épaisseur de 2,25m. il surmonte une deuxième couche résistante de 200  $\Omega\text{m}$  et d'une épaisseur de 87 m, cette dernière superpose une troisième couche, laquelle, sa résistivité

se voit diminuer en profondeur jusqu'à 38.5 Ωm, elle s'impose par sa grande épaisseur de 96m.

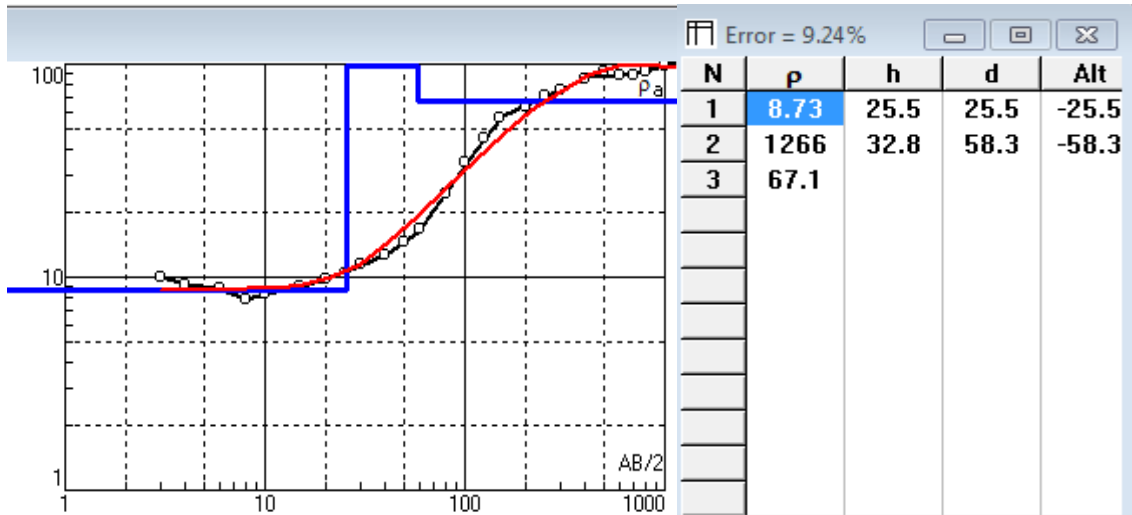


**4.1.3.6 Sondage E6**, La courbe expérimentale du E6 montre la présence de trois couches. Du haut en bas, on distingue un terrain superficiel, mince (2 m) et conducteur (29 Ωm) suivi d'une deuxième couche résistante de 120 m d'épaisseur avec une résistivité égale à 252 Ωm (252 est une valeur calculée et extrapolée de (ρ<sub>a</sub>) max), la résistivité chute en profondeur jusqu'à 55,2 Ωm dans un terrain très épais dont l'épaisseur est importante, elle est supérieure à 100m.

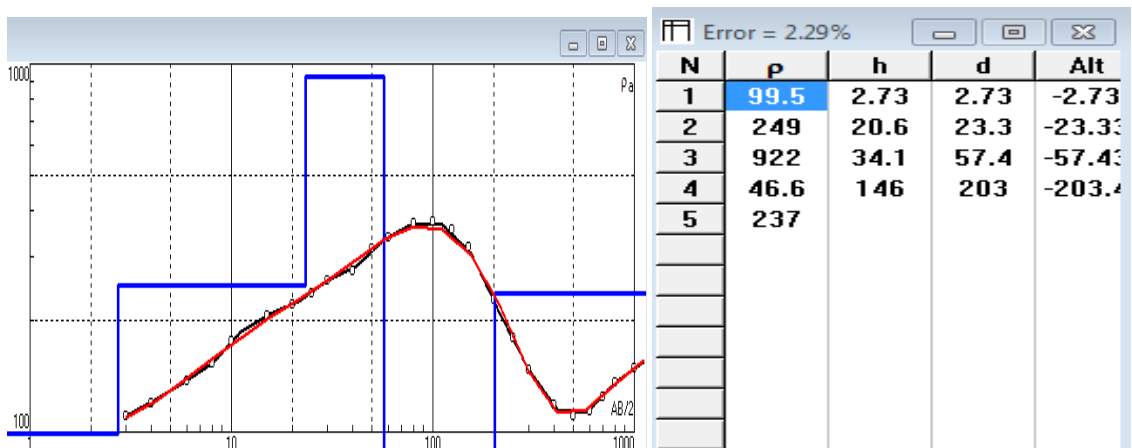


**4.1.4. Profil F** :le profil F est situé à l'Est de Chetma, il contient de neuf SEV orientés NW-SE

**4.1.4.1 Sondage F2,** La courbe expérimentale du F2 montre la présence de deux couches. Un terrain superficiel conducteur de  $8,7 \Omega\text{m}$  et une épaisseur d'environ de  $25,5 \text{ m}$  que surmonte un terrain peu résistant de  $67 \Omega\text{m}$ .

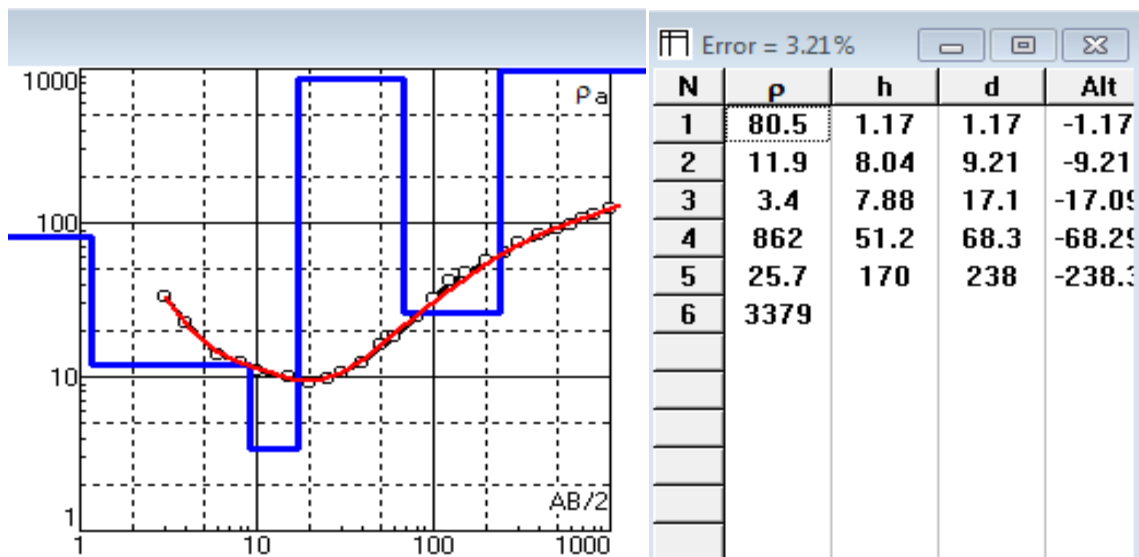


**4.1.4.2. Sondage F3,** La courbe expérimentale du F3 montre la présence de trois couches, un terrain superficiel résistant de  $99.5 \Omega\text{m}$  et une épaisseur d'environ  $3 \text{ m}$  que surmonte un terrain plus résistant de  $249 \Omega\text{m}$  et une épaisseur de  $20,6 \text{ m}$ , enfin un troisième terrain conducteur de  $46,5 \Omega\text{m}$  dont l'épaisseur est importante, supérieure à  $145 \text{ m}$ .

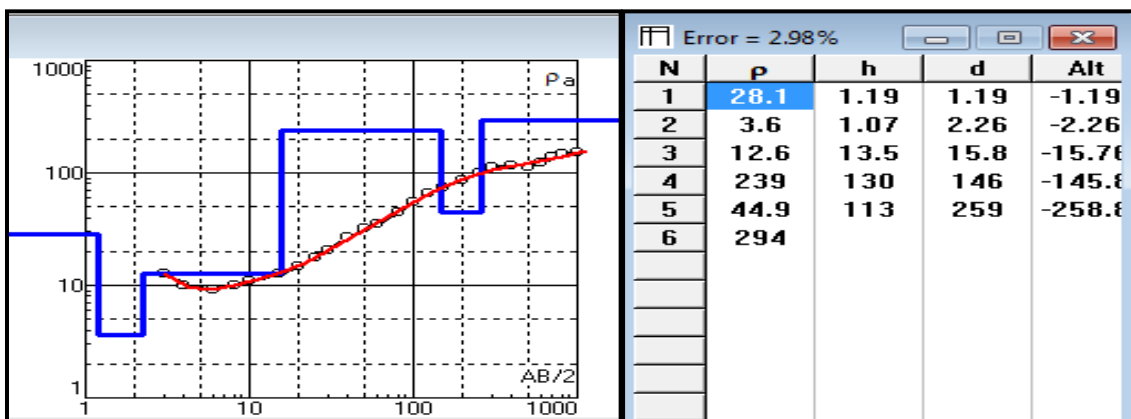


**4.1.5. Profil G** le profil G est situé à l'Est de chetma , i contient de neuf SEV orientés NW-SE

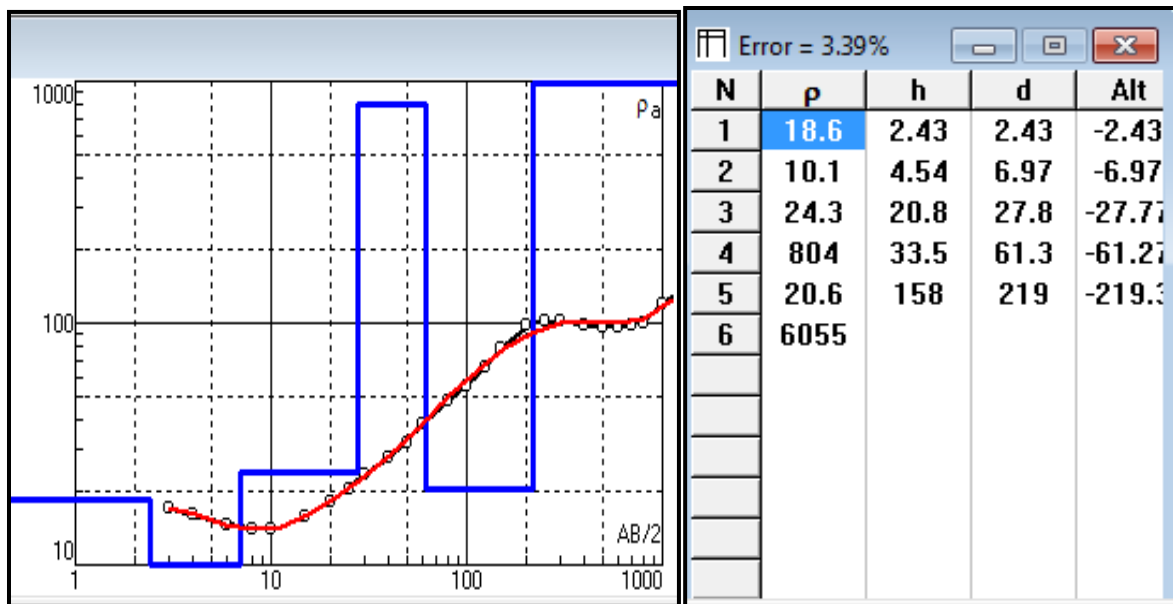
**4.1.5.1. Sondage G1,** La courbe expérimentale du G1 montre la présence de trois couches. Un terrain superficiel mince et résistant de  $80 \Omega\text{m}$  que surmonte un terrain conducteur de  $15 \Omega\text{m}$  et une épaisseur de  $16 \text{ m}$  et un troisième terrain conducteur de  $26 \Omega\text{m}$  dont l'épaisseur est supérieure à  $165 \text{ m}$ .



**4.1.5.2. Sondage G2**, La courbe expérimentale du G2 montre la présence de deux à trois couches. Un terrain superficiel conducteur de 12,6  $\Omega\text{m}$  et une épaisseur de 14m que surmonte un terrain relativement résistant de 50  $\Omega\text{m}$  dont l'épaisseur est supérieure à 110m

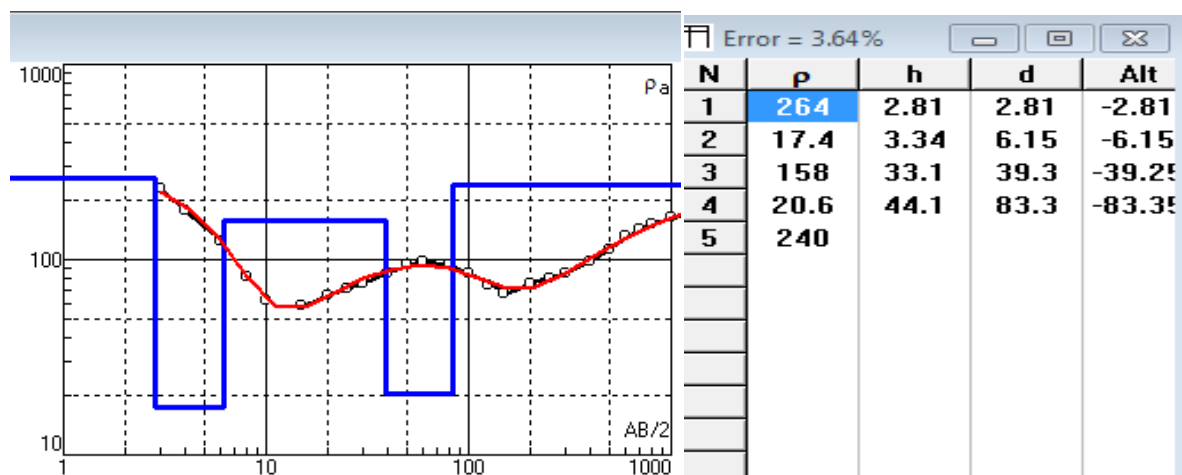


**4.1.5.3. Sondage G3**, La courbe expérimentale du G3 montre la présence de deux à trois couches. Un terrain superficiel conducteur qui se décline en trois niveaux, l'un résistant de 18.6  $\Omega\text{m}$  et épais de 3 m, l'autre résistant de 10 $\Omega\text{m}$  et épais de 5 m et un dernier résistant de 24 $\Omega\text{m}$  mais son épaisseur est plus importante que les deux précédents, elle est de 21 m. Il vient ensuite un autre terrain conducteur de 21  $\Omega\text{m}$  et épais de plus 158 m, les deux ensembles sont séparés par un terrain résistant, épais de 34 m.



**4.1.6. Profil H** le profil h est situé au centre de la région d'étude, il contient de neuf SEV orienté NW-SE.

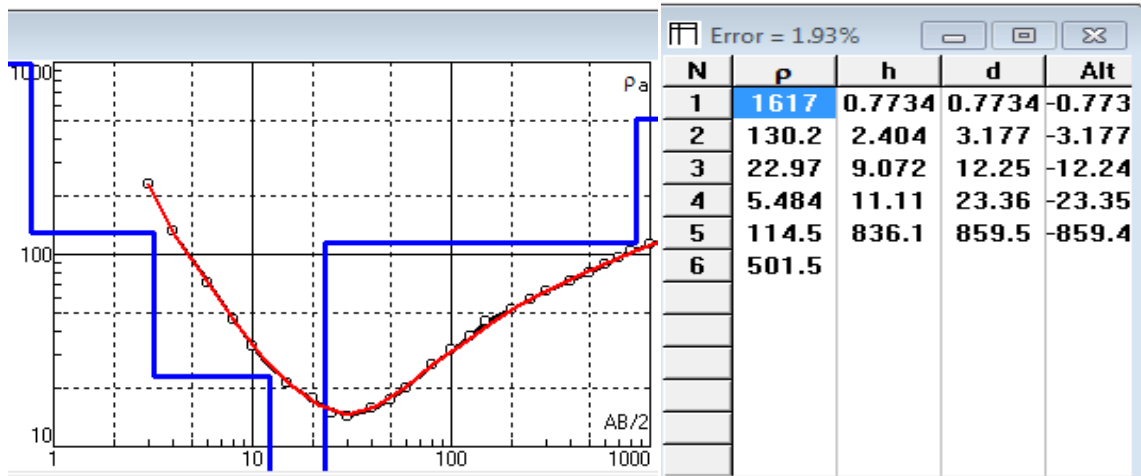
**4.1.6.1. Sondage H1,** La courbe expérimentale du H1 montre la présence de quatre à Cinq terrains, en générale le premier terrain est une terre végétale enregistrée à 264  $\Omega m$ , elle surmonte une deuxième couche conductrice de 17,4  $\Omega m$  et une épaisseur de 3m. cette dernière superpose une troisième couche résistante de 158  $\Omega m$  et épaisse de 33m. Pour finir, un quatrième terrain conducteur de 20,6  $\Omega m$  dont l'épaisseur est supérieure à 40m.



**4.1.6.2. Sondage H2,** La courbe expérimentale du H2 montre la présence de trois couches. Une terrain superficiel résistant de 130  $\Omega m$ , il surmonte un deuxième terrain très conducteur

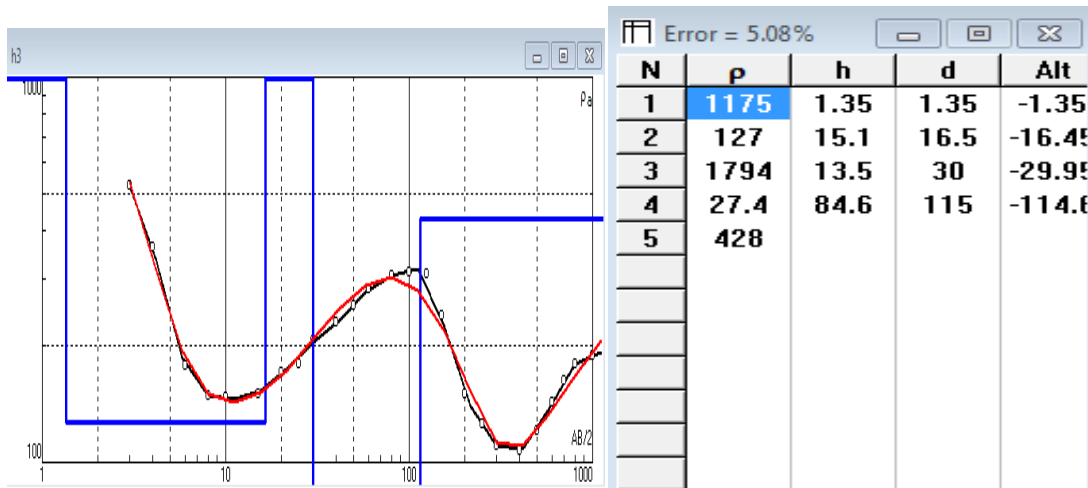


de 5,5  $\Omega\text{m}$ , d'une épaisseur de 11 m et pour finir, une troisième couche résistante de 114 $\Omega\text{m}$ , et épaisseur de 836 m.

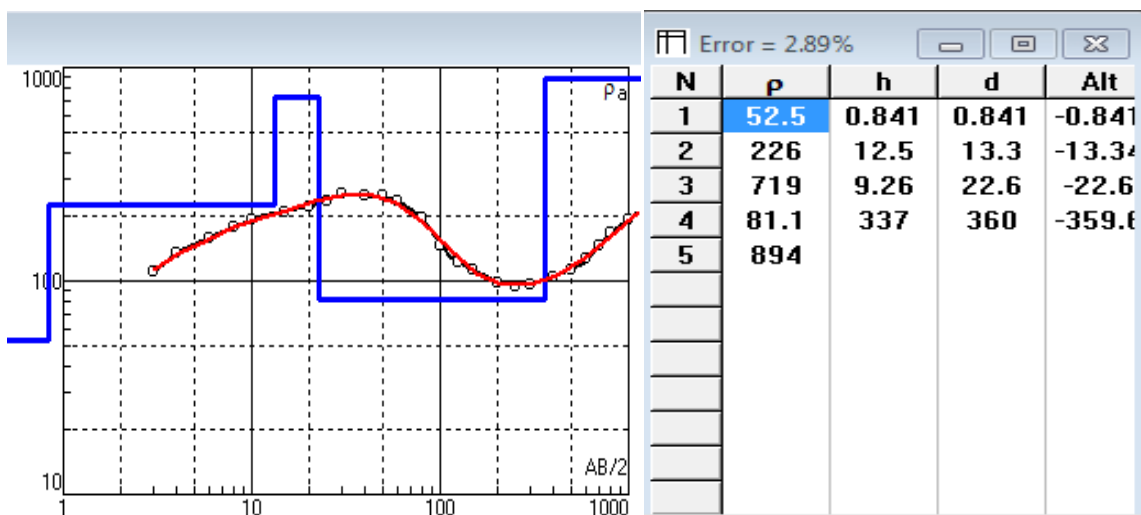


**4.1.6.3. Sondage H3,** La courbe expérimentale du H3 montre la présence de quatre à Cinq terrain qui se présentent comme suit:

- le premier terrain est constitué d'une terre végétale très résistante, elle est enregistrée à 1175  $\Omega\text{m}$ , il s'agit probablement d'une résistivité de contact.
- un deuxième niveau relativement résistant de 127  $\Omega\text{m}$ , d'une épaisseur de 15m.
- un troisième niveau très résistant, avec 1794  $\Omega\text{m}$  (il s'agit d'une valeur extrapolée), son épaisseur est égale à 13,5m.
- un quatrième terrain conducteur avec une basse résistivité de 27,4 $\Omega\text{m}$ , son épaisseur est supérieure à 80m.



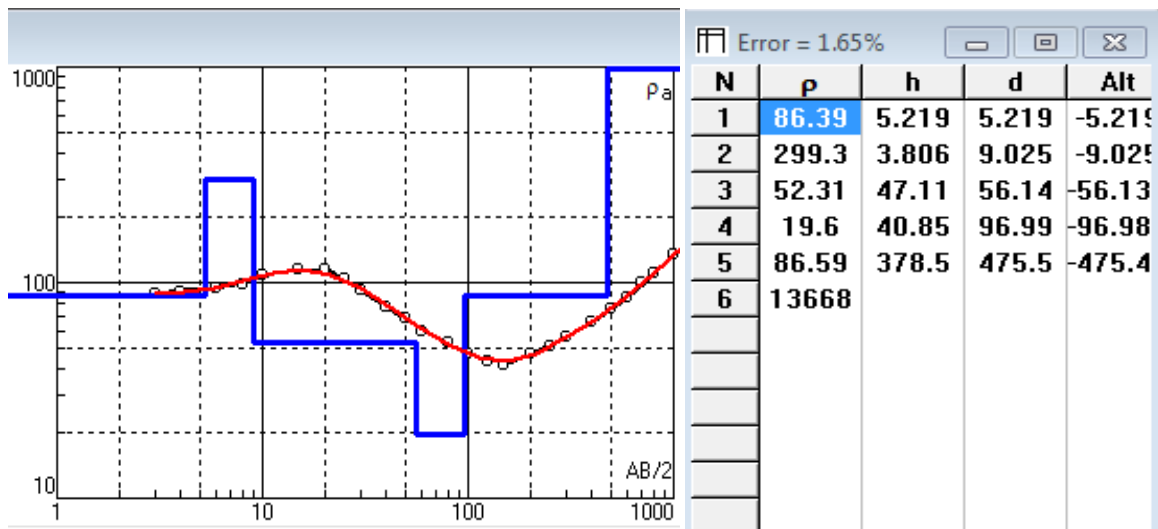
**4.1.6.4. Sondage H4,** La courbe expérimentale du sev h4 montre la présence de trois à quatre couches. Une terrain superficiel peu résistant de 52,5  $\Omega\text{m}$ , que surmonte un terrain résistant de 226  $\Omega\text{m}$  et épais de 12,5 m et un troisième terrain relativement résistant de 81  $\Omega\text{m}$  dont l'épaisseur est très importante, supérieure à 330m.



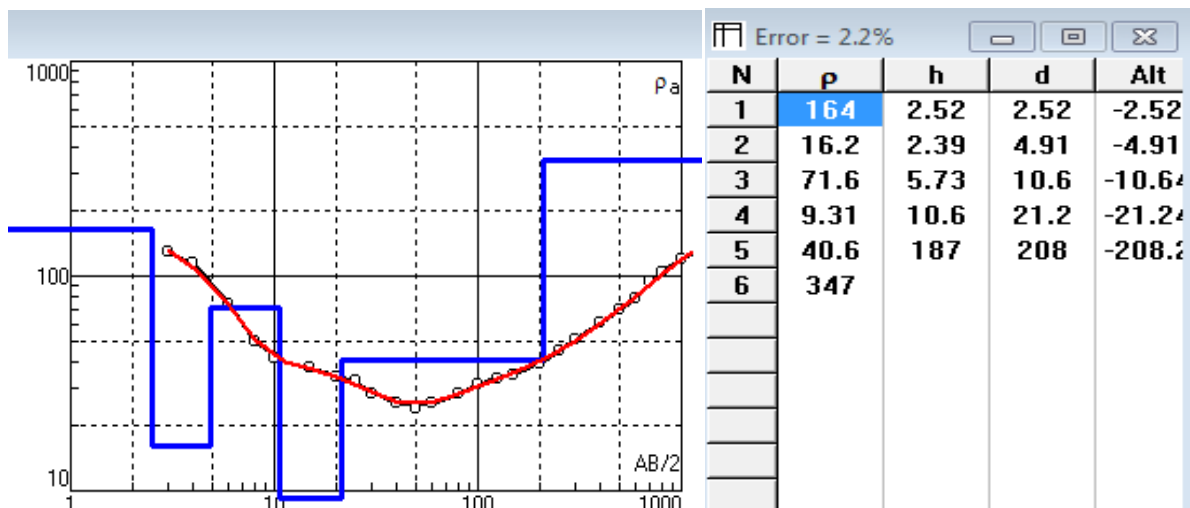
**4.1.6.5. Sondage H5,** La courbe expérimentale du sev h5 montre la présence de quatre à cinq terrains, avec de haut en bas:

- Le premier terrain est une terre végétale enregistrée avec une résistivité égale 86,39  $\Omega\text{m}$  une épaisseur de 5 m.
- un deuxième horizon résistant de 299  $\Omega\text{m}$  et une épaisseur de 4m.
- un troisième niveau peu résistant de 52  $\Omega\text{m}$ , ont épaisseur est égale à 47m.
- un quatrième terrain très conducteur, sa résistivité est de 19,6  $\Omega\text{m}$  et son épaisseur de 41 m

- un dernier horizon relativement résistant de 86,59  $\Omega\text{m}$  dont l'épaisseur est très importante, supérieure à 370m.



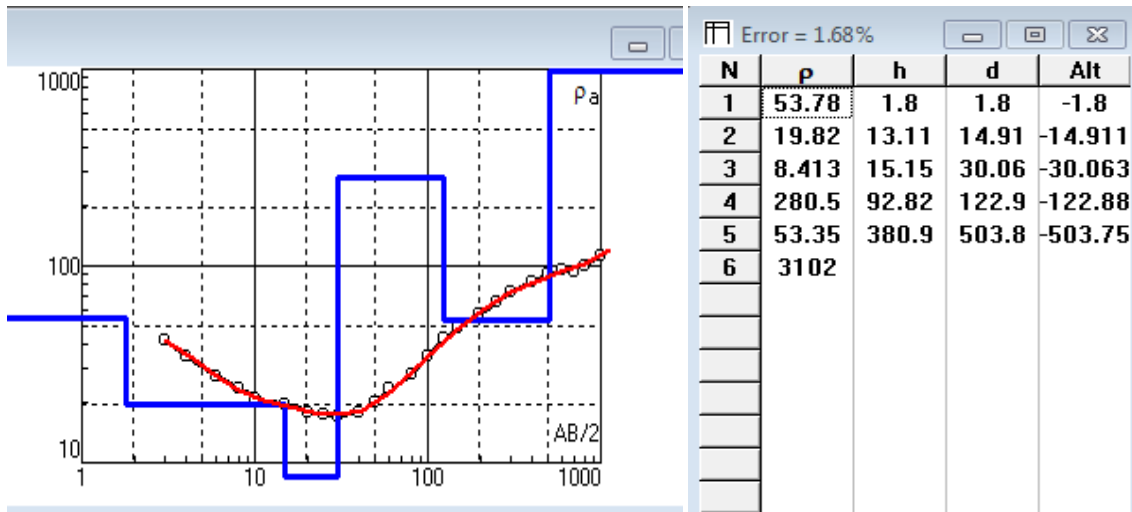
**4.1.6.6. Sondage H6,** La courbe expérimentale du H6 montre la présence de trois couches superposées. Un terrain superficiel résistant de 164  $\Omega\text{m}$  sur une épaisseur de 2,5 m. il surmonte une deuxième couche conductrice de 10  $\Omega\text{m}$  et épaisse de 11 m. cette dernière superpose une troisième couche qui voit sa résistivité diminuer en profondeur jusqu'à 40,6  $\Omega\text{m}$  sur une imposante épaisseur de 187 m.



**4.1.7. Profil i** est situé au centre de la région d'étude, il contient neuf SEV orientés NW-SE.

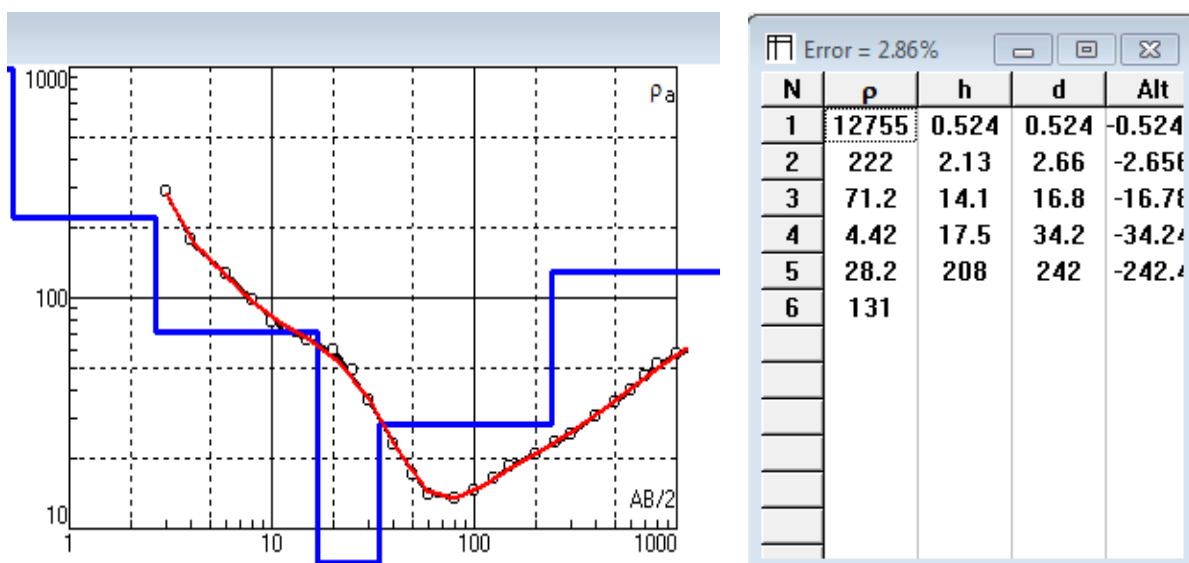
**4.1.7.1. SEV i1,** La courbe expérimentale du I1 montre la présence de trois à quatre terrains, en général, le premier terrain est une terre végétale épaisse de 1,8 m, et une résistivité égale

53,78  $\Omega\text{m}$ . Elle surmonte une deuxième couche moins résistante d'environ 28  $\Omega\text{m}$  et une épaisseur de 28 m. cette dernière superpose une troisième couche avec une résistivité de 53.35  $\Omega\text{m}$  et une épaisseur de 381m.

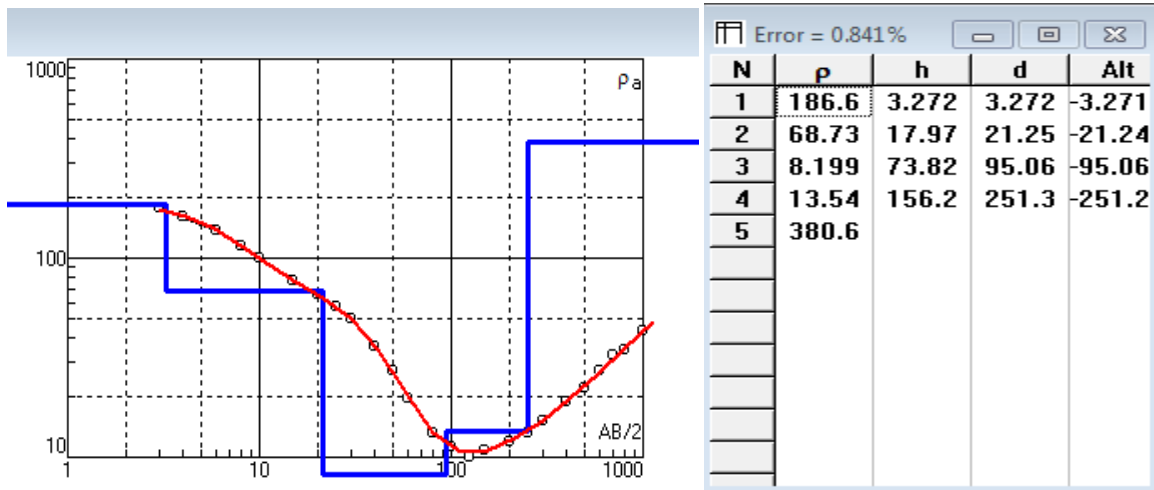


**4.1.7.2. Sondage i2,** La courbe expérimentale du i2 montre la présence de trois couches avec de haut en bas:

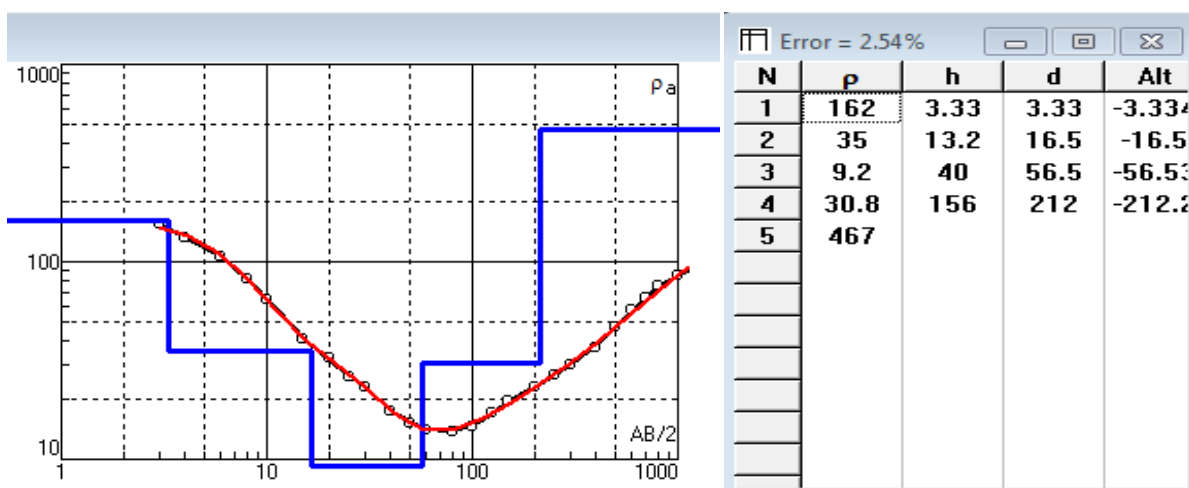
- un terrain superficiel résistant de 222  $\Omega\text{m}$  sur une épaisseur de 2 m
- un deuxième terrain moins résistant que le précédent avec 71  $\Omega\text{m}$  et d'une épaisseur de 14m.
- un terrain conducteur de 28  $\Omega\text{m}$  dont l'épaisseur est très importante, supérieure à 200m.



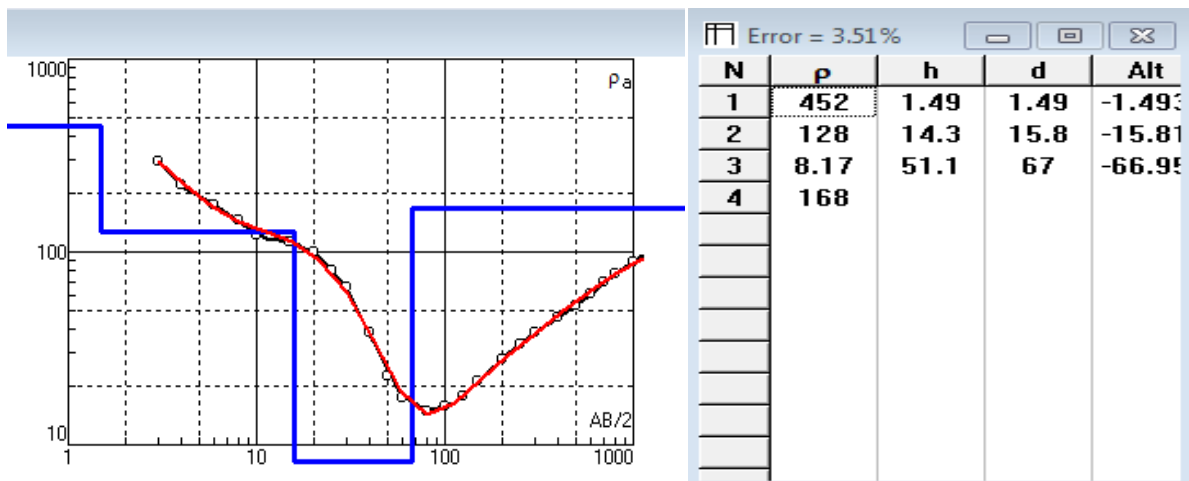
**4.1.7.3. Sondage i3,** La courbe expérimentale du I3 montre la présence de trois à quatre couches . En surface, un terrain de 4 m, résistant de 187  $\Omega\text{m}$ , que surmonte un terrain moins résistant de 69  $\Omega\text{m}$  et une épaisseur de 18m.pour finir la série, un terrain conducteur de 22  $\Omega\text{m}$  dont l'épaisseur est très importante,supérieure à 220m.



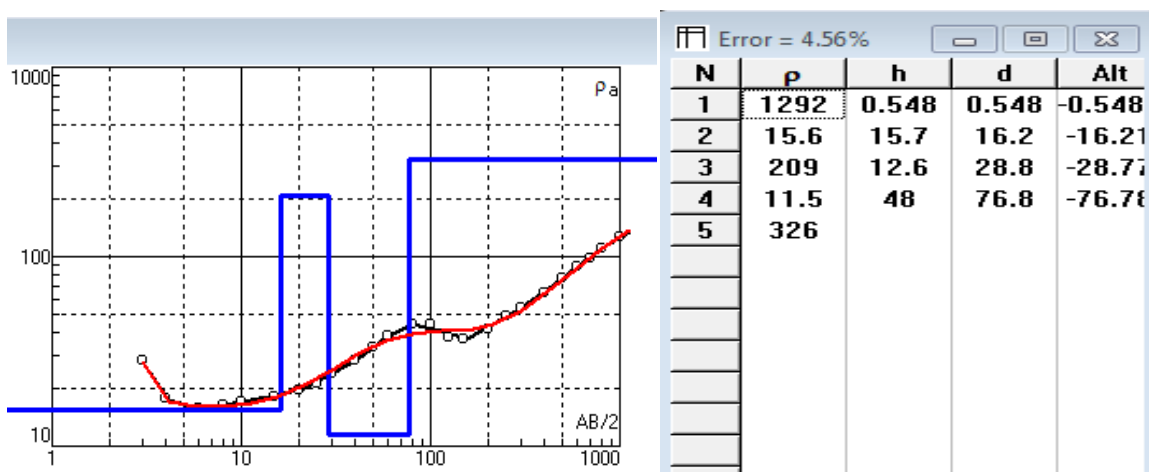
**4.1.7.4. Sondage i4,** Trois couches ont associées à la courbe expérimentale du I4, elle montre la présence d'un terrain superficiel résistant de 162  $\Omega\text{m}$ , il surmonte un terrain conducteur de 35  $\Omega\text{m}$  et un épaisseur de 13m et enfin un terrain conducteur de 30  $\Omega\text{m}$  dont l'épaisseur est très importante, elle est supérieure à 150m



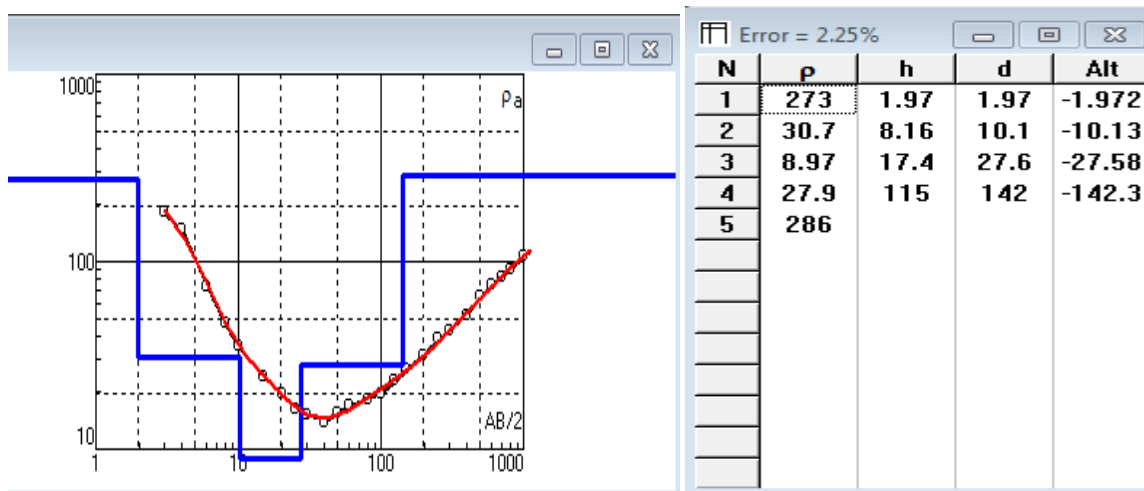
**4.1.7.5. Sondage i5,** La courbe expérimentale du I5 montre la présence de trois couches .un terrain superficiel très résistant, il est de 452  $\Omega\text{m}$ , il superpose un terrain moins résistant de 128  $\Omega\text{m}$  et un épaisseur de 14m et la série sédimentaire se termine avec terrain conducteur de 8  $\Omega\text{m}$  épais de 50m.



**4.1.7.6. Sondage i6,** La courbe expérimentale du I6 montre la présence de trois couches. un terrain superficiel de 1292 Ωm, il s'agit d'une résistivité de contact, il surmonte un terrain très conducteur de 15.6 Ωm et d'une épaisseur de 16 m et un autre plus résistant, de 209 Ωm dont l'épaisseur est supérieure à 45m.

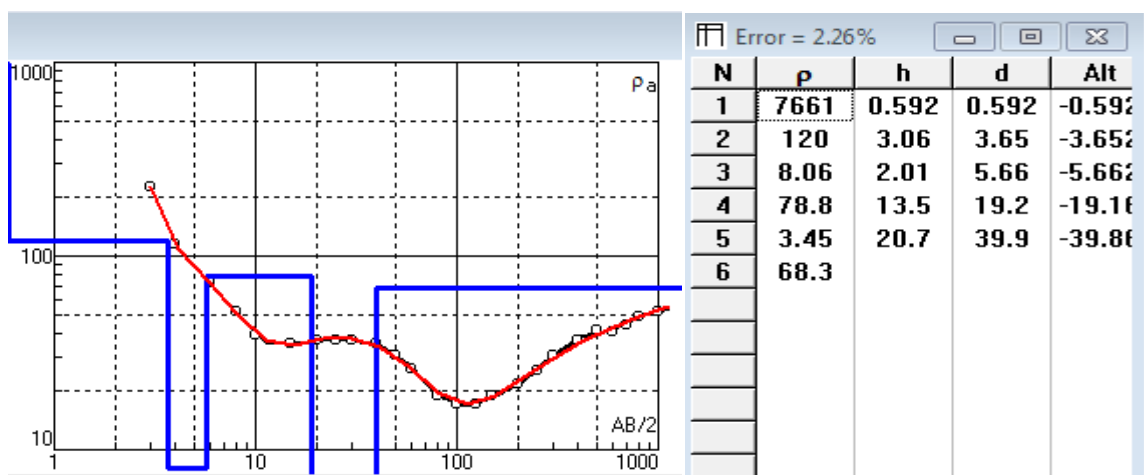


**4.1.7.7. Sondage i7,** La courbe expérimentale du I7 montre la présence de trois à quatre couches. un terrain superficiel résistant de 273 Ωm sur une épaisseur de 2m, que surmonte un conducteur qui se décline en trois niveaux, le premier terrain conducteur de 31 Ωm et d'une épaisseur de 8 m, un deuxième terrain conducteur de 8 Ωm et un dernier conducteur enregistré à 28 Ωm dont l'épaisseur est à 110m.

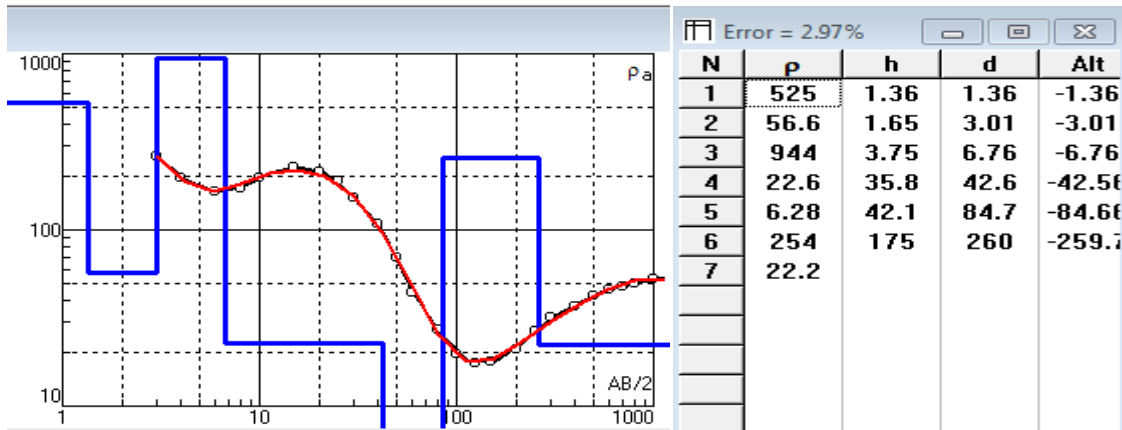


**4.1.8. Profil J** le profil J est situé à l’Est de la région d’étude, il contient neuf SEV orientés NW-SE.

**4.1.8.1. Sondage J1**, La courbe expérimentale du J1 montre la présence de quatre terrains avec un premier terrain représenté par une terre végétale, il surmonte une deuxième couche résistante de  $120\Omega\text{m}$  et une épaisseur de 3m, cette dernière superpose une troisième couche résistante de  $79\Omega\text{m}$  dont l'épaisseur est égale à 13,5m, l'ensemble repose sur une quatrième couche moins résistante, de l'ordre de  $70\Omega\text{m}$ .

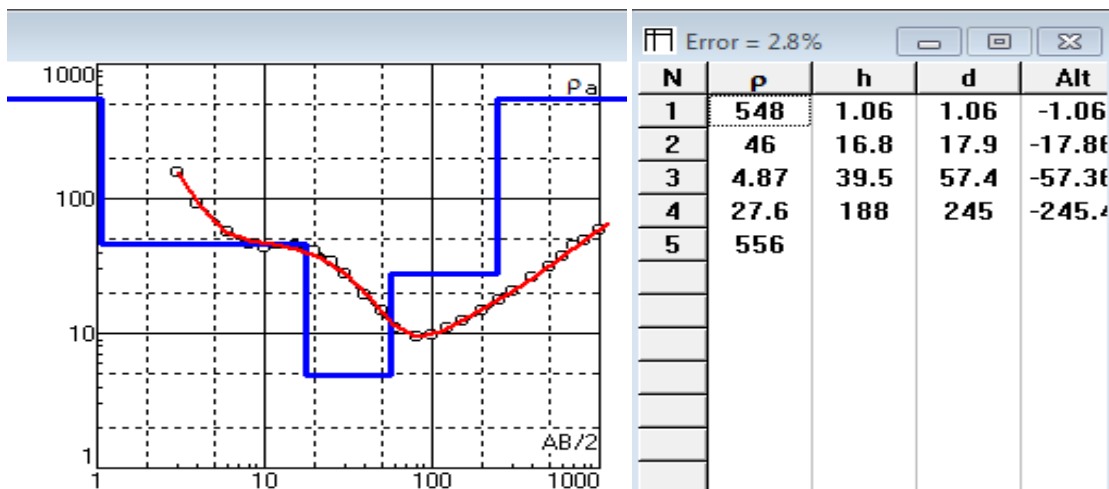


**4.1.8.2. Sondage j2**, La courbe expérimentale du J2 montre la présence de quatre terrains ,en générale du haut vers le bas on rencontre une terre végétale d'une résistivité égale  $56,5\Omega\text{m}$ , en dessous de laquelle vient une deuxième couche résistante de  $944\Omega\text{m}$  et d'une épaisseur de 4 m. cette dernière superpose une troisième couche très conductrice de l'ordre de  $7\Omega\text{m}$ , son épaisseur est égale à 42m. Pour finir, un quatrième terrain résistant de  $254\Omega\text{m}$  et dont l'épaisseur est très importante, elle dépasse 170m.



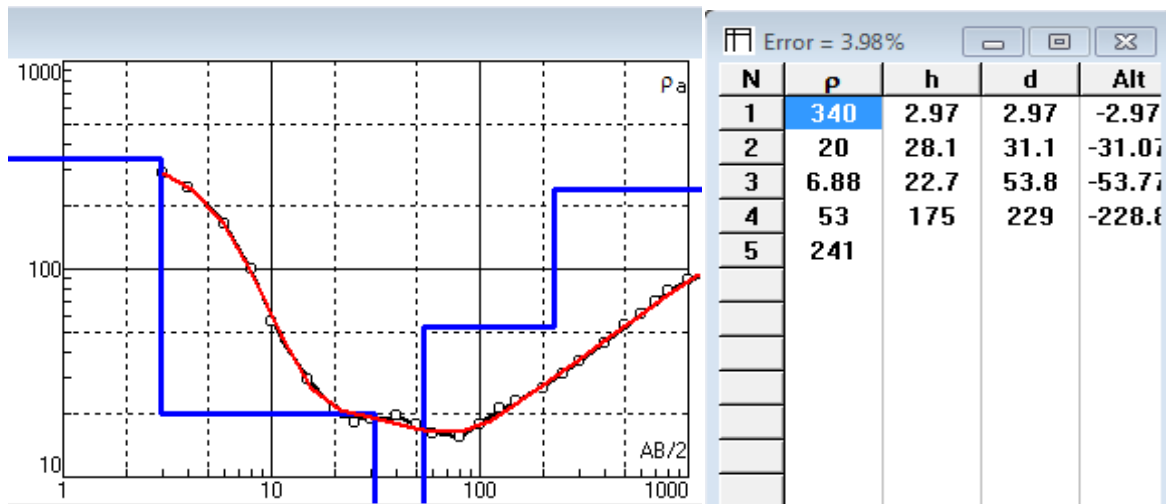
**4.1.8.3. Sondage j3,** La courbe expérimentale du sev J3 montre la présence de quatre terrains disposés comme suit:

- une terre végétale très résistante (548 Ωm)
- Elle surmonte une deuxième couche conductrice de 46 Ωm et épaisse de 17 m.
- cette dernière superpose une troisième couche très conductrice de 5 Ωm et épaisse de 40m.
- La série se termine avec une quatrième couche conductrice de 27,5Ωm et épaisse de 190 m

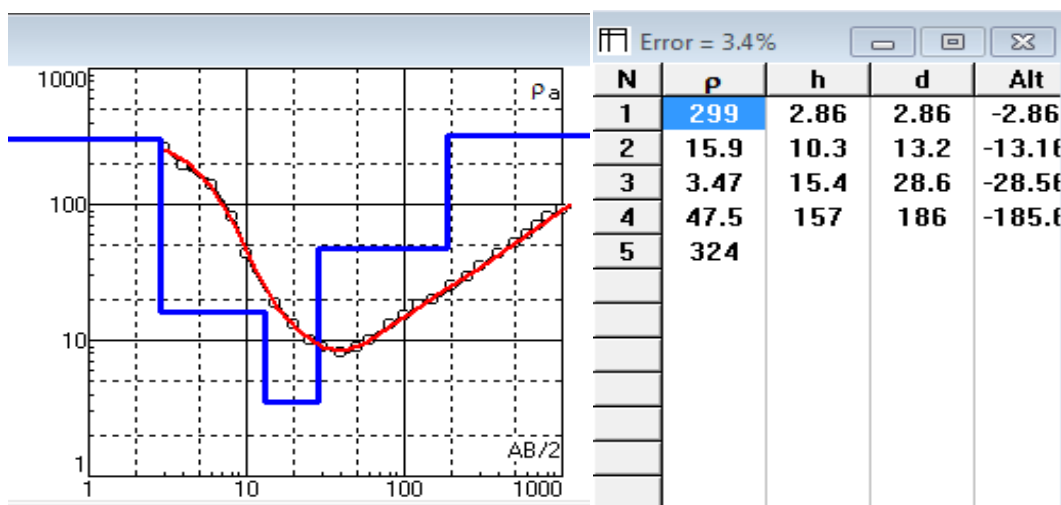


**4.1.8.4.Sondage j4,** La courbe expérimentale du J4 montre la présence de trois terrains ,en général, le première est une terre végétale très résistante(340 Ωm), surmontée d'une deuxième couche conductrice de 26Ωm et d'une épaisseur de 50m et le tout repose un troisième terrain peu résistant, enregistré à 53Ωm dont l'épaisseur est très importante, elle est supérieure à 175m.

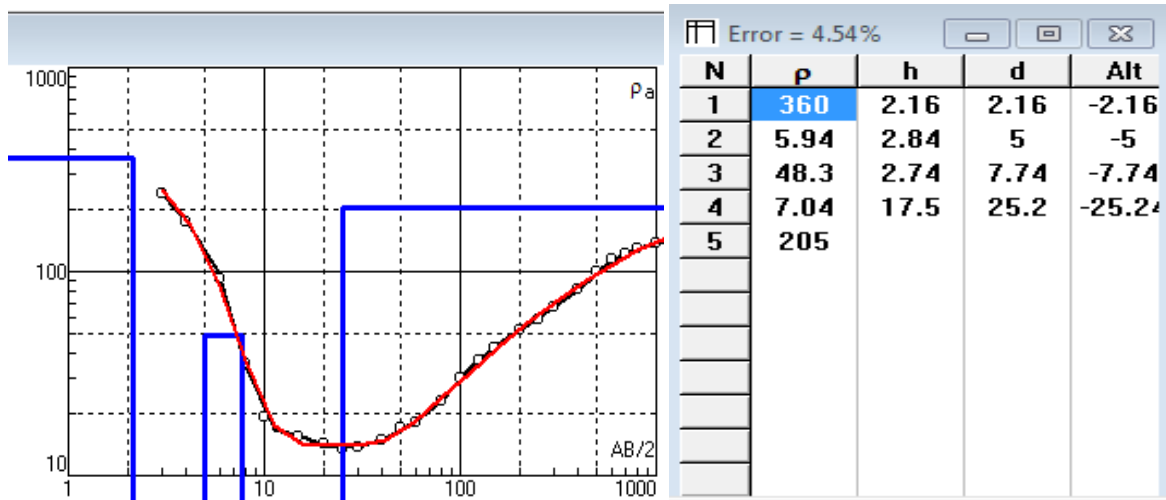




**4.1.8.5. Sondage j5**, trois terrains sont représentés par la courbe de ce SEV, une terre végétale résistante de  $300 \Omega\text{m}$  et épaisse de  $3\text{m}$ , une couche très conductrice enregistrée à  $16 \Omega\text{m}$ , d'une épaisseur de  $11\text{m}$  et un dernier terrain conducteur de  $47,5\Omega\text{m}$  dont l'épaisseur est importante, supérieure à  $150\text{m}$ .

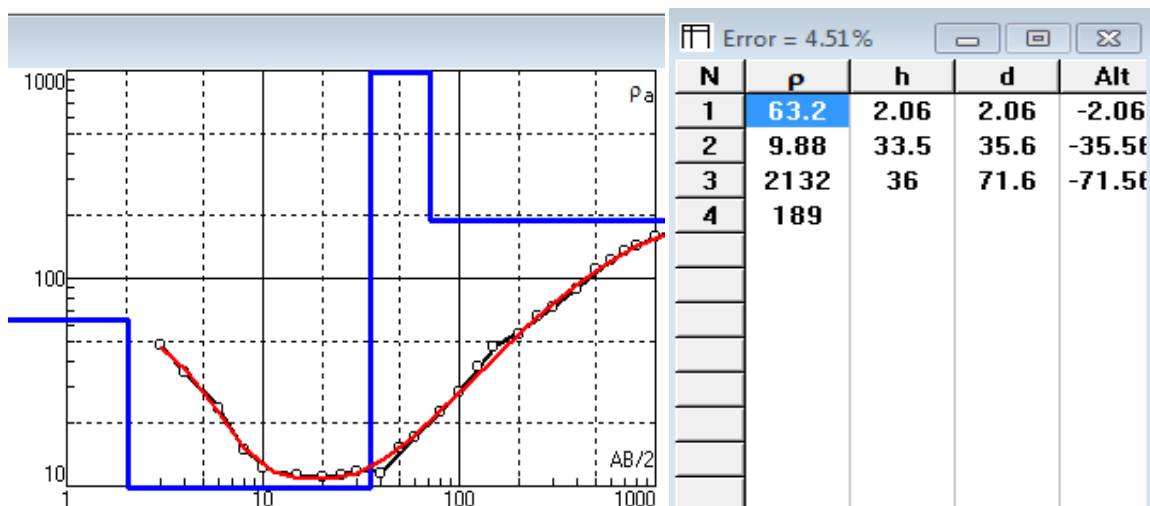


**4.1.8.6. Sondage j6**, La courbe expérimentale du J6 montre la présence de trois terrains, de haut en bas on retrouve une terre végétale d'une résistivité égale à  $360 \Omega\text{m}$ , une deuxième couche très conductrice de  $6\Omega\text{m}$  et d'une épaisseur de  $3\text{m}$  et enfin un troisième terrain peu résistant de  $48,5\Omega\text{m}$  dont l'épaisseur est de  $3\text{m}$ .

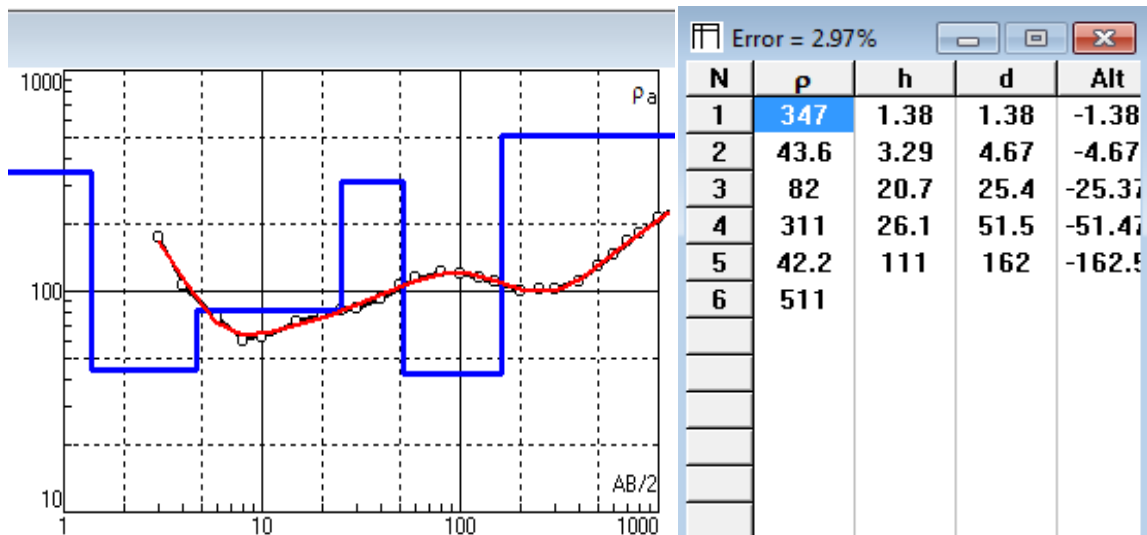


**4.1.8.7. Sondage j7**, se présente en trois terrains ,avec de haut en bas:

- une terre végétale d'une résistivité de 63 Ωm et d'une épaisseur de 2m.
- une deuxième couche conductrice de 10Ωm et d'une épaisseur d'environ 30 m.
- un troisième terrain résistant de 2132 Ωm (cette résistivité est aberrante due au logiciel de calcul) dont l'épaisseur de 36m.

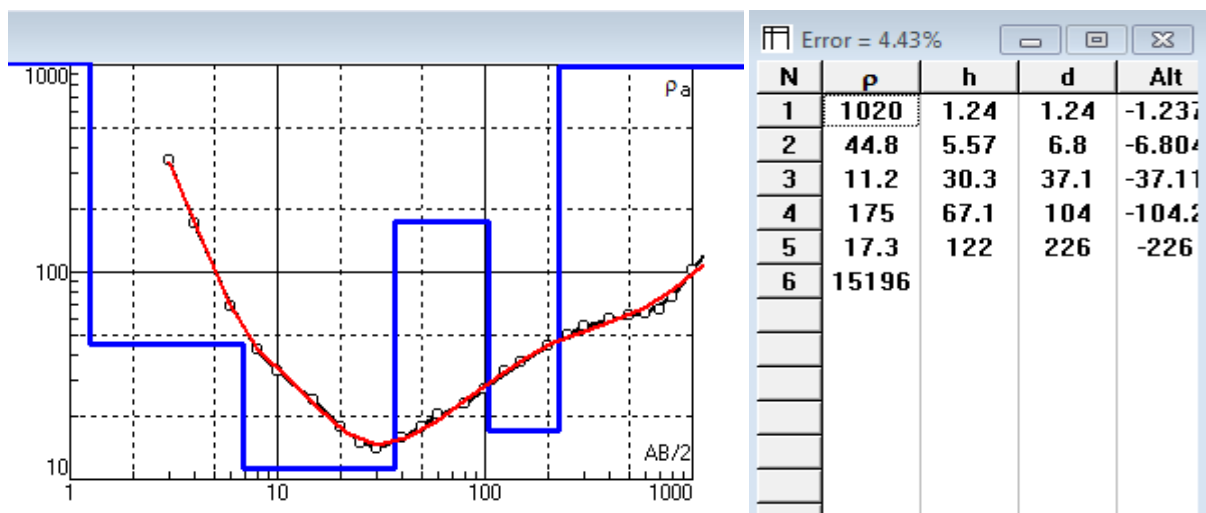


**4.1.8.8. Sondage j8**, La courbe expérimentale du J8 montre la présence de quatre terrains , une terre végétale d'une résistivité égale à 347 Ωm. Elle surmonte une deuxième couche conductrice de 44 Ωm , d'une épaisseur de 3 m. cette dernière superpose une troisième couche résistante de 82 Ωm, son épaisseur est égale à 21m. Ce dernier superpose une quatrième couche résistante de 500 Ωm.



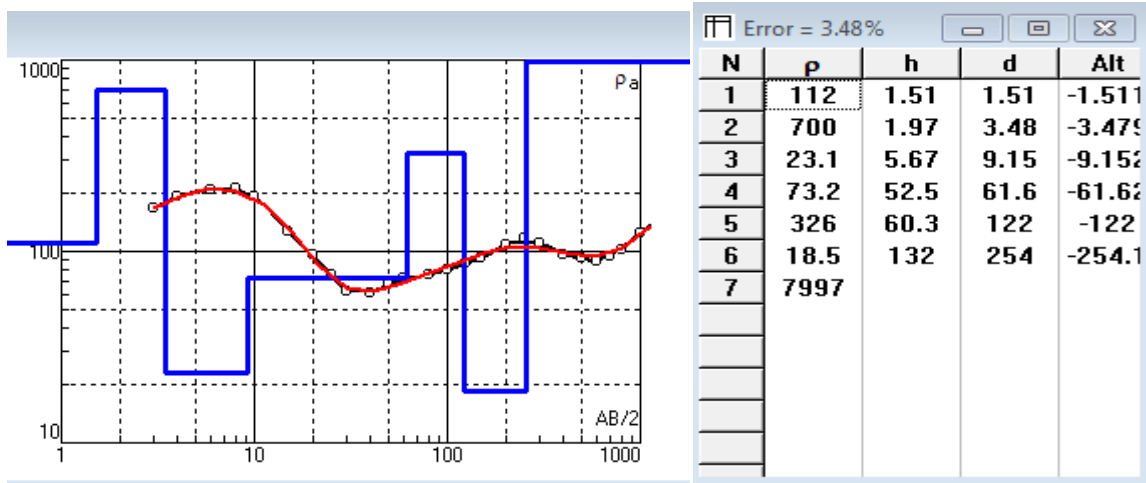
**4.1.8. Profil k** le profil k est situé à l’Est de la région d’étude, il contient neuf SEV orientés NW-SE.

**4.1.8.1. Sondage k1**, La courbe expérimentale du k1 montre la présence de trois à quatre couches. Un terrain superficiel résistant de 1.24m que surmonte un terrain moins résistant de 45 Ωm, d'une épaisseur de 6 m. ce dernier superpose une troisième couche dont la résistivité augmente en profondeur jusqu'à 175 Ωm, elle est épaisse de 67 m.

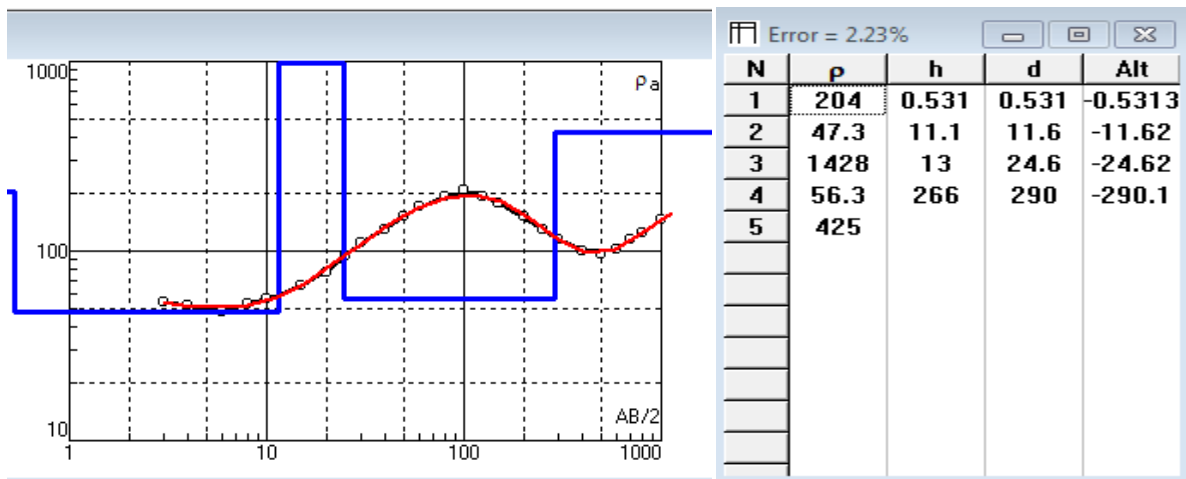


**4.1.8.2. Sondage k2**, La courbe expérimentale du K2 montre la présence de quatre couches. Un terrain superficiel résistant de 112 Ωm et une épaisseur de moins de 2 m, celui-ci surmonte un terrain conducteur de 23,1 Ωm épais de 6m. Cette dernière superpose une troisième couche avec une résistivité de 73,2Ωm, son épaisseur est de 52,5 m, l'ensemble

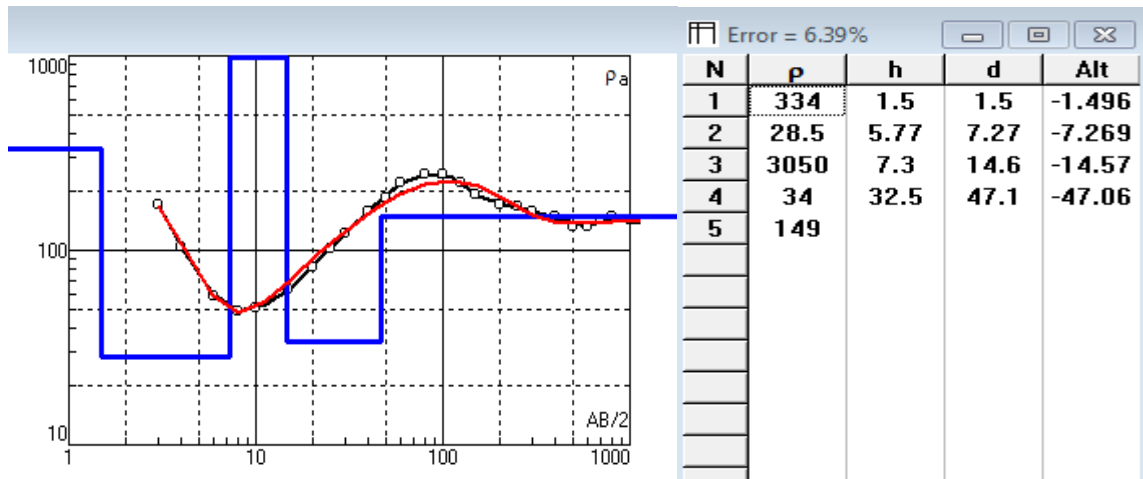
repose sur un quatrième terrain conducteur de 18,5 Ωm dont l'épaisseur est très importante, supérieure à 130m.



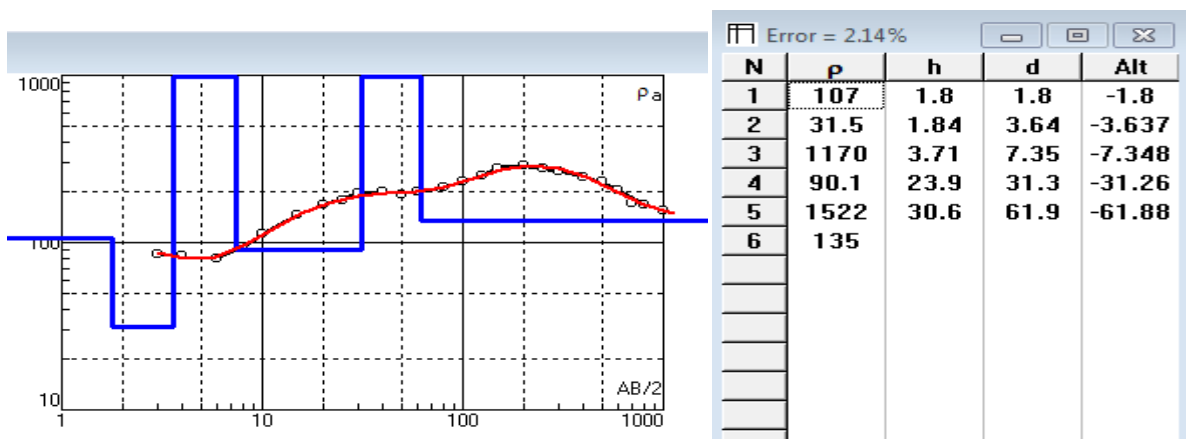
**4.1.8.3. Sondage k3,** La courbe expérimentale du k3 montre la présence de trois couches. Une terrain superficiel résistant de 204 Ωm, c'est une terre végétale, elle surmonte un terrain moins résistant de 47 Ωm et d'une épaisseur de 11 m. cette dernier superpose une troisième couche conductrice enregistrée à 56,3 Ωm et dont l'épaisseur est de 266m.



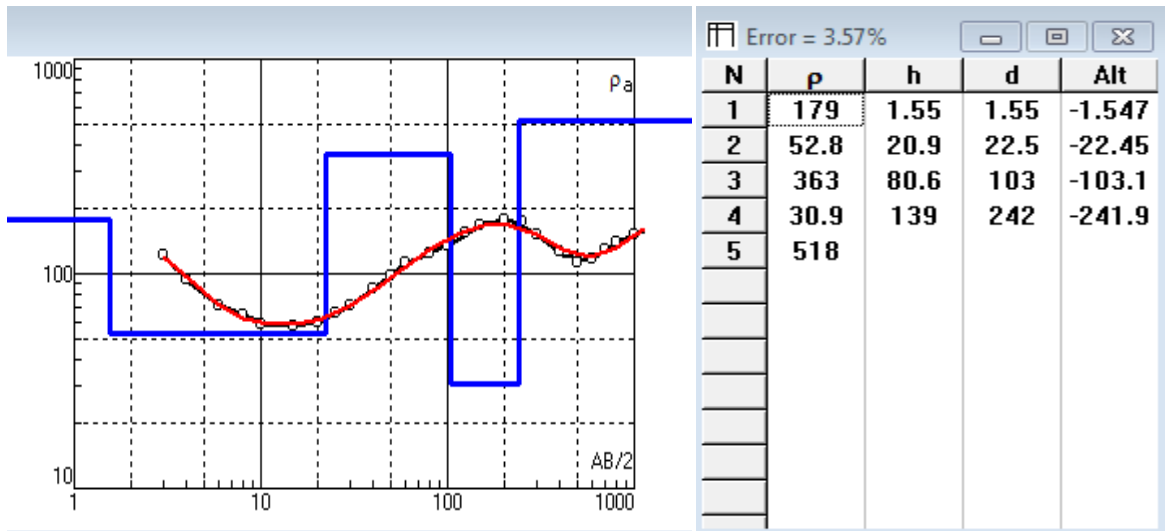
**4.1.8.4. Sondage k4,** La courbe expérimentale du K4 montre la présence de trois couches. Un terrain superficiel résistant de 334 Ωm que surmonte un terrain conducteur de 28,5 Ωm et une épaisseur de 6 m. cette dernière superpose un troisième terrain conducteur de 34 Ωm et épais de 33m.



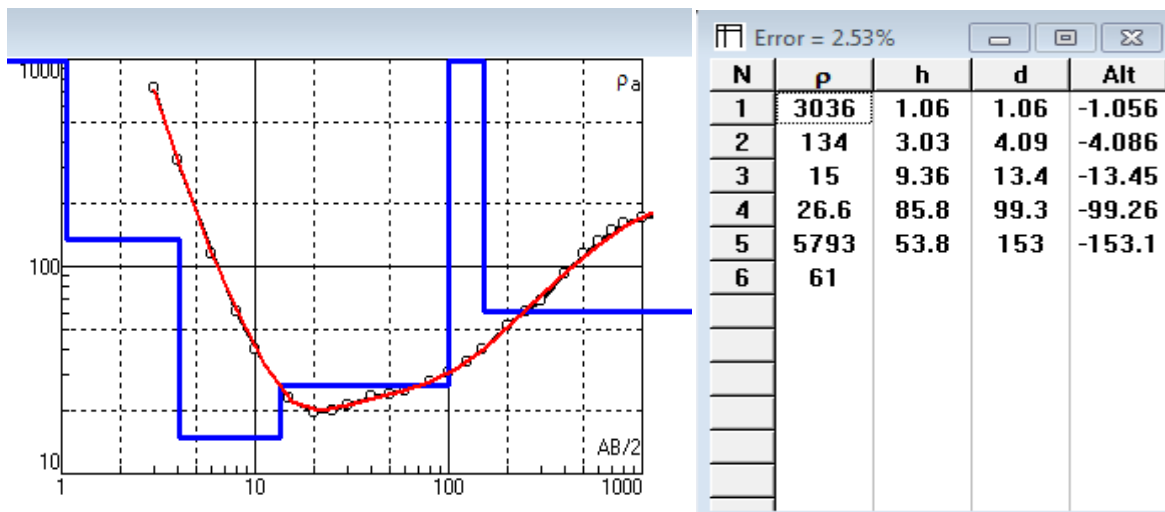
**4.1.8.5. Sondage k5,** La courbe expérimentale du k5 montre la présence de trois couches. Une terrain superficiel résistant de 107  $\Omega\text{m}$ , vient ensuite un terrain conducteur de 31,5  $\Omega\text{m}$  et d'une épaisseur de moins de 2 m. ce dernier superpose un troisième terrain relativement résistant, enregistré à 90 $\Omega\text{m}$ .



**4.1.8.6. Sondage k6,** La courbe expérimentale du K6 montre la présence de quatre couches. Un terrain superficiel résistant de 179  $\Omega\text{m}$  que surmonte un terrain conducteur de 53  $\Omega\text{m}$  et épais de 21m, ensuite une troisième couche résistante de 363 $\Omega\text{m}$  et épaisse de 81m. l'ensemble se termine par un quatrième terrain conducteur de 31  $\Omega\text{m}$  dont l'épaisseur est très importante, supérieure à 130m

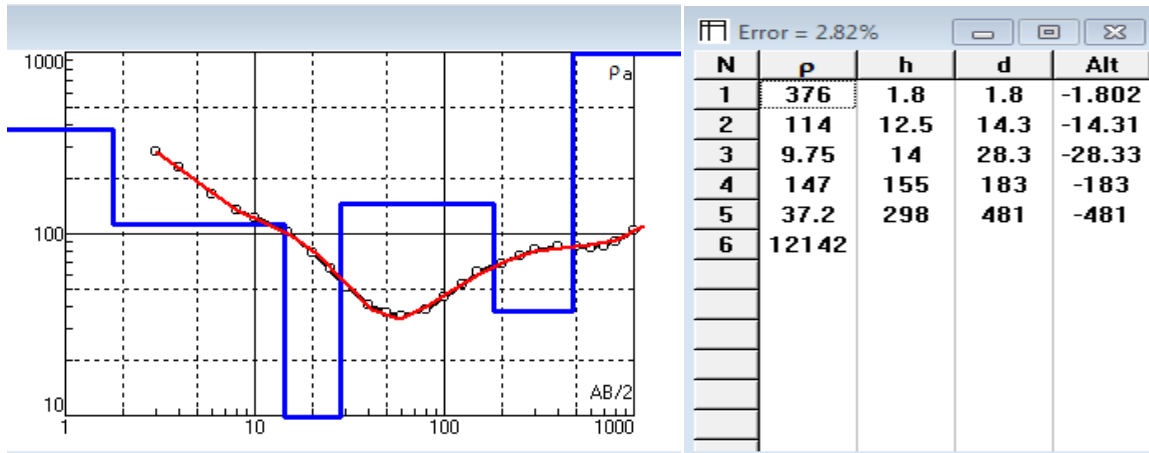


**4.1.8.7. Sondage k7,** La courbe expérimentale du K7 montre la présence de trois couches. Une terrain superficiel résistant de 134  $\Omega$ m et une épaisseur de 3m que surmonte un terrain très conducteur de 15  $\Omega$ m et une épaisseur de 10 m. ce dernier superpose un troisième terrain épais de 86m et conducteur avec 26,6 $\Omega$ .m.

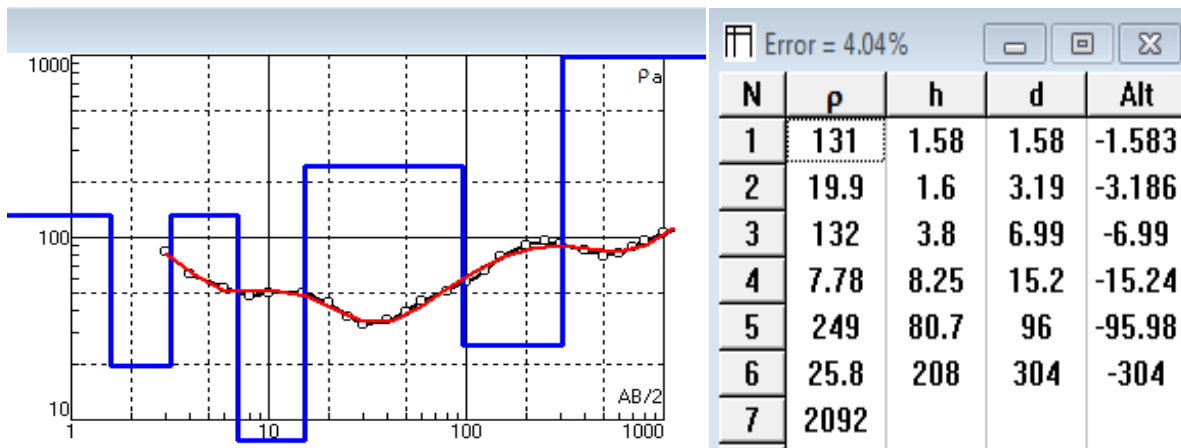


**4.1.9. Profil L** le profil L est situé dans la région Droh, il contient neuf SEV orientés vers le NW-SE.

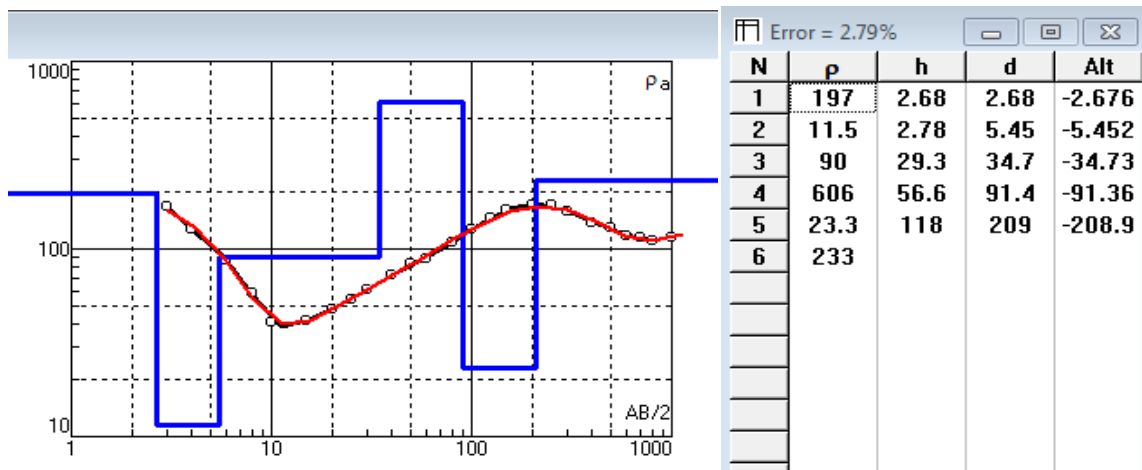
**4.1.9.1. Sondage L1,** La courbe expérimentale du sev L1 montre la présence de trois couches. Une terrain superficiel résistant de 376  $\Omega$ m sur une épaisseur de 1,8 m. il surmonte une deuxième couche résistante de 114  $\Omega$ m et épaisse de 12,5 m. Cette dernière superpose une troisième couche relativement résistante, avec 147 $\Omega$ m.



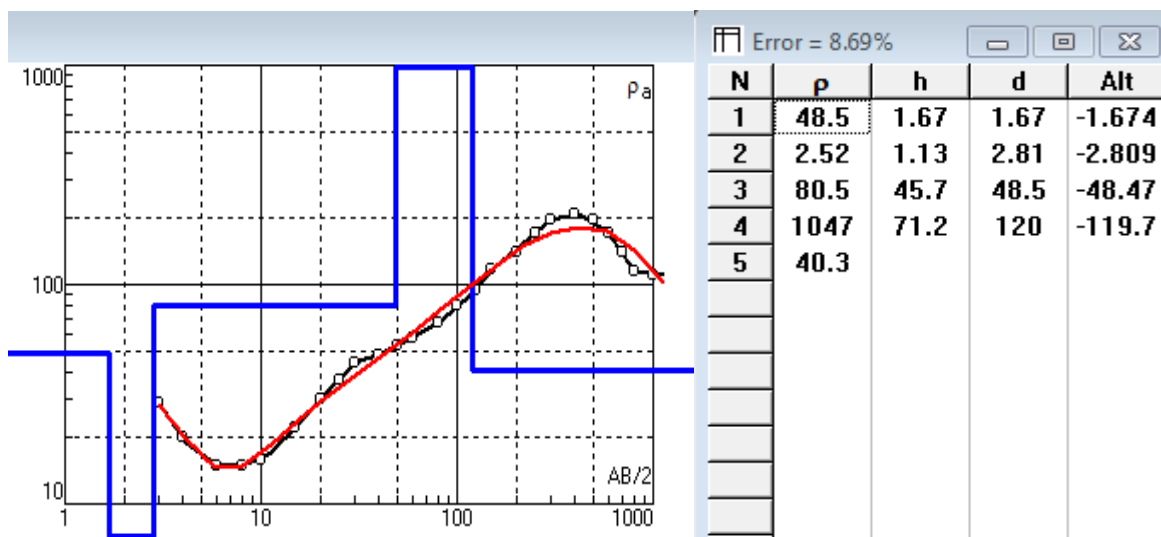
**4.1.9.2. Sondage L2,** La courbe expérimentale du L2 montre la présence de Cinq couches. Un terrain superficiel résistant de 131 Ωm, surmonté d'une deuxième couche conductrice de 20 Ωm. Cette dernière superpose une troisième couche d'une résistivité égale à 132Ωm. elle surmonte une quatrième couche très conductrice de 7,78 Ωm et une épaisseur de 8 m. la série se termine avec un cinquième terrain de 26 Ωm dont l'épaisseur est très importante, supérieure à 200m.



**4.1.9.3. Sondage L3,** La courbe expérimentale du L3 montre la présence de quatre couches. Une terrain superficiel résistant de 197 Ωm avec une épaisseur de 3 m. elle surmonte une deuxième couche conductrice de 12 Ωm et une épaisseur de 3 m. cette dernière superpose sur une troisième couche relativement résistante égale à 90Ωm. l'ensemble repose sur un terrain de 23,3 Ωm dont l'épaisseur est très importante, supérieure à 115m.

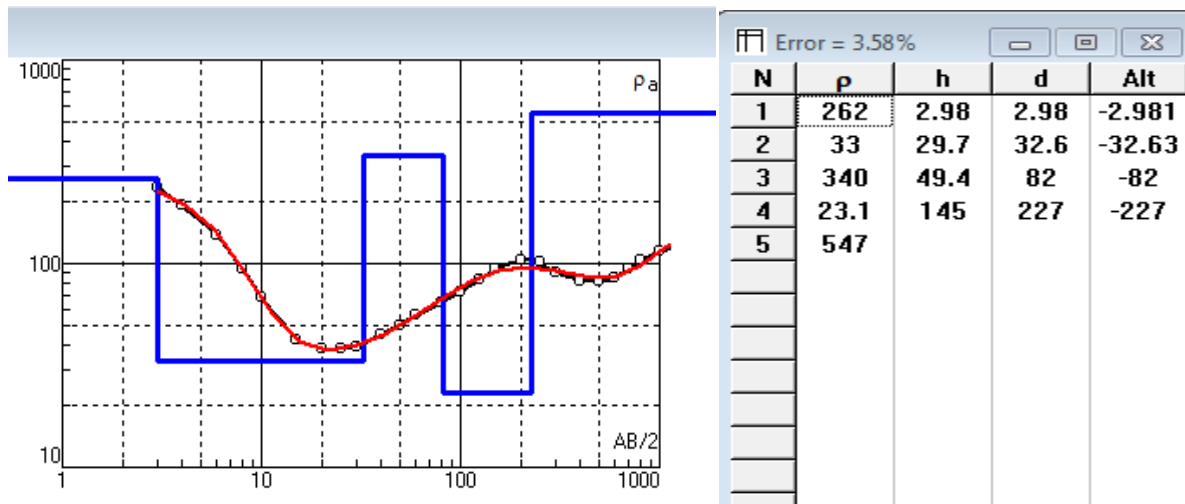


**4.1.9.4. Sondage L4,** La courbe expérimentale du L4 montre la présence de trois terrains ,en l'occurrence, une terre végétale d'une résistivité égale à 48,5 Ωm, elle surmonte une deuxième couche très conductrice, enregistrée à 3 Ωm et une épaisseur de moins de 2 m. Cette dernière superpose sur une troisième couche résistante de 80.5 Ωm et épaisse de 45,7m

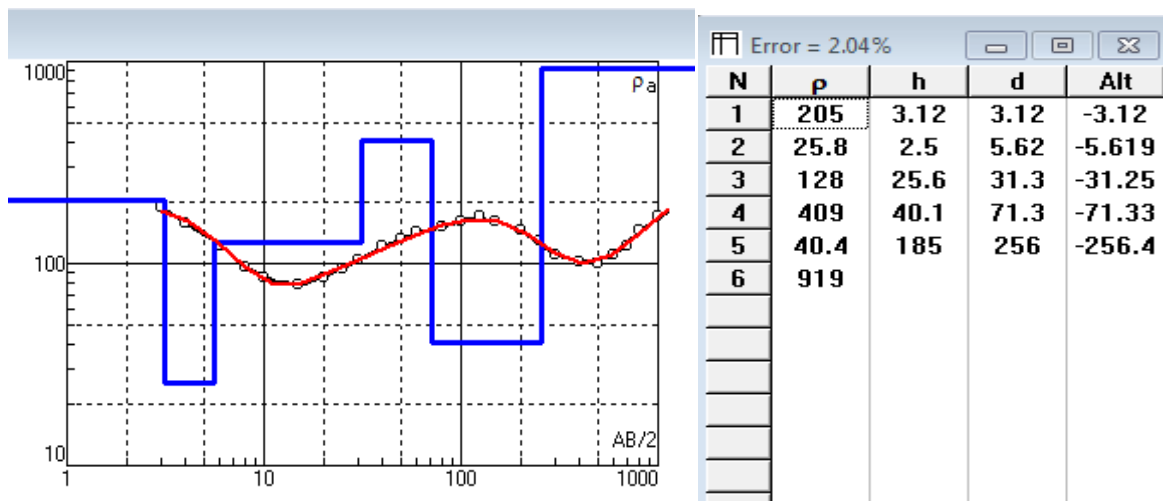


**4.1.9.5. Sondage L5,** La courbe expérimentale du L 5 montre la présence de quatre couches. Un terrain superficiel résistant de 262 Ωm et épais de 3m que surmonte un terrain moins résistant de 33 Ωm et une épaisseur de 30m, une troisième couche résistante de 340 Ωm et pour finir avec un quatrième terrain conducteur de 23 Ωm dont l'épaisseur est très importante, supérieure à 140m.

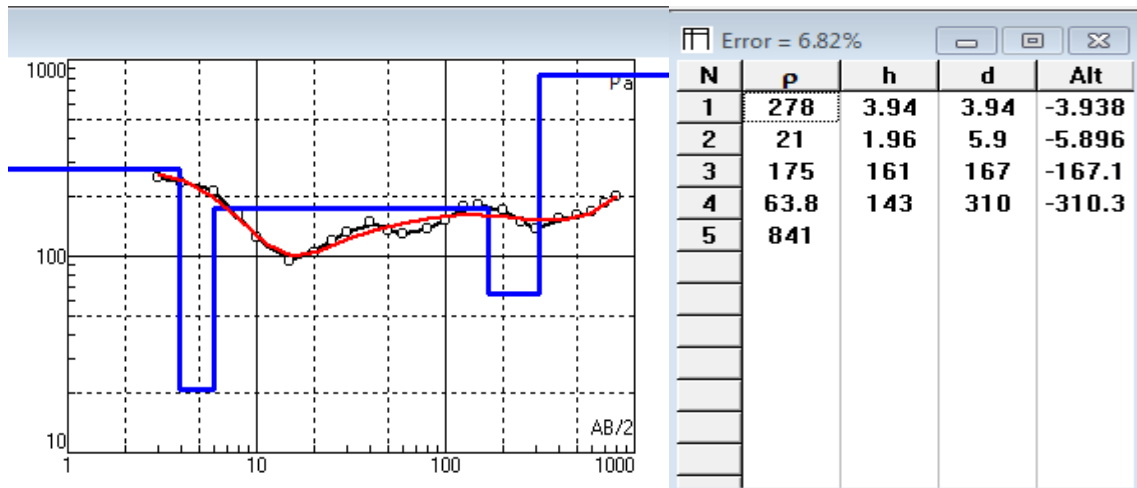




**4.1.9.6. Sondage L6,** La courbe expérimentale du L 6 montre la présence de quatre couches. Une terrain superficiel résistant de  $205 \Omega\text{m}$  et épais de 3 m. il surmonte une deuxième couche conductrice de  $26 \Omega\text{m}$  et une épaisseur de 2,5 m. cette dernière superpose sur une troisième couche de  $128 \Omega\text{m}$ . La série sédimentaire se termine par une quatrième couche moins résistant de  $40,5 \Omega\text{m}$  sur une épaisseur de 185m.

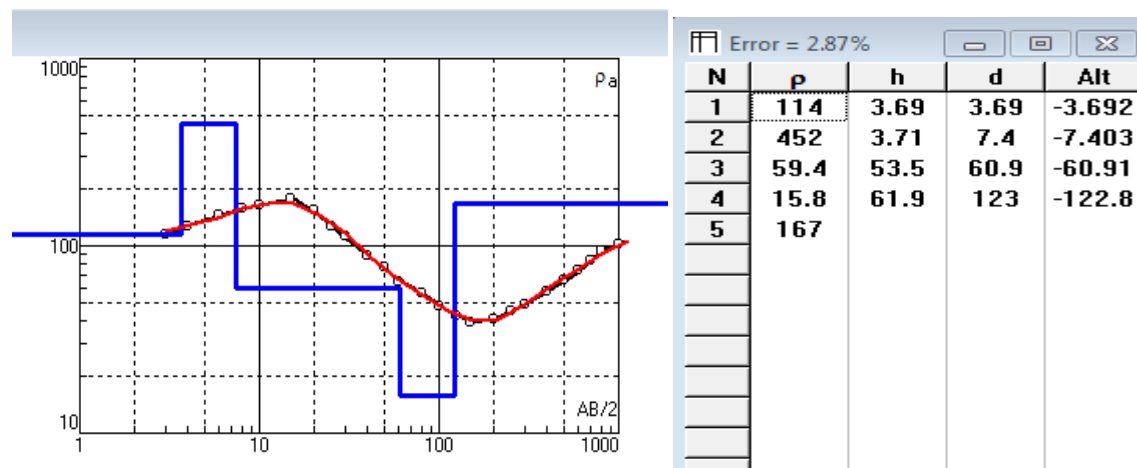


**4.1.9.7. Sondage L7,** La courbe expérimentale du L 7 montre la présence de quatre couches. Une terrain superficiel résistant de  $278 \Omega\text{m}$  et épais de 4 m. cette terre végétale surmonte une deuxième couche conductrice de  $21 \Omega\text{m}$  et d'une épaisseur de moins de 2m. Cette dernière superpose une troisième couche dont la résistivité est égale à  $175 \Omega\text{m}$ . elle surmonte une quatrième couche moins résistante de  $63,8 \Omega\text{m}$ , épaisse de 143m.

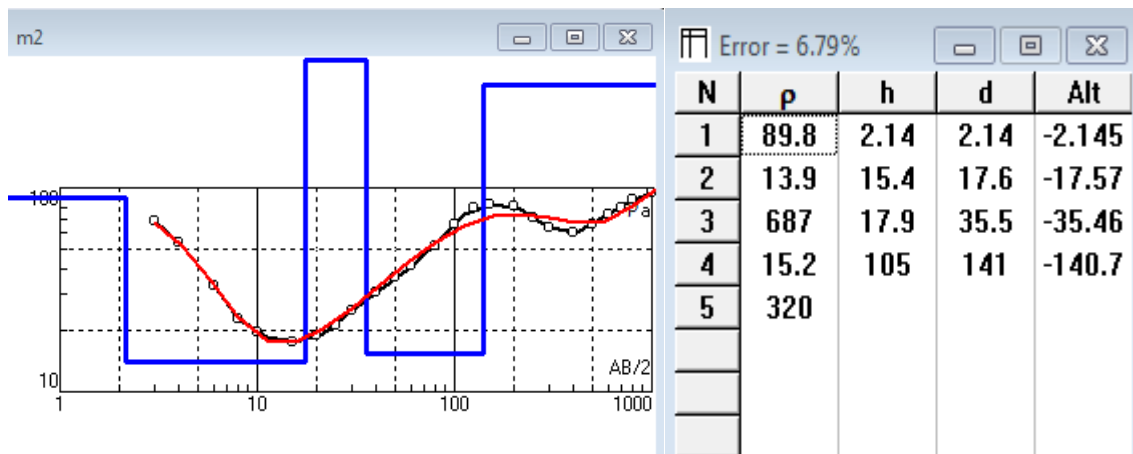


**4.1.10.profil M** le profil M est situé dans la région Droh, il contient de sept SEV orientésNW-SE.

**4.1.10.1 Sondage M1**,La courbe expérimentale du M1 montre la présence de quatre couches.un terrain superficiel résistant de 114  $\Omega$ m, épais de 4 m, que surmonte un terrain plusrésistant de 452  $\Omega$ m de faible puissance, moins de 4 m. ce dernier superpose sur un troisième terrain conducteur de 59,4 $\Omega$ m, un dernier horizon épais, son épaisseur avoisine les 70 m, il se montre conducteur et est enregistré à 15,8 $\Omega$ m.



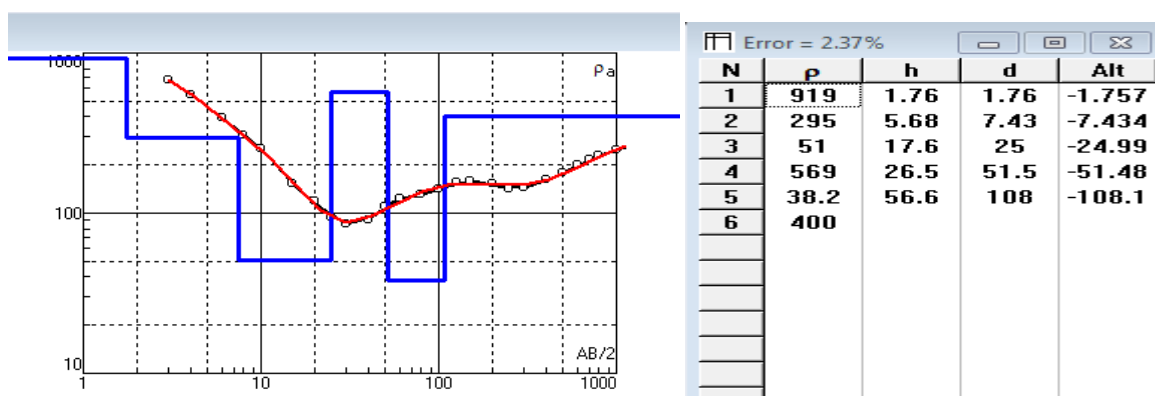
**4.1.10.2 Sondage M2**,La courbe expérimentale du M2 montre la présence de trois à quatre couches. En effet, en surface, un terrain superficiel résistant avec 89,8  $\Omega$ m et une épaisseur de 2 m,il surmonte un deuxième horizon conducteuravec 13,9  $\Omega$ m et de 15,4m, suivi d'un terrain résistant de320  $\Omega$ m.



**4.1.10.3 Sondage M3**, La courbe expérimentale du sev M3 montre la présence de deux à trois couches selon la disposition suivante:

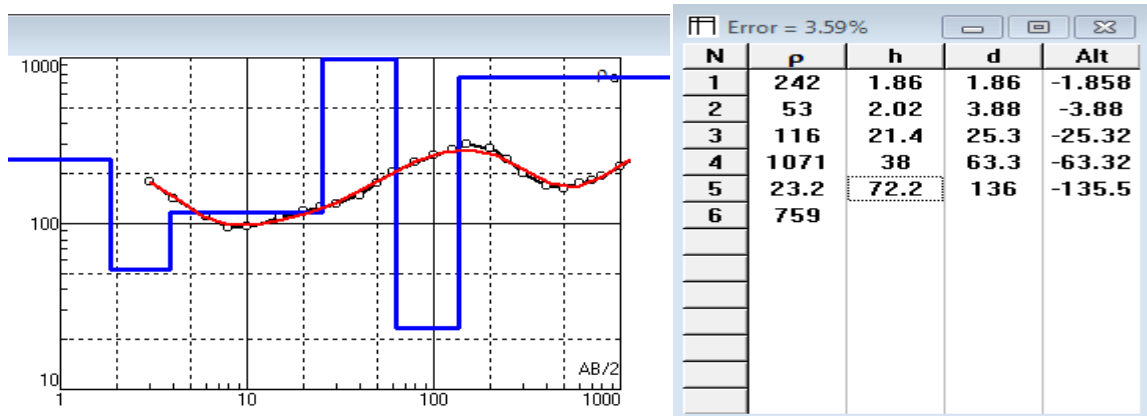
- un terrain superficiel conducteur de  $19,3 \Omega\text{m}$  d'une épaisseur de  $0,79 \text{ m}$ .
- un terrain résistant de  $460 \Omega\text{m}$  et une épaisseur de  $6 \text{ m}$ .
- un terrain conducteur de  $4,45 \Omega\text{m}$  dont l'épaisseur est de  $2 \text{ m}$
- pour finir avec un terrain résistant de  $746 \Omega\text{m}$  dont l'épaisseur est de  $15,6 \text{ m}$

**4.1.10.4 Sondage M4**, La courbe expérimentale du M4 montre la présence de trois à quatre couches. un terrain superficiel résistant de  $295 \Omega\text{m}$ , d'une épaisseur d'environ  $6 \text{ m}$ , suivi d'un terrain relativement conducteur de  $51 \Omega\text{m}$  avec une épaisseur de  $17,6 \text{ m}$  que surmonte un terrain résistant à deux niveaux, l'un de  $569 \Omega\text{m}$  et une épaisseur de  $26,5 \text{ m}$  et l'autre de  $400 \Omega\text{m}$ .

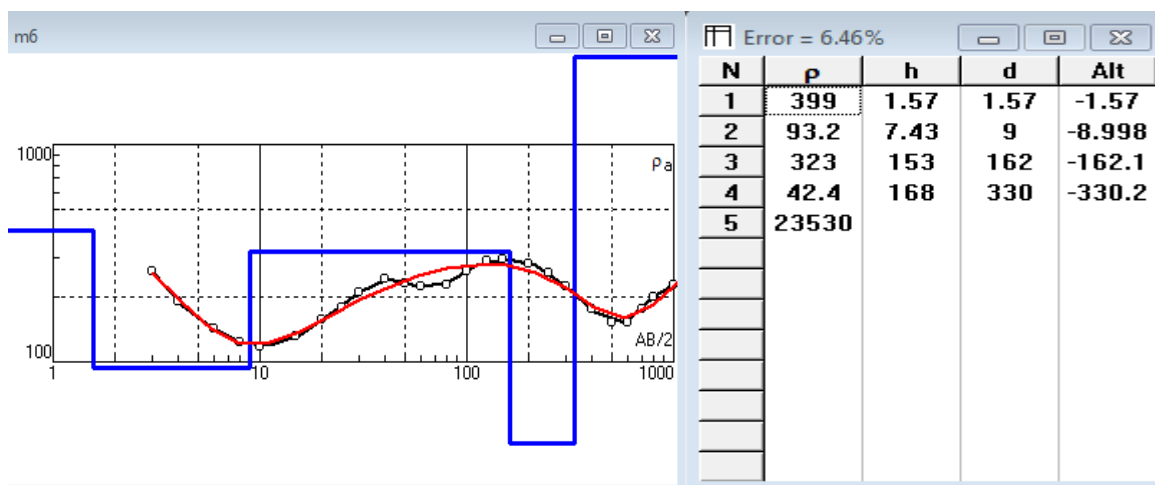


**4.1.10.5 Sondage M5**, La courbe expérimentale du M5 montre la présence de quatre couches. En effet, en surface, un terrain superficiel résistant avec  $242 \Omega\text{m}$  avec une épaisseur de  $2 \text{ m}$  il surmonte un deuxième horizon conducteur avec  $53 \Omega\text{m}$  et de  $2 \text{ m}$  d'épaisseur, suivi d'un terrain

résistant de 116  $\Omega$ m dont l'épaisseur est de 21,4m, la série se termine avec un horizon conducteur de 23,2  $\Omega$ m sur 72 m d'épaisseur.



**4.1.10.6. Sondage M6,** La courbe expérimentale du M6 montre la présence de quatre couches. En effet, en surface, un terrain superficiel résistant avec 399  $\Omega$ m, il surmonte un deuxième horizon moyennement résistant avec 93,2  $\Omega$ m et de 7,43m, suivi d'un terrain résistant de 323  $\Omega$ m dont l'épaisseur est importante, elle est de 153m la série se termine avec un horizon conducteur de 42,4  $\Omega$ m avec un épaisseur de 168m,



## 4.2 Coupes géo-électriques

Pour compléter notre interprétation, nous avons établi trois coupes géo-électriques représentatives, elles sont illustrées dans les figures 20, 21 et 22. Ces coupes ont été réalisées à partir des sondages électriques composant les profils D, J et L, elles sont orientées NW-SE.

#### 4.2.1 Coupe géo-électrique du profil D

La coupe D est orientée NW-SE, comportant 5 sondages électriques comme le montre la figure 20. Elle illustre la disposition de 3 couches bien distinctes, la première est superficielle et mince, représentée par des formations continues, moyennement résistantes, entre 55 et 78 ohm.m, son épaisseur varie de 2 à 14 m. ce sont des argiles et sables de couverture d'âge Mio-pliocène. Elle vient superposer un horizon conducteur épais de 3 à 28m et dont les résistivités sont comprises entre 10 et 25ohm.m. Ces faibles résistivités indiquent clairement la présence de passées de gypse et de sel. Il y'a lieu de relever une faille affectant la coupe, passant par le sondage D4. Le troisième horizon est suffisamment résistant et est situé en profondeur, les résistivités varient de 134 à 232,5 ohm.m indiquant la présence de calcaires et de marnes recoupés d'intercalations de gypse appartenant au Maestrichtien.

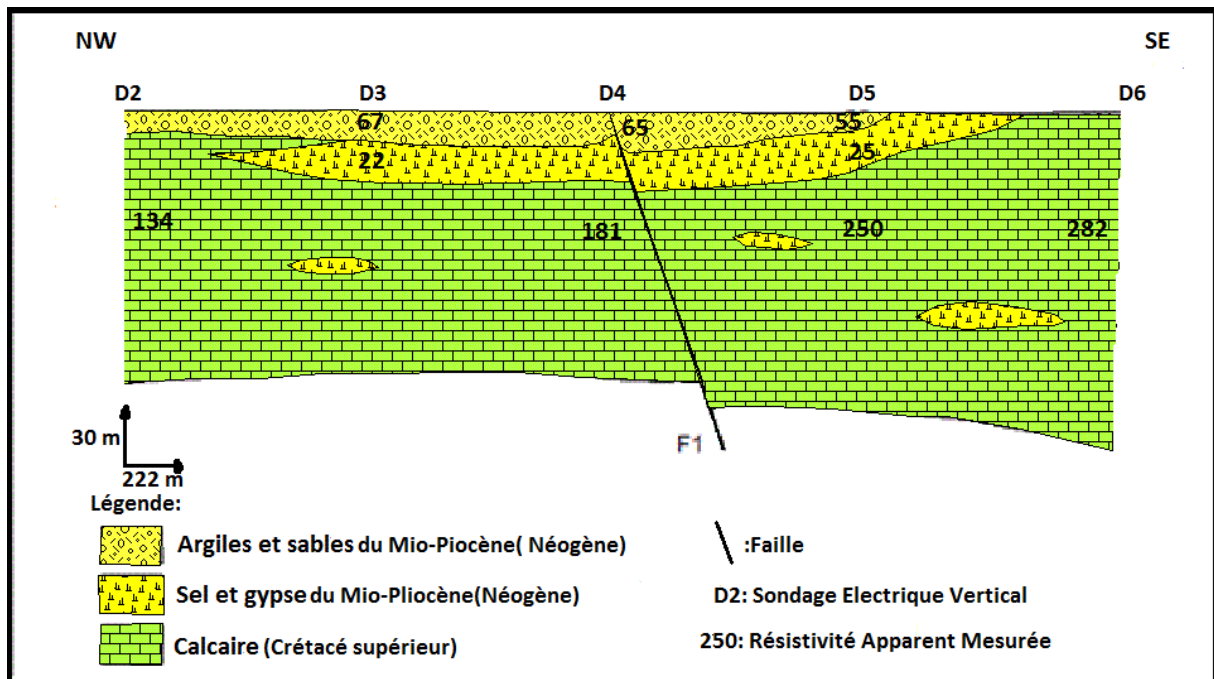


Figure 20 -coupe géo-électrique du profil D

#### 4.2.2 Coupe géo-électrique du profil J

La coupe J est orientée NW-SE, comportant 8 sondages électriques comme le montre la figure 21. On relève la présence de 4 couches individualisées, la première est superficielle et mince, représentée par des formations continues, moyennement résistantes, entre 46 et 120 ohm.m, son épaisseur varie entre 0,5 et 3 m, elle disparaît au niveau du J7. Il peut s'agir de matériaux de remplissage mio-pliocène constitué de sables, d'argiles et d'alluvions du Quaternaire. Elle

vient superposer un horizon conducteur dont l'épaisseur est comprise entre de 15 et 33,5 m et les résistivités qui oscillent de 4 à 10 ohm.m, celle-ci s'interrompt à la faveur d'une première faille affectant la coupe, située entre les sondages J3 et J4. On dénote la présence de terrain résistant et fracturé sous le sondage J7, sa résistivité oscille entre 200 et 500 ohm.m et est représenté par des calcaires aquifères du Maestrichtien. Lorsque les calcaires sont massifs, les résistivités enregistrés sont assez grandes (500 ohm.m voire plus), par contre, quand ils sont suffisamment fissurés, leur résistivité chute à 200 ohm.m et peuvent renfermer de l'eau.

Dans la partie située entre les sondages J1 et J3 représentée par des résistivités relativement basses (de 22 à 70 ohm.m), nous avons tenu à être prudents quant à la lithologie appropriée. Cette partie est signalée par un point d'interrogation pour illustrer notre incertitude. Cependant, ce faciès pourrait éventuellement correspondre à des argiles avec des intercalations de gypses.

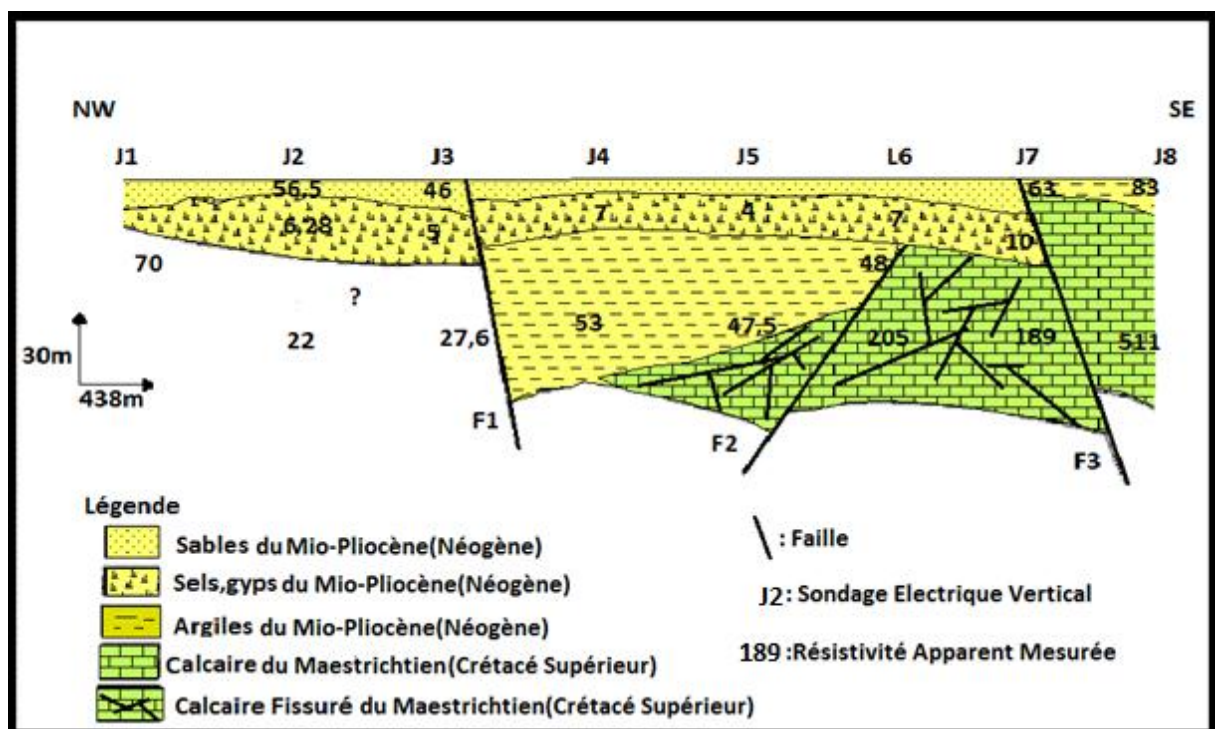


Figure 21 - coupe géo-électrique du profil J

#### 4.2.3 Coupe géo-électrique du profil L

La coupe L est orientée NW-SE, comportant 7 sondages électriques comme le montre la figure 22. Elle illustre la disposition de 3 couches, la première est superficielle et mince, représentée par des formations continues, résistantes, entre 114 et 262 ohm.m, son épaisseur varie de 1,8 à 3,94 m. Elle vient superposer un horizon conducteur épais de 2 à 29 m et dont

les résistivités, basses, sont comprises entre 9,7 et 33ohm.m. ce sont des argiles conductrices marquées par de fréquentes passées de gypse et de sel. Le troisième horizon est très résistant situé en profondeur, les résistivités oscillent entre 147 et 409ohm.m, cet horizon constitué de calcaire massif et dur par endroits est affecté par deux failles.

Dans la partie située entre les deux failles (F1 et F2) représentée par des résistivités oscillant entre 80.5 et 128 ohm.m, l'incertitude demeure encore. En effet, ce faciès pourrait éventuellement correspondre à des calcaires fortement fissurés renfermant de l'eau.

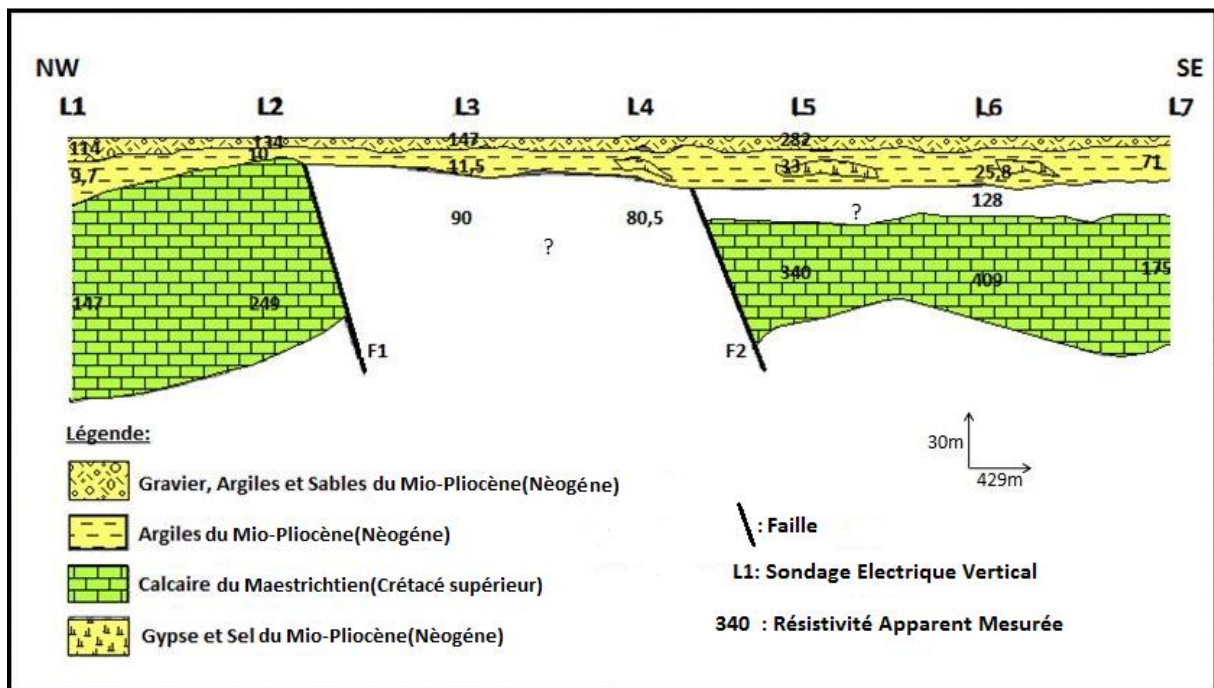


Figure 22 - coupe géo-électrique du profil L

#### 4.3 Cartes des résistivités apparentes.

Les cartes des résistivités apparentes sont utilisées dans le but de caractériser la structure du sous-sol. Ces cartes ont des longueurs de lignes croissantes en AB=100 m,600 m,1000 m et 2000 m. Elles ont été établies à l'aide du logiciel Surfer, en utilisant la méthode d'interpolation par krigeage, transférées ensuite et traités sur ArcGIS et représentées en 3D sur Autocad.

### 4.3.1 Carte des résistivités apparentes en AB = 100m

Cette carte des résistivités apparentes, établie à partir de 62 points de mesure, montre la distribution des terrains superficiels de la région de Chetma. La ligne d'émission de courant en AB égale à 100m, MN adopté est de 10m, permet la pénétration du courant électrique à des profondeurs variant entre 12.5 selon Roy (1971) à 19 m selon Barker (1989). En effet, la carte montre des gammes de résistivités comprises entre 10 et 410 ohm.m.

On relève l'existence d'une anomalie résistante située au Nord-Est de la ville de Biskra, centrée autour des sondages C6, D6 et D7 et dont les résistivités apparaissent élevées, elles oscillent entre 287 et 350 Ohm.m. Elle est représentée par des grès du Mio-pliocène surmontée d'une mince passée d'argiles et compactes.

Au centre de la carte, à l'Est de Biskra, il existe aussi une anomalie résistante, restreinte et répartie sur deux axes : l'un constitué de sondages D2, F3 et H4 et orienté dans la direction NE-SW, dont la résistivité varie également entre 250 et 313 Ohm.m et l'autre constitué de I3 et H3, et H4 orienté NW-SE avec une résistivité ne dépassant pas 320 Ohm.m.

Partout ailleurs, les plages en bleu sur la carte correspondent à des terrains superficiels conducteurs représentés par des formations ne dépassant pas 100 Ohm.m. Ce sont essentiellement des argiles rouges du Mio-Pliocène surmonté d'une couche de sable de 12 m en surface, d'après le sondage mécanique réalisé entre 1982 et 1984 au Nord de Chetma. Ce dernier, profond de 302 m, est composé d'argile rouge avec un banc de calcaire épais de 15 m rencontré à 198 m de profondeur.



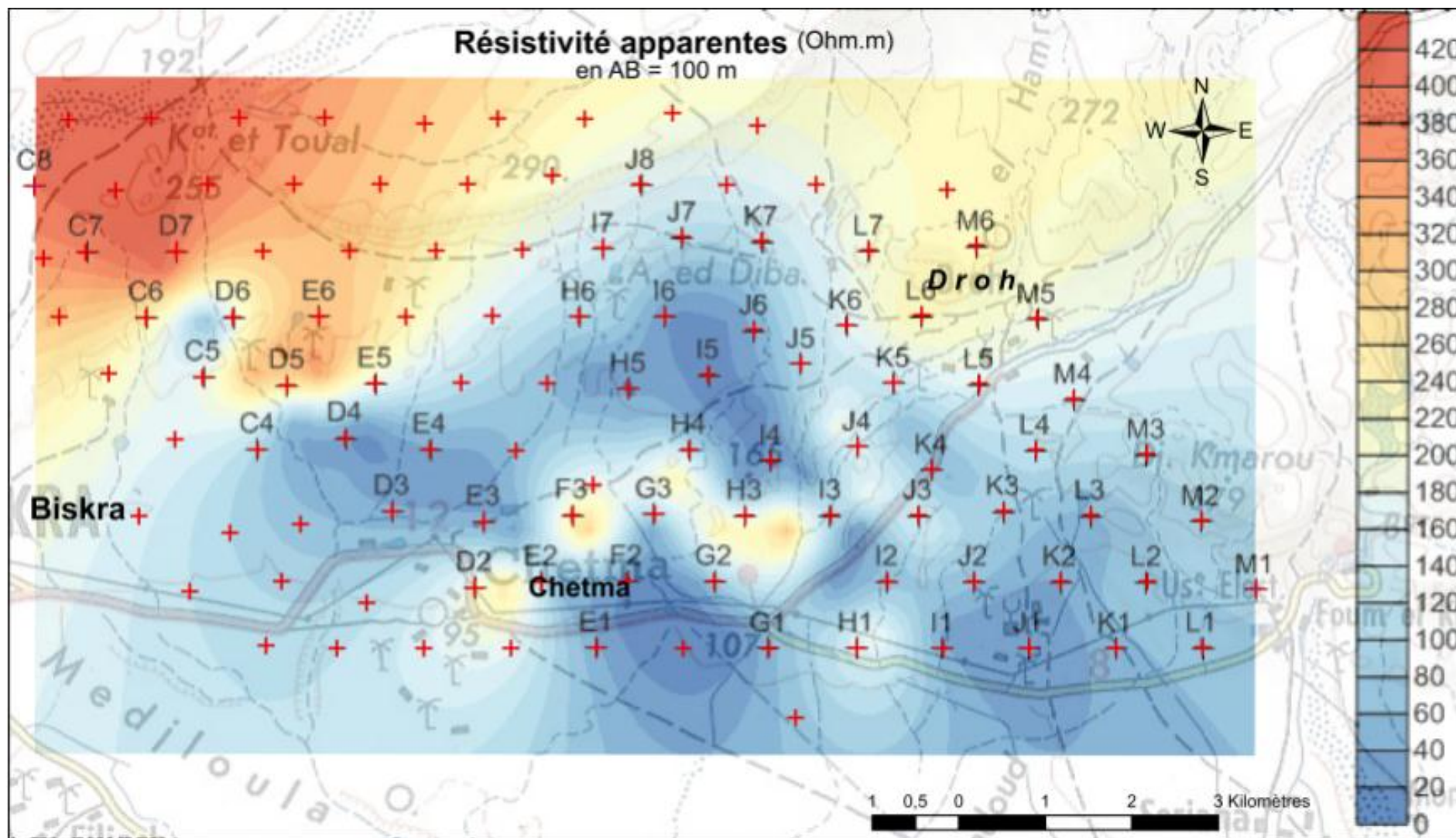


figure 23 - Carte des résistivités apparentes en AB=100m

### 4.3.2 Carte des résistivités apparentes en AB=600m

Dans cette carte, dressée sur la base des enregistrements faits sur 62 points, met en évidence des terrains peu profonds. Avec la ligne d'émission de courant en AB égale à 600 m et un MN de réception de 100 m, la profondeur d'investigation atteint 75m selon Roy (1971) et 114m selon Barker (1989). En effet la carte montre l'existence de deux anomalies résistantes dont les gammes des résistivités sont comprises entre 13 et 266 ohm.m.

La première anomalie située dans la partie Nord-Ouest centrée autour des sondages E6, D6, C6, D7 et C7, présentant des résistivités variant entre 150 et 200 Ohm.m représentée par des calcaires durs gris du Maestrichtien. A fur et à mesure que cette anomalie s'étire vers le sud, les résistivités ont tendance à baisser dans une gamme allant de 120 à 140 Ohm.m

A l'Est de la carte, on relève une seconde anomalie résistante autour des sondages L4, L7, K5, K6, M4, M5 et M6 dont les résistivités varient également entre 130 à 230 Ohm.m. Elle est représentée par des calcaires durs gris du Maestrichtien surmontés de couches d'argiles du Mio-pliocène.

Entre ces deux plages résistantes, s'amorce un couloir conducteur orienté NW-SE et englobant les profils J, I, HetG, constitué d'argiles rouges mio-pliocènes.

Cela peut s'apparenter à un schéma structural composé de deux anticlinaux résistants, constitués de calcaires du Maastrichtien séparés par un synclinal rempli de matériaux de dépôts plus ou moins conducteurs représentés par les argiles rouges.

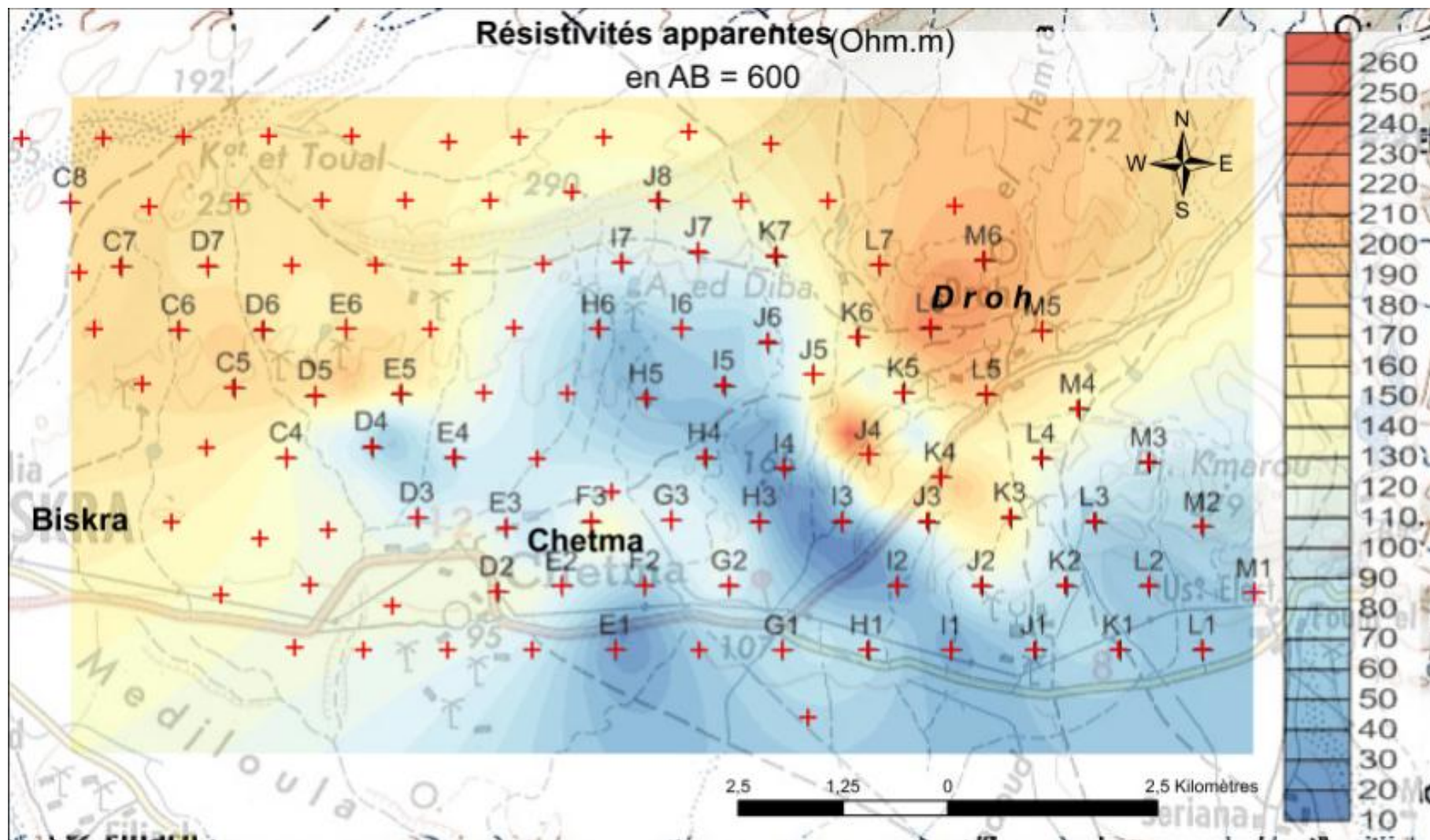


Figure 24 - Carte des résistivités apparentes en AB=600m

### 4.3.3 Carte des résistivités apparentes en AB=1000m

la ligne d'émission de courant AB employée est égale à 1000 m, la réception du signal est faite à partir d'un MN de 100m. Cette configuration de Schlumberger possède une profondeur d'investigation variant entre 125m selon Roy (1971) à 190m selon Barker (1989). En effet la carte montre l'existence de deux grandes anomalies résistantes présentant des gammes de résistivité allant de 12 à 233 ohm.m. On note que ces gammes sont identiques à celles que nous avons relevées précédemment dans les cartes de résistivités apparentes en AB à 100 et à 600m.

La première plage résistante est située au Nord-Est de la ville Biskra, elle est centrée autour des sondages C8, C7, D7, C6, E6 et D6 et dont les résistivités apparaissent peu élevées, elles oscillent entre 160 et 210 Ohm.m. Cette plage est représentée, selon les logs de sondages les plus proches, par une alternance de calcaires durs gris, de passées d'argiles rouges et noirâtres et calcaires siliceux du Maastrichtien.

Cette anomalie s'étire vers le Sud de la carte près de la ville de Biskra ayant des résistivités de 120 Ohm.m. Et la seconde anomalie située à droite de la carte dans la région de Drohet centrée autour des sondages L3, L4, L7, M3, M4, M6, M5 et K7 avec une résistivité variant entre 110 et 200 Ohm. Ce sont des calcaires gris et blancs parfois marneux. Entre ces deux plages résistantes, s'amorce un couloir conducteur orienté NW-SE et englobant les profils Jet I, il indique clairement la présence d'argiles rouges.

Cette disposition nous renseigne sur la continuité du même schéma structural en profondeur, autrement dit, les anticlinaux calcaires s'élargissent en profondeur tandis que la synclinal de dépôt argileux se rétrécit. Un schéma structural composé de deux anticlinaux résistants (calcaires) séparés par un synclinal constitué de matériaux de dépôts plus ou moins conducteurs.

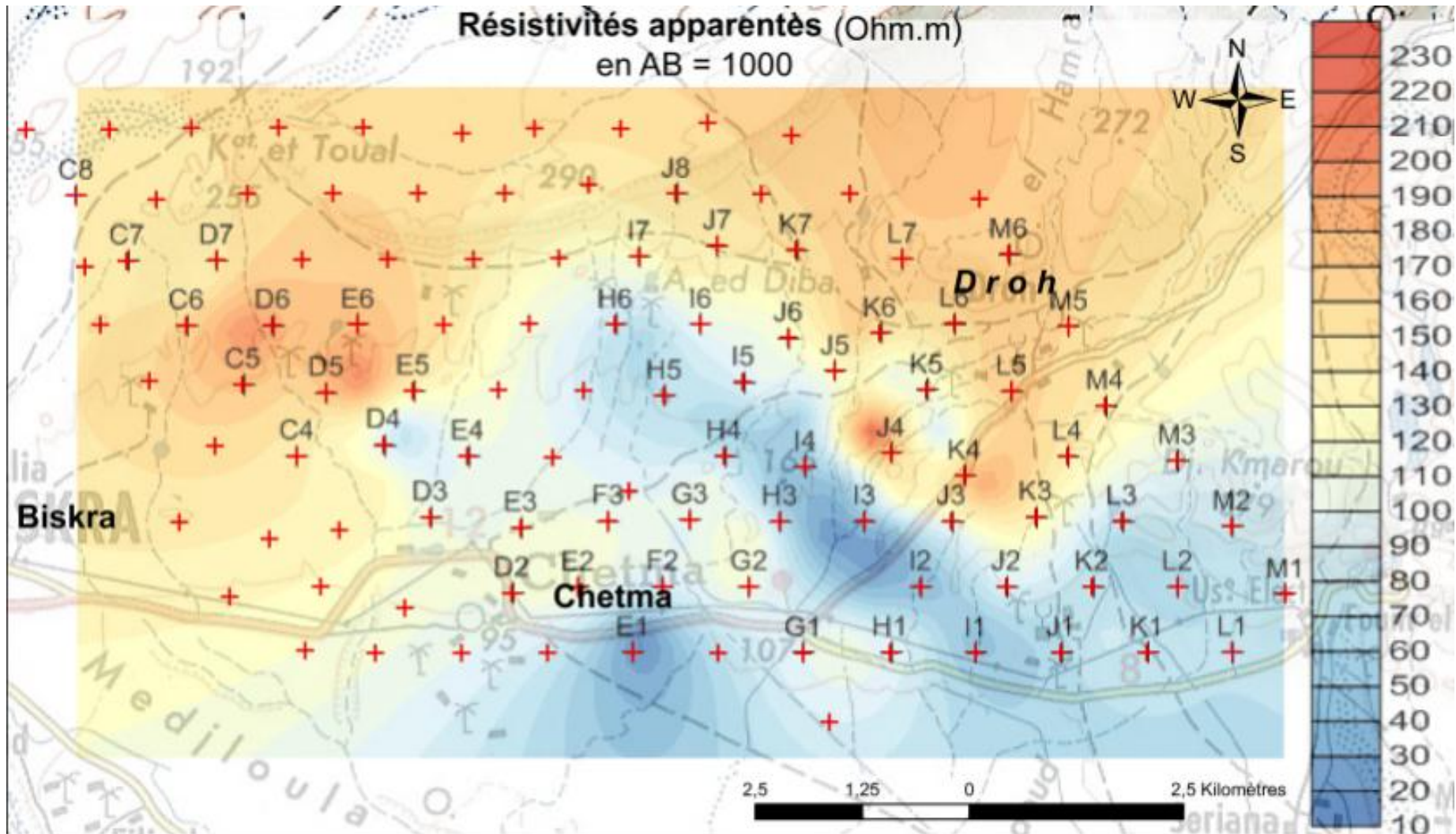


Figure 25 - Carte des résistivités apparentes en AB=1000m

#### 4.3.4 Carte des résistivités apparentes AB=2000m

Des terrains profonds sont mis en évidence grâce à cette carte employant une ligne de courant de 2000m, et un MN égale à 300 m. Les profondeurs explorées varient entre 250 et 380 m.

On dénote dans la partie Nord de la région prospectée allant de Koudiat Et Toual à Droh, une large plage caractérisée par des résistivités élevées depuis les sondages C7 (237 ohm.m), C6 (207 ohm.m), D6 (217 ohm.m ) jusqu'aux sondages M6 (225 ohm.m), M5 (221 ohm.m), M4 (249 ohm.m) et représentées, selon les logs de sondages les plus proches, par des calcaires et marnes avec la présence d'intercalations de gypse duMaestrichtien. Ces éléments indiquent la présence de deux anticlinaux qu'à fur et à mesure qu'on descend en profondeur, on atteint la base de ces deux structures.

Une plage conductrice de plus en plus restreinte en profondeur occupe le synclinal dessiné par les deux anticlinaux. Cette formation correspond, vu ses résistivités inférieures à 100 ohm.m à des formations de dépôts constitués d'argiles rouges et noires. Dans le détail, ces résistivités sont comprises entre 14 ohm.m au sondage E1, 42 ohm.m au I3, 52 ohm.m au J1 et 89 ohm.m au sondage I5.

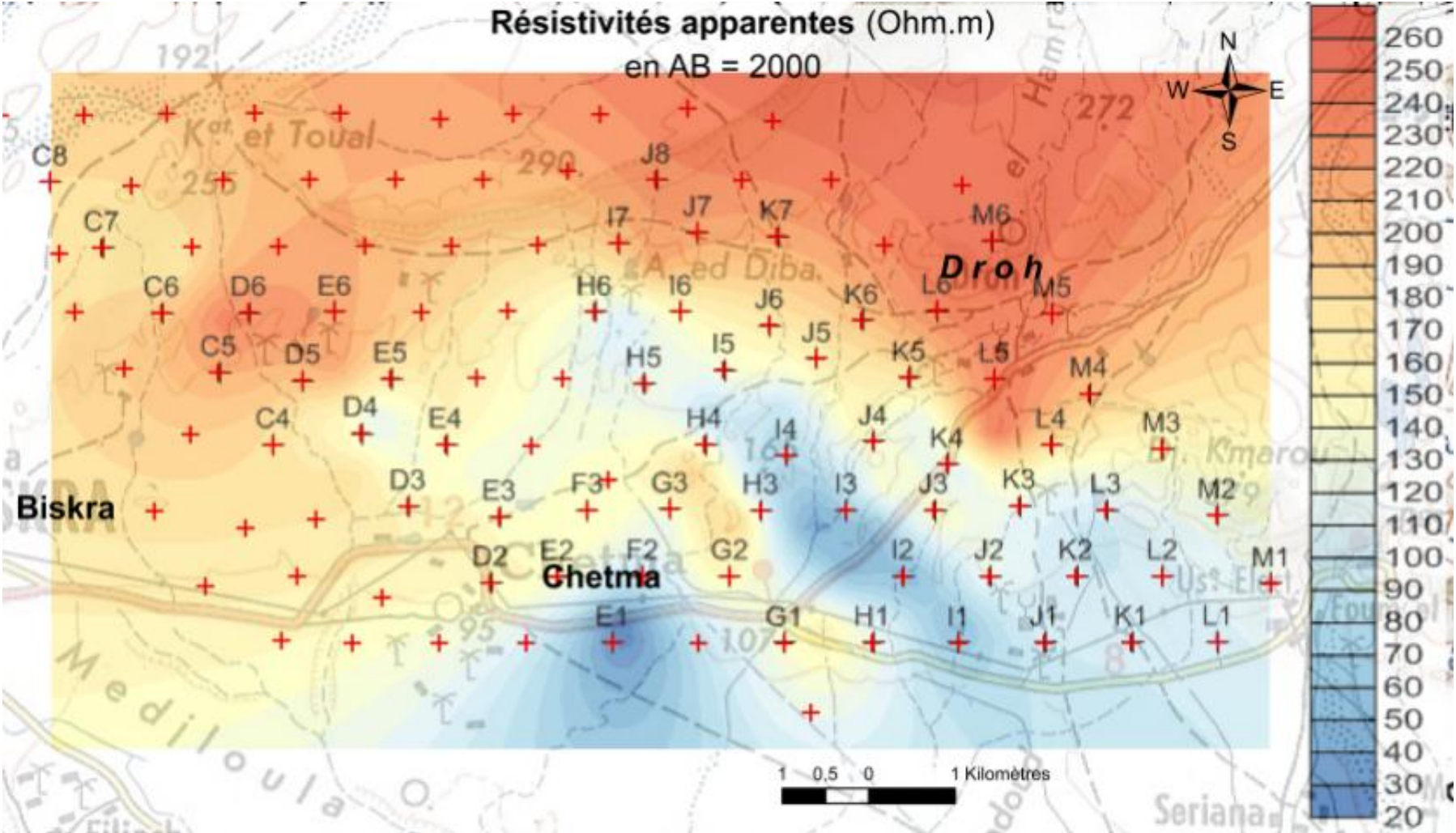
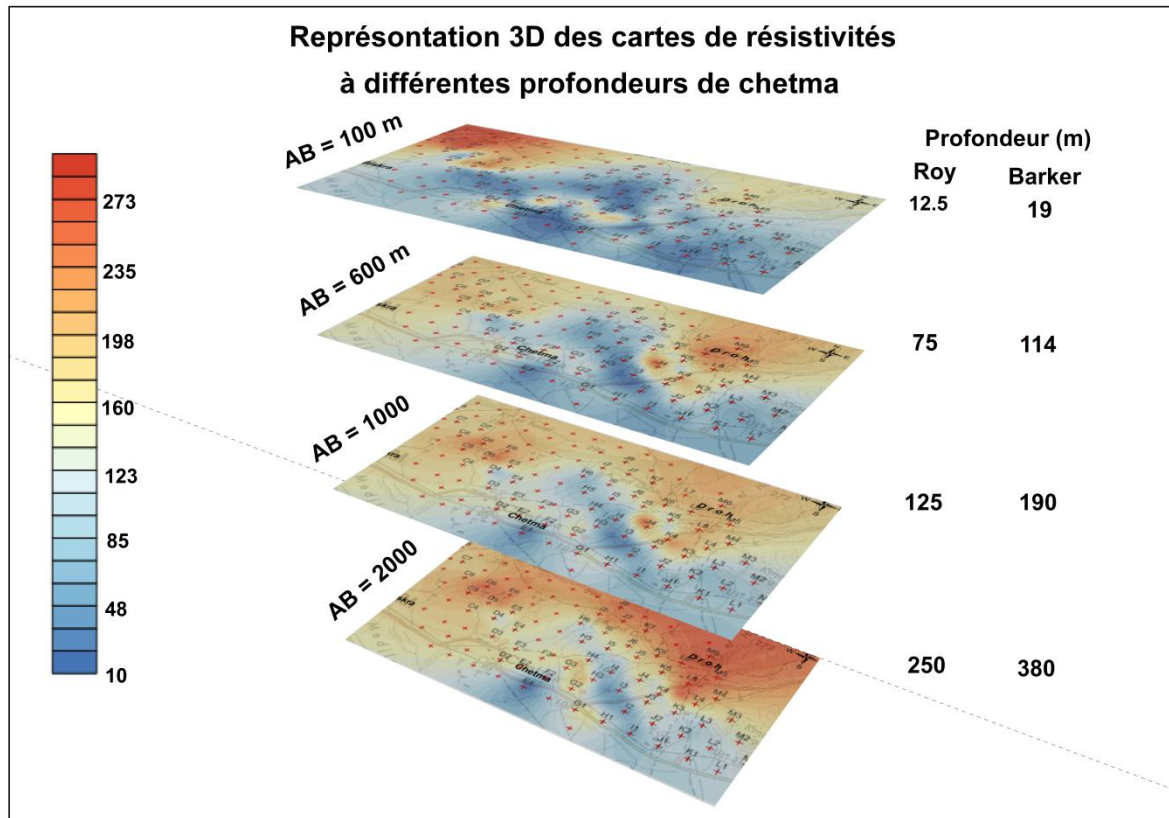


Figure 26 - Carte des résistivités apparentes AB=2000m

### 4.3.5 Représentation 3D des cartes de résistivités à différentes profondeurs



**Figure 27-** représentation 3D des cartes de résistivités à différentes profondeurs à Chetma

*L'approche géophysique appliquée aux reconnaissances géologiques du sous-sol de la région de Chetma nous a permis d'identifier les caractéristiques des terrains prospectés et les structures en place. La corrélation faite à partir des logs de sondages réalisés aux alentours de notre site révèle d'une part que les grandes résistivités enregistrées en profondeur sont associées à des calcaires et marnes du Maestrichtien, marqués par la présence d'intercalations de gypse. Les plages conductrices, quant à elles, correspondent à des formations de dépôts constitués essentiellement d'argiles rouges et noires. Elle nous a révélé, d'autre part, l'existence d'un schéma structural en profondeur, il s'apparente à deux anticlinaux résistants de calcaires et un synclinal rempli de matériaux de dépôts plus ou moins conducteurs. Les cartes de résistivités apparentes en longueur AB croissant ont mis en place l'évolution de l'allure de ces anticlinaux en profondeur, ils s'élargissent en profondeur au détriment du synclinal de dépôt argileux qui se rétrécit alors qu'en surface ils sont représentés par des plages résistantes d'étendue restreinte, correspondant à la charnière de l'anticlinal.*



# ***Chapitre IV***

***Etude piézométrique et corrélation  
avec la géophysique***

*La région de Biskra constitue la transition entre les domaines atlasiques plissés du Nord et les étendues plates et désertiques du Sahara au Sud. Dans cette région des zibans, l'industrie est peu remarquable mais l'agriculture taille la part du lion dans le développement économique, l'irrigation à partir des eaux souterraines est, par conséquent, largement dominante, elle représente 93,7 % des besoins en irrigation de la wilaya. Il en résulte une forte exploitation des nappes aquifères captées dans la région.*

*Dans ce dernier chapitre, nous étudierons la piézométrie de l'aquifère du Miopliocène de la région de Chetma, située à l'Est de Biskra. Nous tenterons de comprendre les caractéristiques des écoulements d'eau souterraine de cet aquifère et de permettre une corrélation entre la géologie et le cadre structural de la région, des cartes de résistivités apparentes établies à différentes profondeurs et notre carte piézométrique établie à partir des données de forages d'eau récupérées de l'ANRH d'Ouargla.*

## **1. Aquifère de Continentale Intercalaire**

### **1.1. Aperçu général**

Directement surmontées par les argiles et carbonates du Cénomaniens, les formations du Continental Intercalaire (CI) s'étendent jusqu'en bordure de la plate-forme, en une auréole continue d'El Goléa jusqu'à la limite sud de la Hamada El Hamra comme le montre la figure 28.

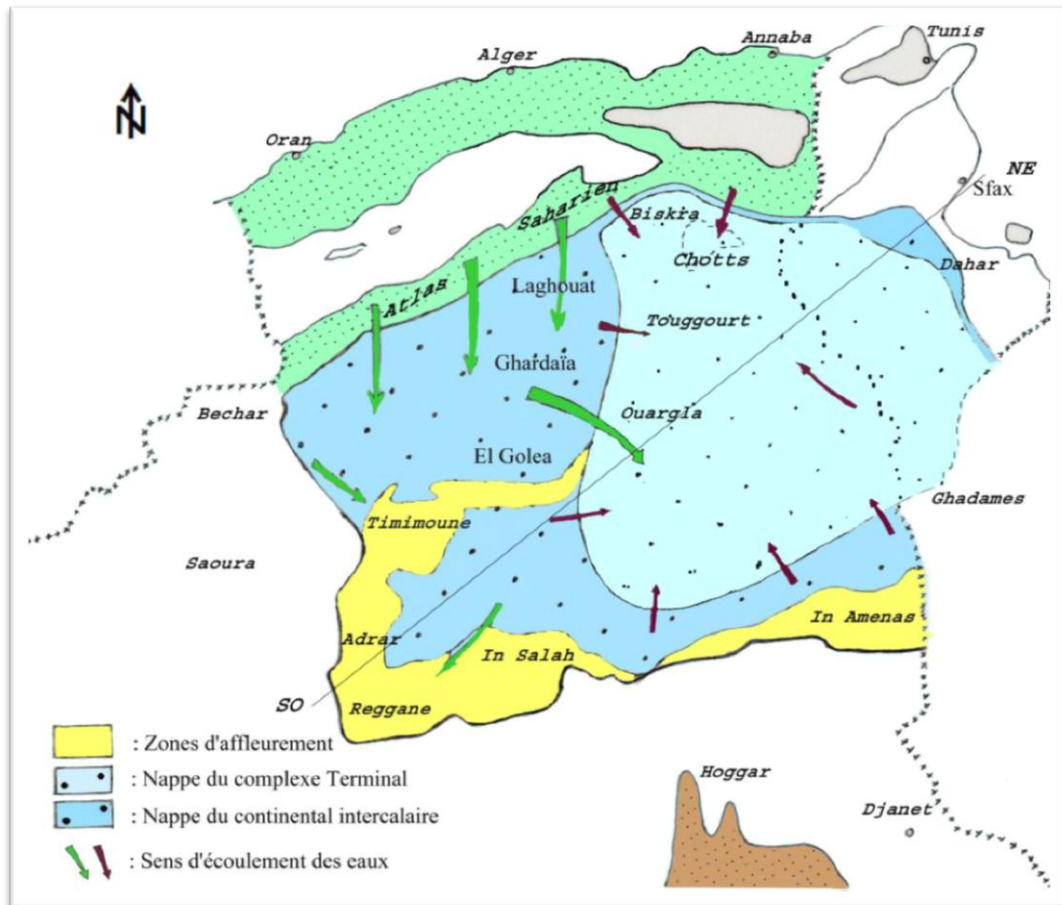
Au Nord-Ouest du bassin, le CI affleure tout au long de l'Atlas saharien et au Nord-Est au pied de la falaise du Dahar et du Jebel Nefusa. Plus au Sud, le CI repose directement sur les formations marines du Paléozoïque, lequel forme un affleurement sous forme d'une ceinture continue allant de la frontière marocaine, à la limite NW du bassin, jusqu'à la ville de Hun à l'extrême Sud-Est.

Le Continental Intercalaire est défini comme l'ensemble continental compris entre les plissements hercyniens, qui ont chassé la mer de la plate-forme saharienne, et l'invasion marine du Crétacé supérieur. Cet ensemble comprend majoritairement les formations continentales grésos-argileuses du Crétacé inférieur. (Ould baba sy, 2005). Le tableau 7 résume les principales caractéristiques de ce gigantesque réservoir d'eau, l'un des plus importants au monde.

<b>Étendue km<sup>2</sup></b>	600 000
<b>Épaisseur totale (m)</b>	50 à 1 000
<b>Profondeur (m)</b>	60 à 2 400
<b>Profondeur au toit (m)</b>	20 à 2 000
<b>Épaisseur de la couche utile productrice (m)</b>	150 à 200
<b>Débit (l/s)</b>	50 à 400
<b>Niveau statique par rapport au sol (m)</b>	artésien (25 bars)
<b>Rabatement par rapport au N.S (m)</b>	artésien
<b>Transmissivité (10<sup>-3</sup> m<sup>2</sup>/s)</b>	10 à 30
<b>Coefficient d'emménagement (10<sup>-4</sup>)</b>	6 à 1 200
<b>Alimentation moyenne (Hm<sup>3</sup>/an)</b>	270
<b>Réserve théorique calculée (m<sup>3</sup>)</b>	50 000 x 10 <sup>9</sup>
<b>Température (°C)</b>	25 à 70
<b>Salinité des eaux</b>	0.5 à 6 g/l*

**Tableau 7** - Données générales sur la nappe du Continental Intercalaire (Hadjer et Hallal 2010)

Avec une superficie de 600000 Km<sup>2</sup>, la nappe du continental intercalaire est la plus importante nappe d'eau en Algérie. Vu son énorme étendue, sa profondeur accuse une extrême variabilité spatiale, par endroits, elle varie entre 60 et 2400 m. Son épaisseur est très importante, elle va de 50 m dans certains endroits à plus de 1000 m dans d'autres et sa transmissivité est de 10 à 30 10<sup>-3</sup> m<sup>2</sup>/s. Le débit fourni par la nappe peut être qualifié de moyen à 50 l/s et d'extrêmement intéressant à 400 l/s. Son alimentation annuelle est estimée à plus de 270 Hm<sup>3</sup>/an, ce qui explique sa grande productivité.



**Figure 28-**Carte hydrogéologique du système aquifère CI et CT (UNESCO, 1972).

## 1.2. La piézométrie du Continental Intercalaire

Sur la carte établie en 2003 par l'OSS (2003), le CI contient 3 domaines hydrogéologiques bien distincts dans leurs caractéristiques hydrodynamiques comme l'illustre la figure 29:

- le bas Sahara où l'écoulement d'eau s'effectue d'Ouest en Est, depuis les aquifères calcaires de Laghouat à l'Ouest présentant une cote piézométrique d'environ 600 m jusqu'aux Chotts tunisiens à l'Est où la cote passe à moins de 200 m, cet écoulement passe par les régions de Touggourt et El Oued,

- le grand erg occidental, le Touat-Gourara et le Tidikelt où l'écoulement est mis en place du Nord où la cote piézométrique est élevée à plus de 700 m vers le Sud et le Sud-Ouest jusqu'à In Salah à moins de 300 m de niveau piézométrique,

- Enfin dans le bassin oriental, bassin en général artésien, avec des pressions d'artésianisme très fortes, comprises entre 5 et 25 bars (Guendouz, 1997) le sens d'écoulement est orienté du Nord-Ouest vers le Sud-Est pour être repris ensuite par un sens

d'écoulement du Sud à In Aménas avec une côte piézométrique supérieure à 400 m vers le Nord-Est jusqu'aux chotts tunisiens où la côte piézométrique retombe à moins de 200 m environ.

En effet, ces côtes piézométriques reflètent la grande profondeur qui caractérise ce continental intercalaire, par conséquent, son exploitation nécessite plus de moyens en termes de forages d'eau qui devraient être suffisamment profonds pour capter la formation aquifère. La région de Chetma à Biskra est située dans une plage représentée en vert sur la carte où le niveau piézométrique est compris entre 300 et 350 m.

Dans le NE de la carte au niveau de Biskra, les isopièzes génèrent un gradient hydraulique d'environ  $2 \cdot 10^{-3}$ . Après l'implantation du forage d'Ouled Djellal, on a enregistré une baisse de pression équivalente à environ 10 m entre Sidi Khaled et Ouled Djellal distants l'un de l'autre de 8 Km, ce qui donne environ un gradient hydraulique local de l'ordre de  $10^{-3}$ . (Chabour, 2006)

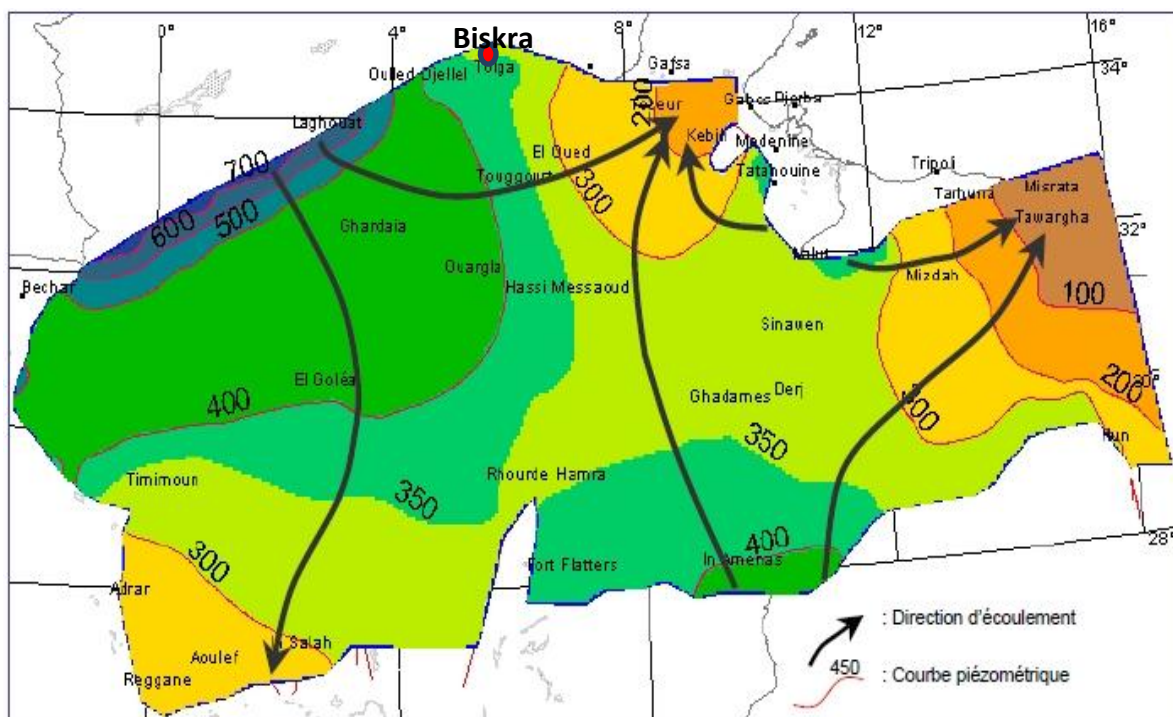


Figure 29 - Carte piézométrique de référence du Continental Intercalaire (OSS, 2003)

## 2. Présentation du Mio-Pliocène

### 2.1. Aperçu général

Ces nappes occupent, généralement, les dépressions formant les plaines bordées par les Massifs. Dans la région d'El Outaya, cette nappe est formée par une alternance d'argiles et de

sables, de gypse, de graviers, poudingues et conglomérats avec rarement des bancs de calcaire. L'épaisseur de cette nappe est très variable et peut atteindre quelques centaines de mètres. Elle repose sur un substratum composé de formations imperméables du Miocène marin et celles de l'Eocène moyen.

Dans la plate-forme saharienne, il s'agit surtout de la nappe des sables. Elle constitue le Continental Terminal proprement dit. Le remplissage mio-pliocène peut atteindre 2000 m d'épaisseur au pied de l'accident sud-atlasique mais les formations sableuses aquifères ne dépassent guère les 100 mètres. La géophysique fait ressortir que dans la partie orientale où l'on trouve la plus grande extension des poudingues du Pliocène qui forme l'essentiel du système aquifère. Ces formations conglomératiques peuvent atteindre des épaisseurs de 200 mètres dans la vallée de l'oued Biskra où les plus fortes résistivités ont été relevées. D'autres niveaux alluvionnaires grossiers, de 15 à 20 m d'épaisseur, séparés par un niveau argileux sont localisés tout au long du lit de l'oued Biskra.

La porosité moyenne de la nappe du Mio-pliocène est estimée à 30 % (ANRH). La transmissivité est très hétérogène et varie de 4 à  $7.10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ . Le coefficient d'emmagasinement varie de 0.5 à 0.1. (Chabour, 2006)

## **2.2. Inventaire des points d'eau à Biskra (Chetma)**

Les données concernant le CI dans la région de Chetma sont rares, voire inexistantes en raison de la grande profondeur de cet aquifère. Les données que nous avons récupérées ne comprennent que des captages de la formation du Mio-pliocène et des calcaires aquifères du Maastrichtien.

Pour mieux comprendre la piézométrie locale de notre zone d'étude, nous avons réalisé une carte piézométrique synthétique des écoulements d'eau souterraine dans la formation aquifère du Mio-pliocène. Pour cela, 29 forages ont été utilisés sur un ensemble de 219 forages inventoriés par l'ANRH et localisés dans le périmètre de la région étudiée (Tableau en Annexe 1). Ces données ont été récupérées d'une part de la division d'exploration de SONATRACH à Hassi Messaoud où nous avons effectué un stage en entreprise dans le cadre d'une convention signée avec l'Université de Jijel et d'autre part de l'ANRH d'Ouargla qui gère le secteur de Biskra. Ces données ont été triées, classées et soigneusement examinées selon trois critères que nous avons, à priori, imposés :

- Forages compris entre ces coordonnées géographiques:  $5^{\circ}$  et  $6^{\circ}$  ;  $34^{\circ}$  et  $35^{\circ}$  qui correspondent à la région de Chetma
- se limiter aux forages captant la nappe du Mio-pliocène

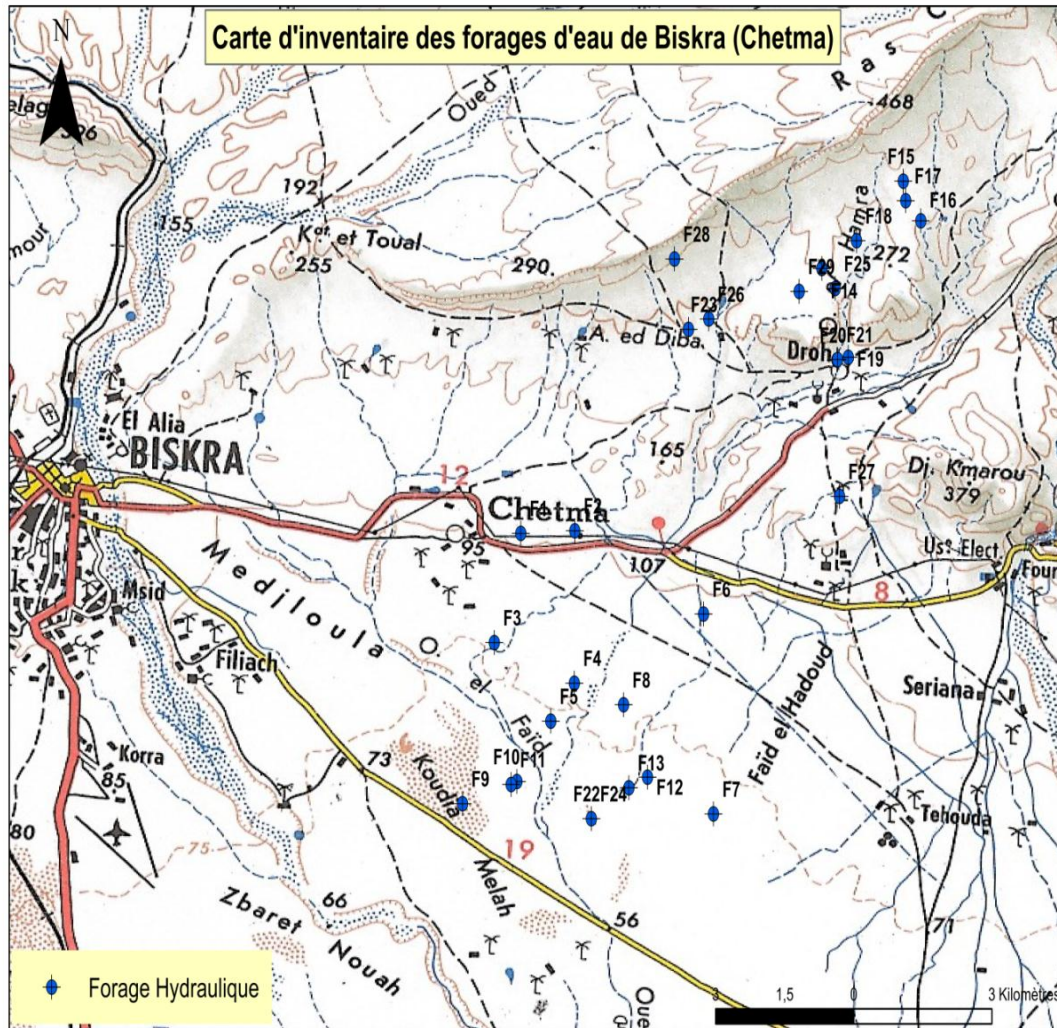
- se limiter aux forages ayant été mesurés où le niveau statique y figure

La carte d'inventaire des forages hydrauliques indique que la majorité des forages retenus est réparti en deux secteurs, le premier dans la partie Nord-Est de Chetma, particulièrement dans la région de Droh où nous avons recensé 13 forages environ, et le second au Sud de la commune de Chetma avec 16 forages mesurés, comme le montre la figure 30.

Dans cet inventaire, les profondeurs des forages d'eau sont comprises entre 60 et 220m. Leur niveau piézométrique oscille de 40 à 70 m, exception faite pour un forage où son niveau est mesurée à 108m. Le niveau d'eau varie de quelques mètres d'un point à l'autre distants de quelques dizaines de mètres seulement. Par ailleurs, nous en relevons les remarques suivantes:

- la majorité des forages captent la nappe du Mio-Pliocène, quelques forages seulement exploitent le Plio-quaternaire, l'Eocène inférieur et le Maastrichtien.
- le niveau statique est limité de 6 à 26m, il n'y a aucun forage artésien.
- Les débits des forages inventoriés varient entre 1 et 33 l/s.
- Dans leur majorité, ils sont exploités pour l'irrigation, uniquement quelques un sont destinés à l'Alimentation en Eau Potable (AEP).

Les dates de mesure des niveaux piézométriques ne figurent pas sur le tableau fourni par L'ANRH d'Ouargla, la raison pour laquelle il nous est difficile d'attribuer une date à notre carte piézométrique. Ladite carte a été établie dans le but de visualiser l'allure générale de la nappe mio-pliocène.



**Figure 30-** Carte d’inventaire des forages hydrauliques exploités à Chetma-Droh

### 2.3. Carte piézométrique du Mio-Pliocène et corrélation avec les résultats géophysiques

La carte piézométrique de Chetma que nous avons réalisée à l’aide du logiciel Surfer et transférée sur Arcgis, montre l’allure du niveau de la nappe, les directions et les sens de l’écoulement dans l’aquifère (fig.31). La surface piézométrique se trouve à plus de 290 m au Nord-Est de la carte par contre, elle baisse à 30m au Sud.

Notons que, dans la partie Nord-Est de la carte qui coïncide avec la région de Droua, les courbes isopièzes se trouvent plus serrées et forment un dôme piézométrique. Ce dôme est formé autour des forages F14, F18, F19, F20, F27 et F29 avec un niveau piézométrique maximal mesuré à 280 m. Cependant au Sud de la carte, les courbes isopièzes se trouvent plus ou moins espacés où l’on observe une forme de dépression au centre-ouest autour des forages F12 et F13 avec un niveau piézométrique qui descend jusqu’à 50 m



Les forages que nous avons utilisés sont implantés comme suit :

- Forages à grande profondeur (en rouge sur la carte), la plupart de ces forages sont implantés au niveau du dôme piézométrique où le niveau piézométrique est relativement élevé.

- Forages à moyenne profondeur (en orange sur la carte), situés majoritairement au milieu de la carte.

- Forages à faible profondeur (en vert sur la carte), ils sont implantés dans la partie Sud de la carte, leur niveau piézométrique apparaît assez faible.

Le sens d'écoulement des eaux souterraines est généralement orienté du Nord vers le Sud, dans ce cas, on définit un axe de drainage principal des eaux orienté du Nord vers le Sud. Cet axe coïncide avec les flux d'alimentation en eau souterraine. En effet, la situation de Biskra fait d'elle une zone de transition privilégiée des eaux souterraines en provenance des Aurès et de l'Atlas saharien en direction de la plate-forme saharienne.

Dans la partie Est de la carte, l'existence d'un dôme piézométrique à Drah se traduit clairement avec la mise en place d'une ligne de partage des eaux, elle est orientée également du Nord vers le Sud.

On peut distinguer trois zones de gradient hydraulique à écoulement distinct:

- zone à fort gradient hydraulique: située au Nord-Est de la carte, le dôme et la dépression piézométriques en sont à l'origine, il correspond à un gradient relativement élevé, compris entre 20‰ et 50‰, et la région est caractérisée par un écoulement assez rapide.

- zone à gradient moyen: située au centre de la carte, ici nous avons un gradient entre 10‰ et 14‰, l'écoulement d'eau est d'une vitesse intermédiaire.

- zone à faible gradient hydraulique: située au Sud de la carte, son gradient est calculé entre 4,7‰ et 5,8‰, il traduit un écoulement assez lent.

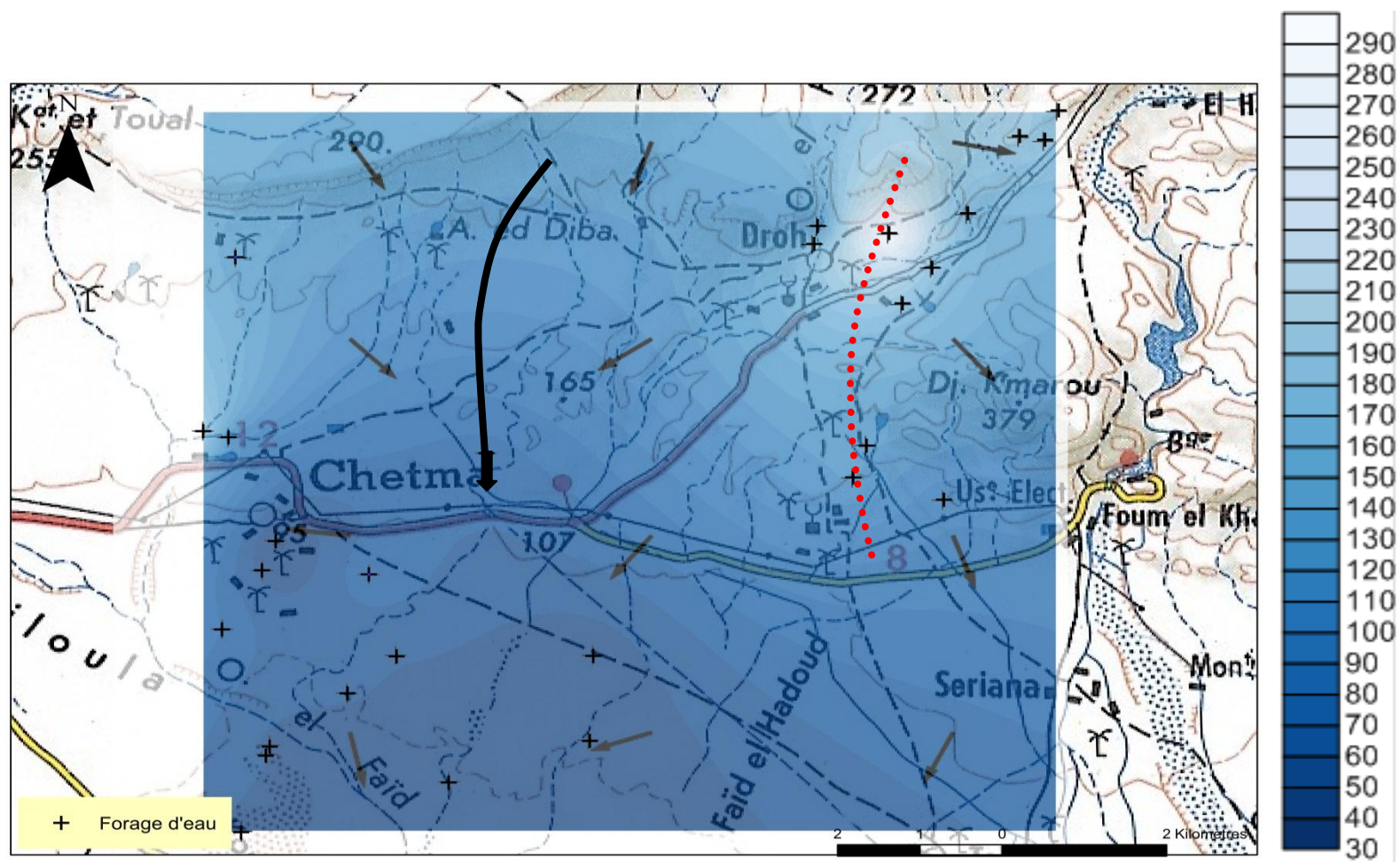
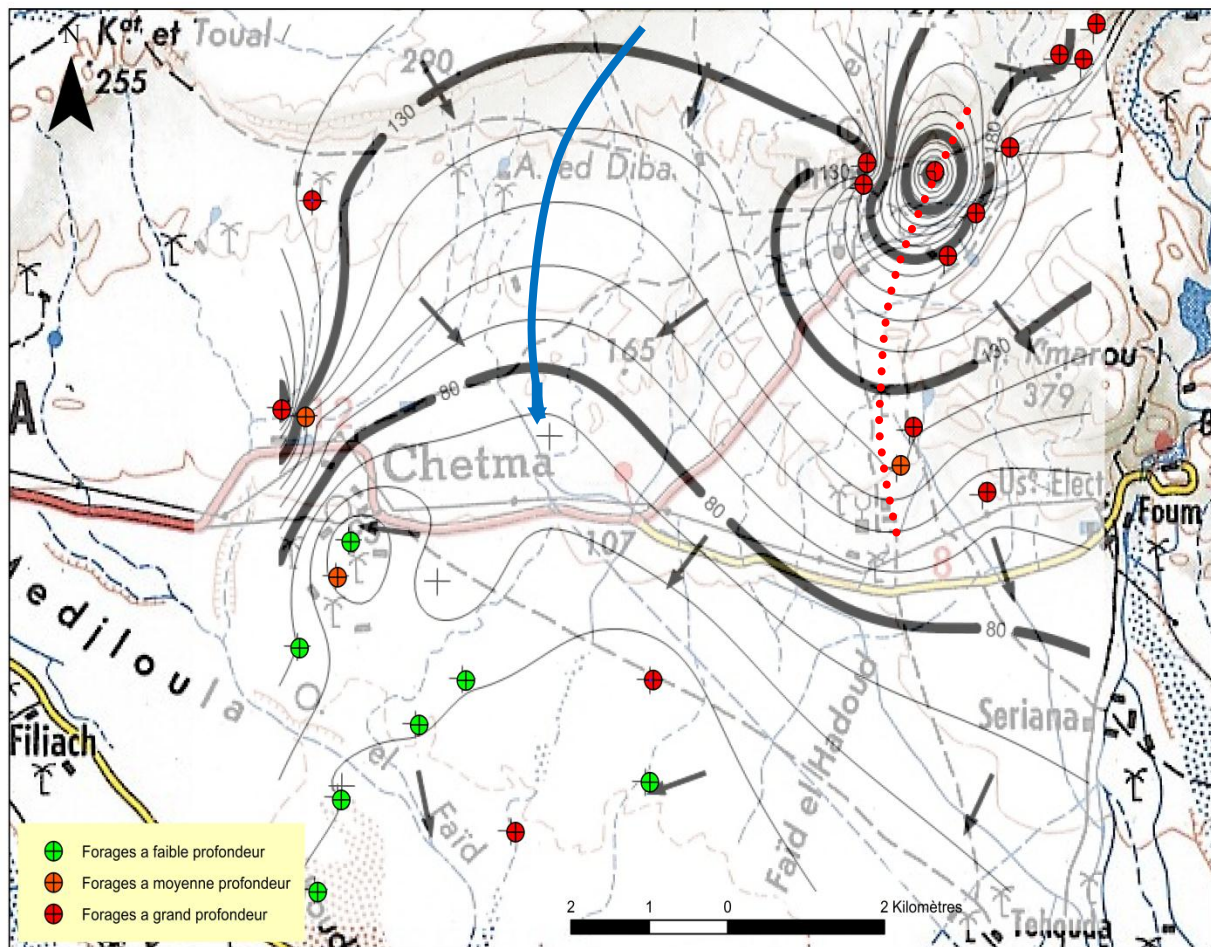


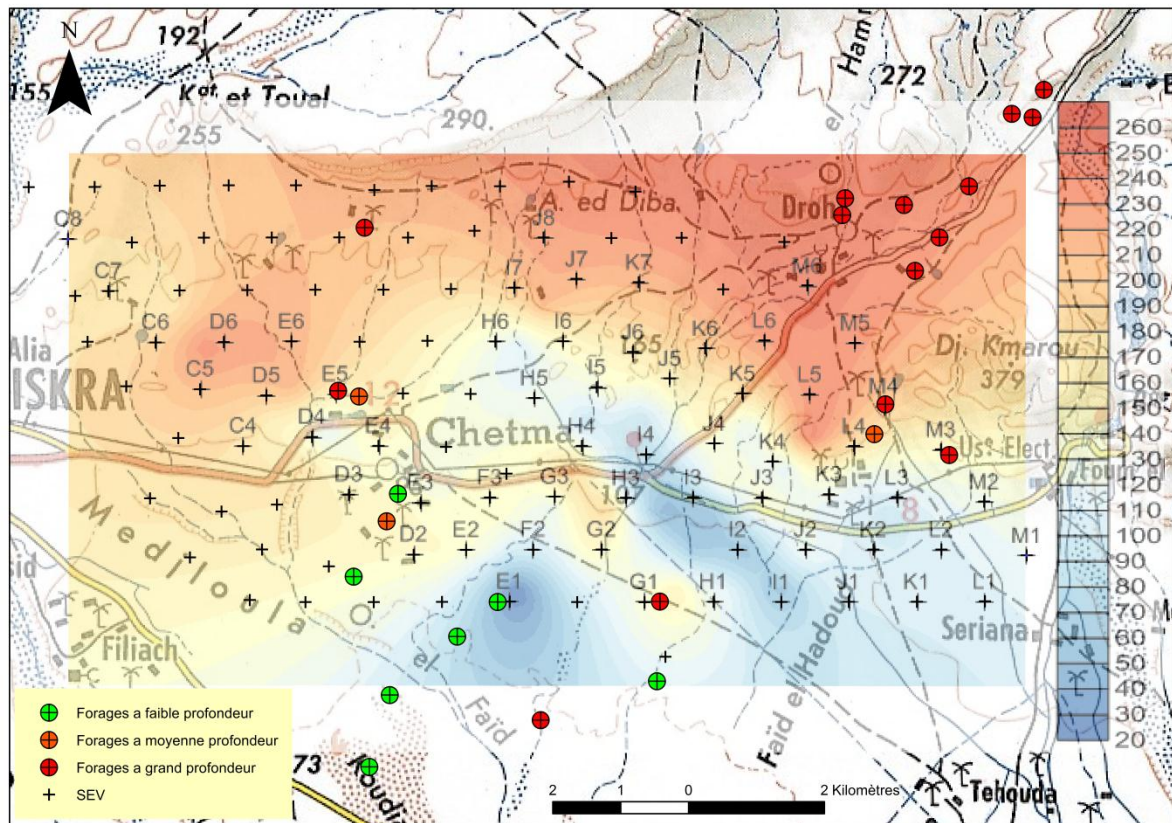
Figure 31 -Carte piézométrique du Mio-Pliocène de la région de Chetma



- Axe de drainage principal
- ⋯ Ligne de partage des eaux
- Sens d'écoulement

**Figure 32-**Carte piézométrique du Mio-Pliocène de la région de Chetma

Nous revenons à notre carte des résistivités apparentes en AB = 2000 m sur laquelle nous avons superposé les forages d'eau étudiés. L'on observe que la plupart des forages d'eau plus profonds sont implantés au Nord de la carte au niveau de l'anticlinal de Droh, présentant des résistivités très élevées en profondeur. Cependant, les forages à moyenne et faible profondeur sont implantés au Sud de la carte à l'endroit où nous avons décelé une forme de synclinal où la résistivité des terrains traversés chute considérablement.



**Figure 33** – carte des résistivités apparentes en AB = 2000 m superposée d'inventaire de forages d'eau

A partir de la carte piézométrique insérée dans la figure 32 et la carte des résistivités apparentes insérée dans la figure 33, on relève clairement que le dôme piézométrique est situé à l'endroit même où se trouve l'anticlinal de Droh. On peut dire que les forages à grande profondeur sont implantés à Droh afin de pouvoir capter efficacement l'aquifère des calcaires et obtenir d'importants débits d'eau. Leur niveau piézométrique est plus élevé, environ 290m et leur gradient hydraulique se montre important. Cela justifie le fait que la majorité des forages à Droh sont exploités, aucun n'est abandonné ou à l'arrêt.

Par contre, les forages à moyenne et faible profondeur sont implantés l'endroit où se trouve le synclinal conducteur, constitué essentiellement de formations argileuses et donc très peu perméables. Leur niveau piézométrique et leur gradient hydraulique sont faibles, la raison pour laquelle sont inventoriés en grand nombre à l'arrêt.

*L'étude hydrogéologique de la région de Chetma a montré le rôle important que représente les eaux souterraines à Biskra. La région capte généralement la nappe du Miopliocène, cette dernière présente des niveaux piézométriques qui varient entre 30 et 290 m avec un sens d'écoulement et une ligne de partage des eaux orientés principalement du Nord vers le Sud. Il a été relevé l'existence d'un dôme piézométrique à Droh à l'endroit même où a été décelé l'anticlinal du même nom à l'aide de la géophysique. En effet, la corrélation entre la piézométrie et la géophysique montre que les forages d'eau à grande profondeur sont implantés au niveau de ce dôme piézométrique, ils captent l'aquifère contenu dans les calcaires de cet anticlinal où les débits sont plus avantageux pour l'exploitation.*

### *Conclusion générale*

La région de Biskra constitue la transition entre les domaines atlasiques plissés du Nord et les étendues plates et désertiques du Sahara au Sud dans une région qui reçoit entre 120 et 150mm de pluies annuelles et de température moyenne de 20,9 °C. Il en résulte un déficit annuel très important, estimé à 971.2 mm. Avec une culture des céréales, le maraichage et les palmiers dattiers, les besoins en eau d'irrigation et l'exploitation des ressources en eau souterraine sont de plus en plus croissants car l'eau constitue le moteur capital au développement économique des régions arides du Sud.

L'étude géologique laisse apparaître l'existence de trois principales unités structurales qui sont: le quaternaire constitué d'alluvions, d'argiles, de graviers et de sables; le Mio-pliocène composé de formation calcaire et de marnes avec des intercalations de gypse, et l'Eocène composé de formation calcaire et de marnes. Lorsque les calcaires offrent des degrés de fracturation importants favorisant des circulations d'eau, les calcaires mio-pliocènes et les calcaires du Maastrichtien constituent d'excellents réservoirs d'eau.

L'analyse des coupes géo-électriques et des cartes des résistivités apparentes établies pour différents longueurs AB, nous a permis d'avoir une idée globale sur la répartition spatiale de différentes unités lithologiques, de préciser leurs limites et de déterminer les différents accidents qui les affectent, d'identifier les différents faciès lithologiques en profondeur, de localiser les zones susceptibles d'être aquifères et de déterminer les meilleurs emplacements pour l'implantation de forages d'eau.

L'étude hydrogéologique a montré le rôle important que représente les eaux souterraines à Biskra. La région capte généralement la nappe du Mio-pliocène, cette dernière présente des niveaux piézométriques variant entre 30 et 290 m avec un sens d'écoulement et une ligne de partage des eaux orientés principalement du Nord vers le Sud. Il a été relevé l'existence d'un dôme piézométrique à Droh à l'endroit même où a été décelé l'anticlinal du même nom à l'aide de la géophysique. En effet, la corrélation entre la piézométrie et la géophysique montre que les forages d'eau à grande profondeur sont implantés au niveau de ce dôme piézométrique, ils captent l'aquifère contenu dans les calcaires de cet anticlinal où les débits sont plus avantageux pour l'exploitation.

Cette étude devrait nous orienter vers l'exploitation des niveaux de calcaires fracturés dans l'anticlinal de Droh et de réduire l'exploitation dans les dépôts argileux peu perméables.

## **Bibliographie :**

**Aidaoui S., 1995 :** aménagement hydro agricole des Zibans, mémoire doctorat, université de Nancy.

Agence Nationale de Développement de l'Investissement (ANDI)-2015

**Belhadi A et al., 2016 :** Apport de la plasticulture au dynamisme agricole de la région des Ziban (Biskra), Revue semestrielle – Université Ferhat Abbas Sétif 1

**Benfares D., Potin Ch., 2010 :** Etude d'actualisation du PNE Algérie, Groupement SOFRECO – Grontmij/Carl - Bro – Progress – OIEau, mission 2 – volet 6 – Tome 1

**Bettahar A., 2013:** Aspects qualitatifs des eaux de la région de Touggort (Nappes du Complexe Terminal et Continental Intercalaire) Sud-Est de l'Algérie, mémoire de master, Université Kasdi Merbah-Ouergla

**Bouhchicha A., Ohenia S., 2013 :** Synthèse des ressources en eau à Hassi Messoud dans un contexte de fortes contraintes naturelles et anthropiques, mémoire master 2, Université de Jijel

**Brinis N., 2003 :** Essai d'explication de la salinité des eaux de la nappe du Mio-pliocène d'El Outaya (w de Biskra), mémoire magister, Université d'Annaba.

**Chabour N., 2006 :** Hydrogéologie des domaines de transition entre l'Atlas saharien et la plateforme saharienne à l'Est de l'Algérie, thèse doctorat, Université Mentouri Constantine

**Chebbah M., 2007 :** Lithostratigraphie, Sédimentologie et Modèles de Bassins des dépôts néogènes de la région de Biskra, de part et d'autre de l'Accident Sud Atlasique (Zibans, Algérie), Thèse de Doctorat, Université mentouri\_Constantine.

**Chergui S et Lamniai A., 2014 :** Cartographie de la Nappe du Complexe Terminal (CT) et celle de la Nappe Continental Intercalaire (CI) avec mise en place d'un réseau de surveillance sous (SIG), mémoire de master, Université Kasdi Merbah-Ouergla

**Foufou A, Jean P., 2016 :** Techniques de gestion et de partage de l'eau agricole dans les oasis traditionnelles de Biskra. Cas de l'oasis de Chettma (Bas-Sahara algérien), Revue semestrielle – Université Ferhat Abbas Sétif 1

**Marc coté., 2005 :** la ville et le désert :le bas-sahara algérien,306p



**Mimoun S et Zoubeidi B., 2014 :** Problème de vulnérabilité des eaux souterraines de la région d'El-Oued (Sud-Est Algérien), mémoire master, Université d'El-Oued

**Ouali S., 2005 :** Etude géothermique de sud de L'Algérie, mémoire de magister, université m'hamed bouguerra boumerdes.

**Ouali S., Khellaf A et Baddari K., 2007 :** Etude des ressources géothermiques du sud algérien, Université M'Hamed Bouguerra, Revue des Energies Renouvelables Vol. 10 N°3 (2007) 407 – 414

**Ould baba sy., 2005 :** Recharge et paleo recharge du système aquifère du Sahara septentrional, thèse doctorat, Université de Tunis El Manar .

**Sakta H., Bouzanad A., 2007 :** Etude géoélectrique par électrique verticale de la région de chetma (W.Biskra), Université d'Annaba.

**Sedrati., 2011 :** origine et caractéristiques physico-chimique des eaux de la willaya de Biskra-sud est algerien, thèse de doctorat, Université d'annaba.

**[www-ig.unil /cours/acc1f.htm](http://www-ig.unil/cours/acc1f.htm)**

**Annexe1 :**

NOM	X	Y	NS(m)	NP(m)	Q (l/s)	OBS	Usage	Nappe capté	Pro
F1	760575,863	3856628,781	21.1	43,9	/	A l'arrêt	IRR	mio-pliocène	80
F2	760618,819	3857801,993	35.5	42,5	/	A l'arrêt	IRR	mio-pliocène	232
F3	758862,468	3856055,955	21.05	44,95	/	A l'arrêt	IRR	mio-pliocène	242
F4	758228,434	3857796,028	29.1	50,9	/	A l'arrêt	IRR	mio-pliocène	70
F5	757632,429	3857285,802	16.8	51,2	/	A l'arrêt	IRR	mio-pliocène	80
F6	759318,829	3860602,552	38	65	/	Abandonné	AEP	mio-pliocène	
F7	756185,622	3860822,779	6.7	108,3	/	Abandonné	IRR	mio-pliocène	188
F8	757891,418	3858927,663	26.6	68,4	/	A l'arrêt	IRR	mio-pliocène	
F9	756338,119	3855368,249	12.8	47,2	/	Abandonné	IRR	mio-pliocène	70
F10	756686,607	3856549,938	20	47	/	A l'arrêt	IRR	mio-pliocène	
F11	756639,228	3856425,249	20.2	50,8	/	Abandonné	IRR	mio-pliocène	60
F12	756759,664	3859389,334	22.5	37,5	/	Abandonné	IRR	mio-pliocène	100
F13	756593,039	3858983,736	31.6	46,4	/	Exploité	IRR	mio-pliocène	110
F14	764736,463	3863163,336	7.6	174,4	40	Exploité	AEP	maastrichtien	320
F15	766108,495	3864930,388	25.9	174,1	30	Exploité	AEP	maastrichtien	233
F16	766274,575	3865336,194	35	175	30	Exploité	AEP	maastrichtien	340
F17	765801,995	3864983,163	26.8	183,2	25	Exploité	AEP	maastrichtien	350
F18	765172,174	3863916,197	37.8	150,5	40	Exploité	AEP	maastrichtien	360
F19	763347,285	3863740,112	7	114	/	A l'arrêt	IND		371
F20	763303,589	3863492,11	6	168	/	A l'arrêt	IRR		350
F21	756268,574	3863307,789	45.28	134,72	/	non exploité	mixte	éocène inf +maastrichtien	340
F22	756107,283	3858168,29	15	70	20		AEP	plio- quaternaire	75
F23	763777,748	3860267,248	18	122	15		AEP	éocène inf +maastrichtien	200
F24	756107,283	3858168,29	10	75	15		AEP	plio- quaternaire	100
F25	755878,213	3860906,707	52	198	13	non exploité	IRR	maastrichtien	385
F26	763940,52	3860706,824	19	121	15	non exploité	IRR	éocène inf +maastrichtien	300
F27	764214,284	3863641,736	3	297	2	ONNE(débit faible)	AEP	éocène inferieure	400
F28	764879,965	3859959,78	42	93	7		/	mio-pliocén	275
F29	764377,014	3862671,789	12	172	20	Exploité	AEP	maastrichtien	400

**Tableau 1-** liste des forages (ANRH, d'Ouargla)

### Résumé

La région de Biskra constitue la transition entre les domaines atlasiques plissés du Nord et les étendues plates et désertiques du Sahara au Sud. Elle est caractérisée par un climat aride, sec en été et très agréable en hiver. L'agriculture prend une grande part dans le développement économique des Zibans, elle est largement consommatrice d'eau, cette dernière provient à 93% des pompages dans les nappes souterraines et 6% d'eau de surface. L'eau souterraine constitue donc la principale source en eau à Biskra et la zone de Chetma renferme une nappe importante localisée dans les calcaires du Mio-Pliocène. L'étude géophysique a permis la reconnaissance des formations géologiques en identifiant leurs caractéristiques physiques et géométriques ainsi que leur extension latérale. On rencontre en profondeur des calcaires du Maestrichtien très résistants, marqués par la présence d'intercalations de gypse. Les plages conductrices, quant à elles, correspondent à des formations de dépôts constitués essentiellement d'argiles rouges et noires. Cette étude géophysique a révélé l'existence d'un schéma structural en profondeur, qui s'apparente à deux anticlinaux résistants de calcaires et un synclinal rempli de matériaux de dépôts plus ou moins conducteurs. L'étude hydrogéologique a confirmé le rôle important que joue les eaux souterraines à Biskra. La région capte généralement la nappe du Mio-pliocène, cette dernière présente des niveaux piézométriques variant entre 30 et 290 m avec un sens d'écoulement et une ligne de partage des eaux orientés principalement du Nord vers le Sud. Il a été relevé l'existence d'un dôme piézométrique à Droh à l'endroit même où a été décelé l'anticlinal du même nom. En effet, la corrélation entre la piézométrie et la géophysique montre que les forages d'eau à grande profondeur sont implantés au niveau de ce dôme piézométrique, ils captent l'aquifère contenu dans les calcaires de cet anticlinal où les débits sont plus avantageux pour l'exploitation. Cette étude devrait nous orienter vers l'exploitation des niveaux de calcaires fracturés dans l'anticlinal de Droh et de la réduire dans les dépôts argileux très peu perméables.

**Mots-clés:** géophysique, piézométrie, nappe du Mio-pliocène, Chetma, Biskra

### Abstract

The region of Biskra is the transition between the pleated atlasic domains of the north and the flat and desert expanses of the Sahara in the south. It is characterized by an arid climate, dry in summer and very pleasant in winter. Agriculture takes a large part in the economic development of the Zibans, it consumes a lot of water, the latter comes from 93% of the pumping in the underground aquifers and 6% of surface water. Groundwater is therefore the main source of water in Biskra and the Chetma zone contains a large water table located in the limestones of the Mio-Pliocene. A geophysical study allowed the recognition of the geological formation by identifying their physical and geometrical characteristics as well as their lateral extension. Maestrichtian limestones are very resistant, marked by the presence of intercalation of gypsum. The conductive zones, on the other hand, correspond to deposits formed mainly of red and black clays. This geophysical study revealed the existence of a deep structural pattern, which resembles two anticlinal resisting limestones and a synclinal filled with more or less conductive deposits. The hydrogeological study confirmed the important role of groundwater in Biskra. The region generally captures the Mio-Pliocene aquifer, the latter has piezometric levels varying between 30 and 290 m with a direction of flow and a watershed mainly oriented from north to south. It was noted the existence of a piezometric dome at Droh at the very place where the anticline of the same name was detected. Indeed the correlation between piezometry and geophysics shows that deep water boreholes are implanted at the level of this piezometric dome, they capture the aquifer contained in the limestones of this anticline where the flow rates are more advantageous for the exploitation. This study should guide us towards the exploitation of the fractured limestones levels in the Droh anticline and reduce it in very permeable clay deposits.

**Keywords:** geophysics, piezometry, Mio-Pliocene aquifer, Chetma, Biskra