



Année Universitaire : 2016-2017



Licence Sciences et Techniques : Géoressources et Environnement

## MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du Diplôme de Licence Sciences et Techniques

## Détection et cartographie des anomalies sédimentaires du gisement Sidi Chennane par les méthodes électromagnétiques

## Présenté par:

Hafsa MATRI

## **Ouafae M'BIDA**

## Encadré par:

Pr. CHAOUNI Abdel-Ali, FST-Fès Ing. KHADIRI YAZAMI Oussama, OCP- Khouribga Mr. HAOUARI Taybi, OCP-Khouribga

Stage effectué à : Direction des exploitatins minières OCP, Khouribga



Faculté des Sciences et Techniques - Fès

🖃 B.P. 2202 – Route d'Imouzzer – FES

212 (0) 535 60 29 53 Fax : 212 (0) 535 60 82 14

## Remerciements

Avant d'avoir l'honneur d'exposer ce rapport entre vos mains, nous tenons tout d'abord à remercier sincèrement la direction des exploitations minières de Khouribga.

Au nom de son honorable directeur général qui nous a offert l'opportunité d'un stage au sein de cet office.

Nous remercions nos encadrant externes, chef du bureau **Mr. YAZAMI KHADIRI**, ainsi que notre parrain **Mr. HAOUARI Taybi**. Nous remercions aussi vivement **Mr. BICHARA Moncef** qui nous a accompagnés durant notre période de stage concernant les sorties de terrain et qui nous a donné toutes les informations nécessaires.

Nous présentons aussi nos remerciements considérables à Monsieur **Mr NACIRI** et à tous les agents du service topographie et prospection minier pour leur sympathie, leur compréhension et leurs soutiens qui nous ont énormément facilité la mission au sein de ce service.

Nous tenons aussi à exprimer notre haute gratitude au **Pr. Abdel-Ali CHAOUNI** qui nous apporter son grand support et précieux conseils tout au long de ce stage.

Finalement, nous tenons à remercier aussi chaleureusement que possible tous le personnel du département environnement et tous ceux qui ont contribué de près ou de loin au succès du présent ouvrage.

## Résumé

Dans le bassin sédimentaire des Oulad Abdoun, la série phosphatée est formée d'une intercalation régulière de niveaux phosphatés et marno-calcaires sur environ 50 m de puissance. Localement, cette régularité est perturbée par la présence fréquente de structures communément appelés « *dérangements* ». Il s'agit de masses non stratifiées, stériles, qui perturbent et alourdissent les travaux d'exploitation des couches phosphatées. Les études géophysiques expérimentales, réalisées dans les zones dérangées de la série phosphatée, ont démontré la possibilité de les cartographier sous couvertures.

Leur généralisation sur toute la superficie du bassin des Oulad Abdoun, nécessite une compréhension du phénomène à l'origine de ces structures.

Le sujet d'étude concerne la détection et la cartographie des dérangements affectant la série phosphatée exactement celle du gisement de Sidi Chennane, en appliquant une nouvelle méthode électromagnétique (T.D.E.M).

Après avoir effectué toutes les mesures dans la zone d'étude (Sidi Chennane panneau dragline) sur une surface de 8 628.121 m<sup>2</sup> et traitement de ces données par le logiciel TEM-RES, le résultat obtenu consiste à établir des coupes pour chaque profil (4 profiles) ainsi que des cartes qui mettent en évidence les différentes anomalies sédimentaires rencontrées dans cette zone en fonction de leurs profondeurs. Pour bien apprécier les résultats de cette méthode, nous avons comparé les deux cartes obtenues par la méthode TDEM et l'EM31, cette comparaison nous a permis de conclure que la méthode TDEM a pu détecter plus d'anomalies (8anomalies) que l'autre méthode.

## Table des matières

Remerciement	ts	0
Résumé		2
Listes des figu	ires	4
Introduction		5
Chapitre I : Pr	ésentation du bassin des Oulad Abdoun	7
1. Les pri	incipaux gisements phosphatés marocains	7
2. Bassin	des « Oulad Abdoun »	8
2.1.	Situation géographique	8
2.2.	Principales zones du bassin des Oulad Abdoun	8
2.3.	Etude géologique de la série phosphatée des Oulad Abdoun	9
2.3.1.	Etude stratigraphique de la série phosphatée	9
2.3.2.	Découpage minier1	2
2.3.3.	Les niveaux repères 1	4
Chapitre 2 : D	étection et cartographie des anomalies sédimentaires du gisement Sidi Chennane par la	
méthode TDE	M 1	5
1. Etude	de la zone de Sidi Chennane 1	5
1.1.	Cadre géographique 1	5
1.2.	Le cadre géologique 1	5
2. Etude	des dérangements 1	7
2.1.	Forme des dérangements 1	7
2.2.	La classification des dérangements 1	7
2.3.	L'origine des dérangements	0
2.4.	L'impact des dérangements	0
2.5.	Détection des dérangements	1
2.6.	Délimitation des dérangements	2
3. La pro	spection électromagnétique2	2
4. T.D.E.	M (Time Domain Electro-Magnetism)	3
5. Partie	pratique2	5
5.1.	Préparation et déroulement de la compagne de terrain	5
5.2.	Traitement des données	0
Conclusions e	t recommandations	8
Bibliographie		9

# Listes des figures

Figure 1 : schéma simplifiant du composante d'un grain de phosphate
Figure 2: Localisation des différents centres exploités
Figure 3 : Carte du bassin Oulad Abdoun
Figure 4 : Log stratigraphique synthétique de la série phosphatée du gisement Oulad Abdoun
Figure 5 : dérangement de type I
Figure 6 : Dérangement de type II
Figure 7 : Dérangement de type III 19
Figure 8 : Dispositif de mesure TDEM
Figure 9 : Matériels utilisés durant la compagne
Figure 10 : GPS « GARMIN OREGON450 »
Figure 11 : photo représentative d'un dérangement affectant la série phosphatée du Gisement Sidi Chennane (panneau Dragline)
Figure 12 : Schématisation des losanges du premier profile
Figure 13 : Schématisation des losanges des profils 2, 3 et 4
Figure 14 : Carte de localisation des stations de mesures dans le gisement de Sidi Chennane (panneau Dragline)
Figure 15 : dispositif de mesure pour le profile 1
Figure 16 : Dispositif de mesure pour les trois derniers profiles
Figure 17 : Affichage TEM-FAST48.HPC
Figure 18 : a. Test-Coil. b. Dispositif de mesure de bruit
Figure 19 : 1. Signal TDEM.2. Signal bruit
Figure 20 : a. Sondage TDEM.b. Interprétation en variation continue de résistivité
Figure 21 : Les quatre pseudos sections des profils effectués dans le gisement de Sidi Chennane (panneau Dragline)
Figure 22 : Carte représentative des anomalies sédimentaires de la zone Sidi Chennane (panneau Dragline)
Figure 23 : Cartes représentatives de distribution de résistivité selon les intervalles de profondeur 33
Figure 24 : a. photo d'un puit dérangé profile1, station12.b. photo d'un puit sain profile4, station10.34
Figure 25 : Photo montrant un affleurement de la dalle à Thersité
Figure 26 : Carte des anomalies sédimentaires du gisement Sidi Chennane (panneau Dragline) par la méthode EM31

## Introduction

Les phosphates sédimentaires sont une matière première très recherchée. En effet, ces roches utilisées dans l'industrie des engrais et la fabrication des acides phosphoriques. En plus de l'intérêt économique, les phosphates ont une grande importance scientifique de fait qu'il donne des indications paléontologiques sur le milieu dans lequel ils sont formés.

Le minerai de phosphate (roche concentrée en sels de phosphate) est une roche sédimentaire dite roche exogène : elle se forme par concentration lorsque des ions phosphates précipitent dans une roche diagenèse. La formation d'une roche phosphatée demande une importante concentration en phosphore, ce qui est possible en milieu biologique, comme l'eau de mer. L'apatite se forme dans les milieux vaseux contenant du phosphore dissout dans des milieux soumis à la diagenèse précoce.

Plusieurs facteurs peuvent permettre le déclanchement de la genèse du phosphate par modification du milieu. On peut citer des apports de calcium et magnésium par volcanisme, un passage à une plus faible profondeur avec les variations eustatiques, une relative stabilité due à une absence de tectonique, un calme en termes d'érosion diminuant les apports terrigènes...



Figure 1 : schéma simplifiant du composante d'un grain de phosphate

Les éléments phosphatés (grains) sont composés d'une endogangue (calcite, silex, argile, ou débris osseux) et d'une exogangue composé de couches fines et concentriques d'apatite. Les dimensions de ces grains varient entre 80 et 25  $\mu$ m. La faune est caractérisée par la richesse en vertébrés et pauvreté voire l'absence d'invertébrés.

#### Les phosphates exploités actuellement sont de trois types :

• Les phosphates sédimentaires: qui donnent 70% de la production mondiale et sont les plus importants en nombre et en volume. Ces Phosphates présentent des teneurs en place souvent supérieurs à 20 et même 30% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Les phosphates marocains en font partie et d'ailleurs les gisements du Sud marocain, au niveau de Boucraâ, leur teneur en phosphore anhydride dépassent fréquemment les 33%.

• Phosphates dans roches intrusives : Ce type de gisement donne 25% de la production mondiale de phosphate. Ils sont associés à des complexes intrusifs alcalins dans lesquels les roches les plus fréquentes sont : les syénites néphéliniques, les carbonatites, les ijolites et les pyroxénites.

• Les phosphates de type Guanos : Les guanos fournissent les 5% de la production mondiale en phosphate. Ils présentent des réserves plus faible, mais loin d'être négligeable. Ces gites apparaissent dans des régions à très dense population d'oiseaux, et généralement dans les zones intertropicales. Ils sont dus aux déjections de ses oiseaux, qui contiennent environ 4% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, réagissent avec la roche qui leur sert de support. Lorsque cette roche est calcaire, le phosphate de calcium qui se forme est comparable au phosphate sédimentaire. Les trois principaux gisements sont: **Iles Nauru, Christmas** et **Océan** dans le Sud Pacifique.

Les principaux gisements phosphatés (d'origine sédimentaires) sont repartis selon deux provinces : province méditerranéenne qui s'étend depuis le rif marocain jusqu'au Turquie, puis la province atlantique qui comprend presque tout le coté West de l'Afrique. Dans cette dernière province, il existe plus de trois quarts des réserves mondiale derrière les Etats Unis et la Chine, l'exploitation des phosphates constitue un monopole de l'Etat représenté par l'office chérifien des phosphates (O.C.P) créé en 1920.

Le groupe O.C.P extrait le phosphate brut du sous-sol marocain grâce à des chantiers à ciel ouvert. Environ la moitié du minerai est exportée comme matière première à destination d'une quarantaine de pays à travers le monde. L'autre moitié est livrée aux industries chimiques du groupe, pour être transformée en produit dérivés commercialisables tels que, l'acide phosphorique de base, l'acide phosphorique purifié et les engrais solides.

Pour faciliter l'exploitation il faut bien étudier les anomalies qui sont souvent sous forme de dérangements par plusieurs méthodes de géophysique comme c'est le cas de notre sujet. Ce stage rentre dans le cadre de la coopération scientifique entre le groupe Office Chérifien des phosphates (OCP) et la Faculté des sciences et techniques de Fès dans le but d'un projet de fin d'étude.

Le sujet intitulé : « Détection et cartographie des anomalies sédimentaires du Gisement Sidi Chennane par les méthodes électromagnétiques » nous incite à prendre le contact avec le terrain afin de reconnaitre les différents faciès, établir des logs stratigraphiques, déterminer les différents types des dérangements qui affectent surtout **Sidi Chennane** en appliquant des **méthodes électromagnétiques** pour détecter les dérangements rencontrés dans ce gisement.

## Chapitre I : Présentation du bassin des Oulad Abdoun

### 1. Les principaux gisements phosphatés marocains

Le Maroc dispose de plusieurs gisements différents les uns des autres aussi bien par leurs superficies que par leurs teneurs. Les phosphates marocains se localisent stratigraphiquement dans le Crétacé supérieur (Maastrichtien) et l'Eocène inférieur et moyen et se répartissent en quatre principaux bassins dont trois sont localisés au centre-Nord du pays et constituent une partie importante de la couverture sédimentaire de la Meseta marocaine : il s'agit des bassins des Oulad Abdoun au Nord, des Gantour au centre et de Meskala au Sud. Le quatrième grand bassin phosphaté se situe dans la région saharienne du Maroc (au Sud du pays) : c'est le bassin des Oued Eddahab.

- ✓ Bassin des Oulad Abdoun (région de Khouribga)
- ✓ Bassin des Gantour (régions de Youssoufia et Benguerir)
- ✓ Bassin des Meskala (régions d'Essaouira, Chichaoua et IminTanout)
- ✓ Bassin d'Oued Eddahab (régions de Laâyoune et Boucraâ).



Figure 2: Localisation des différents centres exploités

### 2. Bassin des « Oulad Abdoun »

### 2.1. Situation géographique

Le bassin des Oulad Abdoun, sur la Meseta marocaine, renferme les plus grands gisements de phosphate au monde. Il s'étend entre 6°et 7°35' de longitude ouest, et 32°15'et 33°de latitude nord. Son importance tient non seulement à sa vaste superficie d'environ 10000km<sup>2</sup> mais aussi aux teneurs élevées en phosphates marins que l'on y rencontre.

Ce bassin est limité au Nord par le massif du Maroc central et à l'ouest par le massif paléozoïque des Réhamna, à l'Est, il s'ennoie sous la pleine de Kesba Tadla et au Sud il se prolonge en dessous de l'Oued Oum-Rebia.

### 2.2. Principales zones du bassin des Oulad Abdoun

Le bassin d'Oulad Abdoun renferme plusieurs zones tel que :

a. La zone dite zone reconnue : qui s'inscrit dans le quadrilatère ayant pour sommets les localités d'Oued-Zem, Settat, El-Brouj et Fkih-benSaleh. Cette zone du gisement s'étend sur environ 100Km d'Est en Ouest et sur plus de 45 du Nord au Sud avec une superficie 228000km<sup>2</sup>. La partie connue dans ce grand bassin, par un grand nombre d'ouvrage (puits, sondage, tranchées), est subdivisée par les chercheurs des services Géologie de l'OCP en plusieurs zones ou gisements.

- Zone du grand Daoui (Sidi Daoui+ Recette4)
- Zone de Khouribga, comprenant les anciennes recettes (unités d'extraction) (R1, R2, R3, R5, R6, R8, R9, R10, Recette Grouni, Recette Hettane, ...).
- Zone Ghar Tajer et Sidi El Maati.
- Zone de Meraa-El Arech, qui constitue le prolongement vers le sud du gisement de Sidi Daoui (comprenant la R7).
- Zone des Oulad Farès.
- Zone Bni Amir.
- Zone d'El Brouj.
- Zone de Sidi Chennane.
- Zone Oulad Smain.
- Zone de Kasba Tadla.

Durant notre période de stage nous avons effectué trois sorties à Ghar Tajer et Sidi El Maati, à fin d'étudier la série phosphatée et savoir faire des coupes stratigraphiques de cette dernière. (Voir planche 1)

b. La zone non reconnue : dans cette zone on trouve Al Brouj sud, et Fkih-Ben
Saleh. En effet, ces différentes zones, dont la superficie et la valeur économique sont très

variables, se différencient les unes des autres par des variations de la nature lithologique des différents termes ainsi que des caractères et de la répartition du minerai.



Figure 3 : Carte du bassin Oulad Abdoun

#### 2.3. Etude géologique de la série phosphatée des Oulad Abdoun

#### 2.3.1. Etude stratigraphique de la série phosphatée

Le bassin des Oulad Abdoun occupe la grande partie du plateau des phosphates qui est légèrement incliné vers le Sud ( $\approx 10^{\circ}$ ) et reposant sur un socle primaire généralement formé de schistes et Quartzites fortement plissés et faillés.

La couverture sédimentaire dans les Oulad Abdoun s'échelonne de **l'Infracénomanien** jusqu'au **Lutétien**. Le sommet de cette série est constitué par un calcaire dur siliceux renfermant des fossiles du genre Thersitea (dalle à Thersités) d'âge éocène moyen et la base est formée des marnes jaunes d'âge sénonien.

Cette série est constituée d'une alternance de couches et sillons de phosphate, de calcaire phosphaté, de bancs et rognons de silex et de niveau marneux et argileux.

#### L'infracénomanien :

C'est le premier terme transgressif sur le paléozoïque. Il est représenté par des marnes et grés rouge brique reposent en forte discordance sur le socle.

Le Cénomanien :

Il est constitué par une alternance de marnes et marno-calcaires blancs et jaunâtres en petits bancs. Sa puissance varie entre 20 et 100m sur le pourtour du plateau.

Le Turonien :

Essentiellement carbonaté, forme une puissance dalle, dite « dalle turonienne », apparaissant sous une forme fréquemment saillie dans la topographie.

Le Sénonien :

Constituant le mur de la série phosphatée, est représenté par des dépôts uniformes à dominance marneuse. Ces marnes sénoniennes se distinguent facilement des niveaux marneux de la série phosphatée par leur couleur jaunâtre et leur aspect induré.

La partie supérieure phosphatée de la série sédimentaire des Oulad Abdoun, allant du Maestrichtien au Lutétien inférieur comprend :

#### Le Maestrichtien :

Il est essentiellement représenté par des marnes et des calcaires très fossilifères appelés calcaires à « bone-bed » (lit d'os). Les horizons franchement phosphatés commencent à s'exprimer dès cet étage. C'est la couche 3 des exploitants.

Danien :

Ce niveau qui est plus développé est représenté par des calcaires phosphatés surmonté d'un niveau de phosphate, coiffé par un banc de calcaire phosphaté à Cardita (niveau repère pour l'exploitation).

#### Thanétien :

Ce niveau, formé d'une couche meuble renferme un certain nombre de fossiles. De très nombreux épisodes calcaires l'interrompent d'une manière soudaine. D'après Lavisse, ces bancs discontinus calcareux seraient provoqués par la recristallisation de la calcite amenée par les eaux d'infiltration.

#### > Yprésien :

Se caractérise par une diminution de la puissance des niveaux phosphatés au profit d'une augmentation des teneurs. En plus de l'alternance habituelle : phosphate, marne, calcaire, on note l'apparition des niveaux de silex en bancs continus ou discontinus, en nodules ou en rognons et dont certains constituent de bons repères pour l'exploitation.

#### Lutétien :

Le Lutétien est représenté par deux formations distinctes :

 Une formation inférieure : à alternance de marnes siliceuses, de calcaires, de silex, en bancs réguliers ou irréguliers et quelques niveaux de phosphates.

Une formation supérieure : formée de calcaire marneux assez dure et de calcaire blanc à beige contenant des accidents siliceux. Ce dernier terme, ordinairement appelé « dalle à Thersités » a joué un rôle très important contre l'érosion de la série phosphatée.



Figure 4 : Log stratigraphique synthétique de la série phosphatée du gisement Oulad Abdoun

#### 2.3.2. Découpage minier

Dans cette description lithostratigraphique nous combinerons les appellations minières des différentes couches phosphatées avec une description rigoureusement géologique.

 $\succ$  Couche 3 :

La couche 3 correspond au maestrichtien phosphaté, il s'agit là du premier terme basal de la série le plus pauvre d'un point de vue teneur en BPL vue l'omniprésence des termes fins marneux, ceci se conjugue par une alternance de niveaux marneux avec des niveaux plus au moins phosphaté sont formé de marnes calcareuses phosphatées ou calcaire phosphaté.

 $\succ$  Couche 2 :

La couche 2 étant Danienne-Thanétien à savoir C2A et C2B elle est formée d'un phosphate meuble, plus au moins calcareux et très légèrement marneux.

L'intercalaire sommitale sépare la C1 par un calcaire phosphaté particulièrement coprolithique.

#### Couche 1 :

Il s'agit du premier niveau phosphaté annonçant le début du Yprésien, caractérisé par un phosphate meuble a coprolithes plus au moins marneux ou calcareux, tandis que les rognons de silex forment deux rongées parallèles marquant la couche 1 supérieure, en revanche vers le toit on trouve un silex ménilitique dans un paquet de marnes argileuses marquant ainsi le toit de la couche 1 comme niveau repère, succédé vers la partie sommitale encore par une intercalaire de calcaire phosphaté séparant la couche 1 de la couche 0(en cas d'absence de la couche 0').

 $\succ$  Couche 0 :

Il s'agit du second terme phosphaté d'âge Yprésien ayant une nature meuble, plus au moins marneuse renfermant souvent des nodules de silex. Le tout est surplombé vers le toit d'épaisse et constante dalle massive en silex (connue aussi comme niveau repère célèbre sous le nom du toit Boujniba).

#### Sillon A :

Le sillon A est le troisième terme Yprésien phosphaté étant séparé de la couche 0 par un intercalaire de calcaire phosphaté incrusté de silex et il peut être soit de nature marneuse soit calcifiée.

#### Sillon B :

Il s'agit du dernier terme Yprésien de la série phosphatée ; sa séparation avec le sillon A est caractérisé par un calcaire phosphaté à niveau de marnes plus au moins siliceux. D'une autre part le sillon B est de nature meuble à rognons de silex au contact vers le toit avec un banc de marnes calcareuses souvent avec des poches de phosphate et le soit disant contact avec les marnes siliceuses étant le signe de l'achèvement du Yprésien est le début du Lutétien.

#### 2.3.3. Les niveaux repères

La série phosphatée des Oulad Abdoun présente certaines figures et des formations sédimentaires particulières de contenue fossilifère particulier pouvant servir de repère fiable a l'identification des niveaux miniers conventionnels.

Les étages correspondant sont du haut vers le bas comme suite :

- <u>Le recouvrement Lutétien au toit du Sillon B :</u>
  - Marnes siliceuses au contact du toit du sillon B
  - Faisceaux parasites phosphatés
  - Présence des Thersite Lutétienne au calcaire formant le recouvrement de la série phosphatée.

#### • Intercalaire SB/SA :

Des marno-calcaire tendres à siliceux au toit de sillon A.

• <u>Intercalaire SA/C0 :</u>

Bancs continu de silex coiffant le toit de la couche0 communément appelée toit Boujniba.

Calcaire truffés de silex au mur du sillon A.

• <u>Intercalaire C0/C0'</u>: Marnes à gros silex ménilitique communément appelé Boulanoir.

 $\circ$  <u>C0'/C1 :</u> la dalle à nodules de Silex.

• <u>C1 : d</u>eux alignements en série parallèle de rognons de silex marquant le mur et le toit de C1 supérieur.

• <u>C2</u> : la dalle calcaire à carditats coquindi qui subdivise géologiquement la C2 en 2A et 2B.

<u>C2/C3</u>: les marnes grumeleuses jaunâtres épaisses coiffent le toit de la
C3supérieure avec souvent quelques concrétions de géodes de calcaires « SEPTARIA »

• Couche3 : le niveau calcareux dit « bon-bed » à la base de la couche3.

• Marnes Sénonien : il s'agit de marnes de couleur jaunâtre, facilement discernable par la couleur et à stérilité en phosphate.

## Chapitre 2 : Détection et cartographie des anomalies sédimentaires du gisement Sidi Chennane par la méthode TDEM

Au niveau de la zone de Sidi Chennane, l'exploitant qualifie par le vocable de « dérangement » toute structure stérile, généralement très dure, d'origine incertaine, perturbant la succession habituelle des couches de la série phosphatée; et qui gênent par la suite l'exploitation. En plus de difficultés entrainées par ces structures dans le calcul des réserves, il semble bien que celle-ci aient un impact considérable sur le déroulement de la chaine cinématique d'extraction des phosphates (exploitation à ciel ouverte).

Deux grandes particularités caractérisent la série phosphatée de Sidi Chennane : « les dérangements » et « le sillon A ».

#### 1. Etude de la zone de Sidi Chennane

#### 1.1. Cadre géographique

A vol d'oiseau le gisement de Sidi Chennane se situe à 35km au Sud-est de Khouribga, 25km au sud-ouest d'Oued Zem et 17km au Nord de Fkih Ben Saleh. Son altitude se situe aux environs de 600m et la superficie du domaine minéralisé, tenant compte des affleurements de la base de la série phosphatée, s'élève auprès de 9642 ha.

#### 1.2. Le cadre géologique

Les ouvrages qui ont été réalisé dans la zone de Sidi Chennane, ont montré que la série phosphatée de cette zone ne diffère pas dans ses grandes lignes surtout stratigraphiques de celles des autres zones des « Oulad Abdoun ». La série phosphatée présente une structure en monoclinale subhorizontale (généralement inférieur à 2%) et dirigé vers le sud. Elle débute du Maastrichtien jusqu'au Lutétien. Elle se présente en une succession des niveaux phosphatés plus au moins riches en B.P.L, séparés par des passées et des bancs de roches de la série phosphatée (calcaire ; marne...) nommée « Intercalaire ».

Cette série renferme du phosphate meuble ou consolidé, du phosphate marneux, du calcaire phosphaté, du calcaire marneux, des marnes plus ou moins phosphatées, des marnes

siliceuses, du silex, du silex parfois phosphaté sous formes soit de banc, soit de rognons soit de nodules ou ménilites. (Voir planche2)

On distingue de la base au sommet :

• La couche 3 : Attribué au Maastrichtien, est formée à la base par des marnes phosphatées qui reposent sur des marnes indurées jaunâtre du Sénonien et constituent les premières manifestations de la phosphatogenèse. Ces marnes phosphatées sont surmontées par un calcaire à bon-bed sur lequel repose du phosphate grossier et du phosphate marneux ou des marnes phosphatées, puis on a un calcaire phosphaté fossilifère sur lequel repose un niveau pluri décimétrique de phosphate à grains grossiers à moyens, légèrement marneux au sommet et parfois calcifié à la base

A partie supérieure de la couche est formée d'un niveau de marnes très phosphatées ou siliceuses avec ou sans blocs de silex. Elles sont surmontées par un banc de calcaire marneux à la base et phosphaté au sommet, et constituant la base de la couche 2.

• <u>La couche 2</u> : comme partout dans le gisement des « Oulad Abdoun » la couche 2 de Sidi Chennane est d'âge montien-thanétienne, elle est formée par du phosphate à grains grossiers, moyens ou fins. Le toit est généralement formé par un calcaire marneux à la base et phosphaté coprolothique au sommet. A notre également que cette couche est parfois absente ou tronquée.

• La couche 1 : Elle est Yprésien, formée généralement dans sa partie inférieure d'un phosphate grossier plus riche avec un ou deux rangées de rognons de silex, d'un phosphate plus ou moins marneux dans sa partie médiane, il est relativement pauvre ; et d'un phosphate légèrement marneux ou calcareux de qualité intermédiaire avec souvent un Chapel et de silex dans sa partie supérieure. Le toit de cette couche est le plus souvent formé par un banc de silex plus au moins surmonté par un liseré décimétrique de marnes argileuse ou de calcaire marneux renfermant des silex ménilites ou en nodules ; par endroits, le banc de silex est absent mais les silex ménilites ou les nodules de silex sont le toit de la couche 1.

• <u>La couche 0'</u>: Est formée dans sa partie inférieure par un niveau de phosphate souvent marneux et parfois calcifié et dans sa partie supérieure par un calcaire phosphaté ou phosphate calcifié. Ces deux parties sont séparées par un calcaire marneux. Sur l'intercalaire couche 0/ couche 0' calcaire phosphaté sur lequel repose la couche 0.

• <u>La couche 0</u> : Elle se représente en un seul niveau de phosphate marneux ou calcareux, et rarement les deux niveaux séparés par une mince passée de marnes ou de calcaire marneux. L'intercalaire couche 0/ sillon A renferme de marne siliceuse avec des bancs de silex plus ou moins réguliers.

• <u>Faisceau A</u> : Il se présente sous forme d'alternance des niveaux minces, et plus ou moins réguliers de phosphate, de marnes siliceuses et parfois de bancs de calcaire ou de silex. Le nombre ainsi que la puissance des niveaux de phosphate sont très variables. Le toit est formé par une marne sur laquelle repose un calcaire phosphaté.

• <u>Sillon B</u> : Il se représente en un ou deux niveaux de phosphate séparés par une banquette de calcaire phosphaté et rarement par une passée de marne. Au toit du sillon B se développe es informations à prédominance marno-siliceuse avec quelques niveaux de phosphate dans la moitié inférieure et des bancs de calcaire marneux dans la moitié supérieure. Au-dessus vient la dalle à thersitées qui coiffe la série phosphatée et qui n'est épargnée par l'érosion que dans quelques puits de notre domaine d'étude. Elle est formée par du calcaire marneux, siliceuse et/ou coquiller. Elle renferme toujours des passées de marnes ou de silt qui en font sa particularité. A noter que le calcaire de la dalle de la zone à thersitées de Sidi Chennane n'est jamais massif comparé à celui de la dalle de la zone de Khouribga.

#### 2. Etude des dérangements

#### 2.1. Forme des dérangements

Les dérangements, rencontré à Sidi Chennane ont général une forme subcirculaire, subconique (entonnoir) ou quelconque. Ils sont constitués de matériaux formés d'éléments de la série (marnes, calcaire, phosphate et silex).

Ils présentent, en général, une couleur jaunâtre à blanchâtre.

#### 2.2. La classification des dérangements

Cette classification est basée selon (KCHIKACH et TYANE.1990) sur les aspects suivants :

- L'ampleur des « dérangements », selon qu'ils affectent totalement ou partiellement la série phosphatée ;
- ✓ Nature des matériaux qui le constituent ;

- ✓ La dureté des matériaux constituants ;
- ✓ L'existence ou non de la stratification à l'intérieur des dérangements.

#### a. Dérangement type 1

Ce sont tous les dérangements qui affectent toute la série phosphatée, il s'agit d'un mélange de calcaire, de marne, argile, silex et phosphate avec prédominance très nette de calcaire riche en silex ce qui rend sa dureté très importante.



Figure 5 : dérangement de type I

#### b. Dérangement type II

Il s'agit d'une série entièrement dérangée mais sans dominance d'aucun des litho faciès ; dans ce dérangement il s'agit de calcaire phosphaté à gros nodules de silex, de marne, des argiles et des phosphates. De point de vue dureté, ce mélange aura une dureté beaucoup plus faible que le type précédent.



Figure 6 : Dérangement de type II

#### c. Dérangement type III

Il n'affecte que partiellement la série phosphatée, le primaire stérile et le sillon B sont le plus souvent menacés, ils sont formés d'un mélange de blocs calcaires, de marne siliceuse, d'argile rougeâtre, de blocs de silex et quelques passées de phosphate.



Figure 7 : Dérangement de type III

### 2.3. L'origine des dérangements



### 2.4. L'impact des dérangements

La présence de ces corps stériles dans la série phosphatée est à l'origine de deux problèmes principaux qui sont d'ordre économique et technique.

Lors du calcul des réserves, qui est un paramètre déterminant pour réussir l'étude de faisabilité de n'importe quel projet minier et étant donné que les dérangements ne sont pas directement cartographiables à partir de la surface, on ne peut pas cerner la part que ces corps stériles représentent dans le volume global du gisement et par conséquent on ne peut pas déterminer avec précision les réserves certaines du gisement.

Au cours de l'exploitation, chaque fois qu'on se heurte à un dérangement il faut serrer la maille de foration pour le sautage, charger d'avantage les trous en explosif et mettre un maximum de temps pour traiter et décaper ces corps stériles. Ceci constitue une consommation excessive en explosif, une usure des outils de foration étant donné que les dérangements sont généralement compacts et durs, et une perte de temps.

Nous pouvons alors conclure que les dérangements posent un grand problème au cours de l'exploitation et aussi perturbent le bon déroulement de la chaine cinématique, ce qui soulève deux questions principales :

- 1) Comment les détecter ?
- 2) Comment les délimiter ?

#### 2.5. Détection des dérangements

#### a. Les ouvrages de reconnaissance :

Il s'agit d'une maille de reconnaissance par puits implantés. C'est la méthode de reconnaissance habituellement appliquée par l'OCP dans tous les gisements phosphatés. C'est la plus simple et fiable méthode de détection des dérangements, un ouvrage dérangé présente généralement une coloration jaunâtre ou blanchâtre.

#### b. Les indices de surface :

#### - Lambeaux de la dalle lutétienne :

Les lambeaux de formation lutétienne qui apparaissent dans les endroits où ils ne doivent pas affleurer, constituent des indices de surface signifiant l'existence des dérangements.

#### - Lambeaux des roches siliceuses ferrugineuses :

Ils ont une extension qui ne dépasse pas une dizaine de mètre, alors ils sont très locaux et dispersés. Ces roches sont de couleur rougeâtre à noirâtre présentant parfois des stries de croissance en oxyde de fer.

En fin on peut conclure que les indices de surface constituent un moyen préliminaire de reconnaissance des dérangements mais très insuffisant et pas toujours fiable.

#### 2.6. Délimitation des dérangements

Les ouvrages de reconnaissance, s'ils nous donnent l'extension verticale des dérangements, ne peuvent pas renseigner ni sur leurs formes, ni sur leurs extensions latérales. Les indices de surface, quant à eux, n'apportent pas d'indication sur la profondeur de ces dérangements.

Latéralement, les surfaces des indices cartographiés ne correspondent pas exactement à leur extension puisqu'ils peuvent se continuer sous la terre végétale.

Donc le recours à des méthodes de reconnaissance indirectes du sous-sol s'impose et parmi ces méthodes on fait appel à la géophysique.

#### 3. La prospection électromagnétique

La prospection électromagnétique est la prospection par champs naturels ou artificiels, générés par des courants variables dans le temps. Elle va permettre d'observer la conductivité des sols (inverse de la résistivité) en surface.

Cette technique est utilisée car elle permet une reconnaissance rapide, une détection sommaire de première approche ou une simple détection pour la découverte de zones d'anomalies. Cependant, elle est limitée pour les investigations en profondeur : plus la fréquence est élevée, plus la prospection est limitée en profondeur.

La prospection électromagnétique permet de mettre en évidence une grande variété de conducteurs :

-les conducteurs naturels : terrains argileux, marécage, lits de cours d'eau, conducteurs dans les roches en place (magnétite, péridotite altérée, zone de faille) ...

-les conducteurs artificiels : réservoirs métalliques, pipes lines, voies ferrées, ligne de haute tension ...

#### • Principe :

Un champ magnétique primaire est provoqué par le courant alternatif de la bobine d'un émetteur, dont la fréquence est donnée. Ce champ primaire va être perturbé par la présence de corps conducteurs présents dans le sol, provoquant l'apparition d'un champ secondaire. Ces courants induits se superposent au champ primaire. Ces champs magnétiques secondaires sont mesurés à l'aide d'un récepteur situé à une certaine distance de l'émetteur. La comparaison du

champ magnétique total reçu par le récepteur et du champ primaire permet le calcul d'une conductivité apparente des corps conducteurs traversés.

#### • Domaines d'application :

Cette méthode est utilisée dans de nombreux domaines : l'hydrogéologie, le génie civil, l'archéologie, l'environnement ainsi que pour la localisation des réseaux enterrés.

• Exemples de méthodes de prospection électromagnétique :

Dans la zone étudiée ils ont utilisé deux méthodes électromagnétiques : EM31 et TDEM. Et dans notre cas on a détecté les anomalies sédimentaires par la méthode de TDEM.

### 4. T.D.E.M (Time Domain Electro-Magnetism)

La méthode T.D.E.M est une méthode électromagnétique. Elle permet de réaliser des sondages géophysiques pour caractériser les résistivités rho du sous-sol.

Un de ses principaux avantages est l'utilisation d'une source électromagnétique contrôlée produite par un générateur et elle peut arriver à une profondeur d'investigation plus loin que les autres méthodes électromagnétiques.

Elle est particulièrement adaptée à la détection des terrains conducteurs, comme les terrains aquifères et les corps à résistivité élevée.

• Principe :

Cette méthode utilise le phénomène de diffusion d'un cham électromagnétique transitoire pour déterminer la résistivité électrique des terrains en fonction de la profondeur.

Ce champ électromagnétique transitoire est créé par la coupure brusque d'un courant circulant dans une bobine émettrice disposée au sol. La réponse transitoire est mesurée par une bobine réceptrice durant la coupure. La profondeur d'investigation croit avec le temps au cours duquel le champ secondaire est mesuré, après la coupure du champ primaire.

• Dispositif de mesure :

La taille des bobines peut varier de 5m de côté à plus de 100m. Une fois installé, ce dispositif permet de réaliser des sondages en une dizaine de minutes. Des profils peuvent aussi être réalisés.



Figure 8 : Dispositif de mesure TDEM

#### • Profondeur d'investigation :

Dépend de plusieurs paramètres à savoir : la géométrie des boucles employées, l'intensité du courant injecté, le temps d'injection et la nature des formations rencontrées.

#### • Avantage de la méthode :

\* absence de contact avec le sol permet de travailler facilement sur des terrains très résistants, ou très durs en surface, là où les méthodes électriques sont plus limitées.

\* rapidité de mise en œuvre sur terrain dégagé et donne des mesures rapidement.

\* pouvoir de résolution latéral et vertical excellent (peu sensible).

\* interprétation quantitative mieux contrainte qu'en sondage électrique.

\* complémentarité excellente avec les méthodes électriques et AMT.

\* détection des anomalies de faible résistivité dans un terrain conducteur avec plus de précision que les méthodes de courant continu.

• *Limites de la méthode:* 

\* faible résolution des terrains résistants : la méthode distingue difficilement un terrain résistant (entre 100 et 10000 Ohm.m par exemple) ce qui rend cette méthode incapable de décrire des formations résistantes.

\* difficile d'installer une boucle de sondage TDEM dans une zone très boisée ou une zone habitée.

\* résolution dans les tous premiers mètres assez limitée et variation en fonction du temps de coupure de l'instrument utilisé.

## 5. Partie pratique

### 5.1. Préparation et déroulement de la compagne de terrain

Toute mission de terrain doit être préparée auparavant, en rassemblant quelques informations sur le terrain étudié et ramener les outils nécessaires pour prendre les mesures. Celui-ci a permis d'entreprendre les travaux dans les meilleures conditions et d'effectuer un travail précis et efficace sur le terrain.

• Matériels utilisés :

Pour cette mission (détection et cartographie des anomalies sédimentaire), nous avons adopté une stratégie de prospection qui tient compte des instruments :

✓ TDEM : regroupe : bobine de 50m de longueur, un dispositif TEM FAST 48HP de prospection électromagnétique et une résistance « Test Coil » pour évaluer l'influence du bruit sur les mesures effectuées par la TDEM.



Figure 9 : Matériels utilisés durant la compagne

✓ GPS : localisation des stations de mesure



Figure 10 : GPS « GARMIN OREGON450 »

- ✓ Marteau et Roulette.
- Observation de terrain :



Sur le parement de la zone étudié, nous constatons qu'il y a un dérangement de type I qui affecte presque toute la série phosphatée. Ce dérangement affecte le toit de la couche1 jusqu'au sillon B. <u>Les coordonnées de ce dérangement :</u> X : 377053

Y:228156

Z:503

Figure 11 : photo représentative d'un dérangement affectant la série phosphatée du Gisement Sidi Chennane (panneau Dragline).

• Méthodologie et acquisition des données

D'abord on a implanté les stations de mesures orienté Est-Ouest, ensuite nous avons localisé les côtes du losange avec une longueur de 8.84m pour le premier profile qui renferme 14 stations et pour les autres trois profiles on a travaillé avec des cotes de 8.48m. La distance entre deux stations successives est de 12.5m pour le premier profile et les autres trois profiles 12m, pour que les stations seront chevauchées.



Figure 12 : Schématisation des losanges du premier profile



Figure 13 : Schématisation des losanges des profils 2, 3 et 4

Avant d'entamer les mesures, on prend d'abord les coordonnées (X, Y, Z) de chaque station en utilisant un GPS. (Annexe)



Figure 14 : Carte de localisation des stations de mesures dans le gisement de Sidi Chennane (panneau Dragline)



Figure 15 : dispositif de mesure pour le profile 1



Figure 16 : Dispositif de mesure pour les trois derniers profiles

Après avoir noté les coordonnées de chaque station on arrive à l'étape de mesure :

✓ On étale la bobine près de l'ouvrage selon une maille de 12.5m x 12.5m ;

- ✓ On branche les pôles de la bobine au TEM-FAST qui se charge d'injecter un courant électromagnétique dans la maille et mesure la résistivité des structures internes du sol sous-jacent ;
- ✓ On fait la configuration de l'appareil TEM-FAST en remplissant les cases des dimensions du dispositif employé, la fréquence du courant électrique et l'intensité du courant à injecter (généralement 1A mais on augmente l'intensité si les formations sont très résistives);

Après avoir préparé le matériel on laisse le TEM-FAST sonder le sous-sol jusqu'à la fin de l'opération pendant une durée de temps fixée par l'opérateur.

La prise de mesure a durée : 14min/station, et nous avons effectué ces mesures durant 5j d'une surface de : 8628.121 m<sup>2</sup>



Figure 17 : Affichage TEM-FAST48.HPC

### • Test de bruit :

La profondeur d'investigation dans les méthodes géophysiques est définie comme la profondeur à laquelle la méthode, pour un terrain et une configuration donnée, détectera le terrain le plus profond et le caractérisera. En TDEM, il faut que le signal mesuré soit interprétable (le temps pendant lequel l'amplitude du signal est supérieure à celle du bruit). Pour caractériser cela, nous avons utilisé un test Coil. SLN exprime le rapport entre l'information utile de la mesure (Signal) et celle du bruit qui l'accompagne



Figure 18 : **a.** Test-Coil. **b.** Dispositif de mesure de bruit.

Le traitement des données se fait par le logiciel TEM-RES et dans notre cas, nous avons effectué le test de bruit et nous l'avons représenté dans la même courbe avec des sondages choisis arbitrairement afin de s'assurer qu'ils sont interprétables. Et voici une comparaison des signaux des sondages arbitraires par rapport au bruit présenté dans la figure ci-dessus.



Figure 19 : 1. Signal TDEM.2. Signal bruit.

On remarque que les courbes de signaux se trouvent toutes au-dessus du signal correspondant au bruit testé. Ces sondages sont donc tous interprétables et le rapport égale à 80%.

On suppose par généralisation que tous les sondages effectués sont interprétables car l'échantillon choisi est représentatif.

#### 5.2. Traitement des données

Le traitement des données récupérées par le TEM-FAST s'effectue à l'aide du logiciel TEM-RES.

Les données sont affichées sous forme de courbes de résistivité apparente en fonction du temps. Ces courbes sont inversées pour rencontrer la variation de la résistivité en fonction de la profondeur en faisant l'hypothèse d'un terrain stratifié horizontalement, de même le logiciel donne des courbes de résistivité en fonction de la profondeur sachant que :  $\rho = \frac{1}{c}$ .

Voici un exemple présenté dans la figure ci-dessous d'inversion de la résistivité en fonction du temps à une résistivité en fonction de la profondeur



Figure 20 : a. Sondage TDEM.b. Interprétation en variation continue de résistivité

#### **Observations :**

Dans ce qui suit seules les courbes de résistivité en fonction de la profondeur seront interprétées, car ces courbes permettent de bien distinguer le contraste des zones anomales.

Avant de procéder à l'interprétation de ces courbes il faut d'abord interpréter la courbe du test de bruit.





Figure 21 : Les quatre pseudos sections des profils effectués dans le gisement de Sidi Chennane (panneau Dragline)

Ces 4 profiles présentent la distribution des zones d'anomalies dans la série phosphatée en fonction de la profondeur.

Concernant le profile 1, on constate que les zones anomales (An1, An2, An3, An4, An5, An6,) se délimitent entre 530 m et 500m d'altitude.

Pour Le deuxième profile il y a que 3 trois anomalies (An1, An2, An5) qui se délimitent entre 530m et 510m de profondeur.

A propos du profile 3, les deux premières anomalies continuent leur extension avec une diminution de résistivité, et elles se délimitent entre 530 m et 510m.

Le quatrième profile, montre qui il y a que l'anomalie 2, avec apparition de deux anomalies (An7, An8).

On se basant sur ces 4 profiles et les données qu'on a obtenues par la méthode TDEM, nous avons arrivé à construire une carte d'anomalie à l'aide du logiciel Surfer.



Figure 22 : Carte représentative des anomalies sédimentaires de la zone Sidi Chennane (panneau Dragline)

La carte ci-dessus représente la distribution des anomalies affectant la série phosphatée de la zone Sidi Chennane en se basant sur la résistivité des corps souterrains. On constate que

certaines anomalies apparaissent : An1, An2, An3, An4, An5, An7 et chacune se distingue de l'autre par sa résistivité qui dépasse150 **Ω.m.** 



#### Interprétation :

Figure 23 : Cartes représentatives de distribution de résistivité selon les intervalles de profondeur

Au niveau de la carte (1), nous remarquons que la station 10 se distingue par rapport aux autres stations par son contraste de résistivité, ce dernier présente une décroissance centrifuge et passe de 90  $\Omega$ .m à 55  $\Omega$ .m. L'absence de stratification dans les cuttings au niveau du puits dans l'aire de la station 12 et leur nature lithologique (marne jaunâtre aves des débris de silex) (**fig24.a**) en plus de leurs situations au plan des deux anomalies **An3** et **An4** dans le **profil 1**, nous laisse avancer qu'il s'agit d'une zone de transition entre la série phosphatée saine une zone dérangée. En effet les observations du **profil 1** nous donne déjà une idée sur les dimensions de l'anomalie **An4**, dont l'épaisseur voisine les 15 m, son diamètre les 10 m, avec une profondeur voisinant les 18 m. Cette anomalie s'arrête au premier profil et constitue ainsi une extrémité probablement d'un dérangement, dont les conditions de terrain n'ont pas permis de le confirmer sur le parement. La station 1 présente aussi un contraste vu qu'elle constitue une zone approximative à l'anomalie **An1**.



Figure 24 : **a.** photo d'un puit dérangé profile1, station12.**b.** photo d'un puit sain profile4, station10

La seule station sujette à une très haut valeur de résistivité (pa≈ 2000 Ω.m) dans la carte

(2) est la station 50. Le reste suit la même tendance avec des valeurs ne dépassant pas les 70  $\Omega$ .m à l'exception des deux stations 2 et 8 qui franchissent les 150  $\Omega$ .m. Ces valeurs sont confirmées par l'existence de deux anomalies **An1** et **An3** sur le **profil 1** à des profondeurs respectivement 10 m et 12 m. Le **profil 4** met en évidence l'anomalie **An7** confirmée par la carte à une profondeur de 10 m, avec une puissance de 15 m et couvrant une surface de 285 m<sup>2</sup>. Ces données permettent de supposer que **An3** est la fin d'un dérangement dont nous n'avons pas eu l'occasion de l'observer sur le parement vue la difficulté d'accès, et que **An1** est une extension d'un dérangement sous les stations 1 et 2, son diamètre moyen est de 37 m et son épaisseur moyenne est de 16 m. Les dimensions relatives au **An1** dont nous avons estimé sont observables sur les **profils 1**, **2**,**3**. Vue le contraste de résistivité de **An1** enregistré au niveau de cette carte et son profondeur nous pouvons dire qu'il s'agit d'un dérangement de type 2 formé essentiellement de calcaire et probablement de Silex avec un contour formé d'argile ou de marne avec des résistivités de l'ordre de 950 $\Omega$ .m.

Dans la carte (3) une nouvelle anomalie apparait An5, elle présente une extension latérale qui s'étale du **profil 1** jusqu'au **profil 2** avec une épaisseur moyenne de 28 m et un diamètre moyen de 14 m alors que son profondeur est de 12 m. Elle couvre ainsi les stations 12,13, 14,15 et 16 et présente une résistivité qui passe latéralement de 1200 à 150  $\Omega$ .m. Dans le même raisonnement des observations in situ des affleurements fracturés de la dalle à Thersité (fig25) dans la station 18 amène à provisionner qu'il y a une structure dérangée. Nous enregistrons également le contraste relatif à l'anomalie An1 qui couvre les stations 2, 27, 28,42 avec des valeurs comprises entre 300 et 1500  $\Omega$ .m. Nous sommes arrivés au cœur de ce dérangement de nature lithologique riche en silex et calcaire silicifié. En plus nous observons que l'anomalie **An2** se limite latéralement au niveau du **profil 4.** Elle commence à une profondeur de 12m avec une résistivité moyenne de 850  $\Omega$ .m reflétant ainsi une rhéologie formée de calcaire silicifié et silex au centre et des marnes et argile dans le contour. Elle couvre ainsi une superficie de 200m<sup>2</sup>, avec une puissance de 27 m.



Figure 25 : Photo montrant un affleurement de la dalle à Thersité

Les anomalies An1, An2, An4, An5 et An7 apparaissent également dans la carte (4), à laquelle s'ajoutent de nouvelles anomalies An8 dans le profil 4 et An6 au profil 1, dont les résistivités sont respectivement 300  $\Omega$ .m et 350  $\Omega$ .m. A une profondeur de 28 m, les anomalies 2 et 8 sont situées sous les stations 46, 47 et 48 et l'anomalie 6 se situe sous la station 1 (fig21.profile1). An8 présente probablement un nouveau dérangement dont la puissance voisine les 11m. A la profondeur (30m) s'arrête l'anomalie An2, tandis que les anomalies An1 et An5 continuent leurs prolongements vers la profondeur respectivement sous les stations 15 et 28.

A 40 m de profondeur (la carte (5)), il existe encore les anomalies An2 et An5 avec des résistivités apparentes de 1500  $\Omega$ .m. Dans ce cadre il faut noter que le contraste de An2 peut être cumulatif de An8 et An2.

La figure 24.**b** montre que la station 52(profile4 st10) a une résistivité faible ce qui apparait dans la photo par la couleur blanchâtre et la stratification du cutting, cela est confirmé par notre méthode TDEM en se basant sur ses résultats (résistivité varie entre 0.1 et 15  $\Omega$ .m (**fig21, profile4**)).

Comparaison entre rendement et résultats des deux méthodes EM : EM31
et TDEM



Figure 26 : Carte des anomalies sédimentaires du gisement Sidi Chennane (panneau Dragline) par la méthode EM31

Il nous reste à présent de confronté la carte obtenue par la EM31 (**fig26**) lors d'une compagne en 2013. Cette méthode électromagnétique enregistre les conductivités mais sa profondeur d'investigation se limite à 6 m au maximum. Le rendement journalier pendant cette mission de la EM31 été de 2 ha/j. La carte ainsi correspondant permet de localiser une seule anomalie sous les stations 9,10,11,18,19,20,21,32,33,34,35,50,51 et 52. Vue la profondeur d'investigation et on se servant des **profils 1** et **2**, nous pouvons conclure que l'anomalie détectée est la somme de anomalies : **An3, An4 et An7**.

En résumé malgré sa facilité et sa maniabilité au cours d'acquisition des données, la EM31 reste incapable de détecté les dérangements à plus de 6 m sous la côte du terrain naturel. Cependant, la TDEM peut atteindre la profondeur d'investigation souhaitée. En outre, elle assure de multiple information sur la distribution des résistivités tant en profondeur que latéralement, ce qui offre la possibilité de suivre et visualiser les dimensions et l'allure des zones anomales.

Pour mieux apprécier l'ordre de grandeur des dérangements détectés sur la carte TDEM, nous avons réalisé une approximation sur leurs volumes. La réalisation de ces calculs nous a menés dans un premier temps à digitaliser la surface couverte par chaque dérangement et sa multiplication par la puissance moyenne correspondante.

Anomalie	Type de dérangement	Surface	Puissance (m)	Niveaux affectés et leurs intercalaires	Volume approximatif (m <sup>3</sup> )
An1	II	384	18	SB-C0-C0'-C1-C2	6912
An2	Ι	901	25	SB-C0-C0'-C1-C2-C3	22525
An3		338	10	SB-C0	3380
An4		418	15	SB-C0-C0'-C1-C2	6270
An5	Ι	203	28	SB-C0-C0'-C1-C2-C3	5684
An6		11	10	les niveaux inférieurs	110
An7		187	13	SB-C0-C0'	2431
	47312				

Tableau 1 : Estimation des volumes approximatif des anomalies rencontrés du gisement Sidi Chennane (panneau

Dragline)

## **Conclusions et recommandations**

Le développement récent des techniques géophysiques a permis d'élargir le domaine couvert par la géophysique appliquée aux variables profondeurs. En plus de la prospection pétrolière, il comprend actuellement le minier, l'hydrogéologie, la pédologie, le génie civil, et même la recherche archéologie.

Pour cette raison, le groupe office chérifien des phosphates OCP fait appel à ces méthodes géophysiques pour résoudre certains problèmes, tel que les dérangements rencontrés dans le bassin, particulièrement à Sidi Chennane.

Si les méthodes géophysiques permettent de détecter et de délimiter les dérangements, alors la géologie permet d'interpréter, et de déterminer leurs origines et de confirmer leur existence.

Pour mettre en évidence la combinaison de la méthode électromagnétique, une étude a était réalisée dans la zone de Sidi Chennane.

D'après l'analyse et la comparaison des résultats des sondages électromagnétiques par la méthode TDEM avec la carte issue de la méthode EM31, on constate qu'elle a pu détecter plus les dérangements affectant la série phosphatée à la zone de Sidi Chennane en déterminant leurs situations dans le sous-sol. On peut dire donc que la méthode TDEM est fiable pour délimiter les dérangements en profondeur qu'en surface.

Le caractère non destructif de la méthode TDEM et son cout moins élevé fait d'elle un atout pour l'exploitation des terrains non encore reconnus. Afin que la prospection ait un aspect plus précis, il est intéressant de coupler la TDEM avec l'EM31 afin de pouvoir couvrir toutes les profondeurs sans exception.

Malgré que la méthode TDEM assure des bons résultats, elle a aussi ses limites, comme le facteur du temps, et sa faible détection des dérangements en surface, donc il est recommandé de la combiner avec d'autre méthodes comme : EM31 et d'autre méthodes électriques.

## Bibliographie

**Ait Taleb. Z.** (2005) Séquence de dépôt et origine des dérangements de la série phosphatée de Sidi Chennane (Bassin des Oulad Abdoun, Maroc) / Mémoire présenté en vue d'obtention du Diplôme des études Supérieures Approfondies N°29.

**Azmany. M.** (1977) Evolution des faciès sur le gisement des Oulad Abdoun / Rapport N° 184. Inédit Service de Géologie Groupe. OCP, Khouribga.

**Benarchid L.A. & Didi S** (2002) Analyse des dérangements affectant la série phosphatée des « Oulad Abdoun » et contribution à l'étude géologique d'un niveau phosphaté/Rapport de stage N°7.

Kchikach.A. & Hayan. M. (1990) Apport de la géophysique dans la détermination des dérangements à Sidi Chennane. Mémoire de fin d'étude. E.M.I Rabat. Maroc

**Moutaouakkil. A.** (2015-2016) Etude biblio-géologique sur le bassin d'Oulad Abdoun & levé hydro-géophysique de la zone de BENI AMIR par méthode TDEM. Rapport de stage/Génie minéral(EMI).

## Annexe :

Matricule	X insertion	Y insertion	Z insertion
1	377490.287	228161.028	538.000
2	377502.726	228162.257	539.000
3	377515.166	228163.486	539.000
4	377527.605	228164.714	540.000
5	377540.045	228165.943	541.000
6	377552.484	228167.171	540.000
7	377564.924	228168.400	542.000
8	377577.363	228169.628	541.000
9	377589.803	228170.857	542.000
10	377602.242	228172.086	544.000
11	377614.682	228173.314	544.000
12	377627.121	228174.543	544.000
13	377639.561	228175.771	545.000
14	377652.000	228177.000	543.000
15	377657.000	228167.000	545.000
16	377645.036	228166.074	546.000
17	377633.072	228165.147	545.000
18	377621.107	228164.221	543.000
19	377609.143	228163.295	543.000
20	377597.179	228162.369	543.000
21	377585.215	228161.442	543.000

22	377573.251	228160.516	542.000
23	377561.286	228159.590	542.000
24	377549.322	228158.664	543.000
25	377537.358	228157.737	541.000
26	377525.394	228156.811	545.000
27	377513.430	228155.885	543.000
28	377501.465	228154.959	541.000
29	377662.966	228157.908	545.000
30	377651.000	228157.000	545.000
31	377639.034	228156.092	545.000
32	377627.069	228155.185	544.000
33	377615.103	228154.277	544.000
34	377603.138	228153.369	544.000
35	377591.172	228152.461	544.000
36	377579.206	228151.554	544.000
37	377567.241	228150.646	543.000
38	377555.275	228149.738	544.000
39	377543.309	228148.830	544.000
40	377531.344	228147.923	543.000
41	377519.378	228147.015	543.000
42	377507.413	228146.107	542.000
43	377508.465	228135.959	542.000



Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme de Licence Sciences et Techniques

**Ouafae M'BIDA** 

Hafsa MATRI

Année Universitaire : 2016/2017

# **Titre :** Détection et cartographie des anomalies sédimentaires du gisement Sidi Chennane par les méthodes électromagnétiques

#### Résumé

Dans le bassin sédimentaire des Oulad Abdoun, la série phosphatée est formée d'une intercalation régulière de niveaux phosphatés et marno-calcaires sur environ 50 m de puissance. Localement, cette régularité est perturbée par la présence fréquente de structures communément appelés « *dérangements* ». Il s'agit de masses non stratifiées, stériles, qui perturbent et alourdissent les travaux d'exploitation des couches phosphatées. Les études géophysiques expérimentales, réalisées dans les zones dérangées de la série phosphatée, ont démontré la possibilité de les cartographier sous couvertures.

Leur généralisation sur toute la superficie du bassin des Oulad Abdoun, nécessite une compréhension du phénomène à l'origine de ces structures.

Le sujet d'étude concerne la détection et la cartographie des dérangements affectant la série phosphatée exactement celle du gisement de Sidi Chennane, en appliquant une nouvelle méthode électromagnétique (T.D.E.M).

Après avoir effectué toutes les mesures dans la zone d'étude (Sidi Chennane panneau dragline) sur une surface de 8 628.121 m<sup>2</sup> et traitement de ces données par le logiciel TEM-RES, le résultat obtenu consiste à établir des coupes pour chaque profil (4 profiles) ainsi que des cartes qui mettent en évidence les différentes anomalies sédimentaires rencontrées dans cette zone en fonction de leurs profondeurs. Pour bien apprécier les résultats de cette méthode, nous avons comparé les deux cartes obtenues par la méthode TDEM et l'EM31, cette comparaison nous a permis de conclure que la méthode TDEM a pu détecter plus d'anomalies (8anomalies) que l'autre méthode.

*Mots clés :* Anomalies sedimentataires, Gisement phosphaté, Méthodes électromagnétiques, Ouled Abdoun, Sidi Chennane