



UNIVERSITE CADI AYYAD

FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES MARRAKECH

DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA TERRE

Mémoire de fin d'études

Licence en Science et Technique

GEOLOGIE APPLIQUEE AUX RESSOURCES MINIERES

LST GARM

**ESTIMATION DES RESERVES DES COUCHES 2 ET 3  
(PANNEAU 8-GISEMENT DE BENGUERIR)  
PAR ARCGIS.**

Réalisé par :

**Chaimaa LAMKHIBICHA**

**Youssef KORAIMI**

Encadré par :

**Pr. Khadija EL HARIRI** : Faculté des sciences et techniques – Marrakech

**Mr. Abdelmjid EL ALAMI** : Office chérifien du phosphate – Benguerir

Soutenu le 24 Juin 2015 devant le jury :

**Pr. NADIA KHAMLI** : Faculté des sciences et techniques – Marrakech

**Pr. Khadija EL HARIRI** : Faculté des sciences et techniques – Marrakech

**Année universitaire : 2014 – 2015**

## Remerciements:

Au terme de ce stage, on tient à remercier DIEU avant tout.

Nos très sincères remerciements à tous les membres de nos familles pour leur soutien moral et matériel.

Nos vifs remerciements à l'office chérifien du phosphate (OCP) de nous avoir accueillis pour effectuer notre stage de fin d'étude au sein du service géologique "méthodes et plannings", nous offrant ainsi la possibilité d'acquérir une expérience professionnelle très enrichissante.

On exprime aussi nos sincères remerciements à notre parrain de stage Mr ALAMI Abdelmjid pour ses conseils et le temps qu'il a bien voulu nous consacrer tout au long de ce stage, sans oublier les agents de la section géologie Messieurs : KOKODIL Mohamed, BOUNOUANI Youssef pour leur aide, leur patience et leurs directives précieuses.

On tient à remercier également tous les enseignants du département de géologie de la faculté des sciences et techniques de Marrakech et plus précisément notre responsable de formation Monsieur SAIDI Abdellatif et notre encadrante Madame EL HARIRI Khadija pour la qualité de l'enseignement et l'encadrement de notre formation.

Finalement, un grand merci à Madame KHAMLI pour avoir bien accepté de juger ce travail.

## Table des matières

Introduction générale : .....	5
<u>Chapitre 1 : Généralités sur les phosphates</u>	
I. Phosphates.....	7
1. Définition .....	7
2. Théorie de phosphatogenèse .....	8
II. Principaux gisements et bassins phosphatés au Maroc .....	10
1. Différents types des gisements du phosphate .....	10
2. Bassins phosphatés marocains .....	11
<u>Chapitre 2 : Présentation de la zone d'étude(Gisement de Benquerir)</u>	
I. Situation générale de la zone d'étude .....	14
1. Cadre Géographique .....	15
2. Cadre géologique .....	15
3. Structure.....	16
II. Découpage et stratigraphie de la série phosphatée .....	17
1. Découpage minier .....	17
2. Découpage chrono-stratigraphique .....	18
3. Stratigraphie de la série phosphatée .....	21
<u>Chapitre 3 : Méthodologie du travail</u>	
I. Méthodologie adoptée .....	26
1. Recherche bibliographique .....	26
2. Collecte des données .....	26
II. Outils utilisés .....	28
1. Méthode manuelle .....	28
2. ARCGIS 10.1 .....	28
<u>Chapitre 4 : Estimation des réserves des couches 2 et 3 du panneau 8 par Arcgis</u>	
INTRODUCTION :.....	31
I. Profil litho-stratigraphique du Box cut : .....	31
II. Préparation de la base des données : .....	33
III. Réalisation des cartes par ARCGIS :.....	37
1. Cartes structurales : .....	37
2. Cartes d'isoteneurs :.....	37
3. Cartes d'isopuissances :.....	37
IV. Etude de qualité : .....	50
V. Etablissement des cartes Listing case en fonction de la qualité : .....	50
VI. Etude géostatistique :.....	54

1. Estimation des réserves : .....	54
2. Ratio d'exploitation : .....	56
Conclusion : .....	57
Références bibliographiques : .....	58
Annexes: .....	59

### Liste des figures :

Figure 1: Texture d'une roche phosphatée (Vaccari, 2010).....	7
Figure 2: Mécanisme des courants ascendants Upwelling (Bakun, 1990).....	8
Figure 3: Mécanisme de développement des faciès phosphatés et siliceux.....	9
Figure 4: Bassins phosphatés Marocains (Piqué et al.2001).....	11
Figure 5: Carte géologique du bassin de Gantour extraite de la carte géologique du Maroc au 1/500 000 (SAADI, 1989).....	14
Figure 6: Situation géologique du gisement de Gantour (BOJOU, 1976).....	16
Figure 7: Schéma de découpage du gisement de Benguerir en panneaux (OCP, 2009).....	17
Figure 8: Schéma de découpage d'une zone phosphatée.....	18
Figure 9: Log stratigraphique d'une série phosphatée.....	20
Figure 10: Photo du terrain d'une série phosphatée.....	22
Figure 11 : Intercalaires d'une série phosphatée.....	24
Figure 12: Schéma méthodologique du travail.....	27
Figure 13: Profil litho-stratigraphique du Box cut du panneau 8.....	32
Figure 14: Localisation des puits dans le panneau 8.....	35
Figure 15: Carte structurale de la couche 3.....	38
Figure 16 : Carte structurale de la couche 2 inférieure .....	39
Figure 17 : Carte structurale de la couche 2 supérieure .....	40
Figure 18 : Carte d'isoteneurs en BPL% de la couche 3 .....	41
Figure 19: Carte d'isoteneurs en BPL% de la couche 2 inférieure.....	42
Figure 20 : Carte d'isoteneurs en BPL% de la couche 2 supérieure.....	43
Figure 21: Carte d'isoteneurs en CO2% de la couche 3.....	44
Figure 22: Carte d'isoteneurs en CO2% de la couche 2 inférieure.....	45
Figure 23: Carte d'isoteneurs en CO2% de la couche 2 supérieure.....	46
Figure 24: Carte d'isopuissances de la couche 3.....	47
Figure 25 : Carte d'isopuissances de la couche 2 inférieure.....	48
Figure 26 : Carte d'isopuissances de la couche 2 supérieure.....	49
Figure 27 : Carte Listing case de la couche 3.....	51
Figure 28 : Carte Listing case de la couche 2 inférieure.....	52
Figure 29 : Carte Listing case de la couche 2 supérieure.....	53

### Liste des tableaux :

Tableau 1 : Description du Bone bed et marnes de la série phosphatée.....	24
Tableau 2 : Exemple de la base des données (couche 3).....	36
Tableau 3 : Types de phosphate en fonction des teneurs en BPL.....	50
Tableau 4 : Tonnage humide criblé (THC) des couches 2 et 3.....	55
Tableau 5 : les volumes des couches et des intercalaires du panneau 8.....	56
Tableau 6 : Base de données de la couche 2 inférieure.....	60
Tableau 7 : Base de données de la couche 2 supérieure.....	61

### Liste des abréviations :

OCP : Office Chérifien de Phosphate
BPL : Bone Phosphate of Lime
PM : Puissance Minéralisée
BG : Benguerir
TBT : Très Basse Teneur
BT : Basse Teneur
AD : Application Directe
SIG : Système d'Information Géographique

## **Introduction générale :**

Le Maroc possède les plus importants gisements de phosphates dans le monde (plus de trois quarts des réserves mondiales). Il occupe une place particulière dans le commerce international : Premier exportateur du phosphate et troisième producteur mondiale après les Etats-Unis et la Chine. Sa production est d'environ 26,6 millions de tonnes par an (OCP, 2010). C'est l'office chérifien du phosphate (OCP) qui détient le monopole d'exploitation, il joue un rôle principal sur le plan économique et social du pays.

Notre projet de fin d'études s'inscrit dans le cadre général des études menées par l'OCP dans le Service des Méthodes et Planning. Le stage effectué au sein de l'OCP nous a permis d'assister et de suivre les différentes étapes depuis la prospection jusqu'à l'exploitation du gisement de Benguerir. Cette expérience nous a permis d'améliorer notre formation scientifique et théorique acquise à la Faculté des Sciences et Techniques.

Le but de ce stage est de rassembler les données nécessaires pour confirmer les études préalablement faites par l'OCP concernant l'exploitation des couches phosphatées d'âge maastrichtien, précisément les couches 2 et 3 du panneau 8 de la mine Nord de Benguerir en se basant sur l'estimation des réserves à travers les différentes cartes réalisées par le logiciel ArcGis.

Ce mémoire est structuré en 4 principaux chapitres :

- Le premier donne des généralités sur les phosphates.
- Le deuxième concerne la présentation de la zone d'étude.
- Le troisième s'intéresse à la méthodologie du travail.
- Le quatrième se rapporte à l'analyse des résultats du traitement par ArcGis.
- Conclusion.

# **CHAPITRE 1 :**

## **GENERALITES SUR LES**

### **PHOSPHATES**

## I. Phosphates

### 1. Définition :

Les phosphates sont des roches exogènes contenant une quantité plus ou moins élevée en  $P_2O_5$ . Selon la classification minéralogique internationale en 1974, il y en a deux familles de phosphate : La première liée à l'apatite dite phosphatite, qui se classe selon la présence et la taille des éléments figurés. La deuxième famille des roches est dite phosphorite qui se classe suivant le type de minéral, la texture, la structure, la nature de l'exogangue et surtout par sa richesse en  $P_2O_5$  qui doit être supérieure à 18 %.



**Phosphorites**



**Engrais triple phosphate**



**Débris de roche phosphatée (dent)**



**Phosphate Guano**

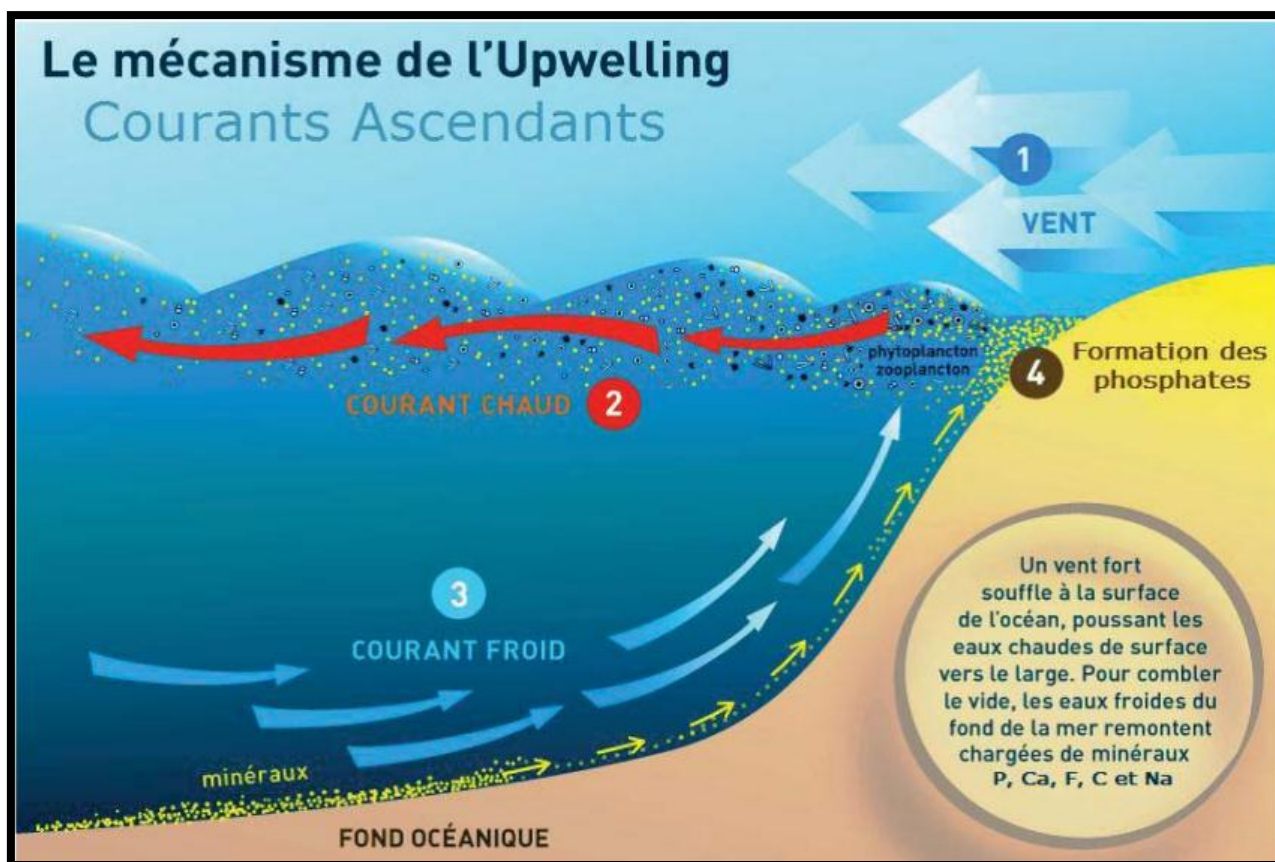
*Figure 1: Types d'une roche phosphatée.*



## 2. Théorie de phosphatogenèse :

Pour expliquer la genèse des phosphates, plusieurs modèles génétiques ont été arborés, nous citons les plus connus :

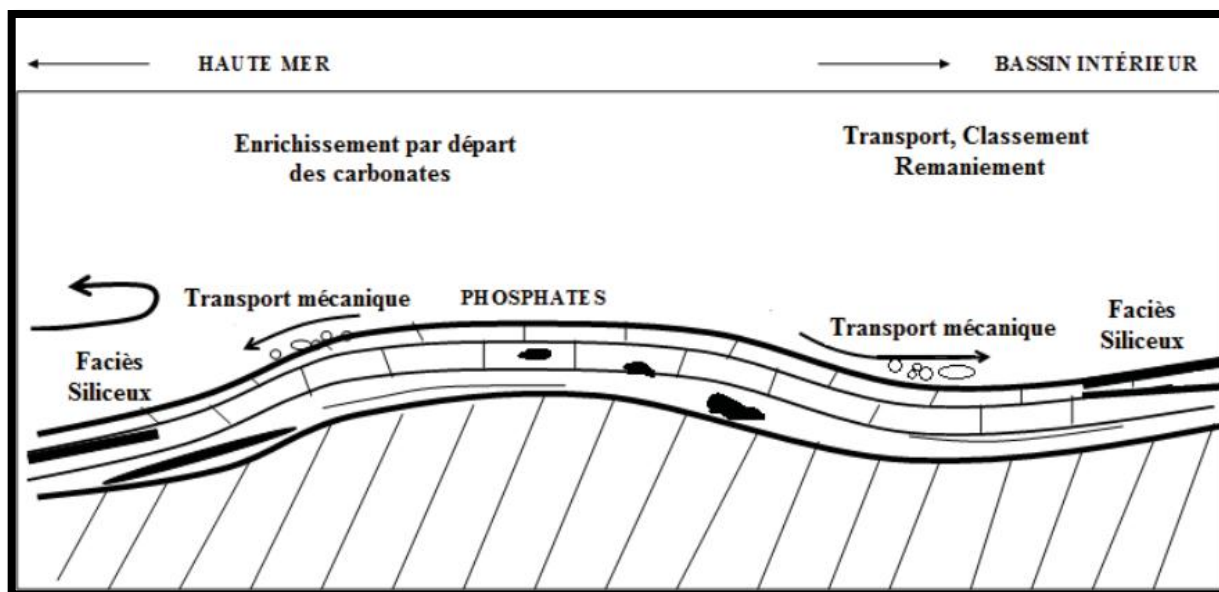
Le modèle des environnements sédimentaires en contact direct avec la haute mer (Kasakov 1937, Cheney et Sheldon 1959), qui permet l'étalement des courants ascendants (upwellings) (fig.2).



**Figure 2:** Mécanisme des courants ascendants Upwelling (Bakun, 1990).

Le modèle du bassin fermé en communication restreinte avec la haute mer (Boujo, 1972, Sassi 1974, Lucas et Prevot 1975). Ce modèle prévoit que le phosphore et les autres minéraux des eaux froides profondes, nécessaires à la formation des phosphates, seront distribués par l'intermédiaire des courants de distribution dans des cuvettes peu profondes protégées des courants forts venus du large.

Le modèle des zones anticlinales (Keyser et Cook 1972), les phosphates se sont formés et étalés de part et d'autre de ces zones pour donner du côté interne de sédiments riches en phosphate et du côté externe des dépôts pauvres (fig.3).



**Figure 3:** Mécanisme de développement des faciès phosphatés et siliceux  
(Keyser et Cook 1972).

Le modèle des bassins évaporitiques (Hite 1978). Ce type de bassin joue un rôle essentiel dans la formation des phosphates. Ce modèle a été adopté pour les phosphates de Foug Selja en Tunisie caractérisés par deux séquences gypseuses encadrant la séquence phosphatée (Lucas et al. ,1979).

Le modèle des pièges (Slansky 1980, Lucas et Prevot 1975) qui sont soit des dépressions locales des fonds marins, soit des rides de fond, soit des seuils qui séparent un bassin partiellement ou à l'intérieur d'un golfe étroit. La présence de ces pièges est essentielle lors de l'accumulation de la matière organique qui déclenche la sédimentation phosphatée.

## II. Principaux gisements et bassins phosphatés au Maroc

### 1. Différents types des gisements du phosphate :

Les phosphates dans le monde se présentent en trois types de gisements de différentes origines. Selon Slansky (1980) nous distinguons :

#### ➤ **Les gisements d'origine ignée :**

Sont associés à des complexes intrusifs alcalins (les syénites, les syénites néphéliniques, les carbonates, les ijolites et les pyroxénites). À titre d'exemple les gisements de Khibiniy en Russie sont liés à un complexe annulaire à syénite néphélinique, avec 16 millions de tonnes de minerais et une teneur de 18 % en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

#### ➤ **Les gisements de type Guanos :**

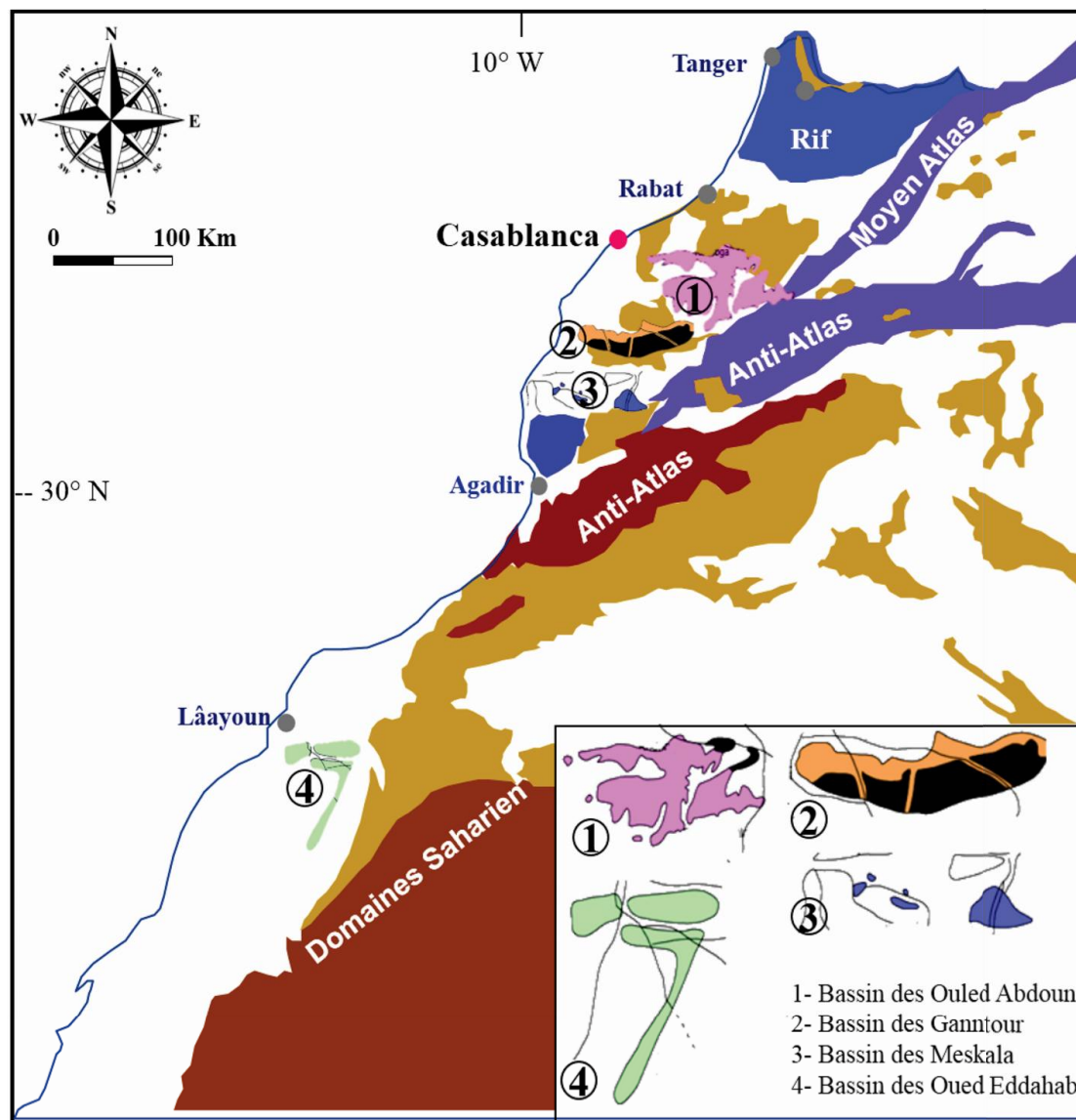
Sont formés à partir des déjections des oiseaux de mer qui contiennent environ 4 % en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. En général, la qualité de ces phosphates est fort intéressante vis-à-vis de leur quantité. Nous citons les gisements de l'île Nauru dans l'océan pacifique qui contiennent 90 millions de tonnes de minerai avec 39 % en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

#### ➤ **Les gisements de type sédimentaire :**

Sont les plus abondants en quantité et avec des teneurs en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> qui dépassent les 28 % sur place. Nous citons les gisements phosphatés marocains qui se localisent stratigraphiquement du Crétacé supérieur (Maastrichtien) à l'Éocène inférieur et moyen.

## 2. Bassins phosphatés marocains :

Les plus importantes ressources en phosphates au Maroc se répartissent en plusieurs bassins phosphatés, différents les uns des autres, aussi bien par leurs superficies que par leurs teneurs. Ces bassins renferment quatre pôles miniers d'extraction et d'enrichissement des phosphates: Khouribga (Ouled Abdoun), Essaouira(Meskala), Youssoufia et Benguerir(Gantour), Bou-Craa (Oued Eddahab) (fig.4).



**Figure 4:** Bassins phosphatés Marocains (Piqué et al.2001).

➤ **Bassin des Ouled Abdoun** : (37,35 milliards de m<sup>3</sup>)

Le bassin des Ouled Abdoun au centre du Maroc est situé à 120 km au Sud-Est de Casablanca, avec une dimension d'environ 100km de long, sur 80 km de large. Il représente une unité morphologique importante du domaine mésétien marocain, quasi-tabulaire très faiblement ondulée ; les altitudes sont variées de 500 à 800 m. Ce bassin est reconnu par le site de Khouribga qui assemble des remarquables zones de production de phosphate. Les phosphates de ce bassin sont de type sédimentaire, englobant trois zones d'extraction (Sidi Daoui, Merah Lahrach, Sidi Chennane).

➤ **Bassin des Gantour** : (31,09 milliards de m<sup>3</sup>)

Il est situé entre les massifs des Rehamna au Nord et les Jbilet au Sud. Le bassin des Gantour renferme deux centres miniers, le premier à EL Youssoufia, situé à 60 km de Benguerir et à 100 km au Nord-Ouest de Marrakech. Ce gisement a été ouvert vers 1931. Le deuxième centre à Benguerir, situé à 70 km au nord de Marrakech et à 60 km à l'Est de Youssoufia, il a été ouvert en 1979.

➤ **Bassin des Meskala** : (15,95 milliards de m<sup>3</sup>)

Il se situe à environ 150 km au Sud d'EL Youssoufia, au pied de l'Atlas. Tectoniquement morcelée en sous bassins (Imi n'Tanout et Chichaoua), la série phosphatée ressemble fortement à celle des Gantour et la couche phosphatée danienne a été atteinte dans un sondage près d'Imi n'Tanout à 500m de profondeur avec à peu près 300 m d'alluvions sur la série. Il est limité par la plaine alluviale de Mejatte, à l'Ouest par les affleurements permo-triasiques de l'OuestTidsi qui le sépare de la plaine côtière d'Essaouira et au Sud par le Haut Atlas occidental (Belfkira 1980).

➤ **Bassin Oued Eddahab** : (1.11 milliards de m<sup>3</sup>)

Il se situe au Sahara marocaine à 100 km au Sud-Est de la ville de Laâyoune et à 1200 km de Casablanca. Compris entre le Précambrien et le Paléozoïque de la dorsale de Rguibat et l'Océan Atlantique. Il s'étend du Nord au Sud-Ouest jusqu'aux environs de Nouadibou. Les dépôts phosphatés de ce bassin sont localisés dans la partie centrale du bassin crétacé, ils présentent deux couches phosphatées ; seule la première couche est exploitée actuellement (Rios 1972).

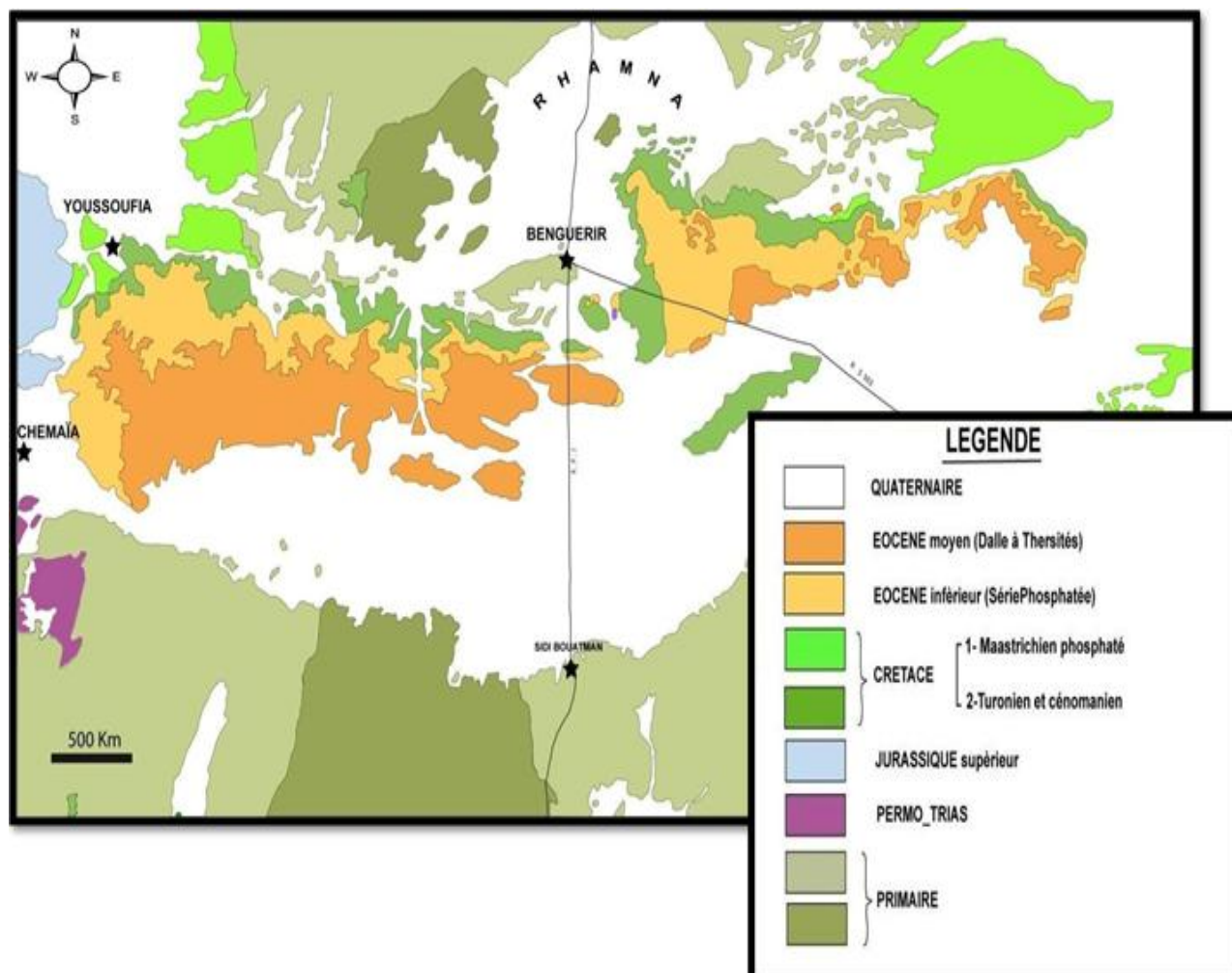
## **CHAPITRE 2 :**

# **PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE**

## **(GISEMENT DE BENGUERIR)**

## I. Situation générale de la zone d'étude :

Le gisement de Benguerir occupe la partie centrale d'un grand bassin phosphaté marocain : c'est le bassin des Gantour (fig.5). Il est reconnue par le centre minier de Benguerir situé à 70 Km de Marrakech, 77 Km d'EL Youssoufia, 170 Km de Safi, 190 Km de Casablanca. Il a fait l'objet d'une série d'études géologiques de reconnaissance et de valorisation qui ont été entamées depuis 1965.



**Figure 5:** Carte géologique du bassin de Gantour extraite de la carte géologique du Maroc au 1/500 000 (Saadi, 1989).

## 1. Cadre Géographique :

La zone d'étude est située entre les méridiens 32°10 et 38°20 et les parallèles 7°15 et 8°35. C'est une entité structurale bien définie géographiquement et géologiquement: c'est le plateau de phosphate des Gantour. Les phosphates de cette région sont d'âge Crétacé supérieur (Maastrichtien) jusqu'à l'Eocène moyen (Lutétien). Ils s'étendent sur une superficie de 120 Km de long et 30 km de large. Le gisement de Benguerir est limité respectivement à l'Est et à l'Ouest par les gisements de N'ZALLET LAARARCHA et LOUTA, au Nord par le massif des REHAMNA et s'annoient vers le Sud sous les dépôts récents de la BAHIRA.

## 2. Cadre géologique :

Le bassin de Gantour représente un élément important de la couverture sédimentaire de la Meseta occidentale. On y rencontre les unités suivantes (Boujo, 1972):

Deux massifs paléozoïques bien individualisés : le massif de Rehamna au Nord (roches métamorphiques et cristallines) et celui des Jbilet (schistes) au Sud.

La limite occidentale est matérialisée par les collines jurassiques de Mouissat (calcaire et marno-calcaires avec des lits argileux et bancs gypsifères).

La limite Est est marquée par la rive gauche de l'Oued Tassaout.

De l'Ouest vers l'Est, le bassin de Gantour est subdivisé en six zones principales (fig.6) :

- Youssoufia
- Recette 6
- Louta
- Benguerir
- N'Zalat El Aararcha
- Tassaout



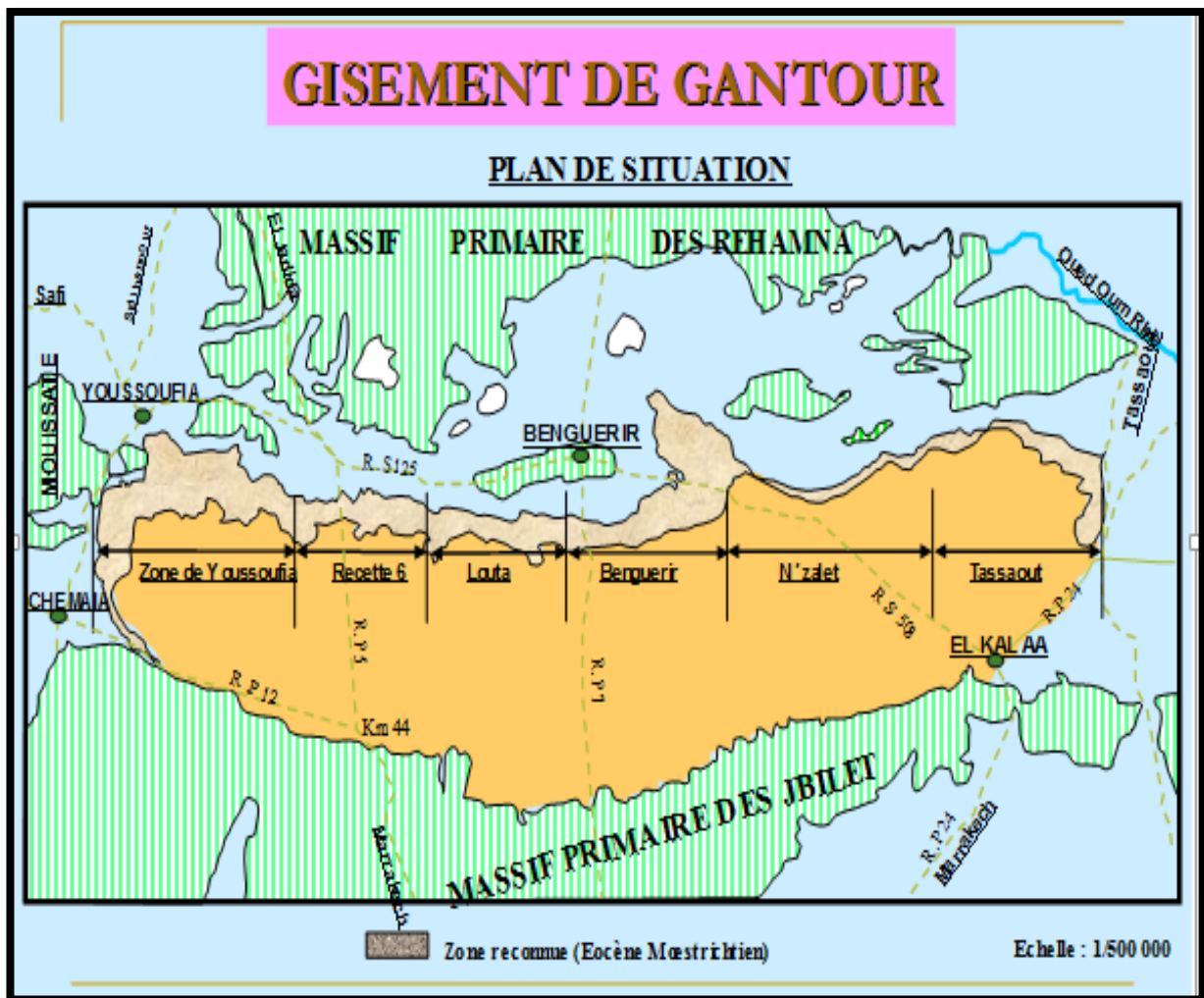


Figure 6: Situation géologique du gisement de Gantour (Boujo, 1972).

### 3. Structure :

Le gisement de Benguerir est caractérisé par quelques structures variées qui ne laissent pas deviner l'allure tabulaire de la surface. Ces structures, affectant la série phosphatée, se présentent sous forme de flexures et de failles. Les flexures déterminent des anticlinaux et synclinaux à grands rayons de courbure et s'accompagnent de nombreux accidents cassants à faibles rejets rencontrés par l'exploitant. Deux domaines structuraux d'allure très différente occupent l'ensemble du bassin Gantour-Bahira (Jourani, 1994) :

Le domaine occidental est caractérisé par une structure perturbée marquée par la présence de cuvettes et de dômes avec une étendue des cuvettes plus importante que celle des dômes, au contraire au domaine oriental, il a une structure relativement calme.

## II. Découpage et stratigraphie de la série phosphatée :

### 1. Découpage minier :

La recherche minière est réalisée sur des coupes de puits qui sont implantés d'une manière régulière, en général à une maille carrée de 250 m. Actuellement, la zone minéralisée de Benguerir est divisée en huit panneaux en cours d'exploitation. Chaque panneau est découpé en tranchées parallèles orientées Nord – Sud.

Pour faciliter l'étude et cerner ce gisement, cette zone de Benguerir est découpée en deux parties : La partie Nord avec les Panneaux 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8 et 9. La partie Sud avec les Panneaux 1, 2, extension 1, extension 2 et zone d'affleurement (fig.7).

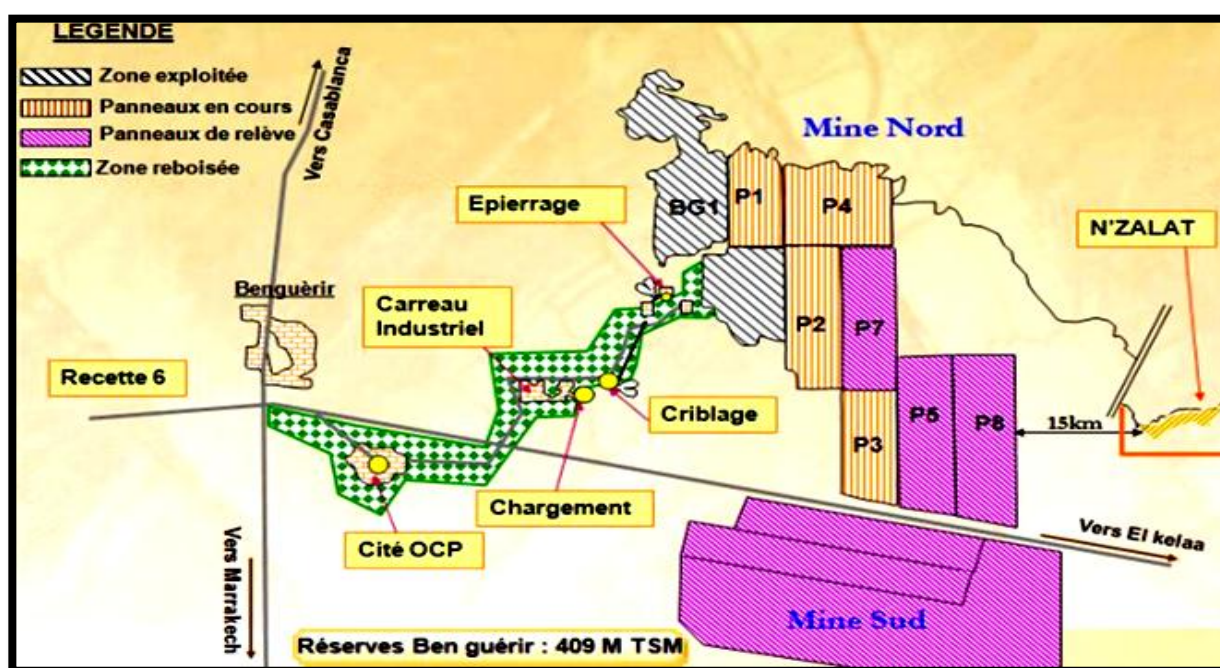


Figure 7: Schéma de découpage du gisement de Benguerir en panneaux (OCP, 2009).

La zone étudiée concerne le panneau 8, il est découpé en 37 tranchées parallèles et réalisé sur des coupes de 56 puits qui sont implantés à une maille carrée de 500m.

Il est limité au Nord par la mine nord, au Sud par la route d'El Kelaa et à l'Ouest par le panneau 5.

#### Coordonnées limites :

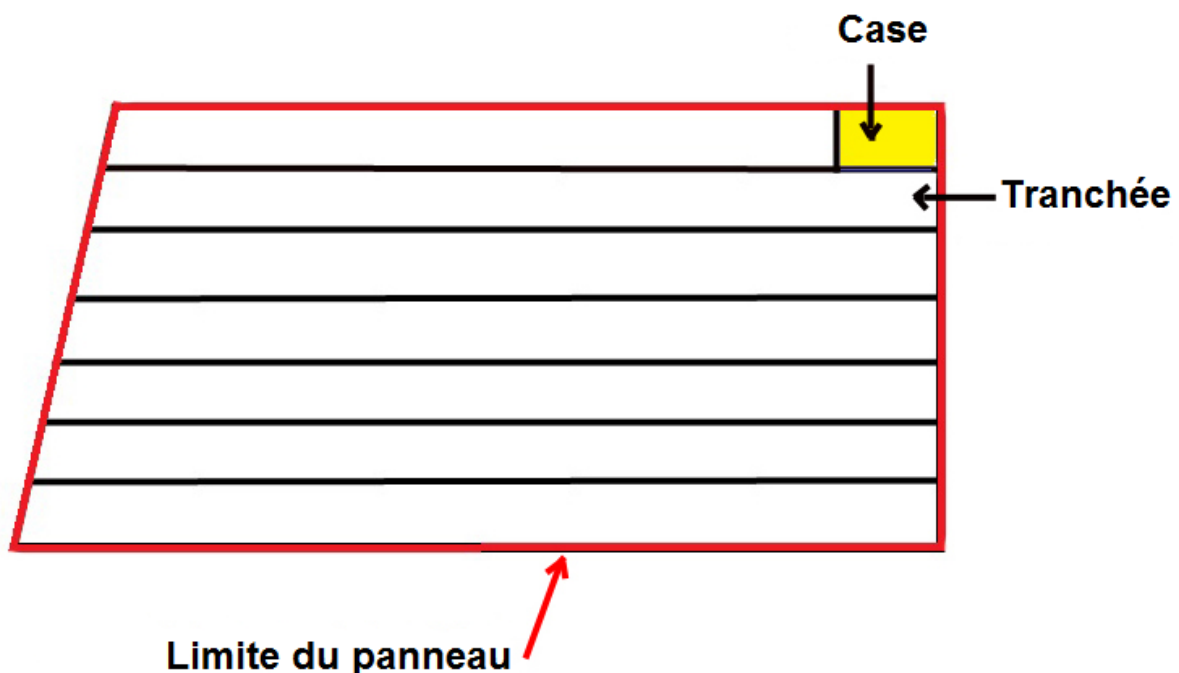
X min = 275630	Y min = 180560,180910
X max = 277130	Y max = 185800

Pour l'exploitation d'une zone phosphatée, il faut diviser cette zone en : (fig.8)

**Panneau** : un terrain ou une portion du gisement, limité en fonction des facteurs tels que le nombre de couches phosphatées existants, le recouvrement et la qualité du phosphate. Chaque exploitation d'un panneau, commence par une tranchée de largeur de 60 à 70 m appelée « box cut ».

**Tranchée** : une partie ou unité du panneau dont la longueur est la même que celle du panneau et la largeur est en générale de 40m. Elle est subdivisée en cases.

**Case** : Dimensions d'une unité de tranchée (longueur de 100m et une largeur de 40m).



*Figure 8: Schéma de découpage d'une zone phosphatée.*

## 2. Découpage chrono-stratigraphique :

Du point de vue stratigraphique, la série phosphatée est formée de dépôts phosphatés, s'étendant du Maastrichtien au Lutétien (Boujo, 1972). Cette série est constituée par une alternance de niveaux de roches phosphatées, meubles à plus ou moins indurées et de niveaux stériles nommés intercalaires qui sont de nature lithologique variée (argile, marnes, calcaires et silt...). L'ensemble est coiffée par une dalle carbonatée appelée dalle à Thersité.

On distingue ainsi de la base vers le sommet de la série : (fig.9)

➤ **Le Maastrichtien : (Couches 6, 5, 4,3, et 2)**

Il est constitué par des phosphates marneux et des marnes phosphatées .il débute localement par des calcaires très fossilifères à bone-bed (lit d'os). Dès le Maestrichtien la phosphatogenèse fait brusquement son apparition et se poursuit jusqu'au Lutétien.

➤ **Le Danien : (Couche 0/1)**

Il est constitué par des phosphates grossiers riches en Bone Phosphate of Lime (BPL), il débute par des calcaires phosphatés dépourvus de fossiles et se termine par un autre calcaire à Cardita coquandi.

➤ **Le Thanétien : (Sillon A2)**

Il est formé par des phosphates moyens à fin vers le sommet et de calcaires phosphatés marneux.

➤ **L'Yprésien : (Sillon B)**

Il est de 53 à 46 millions d'année, il débute dans la majorité des cas par un calcaire phosphaté coprolithique, La phosphatogenèse y atteint son apogée. Il est formé d'une succession de niveaux phosphatés intercalés avec des calcaires phosphatés coprolithiques, des argiles et de silex ou marnes siliceuses

➤ **Le Lutétien :**

Il est représenté dans sa partie inférieure par un complexe constitué principalement par de calcaire phosphaté, calcaire marneux, marnes phosphatées ou non, marnes siliceuses. L'ensemble a subi une calcification de degrés variables et se continue par une puissante dalle carbonatée renfermant de nombreux gastéropodes (Thersitea, Pondérosa).

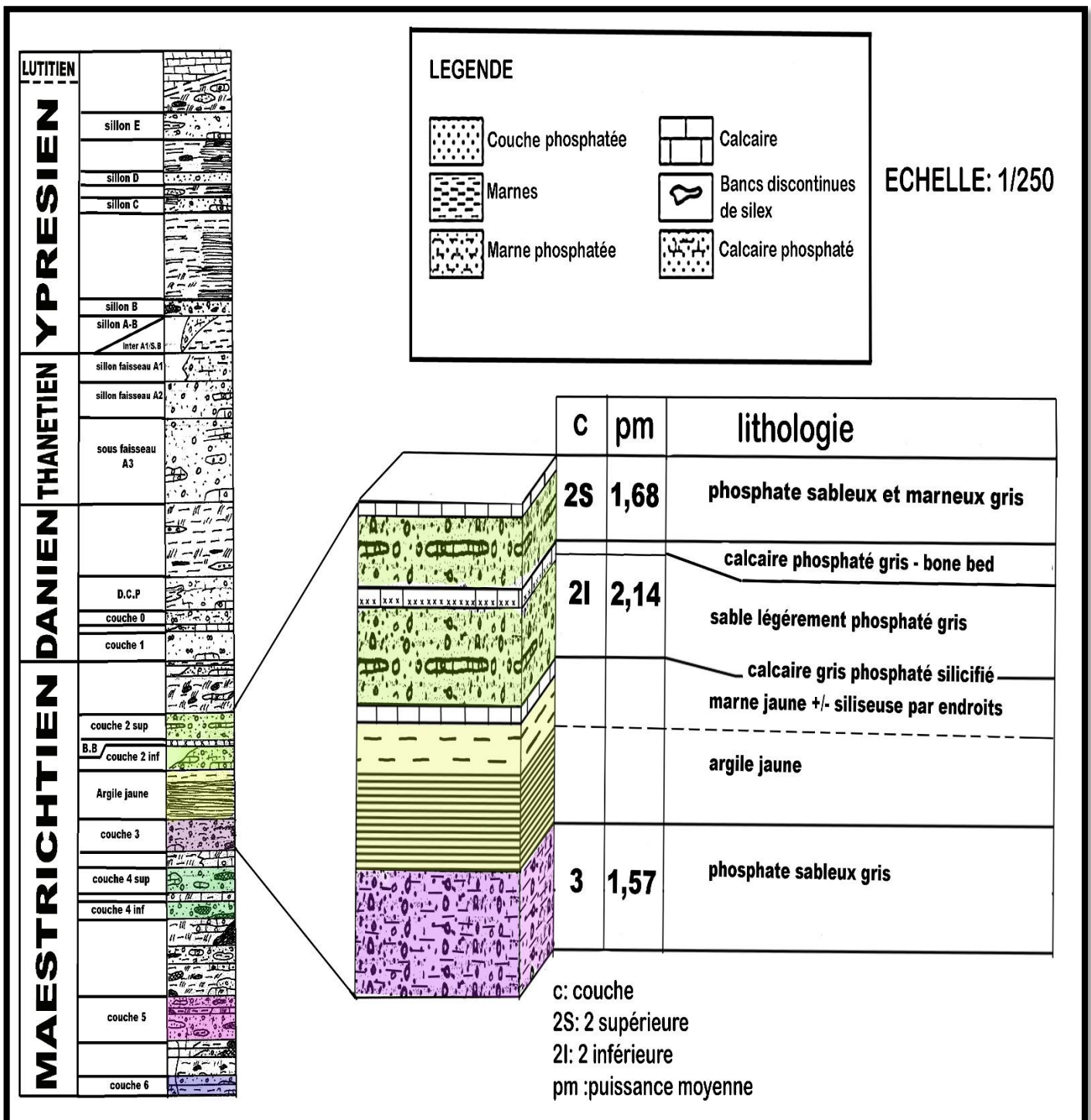


Figure 9: Log stratigraphique d'une série phosphatée (Document interne d'OCP, modifié).

### 3. Stratigraphie de la série phosphatée :

La série phosphatée de Benguerir est constituée d'une alternance de couches de phosphates et des niveaux silico-carbonatés stériles (intercalaires) :

#### Couches :

- **Couche 6** : formée généralement de phosphates meubles de couleur gris beige, organo-détritique et repose sur des marnes jaunes qui constituent la base de la série phosphatée.
- **Couche 5** : constituée d'un phosphate meuble plus ou moins marneux, organo-détritiques contenant des barres de calcaire et quelques rognons de silex au centre. Elle est formée de 3 niveaux :

Couche supérieure : Teneur faible en BPL

Couche médiane : Teneur moyenne en BPL

Couche inférieure : Teneur élevée en BPL

- **Couche 4** : constituée par des phosphates meubles avec des rognons de silex. Elle repose sur une discontinuité et est subdivisée en 2 sous couches dont l'inférieure possède une teneur en BPL beaucoup plus importante.
- **Couche 3** : Elle est subdivisée en 2 sous couches de faciès variables :

Couche supérieure : formée de phosphates meubles beige plus ou moins marneux. Sa teneur en BPL est toujours faible.

Couche inférieure : formée de phosphates meubles qui contiennent souvent du calcaire siliceux. Sa teneur en BPL est importante.

Remarque : Cette couche n'est pas toujours subdivisée. Parfois, elle se présente de manière homogène comme c'est le cas au niveau du panneau 8

Un niveau d'argile jaune : permet de séparer la couche 3 supérieure de la couche 2 inférieure, elle apparaît nettement dans le terrain et aide à s'identifier le long de la coupe des puits.

- **Couche 2** : formée de 2 sous couches séparées par du bone-bed (lit d'os) :

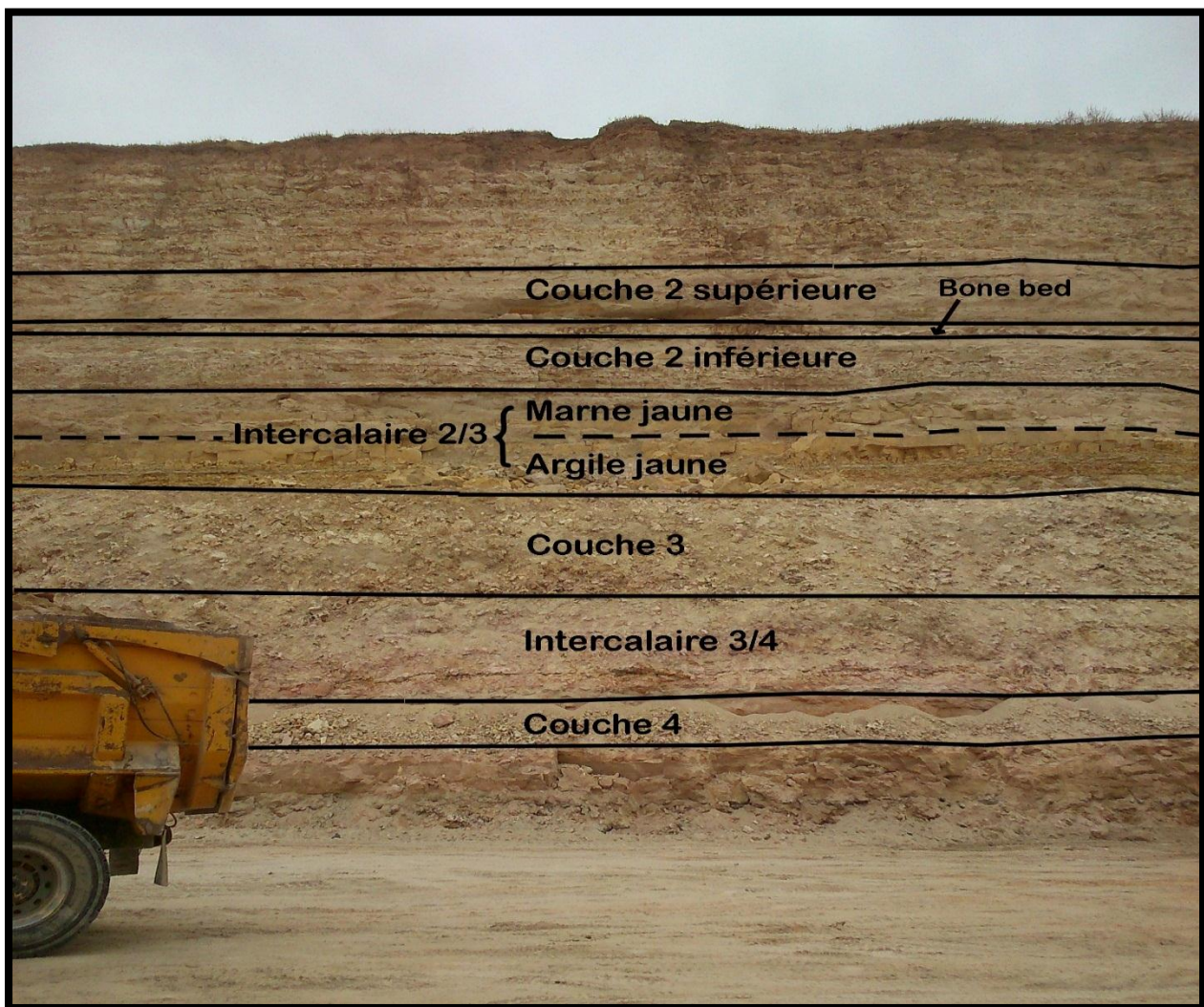
Couche supérieure : formée de phosphates meubles avec un banc de calcaire siliceux sur le toit. Sa teneur en BPL est importante.

Un niveau de Bone bed : sépare la couche 2 en deux parties : couche inférieure et Supérieure.


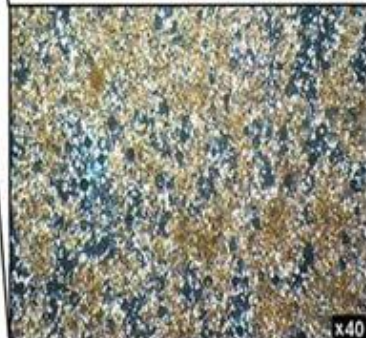
Couche inférieure : formée de phosphates meubles gris à jaunes marneux et siliceux.

Sa teneur en BPL est faible.

**Couche 1-0** : les deux niveaux 1 et 0 peuvent être confondus lorsqu'il n'y a pas d'intercalaire de calcaire.



*Figure 10: Photo du terrain d'une série phosphatée.*

Log Stratigraphique	Lame mince	commentaires
		- Fragments osseux phosphatisés.
Couche 2 sup		- Dents de poissons phosphatisés.
Bone bed		- Pellets phosphatisés. (d'origine fécale)
Couche 2 inf		- Texture granstone.
Marne jaune		
Argile jaune		- Marne avec des rhomboédres de Dolomie primaire.
couche 3		- Texture pulvérilente
Intercalaire 3/4		
Couche 4		

**Tableau 1** : Description du Bone bed et marnes de la série phosphatée©.

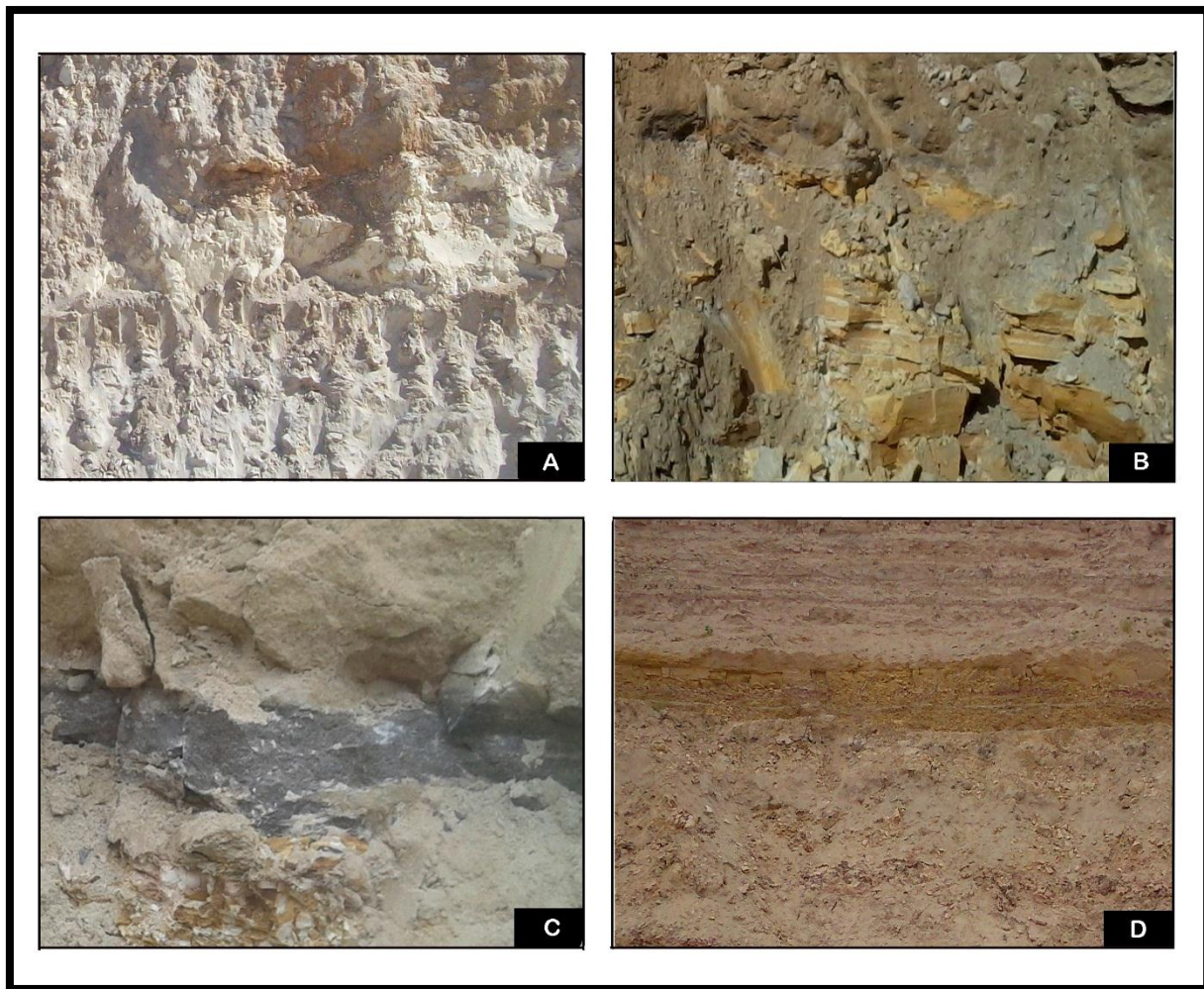
### Sillons :

**Sillon A** : Les analyses chimiques et leurs structures ont donné trois niveaux :

- **Sillon A3** : Il est Constitué d'un phosphate meuble calcifié à faible teneur en BPL.
- **Sillon A2** : Il est exploité et constitué de fossiles caractéristiques.
- **Sillon A1** : Il Constitué d'un phosphate calcifié et marneux et non exploité à cause de la présence de marnes friables.

**Sillon B** : Constitué d'un phosphate sableux grossier avec rognons de silex. Sa teneur en BPL est importante.





*Figure 11: Intercalaires d'une série phosphatée.*

### **Les intercalaires (les niveaux stériles) :**

Dans la zone d'exploitation, on a remarqué que les intercalaires ne sont composés que par des calcaires, argiles et marnes ou par un mélange.

**Le calcaire (A) :** C'est une roche sédimentaire carbonatée avec 50% de calcite  $\text{CaCO}_3$ . Il est de faible dureté. Il se présente en association avec les autres roches parfois dans les couches phosphatées mais sans influence.

**Le marne (B) :** C'est une roche sédimentaire constituée d'un mélange, à proportion plus au moins égale d'argile et de calcaire ; elle est mélangée au phosphate à une certaine proportion.

**Le silex (C) :** C'est une roche sédimentaire dont le constituant principal est la silice et de couleur allant du brun au noir.

**L'argile (D) :** C'est une roche sédimentaire à grain très fin, en proportion de plus en plus de 65% majoritaire dans les associations, il est abondante, à couleurs variées. Dans notre zone d'étude, l'argile jaune est un repère, car il sépare toujours la couche 2 de la couche 3.

# **CHAPITRE 3 :**

# **METHODOLOGIE**

# **DU TRAVAIL**

## I. Méthodologie adoptée :

Dans l'optique de bien mener l'étude qui nous est confiée, il nous est apparu nécessaire de suivre la méthodologie suivante afin d'aboutir à l'objectif assigné et aux résultats attendus du travail (fig.12).

### 1. Recherche bibliographique :

Une étude bibliographique concernant le secteur d'étude, servant à prédéfinir le contexte géo-minier des couches phosphatées. Elle a permis de collecter des documents sur la thématique au niveau d'abord de la bibliothèque de l'OCP, d'autres recherches documentaires sont effectuées sur Internet pour compléter la documentation.

### 2. Collecte des données :

Collecte des données sur les puits de reconnaissance du panneau 8 (caractéristiques physiques et chimiques). Cette phase a été accompagnée par une collecte des documents supplémentaires sur la géologie et des missions sur le terrain dans l'objectif d'identifier et de décrire les niveaux phosphatés.

La préparation de la base des données des différents puits a été élaborée. L'exploitation des données à l'aide des logiciels pour réaliser les différents types de cartes : Cartes des puits, cartes structurales, cartes d'isoteneurs et cartes d'isopuissances.

Enfin, une compilation des différentes données acquises a servi à l'élaboration d'un profil lithostratigraphique dans le but de suivre l'évolution des couches phosphatées du Nord vers le Sud du panneau 8.

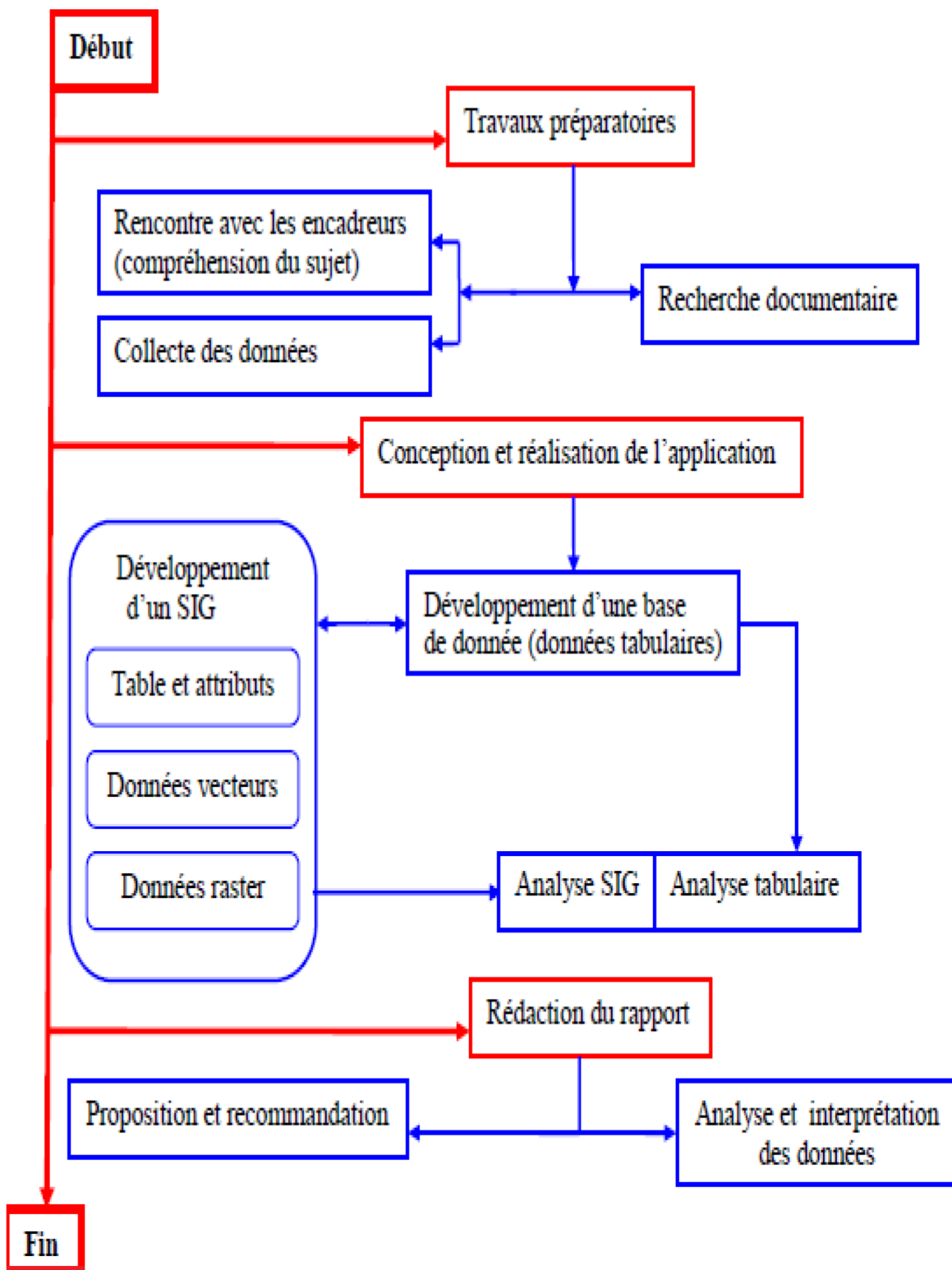


Figure 12: Schéma méthodologique du travail.

## II. Outils utilisés :

Pour réaliser ce travail nous avons eu recours à deux principales méthodes : un logiciel de SIG appelé ARCGIS pour établir des cartes et la méthode manuelle pour dessiner un profil litho-stratigraphique.

L'intérêt est de permettre aux utilisateurs de gérer et d'incrémenter la base de données, ainsi créé en vue d'interroger facilement ces données et visualiser le résultat de la requête sur des "cartes" avec ARCGIS.

### 1. Méthode manuelle :

Cette Méthode consiste à dessiner un profil litho-stratigraphique par l'utilisation des outils simples de dessin : Feuille de dessin (Largeur :90cm , Longueur : 40cm) , Règle, kutch , crayon , gomme ... et par des calculs nécessaires qui permettent d'avoir une idée sur les altitudes ou les reliefs des puits qui vont faciliter la corrélation entre les différents points des puits à fin d'obtenir un profil le long d'une tranchée choisit et donc voir et décrire l'évolution des couches obtenues.

### 2. ARCGIS 10.1 :

ArcGis 10.1 est un logiciel développé par ESRI, le Système d'Information Géographique ArcGis peut se décomposer en trois versions aux fonctionnalités croissantes : ArcMap, ArcInfos et ArcEditor.

C'est un outil permettant de visualiser, d'explorer, d'interroger et d'analyser des données géographiques.

ArcGis incorpore les Composants d'accès aux données Microsoft (MDAC, Microsoft Data Access Components), qui permettent d'accéder facilement aux informations stockées dans plusieurs sources de données externes.

ArcGis représente une famille de 6 Modules :

**ArCatalog** : outil de saisie qui facilite l'accès et la gestion des données géographiques.

**ArcMap** : utilisé pour afficher et imprimer des cartes de qualité professionnelle. Il permet une transition facile et naturelle entre l'affichage d'une carte et la modification de sa vue.

**ArcReader** : fournit aux utilisateurs SIG une méthode de partage de cartes électroniques de manière locale ou sur des réseaux et sur Internet. Il assure une connexion en temps réel aux données pour que l'affichage des données de l'utilisateur soit dynamique.

**ArcScene** : représente le cœur de l'extension 3D Analyste. Il fournit l'interface pour la visualisation de plusieurs couches de données 3D, la visualisation des données, la création de surfaces et l'analyse des surfaces.

**ArctoolBox** : fournit un environnement pour la réalisation d'opérations de géotraitement. Une série d'assistants et d'outils vous guide pas à pas dans de nombreuses tâches de géotraitement, y compris des conversions de données.

**Desktop Administrateur** : est un gestionnaire de licence. Il contrôle l'accès aux applications du logiciel et permet de partager les fonctions du programme (fonctions flottantes) entre les ordinateurs du réseau.

Le logiciel ArcView constitue une solution de visualisation de données d'un SIG, de requêtes et de création de carte conçue pour l'environnement Windows. Elle s'appuie sur la même technologie d'architecture que l'application ArcInfos et les autres produits ArcGis.

**CHAPITRE 4 :**  
**ESTIMATION DES RESERVES**  
**DES COUCHES 2 ET 3 DU PANNEAU 8**  
**PAR ARCGIS**

## Introduction:

Notre travail porte sur l'étude des couches 2 et 3 de la série phosphatée du Panneau 8 du bassin Gantour de Benguerir, dans le but de déterminer les zones les plus rentables dans ce panneau et estimer les réserves des niveaux exploitables.

Pour atteindre ce but, nous avons procédé comme suite :

- La réalisation d'un profil litho-stratigraphique du Box cut
- La préparation de la base des données à partir des puits
- Le Calcul de la puissance des couches phosphatée et les côtes de leurs toits
- L'élaboration des cartes structurales, d'isoteneurs en BPL et en CO<sub>2</sub> et des cartes d'isopuissances
- L'établissement des cartes Listing case en fonction de la qualité du phosphate
- L'estimation des réserves des couches 2 et 3 du panneau étudié

### I. Profil litho-stratigraphique du Box cut :

Le profil litho-stratigraphique qu'on a réalisé par la méthode manuelle présente les étapes suivantes :

- Choix de l'échelle :  
 $X = 1/5000$  et  $Y = 1/500$
- Choix de 9 puits le long du tranchée centrale du panneau 8 ou ce qu'on appelé Box cut et les positionner en respectant la maille 500m entre eux.
- Calcul du plan de comparaison :

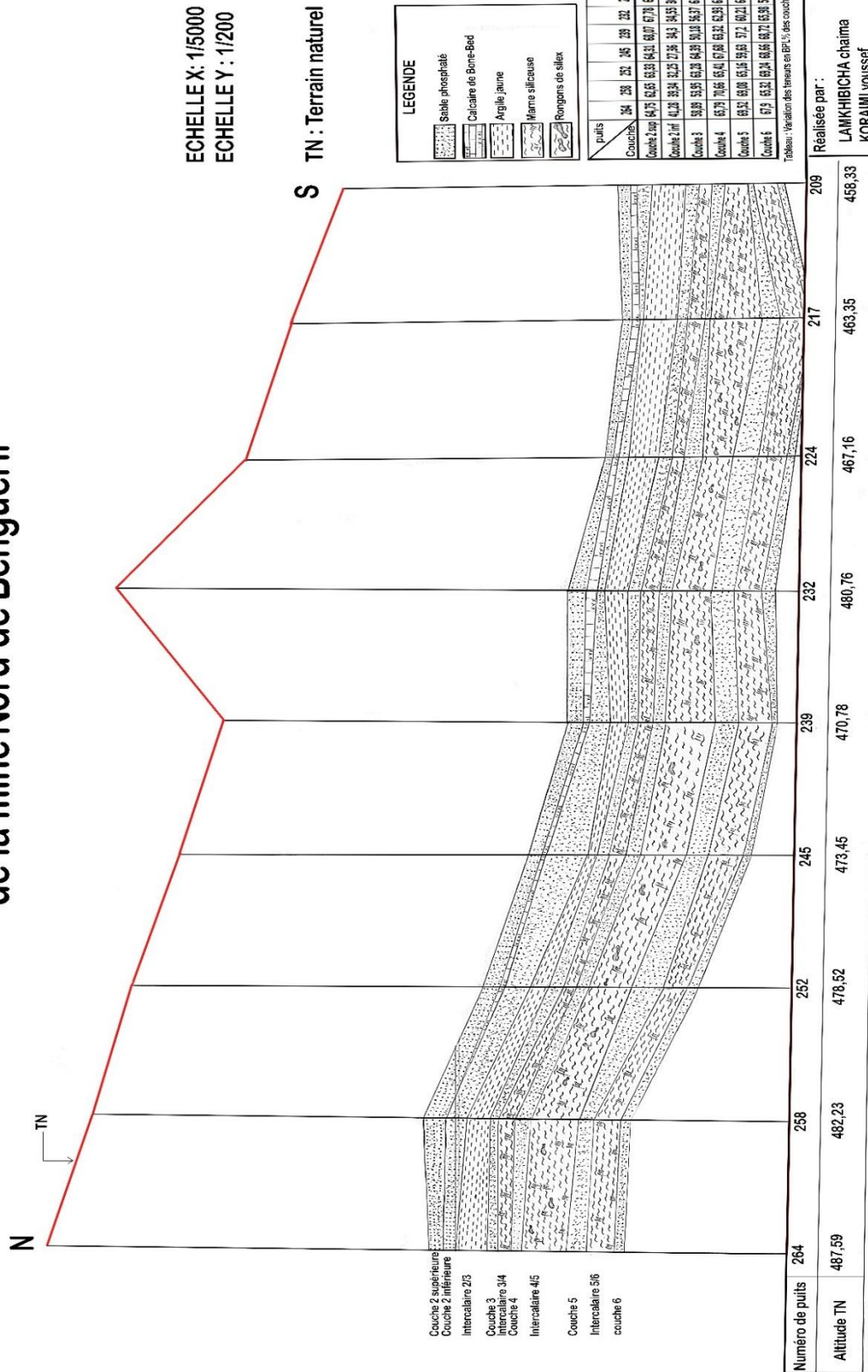
### **PC= Zmin-profondeur maximale**

Ce plan de comparaison sera soustrait du Z de chaque puits pour avoir les reliefs ou les altitudes des puits ce qui permet de donner le terrain naturel.

- Chercher les paramètres : Z du toit et Z du mur pour chaque couche et intercalaire puis les projeter au niveau des puits, et faire la corrélation entre les points pour tracer les différentes couches présentées dans la tranchée choisit afin d'étudier l'évolution des couches phosphatées.
- Mettre le titre du profil et la légende correspondante.



# Profil lithostratigraphique de Box cut du panneau 8 de la mine Nord de Benguerir



**Figure 13: Profil litho-stratigraphique du Box cut du panneau 8.**

## **Interprétations :**

La couche 2 supérieure montre une diminution continue de puissance du Nord vers le Sud avec des teneurs maximales en BPL au niveau des puits 239 et 232.

Le Bone bed montre une baisse de puissance du Sud vers le Nord où il disparaît totalement au niveau du puits 258.

Du Nord vers le puits 245, la puissance de la couche 2 inférieure augmente et à partir de celui-ci elle diminue vers le Sud. Les teneurs en BPL% sont généralement faibles sauf au niveau du puits 217.

Les couches 3 et 4 présentent des puissances constantes et une distribution en BPL homogène tout au long du transect.

La couche 5 possède des fortes puissances entre les puits 258 et 217 au niveau desquels la puissance diminue de chaque côté vers le Nord et vers le Sud. Elle possède également une baisse de teneurs en BPL depuis le puits 264 jusqu'au puits 239.

La couche 6 montre une puissance qui diminue du Nord vers le Sud et se disparaît au niveau du puits 217 car le niveau est atteint.

Les intercalaires marne siliceuse et rognons de silex sont continués et gardent leurs puissances le long du transect.

D'une manière générale, les couches phosphatées se caractérisent par une puissance qui diminue du Nord vers le Sud avec des fortes teneurs en BPL situées vers le Nord, ce qui permet de déduire que la partie Nord du panneau 8 se situe vers le bassin et ceci peut être confirmé par la variation du Bone bed.

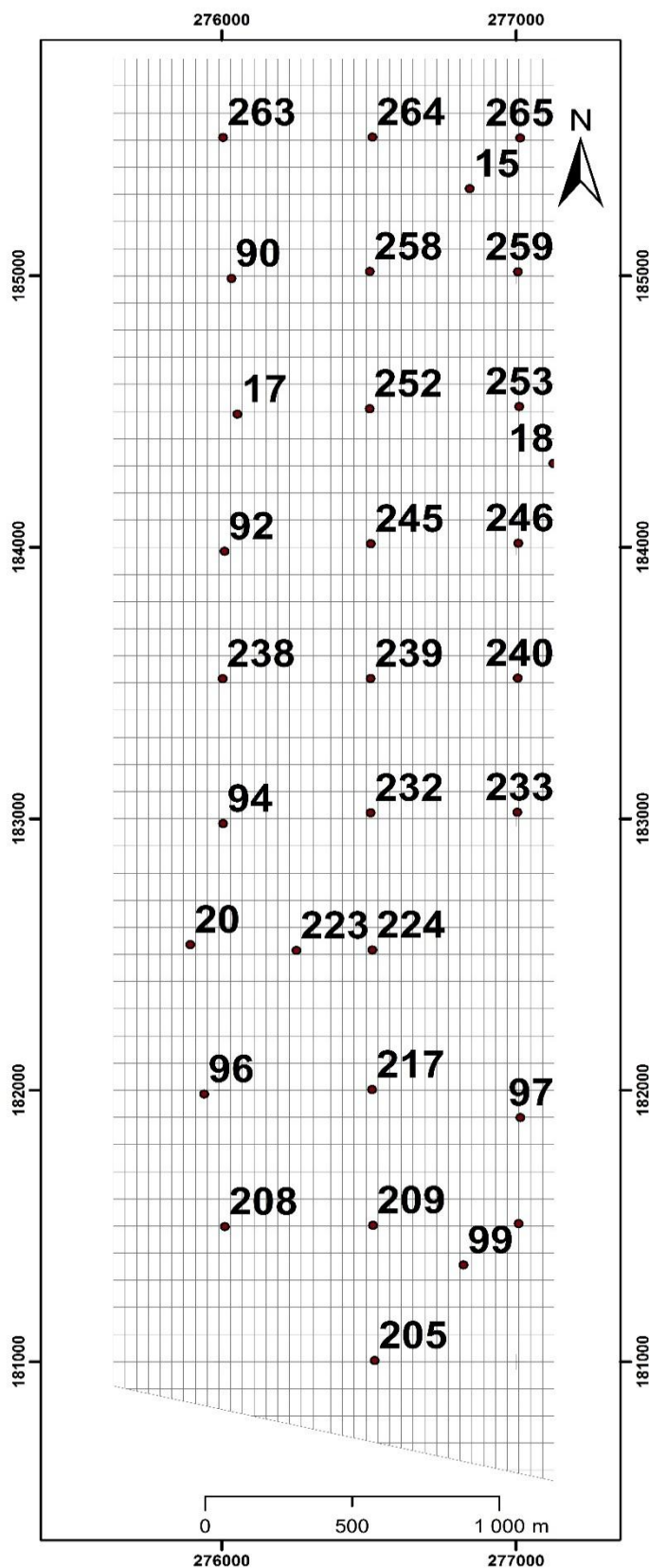
## **II. Préparation de la base des données :**

L'étude d'un niveau phosphaté consiste à rassembler les données nécessaires qui le caractérisent, afin de pouvoir étudier les variations de ses teneurs et ses structures dans le temps et dans l'espace.

La base des données que nous avons élaborée est extraite de données de 52 puits partagés en 34 puits à l'intérieur du panneau et 18 puits qui les entourent pour pouvoir faire l'interpolation des données (fig.14).

Elle contient les paramètres suivants :

- Les coordonnées cartésiennes X, Y et Z qui permettent de déterminer la position de chaque puits dans l'espace.
- Z du toit : Les côtes du toit de la couche s'obtiennent par la différence d'altitude entre la surface de la terre et celle du toit de la couche. En cas d'absence, la couche est considérée comme déjà érodée.
- PT (m) : correspond à la puissance totale (minéralisée + intercalaires).
- PM (m) : correspond à la puissance minéralisée (phosphatée) sans les intercalaires.
- Les teneurs en BPL (Bone Phosphate of Lime) et CO<sub>2</sub> (Dioxyde de carbone), au cas où il y a un intercalaire ou une dalle dans la couche, on calcule la moyenne pondérée pour les niveaux phosphatés.
- PI (m) : correspond à la puissance des intercalaires.



**Figure 14:** Localisation des puits dans le panneau 8.

**Tableau 2: Exemple de la base des données (couche 3).**

Puits	X	Y	Z	Z du toit	PM	PT	BPL	CO2	PI
15	276 842,47	185 320,49	496,40	439,75	0,30	0,30	70,05	3,00	2,70
17	276 052,85	184 490,64	477,30	437,80	1,20	1,20	61,70	4,48	1,00
18	277 126,98	184 308,78	477,05	428,15	2,20	2,20	64,84	4,90	2,00
20	275 892,46	182 536,29	470,11	425,41	1,55	1,55	58,73	4,20	2,85
46	276 004,00	185 998,50	488,50	448,80	1,60	1,80	56,10	2,84	3,40
90	276 032,50	184 990,50	482,24	442,84	1,80	1,80	54,76	4,35	2,70
92	276 009,20	183 985,00	478,41	433,91	1,60	1,60	65,93	4,34	4,30
94	276 004,00	182 982,20	479,89	423,99	1,20	1,20	52,79	3,53	2,40
96	275 940,00	181 986,20	465,87	425,42	1,45	1,45	56,02	5,36	3,15
97	277 014,70	181 899,20	460,75	405,60	1,90	2,55	53,34	5,07	3,20
99	276 821,70	181 356,35	458,18	403,08	1,10	1,50	48,63	4,45	3,20
198	276 499,30	180 482,70	454,51	405,91	1,20	1,20	60,29	5,60	4,05
199	276 997,60	180 499,80	455,03	397,43	1,40	1,40	56,66	4,92	3,30
204	275 500,30	180 989,50	467,04	429,29	1,35	1,55	54,50	2,53	1,60
205	276 519,20	181 004,80	456,56	406,66	1,50	1,50	58,27	4,99	3,80
207	275 497,80	181 432,90	465,81	431,72	1,25	1,50	50,24	3,79	2,65
208	276 010,40	181 497,80	458,35	421,80	0,85	0,85	49,54	4,03	3,85
209	276 513,50	181 502,50	458,33	410,33	1,00	1,45	45,92	4,38	3,35
210	277 009,10	181 508,80	459,32	402,07	0,60	0,60	65,93	4,90	3,35
216	275 498,90	181 985,00	462,33	433,78	1,10	1,10	50,99	4,65	2,95
217	276 510,50	182 002,50	463,35	412,85	0,80	0,80	45,36	3,22	3,80
222	275 496,50	182 500,00	471,96	432,16	1,60	1,60	59,72	3,62	2,40
223	276 253,30	182 514,80	472,51	418,21	1,20	1,20	58,06	5,92	4,50
224	276 512,00	182 516,60	467,16	415,46	1,30	1,30	62,55	3,41	2,75
225	277 005,00	180 514,80	462,90	406,75	1,55	1,55	63,96	4,96	3,55
231	275 497,43	183 000,75	482,06	434,66	1,05	1,25	48,30	3,07	2,90
233	277 004,22	183 024,11	466,53	411,93	2,20	2,20	56,52	3,67	2,90
237	275 497,00	183 508,00	482,56	437,56	1,10	1,10	49,57	4,64	2,00
238	276 002,50	183 516,00	480,00	428,35	1,55	1,55	57,16	4,09	3,40
239	276 505,70	183 516,30	470,78	421,33	1,00	1,00	50,18	3,09	1,95
240	277 005,70	183 517,60	468,67	414,97	1,30	1,30	45,73	2,74	2,55
241	277 502,40	183 533,50	469,43	412,53	1,25	1,50	56,84	4,04	2,10
244	275 498,00	184 010,60	487,84	439,19	1,40	1,40	65,90	3,92	2,10
245	276 506,30	184 013,00	473,45	430,61	1,35	1,35	64,39	4,03	1,10
246	277 007,50	184 015,20	473,51	425,16	1,85	1,85	62,38	4,55	1,35
247	277 507,80	184 015,50	481,01	421,21	1,65	1,85	67,44	5,49	1,80
251	275 497,70	184 507,80	481,54	441,20	1,30	1,40	56,13	5,12	0,70
252	276 502,30	184 510,50	478,52	435,32	1,70	1,70	63,28	3,79	1,90
253	277 010,70	184 518,40	480,76	430,51	1,85	1,85	62,84	4,73	1,75
254	277 505,50	184 518,40	486,57	435,57	1,70	1,70	64,33	3,62	1,60
257	275 495,80	185 009,00	482,45	444,55	1,65	1,65	54,07	8,45	2,45
258	276 503,00	185 016,00	482,23	441,18	0,95	0,95	53,95	3,32	2,45
259	277 006,60	185 014,80	493,56	440,96	1,90	1,90	59,29	3,75	2,45
260	277 504,00	185 015,40	485,61	436,46	1,30	1,30	47,96	3,50	2,25
262	275 499,60	185 507,50	486,40	453,20	0,95	0,95	50,15	3,67	2,60
263	276 004,00	185 509,70	486,50	448,10	0,90	0,90	52,67	3,50	2,70
264	276 511,80	185 510,59	487,59	442,47	1,30	1,30	58,89	3,58	2,80
265	277 014,00	185 507,80	502,35	437,45	1,45	1,70	58,82	5,63	2,60
266	277 509,50	185 518,50	501,95	438,55	1,00	1,00	69,55	4,9	2,4
269	275 503,88	186 011,61	495,98	450,88	1,25	1,25	60,96	4,84	2,70
270	276 502,32	186 012,85	490,62	446,32	1,75	1,75	67,95	4,10	2,70
271	277 003,65	186 021,23	500,05	442,35	1,10	1,10	67,08	4,07	3,25
272	277 505,68	186 021,37	507,36	442,36	0,70	0,70	62,17	3,77	2,30
535	275 495,47	182 244,38	466,28	432,58	1,80	1,80	58,99	4,52	3,10

\* Voir annexe 2 : base de données de la couche 2.

### III. Réalisation des cartes par ARCGIS :

Les cartes structurales, cartes d'isoteneurs et les cartes d'isopuissances sont réalisées à l'aide du logiciel ARCGIS 10.1.

#### 1. Cartes structurales :

La carte structurale est une carte qui représente la structure d'une couche dans le sous-sol, elle montre une succession de courbes de même équidistance appelées : courbes structurales. Ces courbes sont obtenues à partir de l'interpolation des points ayant les mêmes côtes de toit (ou de mur) d'une même couche dans une zone bien définie.

#### 2. Cartes d'isoteneurs :

La carte d'isoteneurs est une carte qui sert à déterminer la variation des teneurs par zone et par couche. Elle représente une succession de courbes d'une équidistance constante. Ces courbes sont obtenues à partir de l'interpolation des points qui représentent des parties d'une même couche ayant la même teneur en BPL ou en CO<sub>2</sub>.

#### 3. Cartes d'isopuissances :

La carte d'isopuissances est une carte qui consiste à déterminer la variation des puissances par zone et par couche, elle est formée par l'ensemble des courbes joignant les points ayant la même épaisseur d'une même couche et qui sont tracées suivant une équidistance constante.

#### Remarque :

La teneur en CO<sub>2</sub> influence la qualité de la couche à cause d'une mousse qu'on obtient lors de la réalisation de l'acide phosphorique, donc elle devrait être faible inférieure à 6% dans la couche phosphatée pour qu'elle soit rentable.

La teneur en BPL : Si la teneur dépasse 50 %, on peut extraire et exploiter la couche phosphatée contrairement, si elle est inférieure à 50%, la couche fera partie du stérile.

### 1-Présentation des cartes structurales :

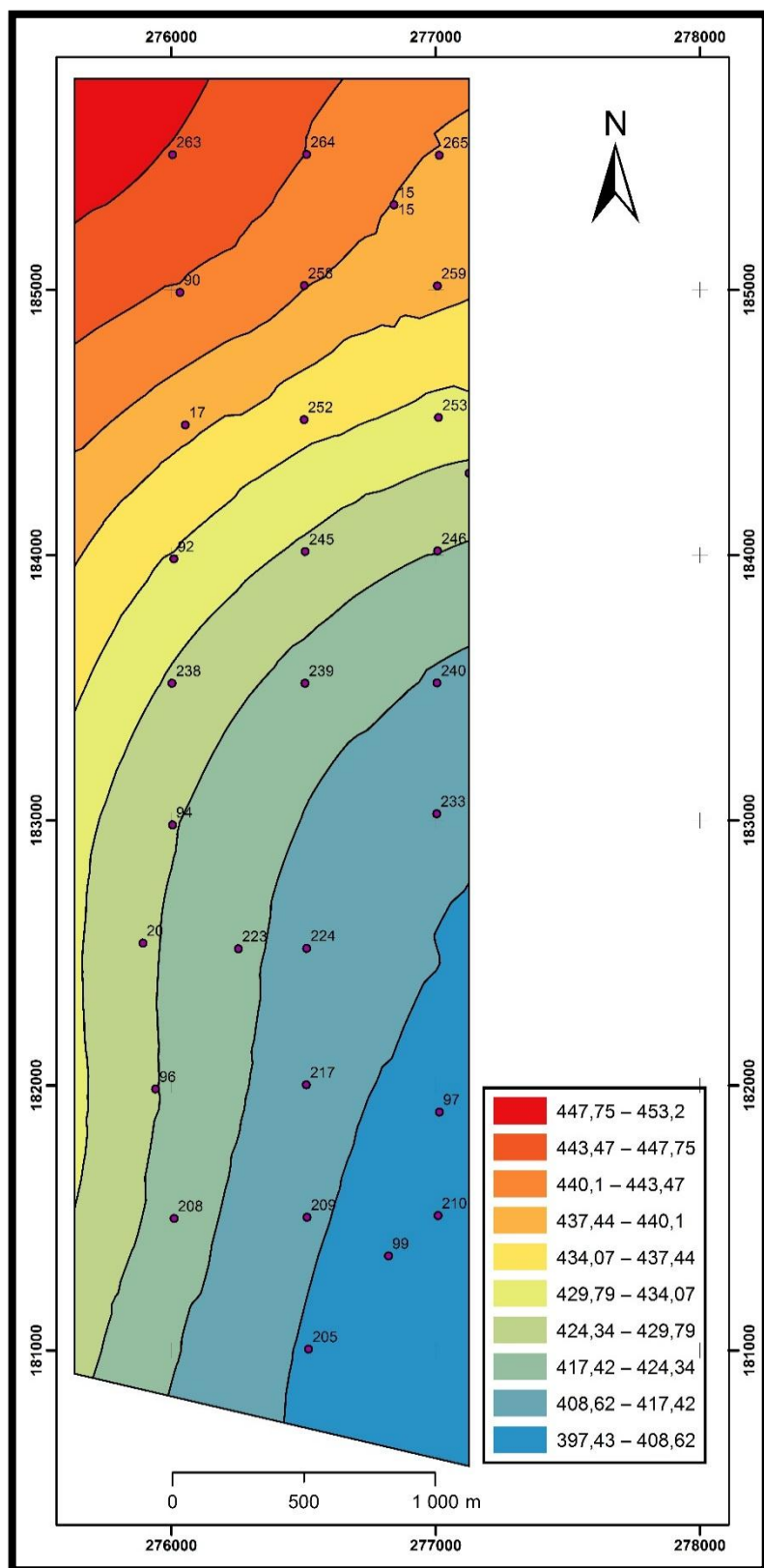


Figure 15: Carte structurale de la couche 3 ©.

#### Commentaires :

Les courbes structurales sont faiblement serrées vers le Nord et espacées vers le Sud, ce qui implique un pendage plus fort au Nord par rapport au Sud. Elles présentent la même allure, d'où on peut déduire que le niveau est tabulaire à faible pendage.

Les hautes altitudes sont dirigées vers le Nord West présente des valeurs de Z du toit comprises entre 447,75 et 453,2.

La direction du pendage est NW-SE vers la partie Nord du panneau et devient tabulaire dans la partie Sud.

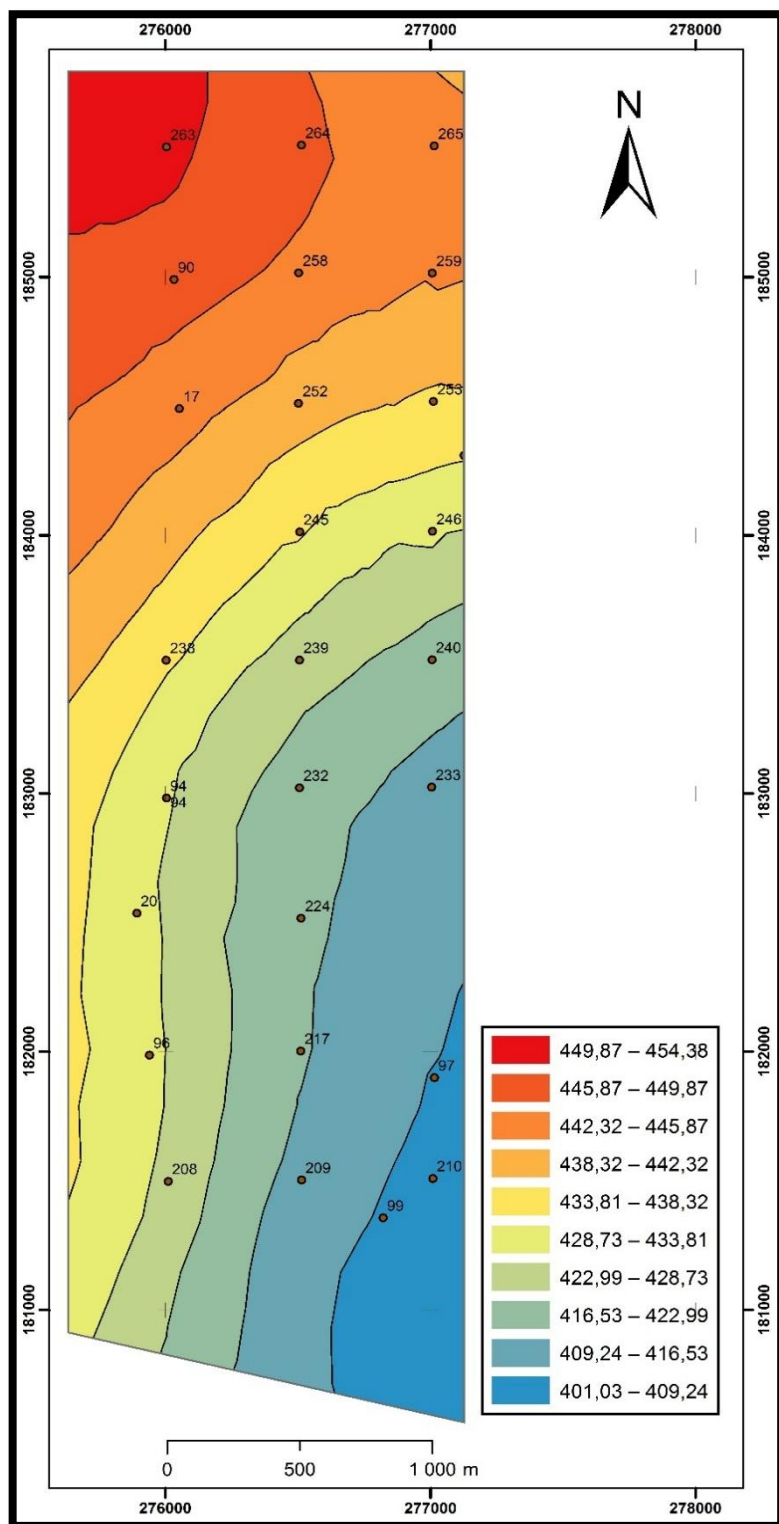


Figure16: Carte structurale de la couche 2 inférieure ©.

**Commentaires:**

Les courbes structurales sont plus ou moins parallèles et espacées le long du panneau, elles présentent la même allure donc le niveau est tabulaire à faible pendage.

La couche présente une diminution des altitudes du Nord-ouest vers le Sud-Est.

La direction du pendage est NW-SE au centre et vers le Nord et devient tabulaire vers le Sud.



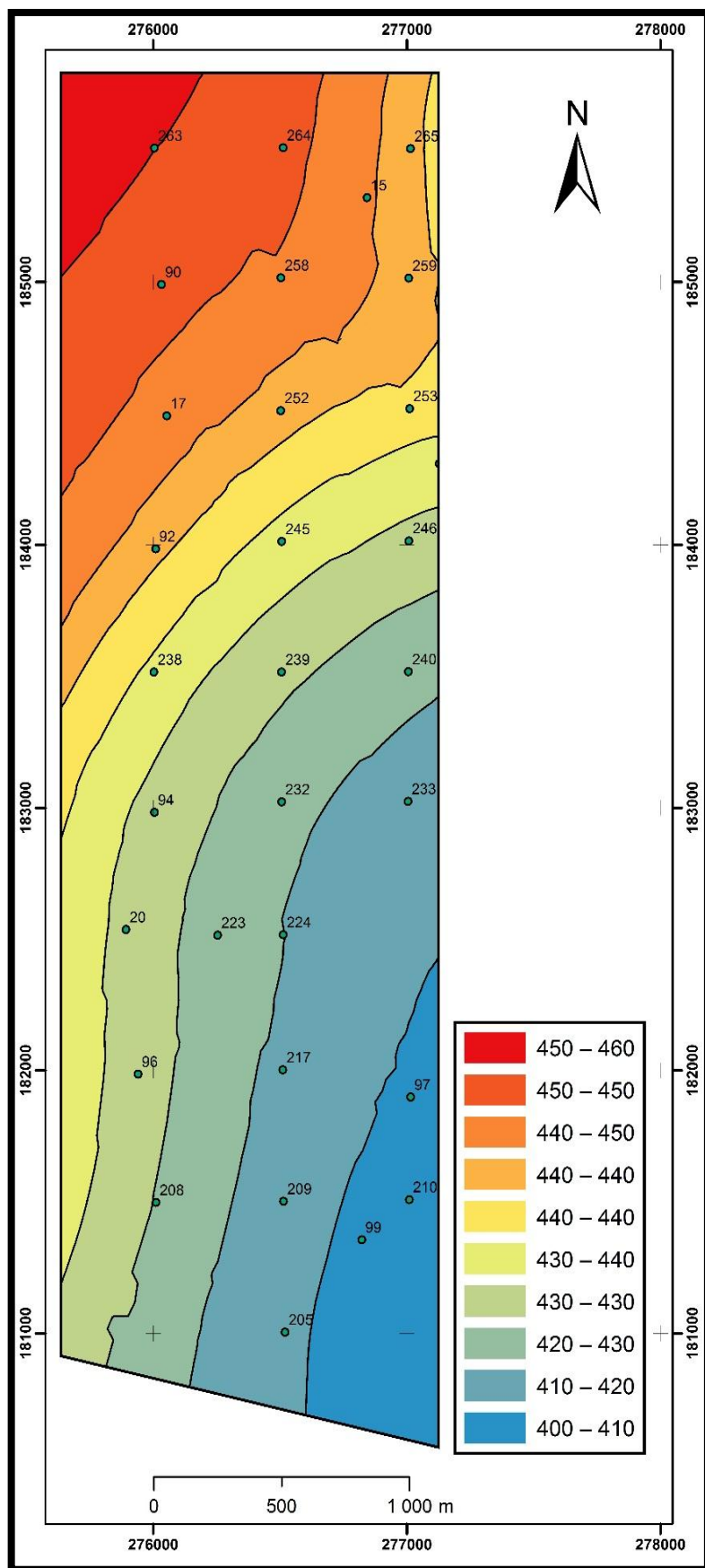


Figure 17 : Carte structurale de la couche 2 supérieure©.

**Commentaires :**

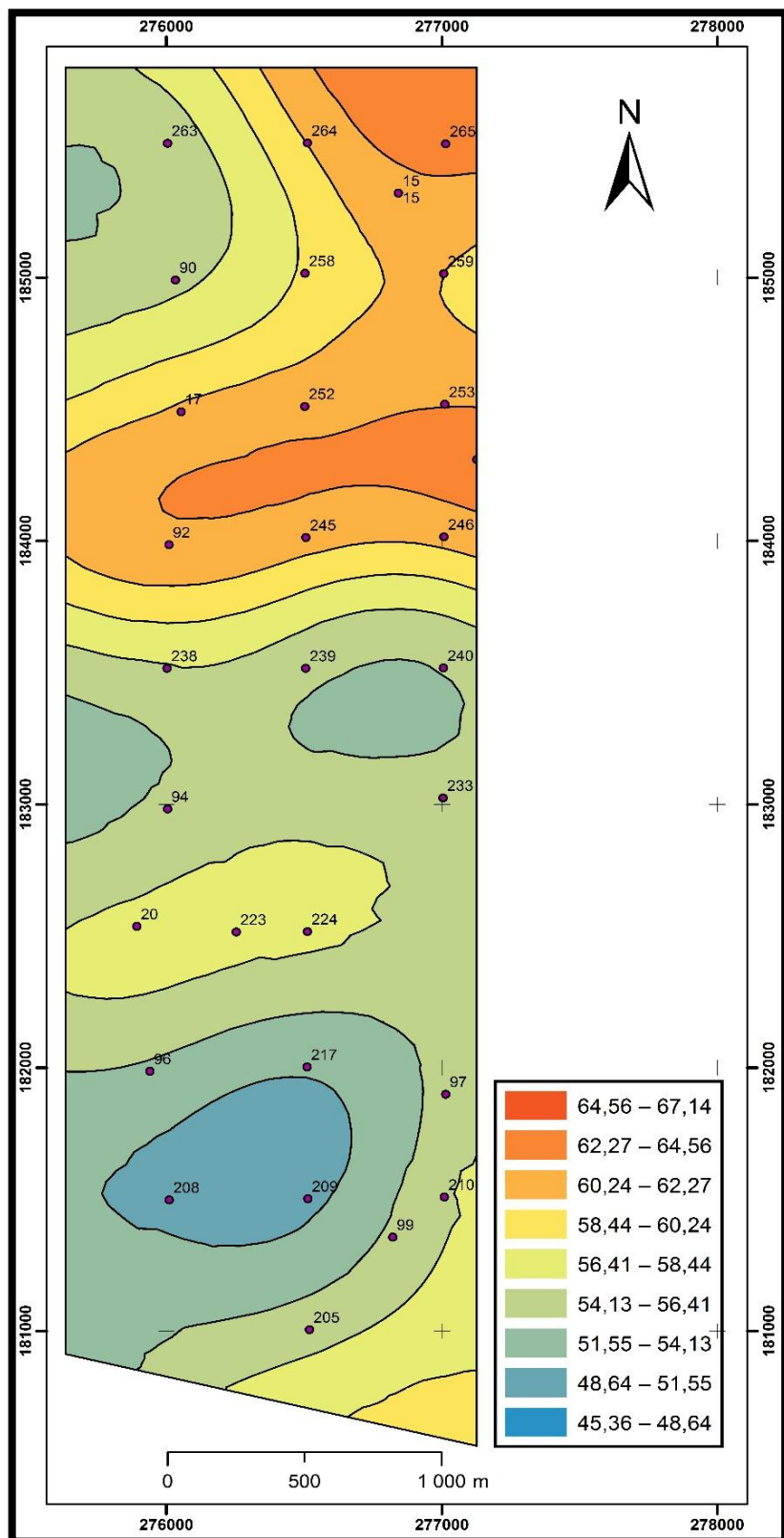
Les courbes structurales sont moyennement serrées au centre et deviennent espacées vers les extrémités Nord et Sud du panneau, ce qui montre un pendage plus fort au centre.

La direction du pendage tout au long du panneau est orienté NW-SE.

Les altitudes de la couche augmentent du Sud-Est vers le Nord-ouest.

Le sens du pendage est toujours SE au Nord du panneau.

## 2-Présentation des cartes d'isoteneurs en BPL % :



### Commentaires :

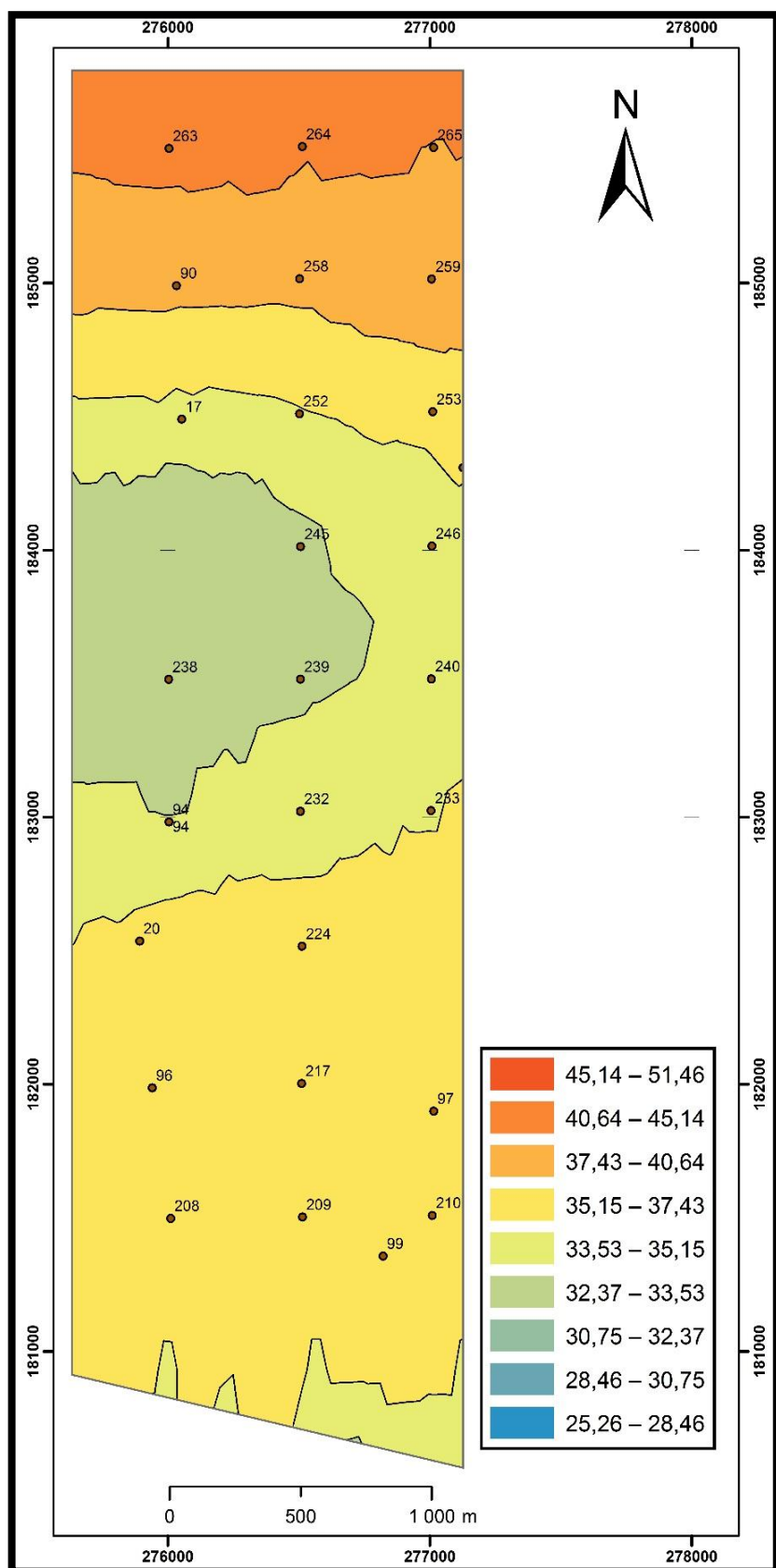
Les teneurs en BPL de cette couche sont généralement moyennes et varient entre 45,36% et 67,14%.

Les teneurs élevées en BPL est entre 58,44% et 67,14% et se situent vers le Nord près des puits N° 253 ,245 et 92.

Les teneurs faibles et qui ne dépassent pas 56% sont localisées dans la partie centrale du panneau.

Vers le Sud, se trouve la plus basse teneur qui est de 45%, elle se localise au niveau des puits N°208 et 209.

**Figure 18:** Carte d'isoteneurs en BPL% de la couche 3 ©.



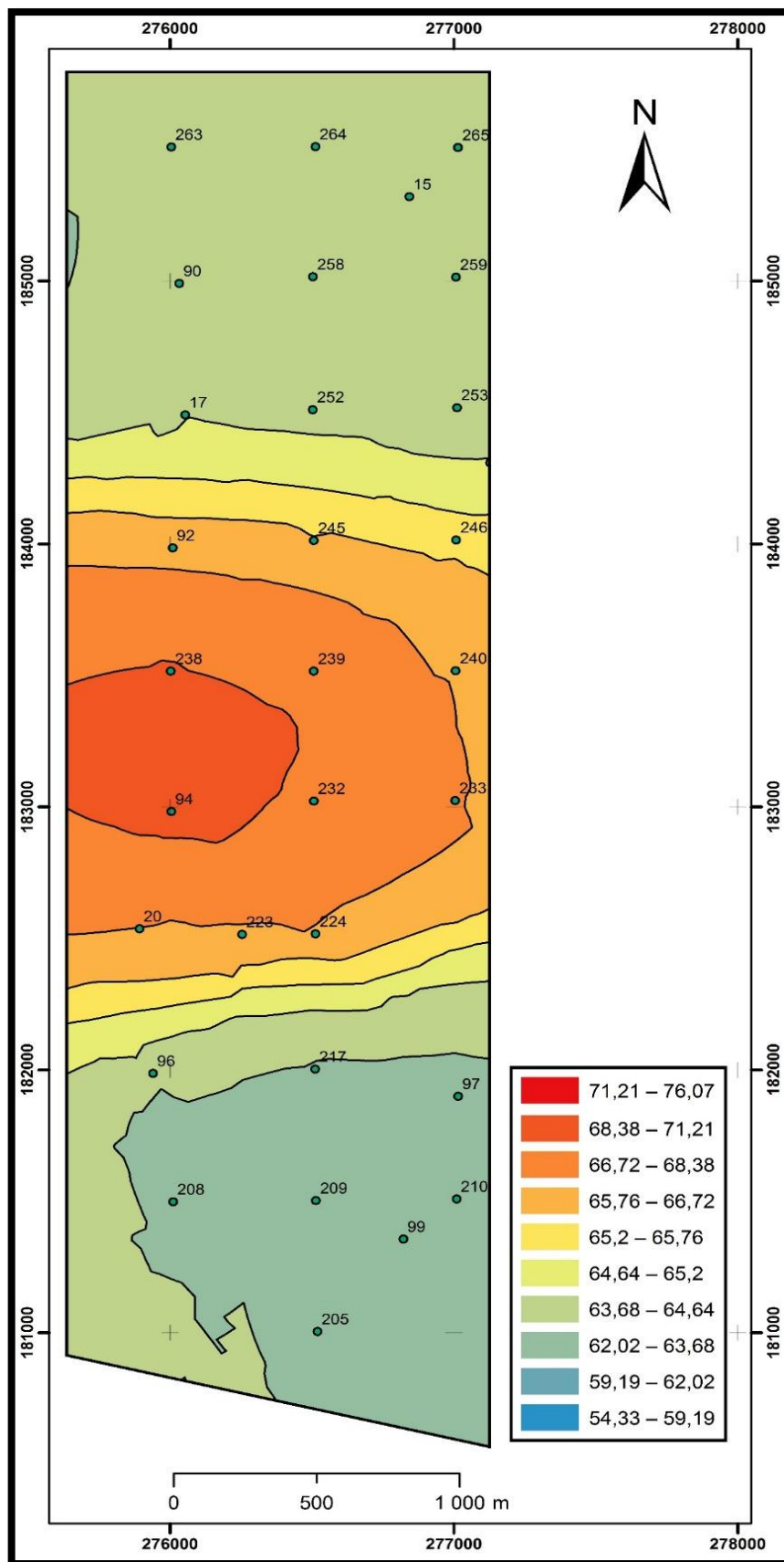
**Commentaires :**

La couche 2 inférieure montre des teneurs très faibles qui varient entre 25,26% et 51,46% tout au long du panneau.

Cette couche n'est pas exploitable à cause de ses basses teneurs en BPL.

On peut augmenter la teneur en BPL de ce niveau avec un lavage des phosphates.

**Figure 19:** Carte d'isoteneurs en BPL% de la couche 2 inférieure ©.



### Commentaires :

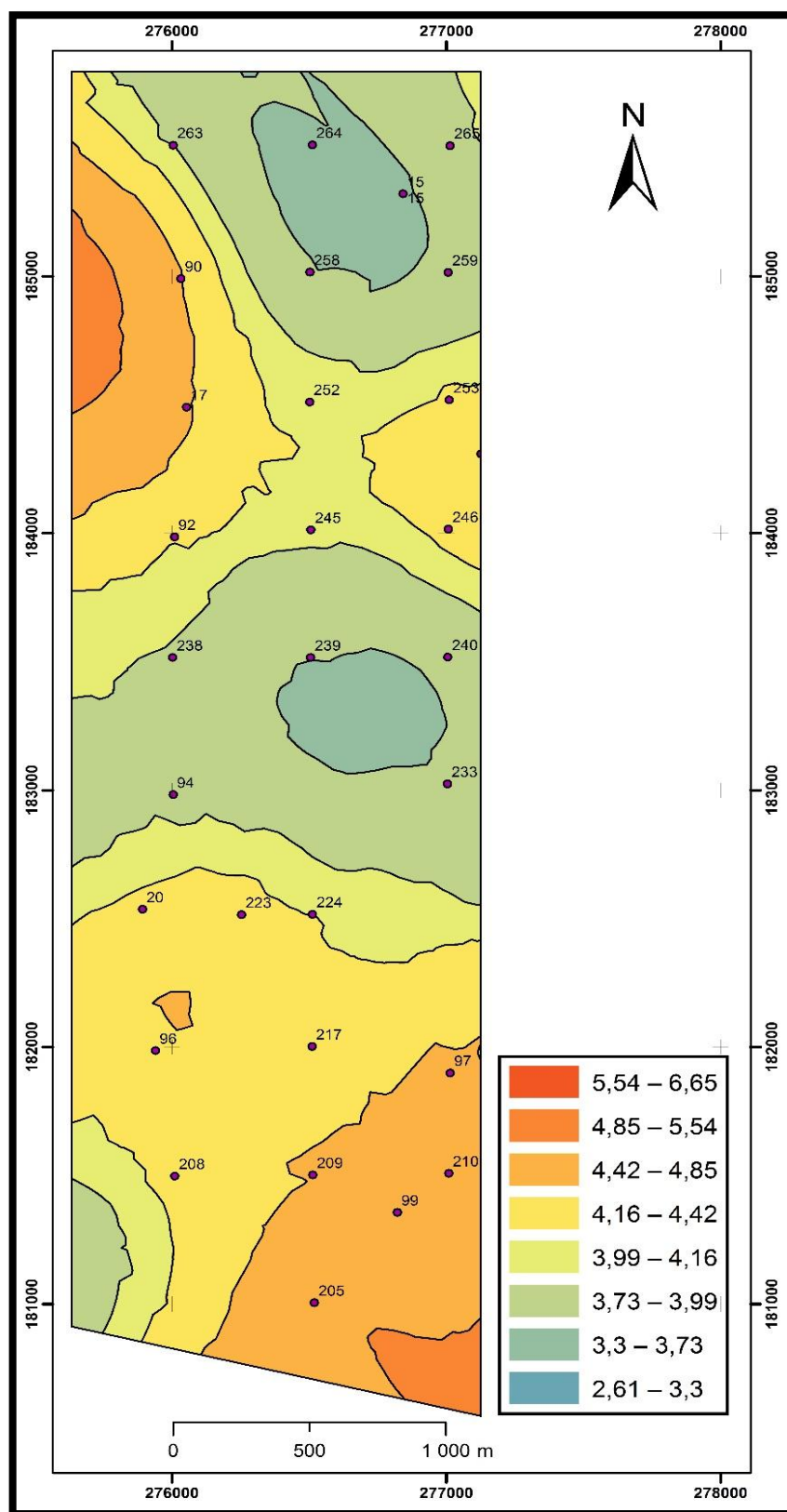
Généralement la couche 2 supérieure est caractérisée par des teneurs importantes en BPL qui peuvent atteindre 76%.

Les teneurs élevées sont présentées au centre du panneau au niveau des puits N° 94 et 238.

Les extrémités Nord et Sud montrent des teneurs moyennes entre 54% et 64% aux niveaux des puits N° 258, 209, 217, 99...

Figure 20 : Carte d'isoteneurs en BPL% de la couche 2 supérieure©.

### 3-Présentation des cartes d'isoteneurs en CO<sub>2</sub>% :



#### Commentaires :

Cette couche présente une variation allant de 2,61% jusqu'à 6,65%.

Les plus basses teneurs sont observées dans la partie centrale au niveau des puits N° 239 et 233, et vers le NE du panneau près des puits N° 258 et 264.

Les hautes teneurs sont présentées vers le NW et vers le Sud.

Figure 21: Carte d'isoteneurs en CO<sub>2</sub>% de la couche 3 ©.

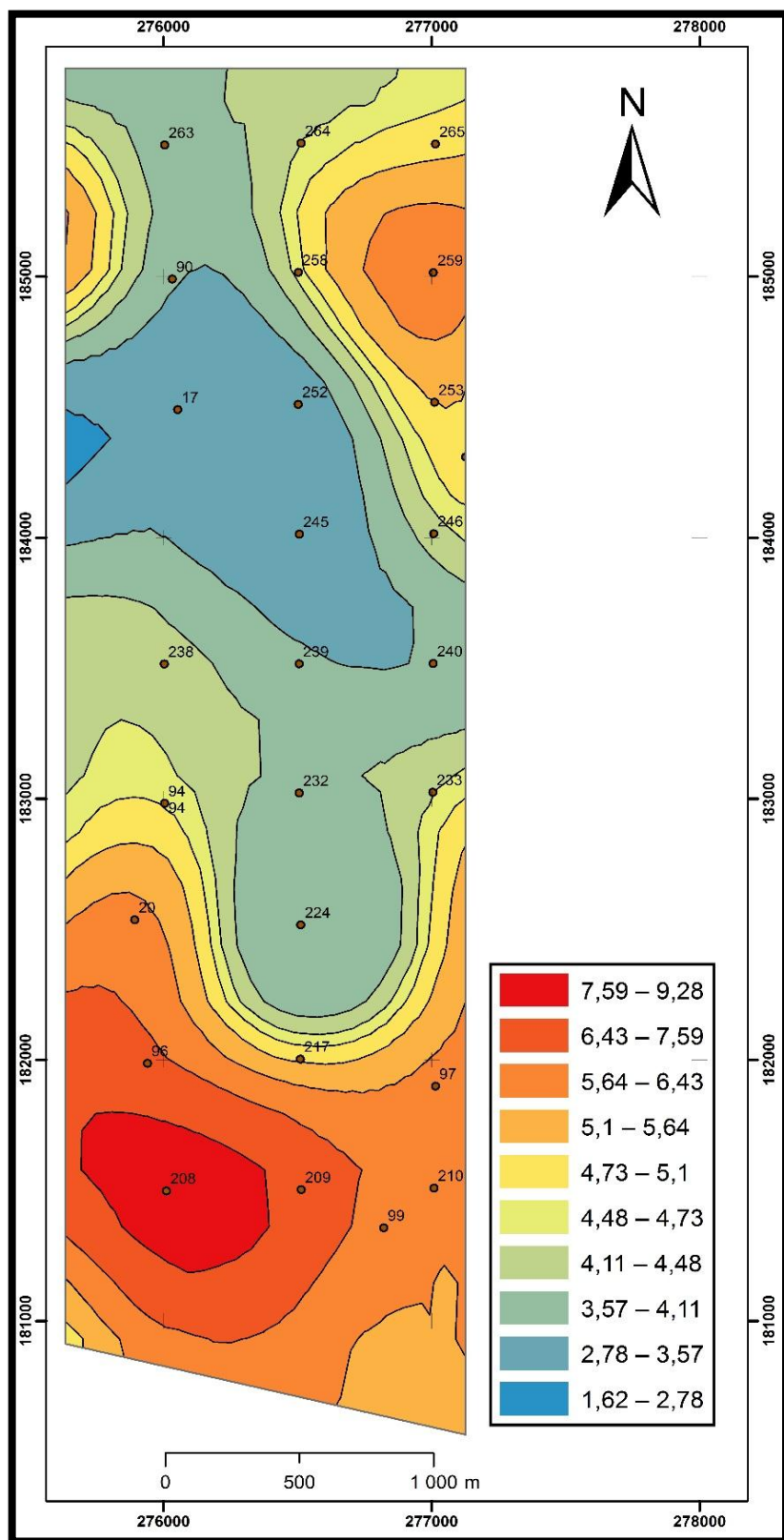


Figure 22: Carte d'isoteneurs en CO<sub>2</sub>% de la couche 2 inférieure ©.

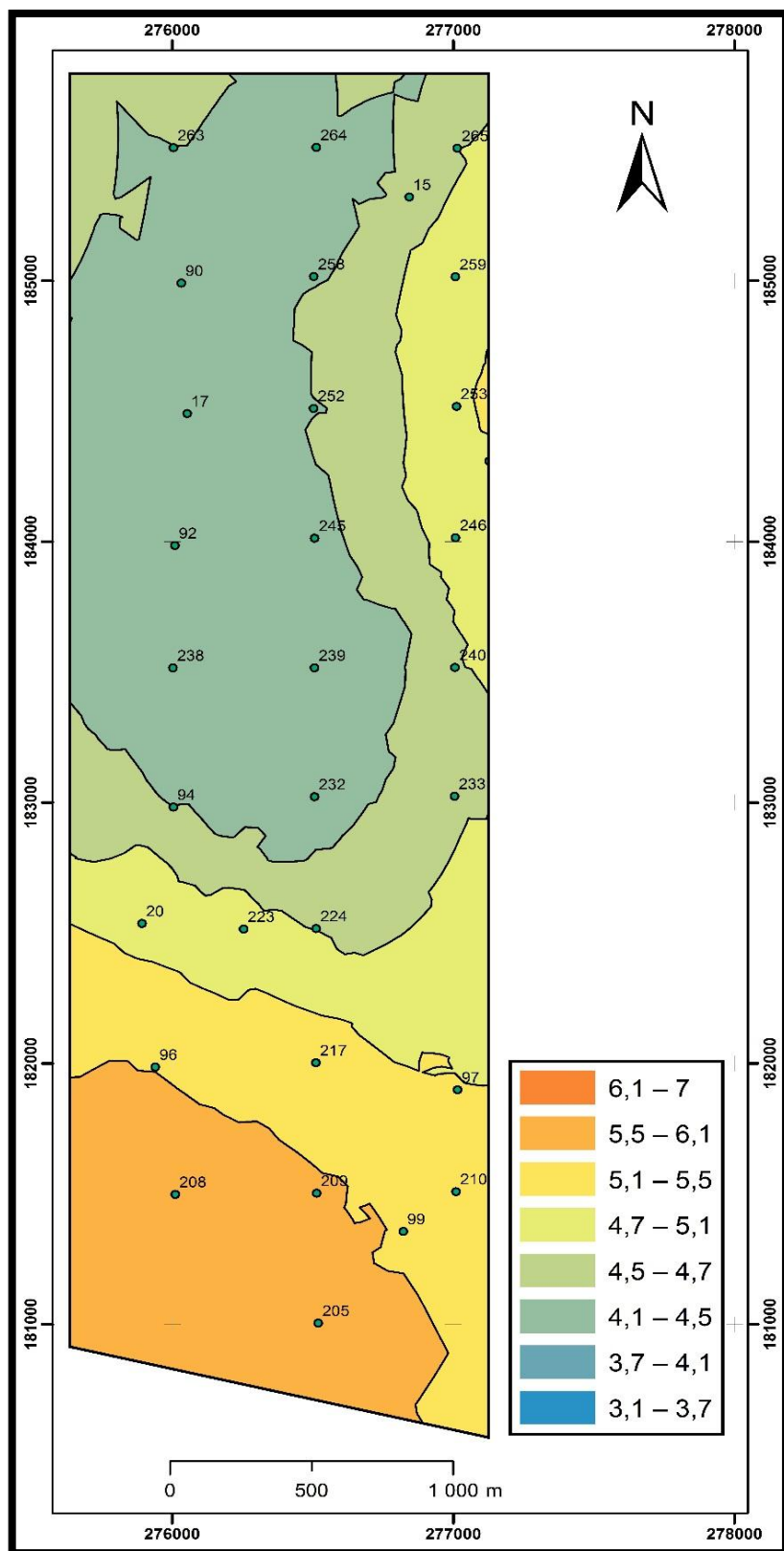
### Commentaires :

La couche 2 inférieure à des teneurs comprises entre 1,62% et 9,28%.

Les plus faibles teneurs entre 1,62% et 2,78% occupent le centre du panneau au niveau des puits N°17, 252 et 245.

Les fortes teneurs sont présentées vers les extrémités NE et vers le Sud.

La plus haute teneur se trouve vers le SW au niveau du puits N° 208.



**Commentaires :**

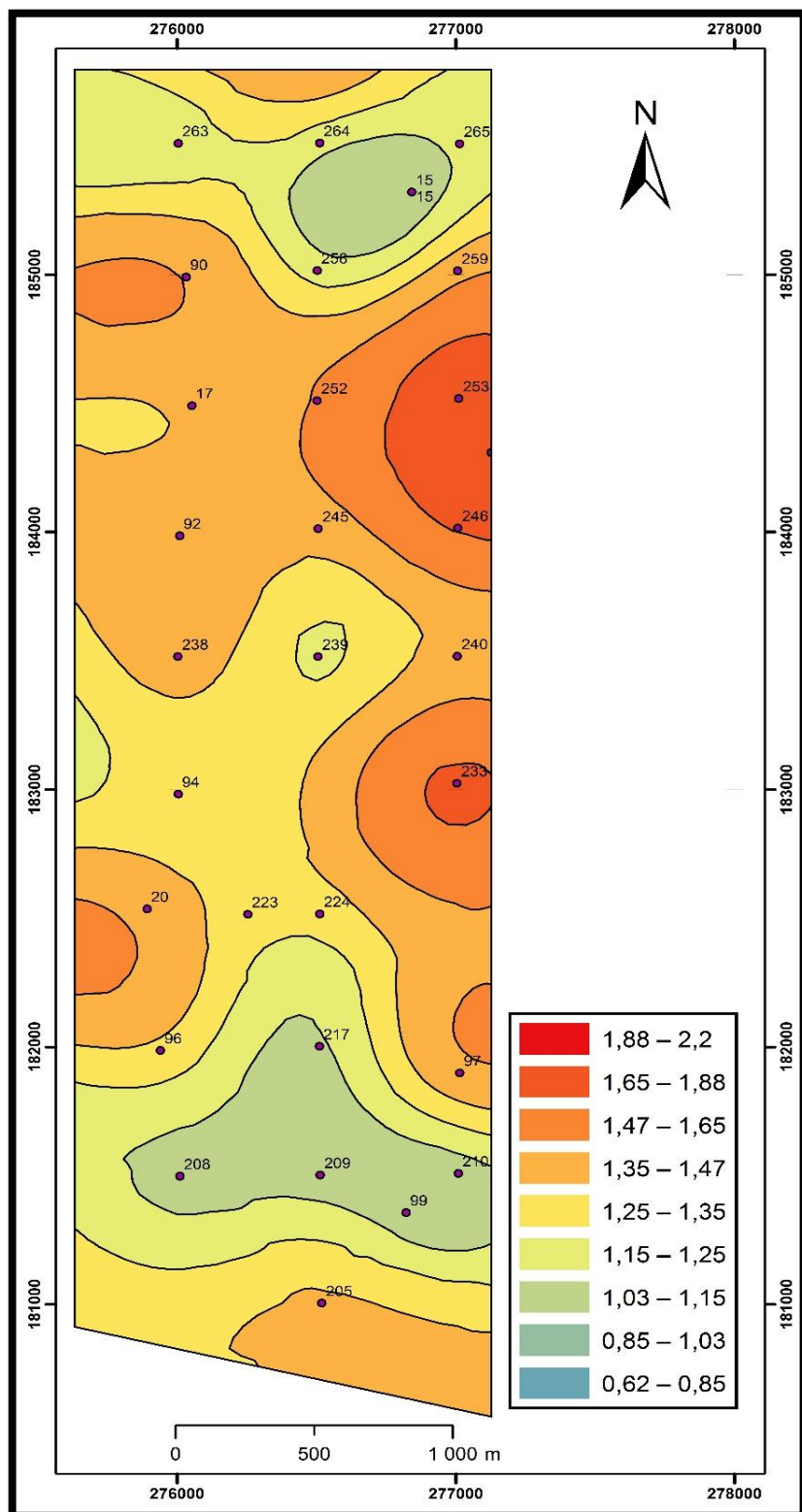
Les teneurs de cette couche varient entre 3,1% et 7%.

Les faibles teneurs entre 3,1% et 4,7% dominent au milieu du panneau et vers la partie Nord.

Les plus fortes teneurs entre 6,1% et 7% occupent la partie SW du panneau au niveau des puits N° 208, 209 et 205.

**Figure 23:** Carte d'isoteneers en CO2% de la couche 2 supérieure ©.

#### 4-Présentation des cartes d'isopuissances :



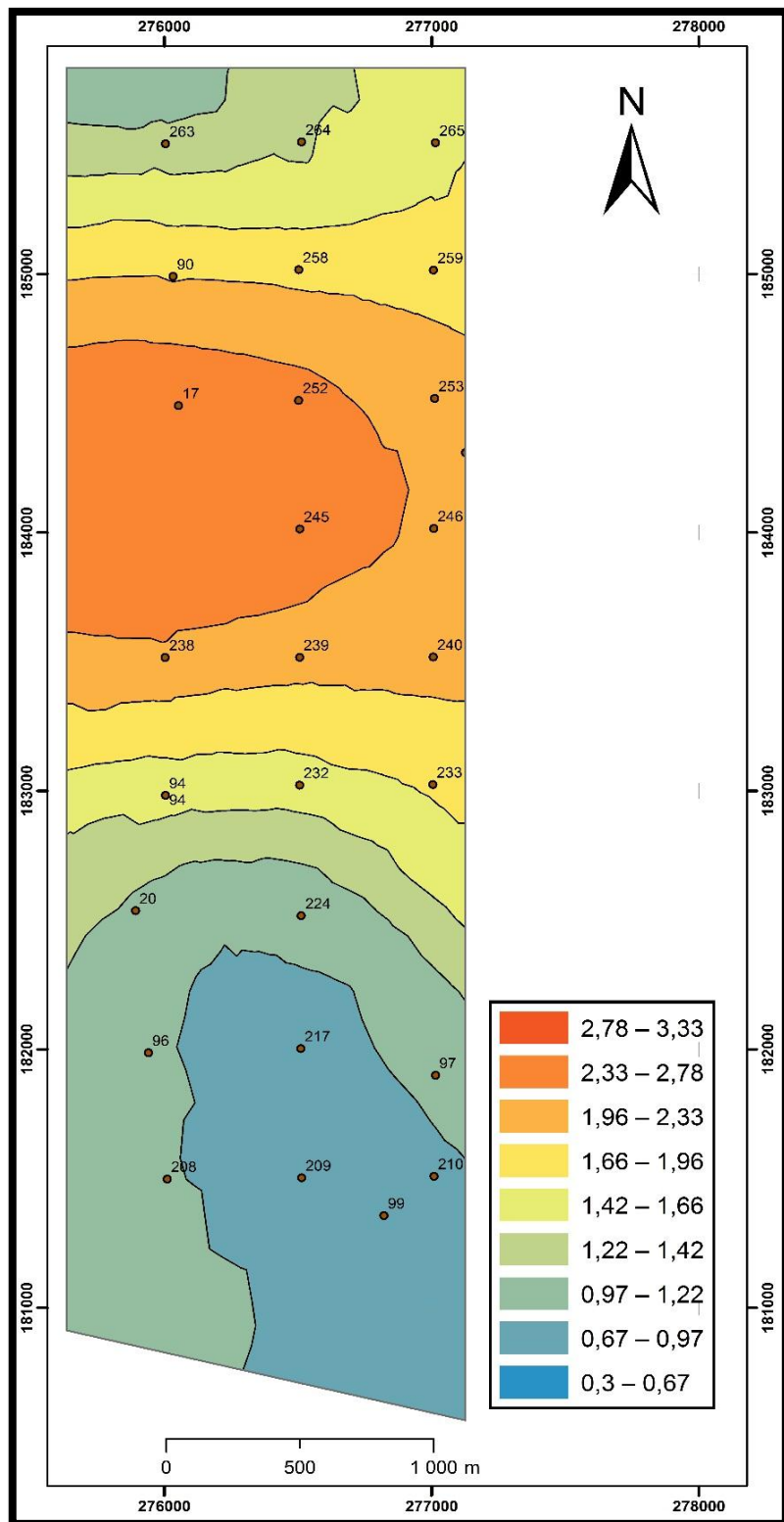
#### Commentaires :

La couche 3 montre dans la majorité du panneau des puissances moyennes qui varient entre 1,15m et 1,88m, la variation est donc plus ou moins constante

La puissance maximale égale à 2,2m située au centre vers l'Est au niveau du puits N°233 et vers le NE au niveau des puits N° 246 et 253.

Figure 24: Carte d'isopuissances de la couche 3 ©.





**Commentaires :**

La couche 2 inférieure présente une variation importante de puissance allant de 0,3m jusqu'à 3,3m.

Les grandes puissances de la couche sont localisées vers le nord du panneau au niveau des puits N°17,252 et 245...

Les plus faibles puissances entre 0,3m et 0,6m dominent vers le SE du panneau au niveau des puits N° 217, 209, 210,99.

Figure 25: Carte d'isopuissances de la couche 2 inférieure ©.

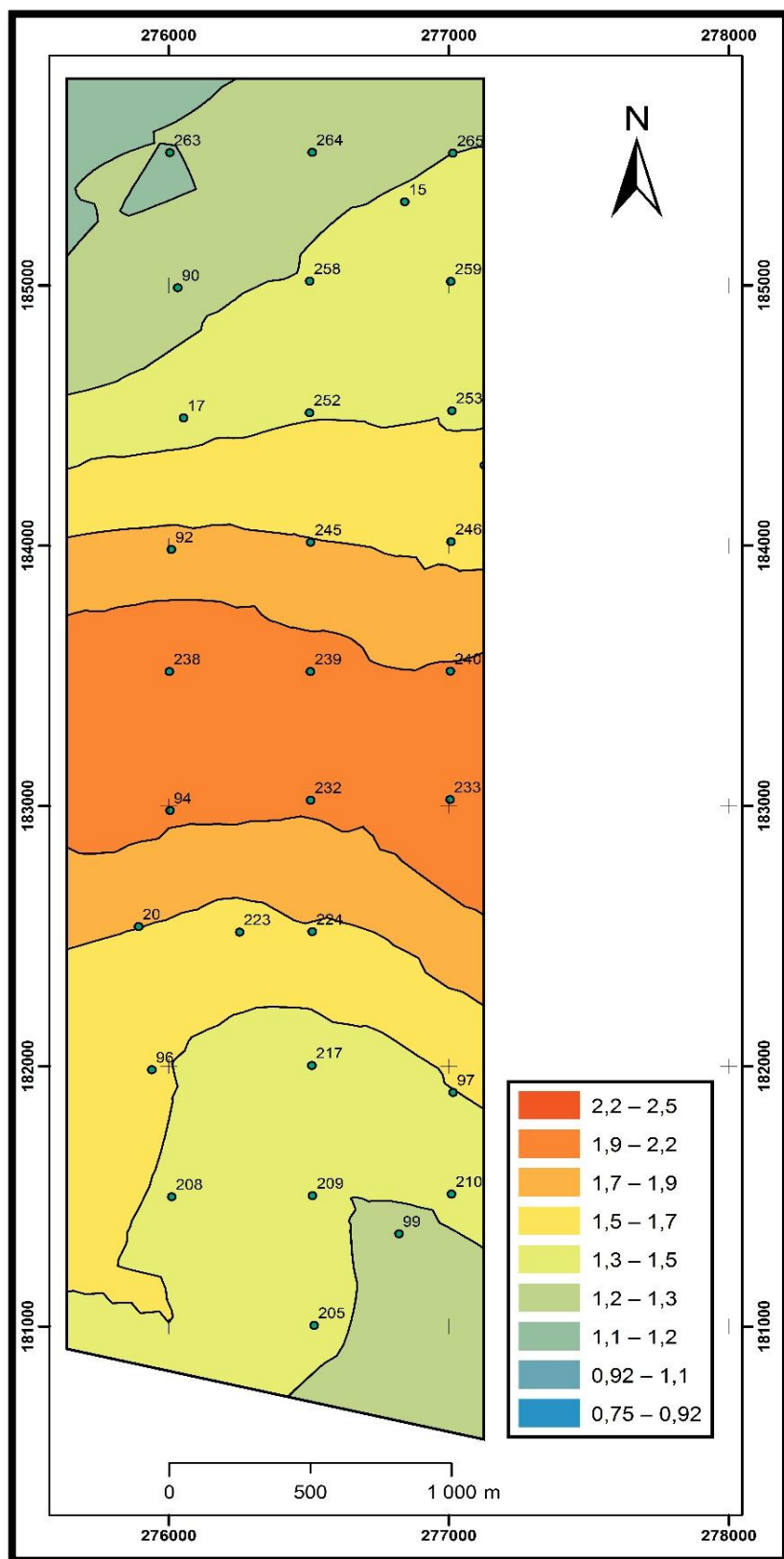


Figure 26: Carte d'isopuissances de la couche 2 supérieure ©.

**Commentaires :**

Les puissances de la couche 2 supérieures s'échelonnent entre 0,75m et 2,5m.

Les puissances maximales entre 2,2m et 2,5m occupent principalement la partie centrale du panneau au niveau des puits N° 238, 239, 232,94...

Les puissances minimales se trouvent vers les deux extrémités Nord et Sud.

#### IV. Etude de qualité :

La charte de qualité est un écrit solennel ou un ensemble des lois constitutionnelles qui étaient destiné à consigner des caractères précis et des teneurs bien déterminées pour le phosphate selon les besoins des clients.

Les fournitures de phosphate demandent une spécification chimique contractuelle (éléments et ses valeurs limites) en précisant la méthode d'analyse utilisée (gravimétrie, absorption atomique, potentiomètre) et dernièrement la méthode d'échantillonnage à effectuer durant la prospection.

Les qualités des phosphates demandées par le client varient en fonction de la teneur en BPL.

On distingue :

Type de phosphate	Teneur en BPL %	Client
Profil BG	58-62	SAFI
TBT (LAVEE)	51-55	YOUSSOUFIA
BT (STANDARD CALCINEE)	56-58	YOUSSOUFIA
AD et EXPORT	62-72	YOUSSOUFIA

**Tableau 3:**Types de phosphate en fonction des teneurs en BPL.

- Lavée : Le phosphate subit un lavage qui lui ajoute de la pureté.
- Calcinée : Elimination de la matière organique et l'humidité.
- AD et Export : La qualité du phosphate est en fonction de la solubilité nitrique et formique.

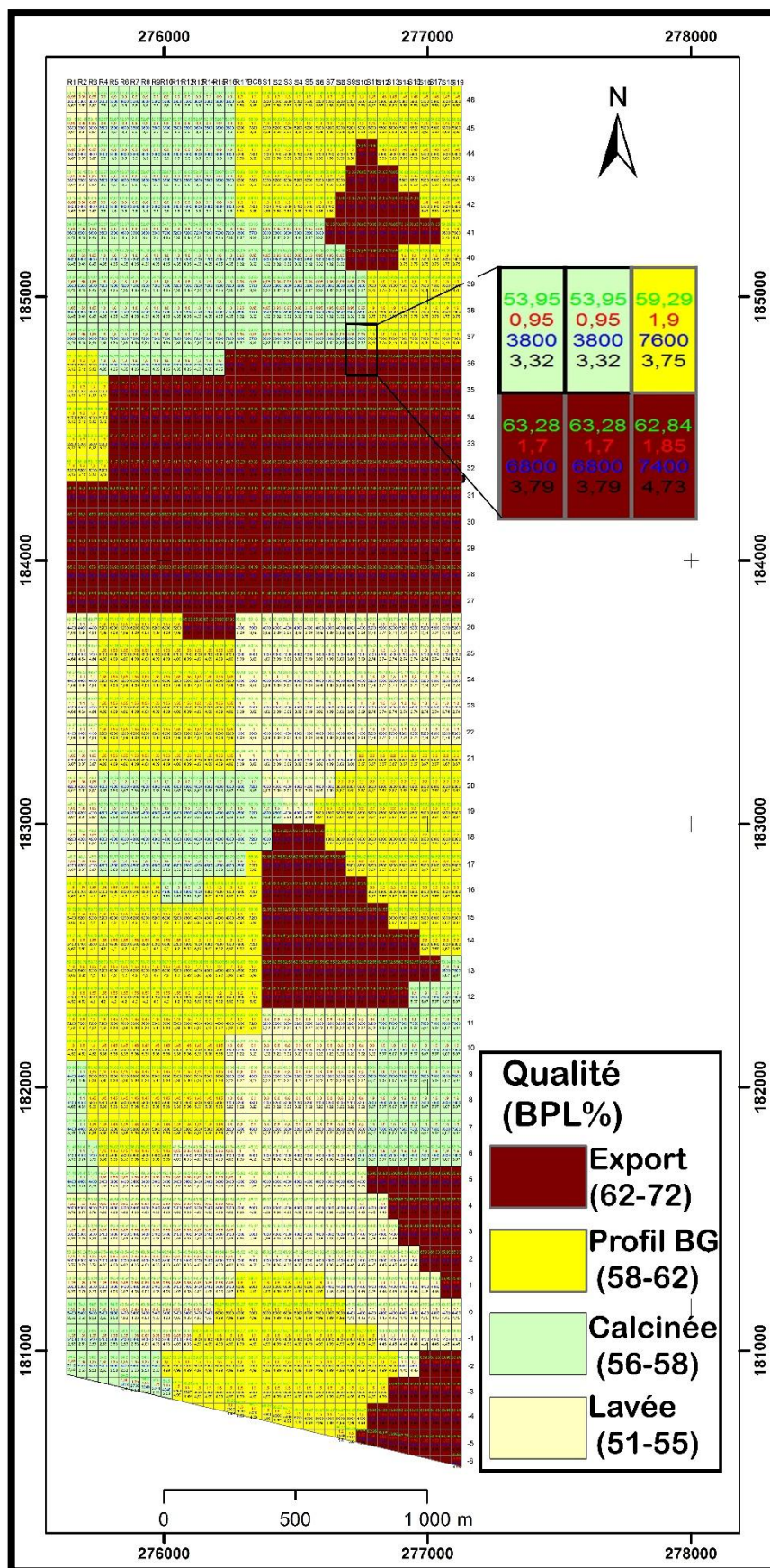
#### V. Etablissement des cartes Listing case en fonction de la qualité :

A l'aide du logiciel ARCGIS, on a établi des cartes Listing case qui représentent les valeurs en BPL, la teneur du CO<sub>2</sub>, la puissance minéralisée (Pm) et le volume de la case, afin de visualiser la distribution de ses paramètres en fonction de la qualité de phosphate demandée par les clients (tableau 3) dans chaque case du panneau.

Remarque :

Chaque case contient les valeurs de quatre paramètres :

- BPL exprimé en vert
- Puissance minéralisé exprimé en rouge
- Volume de la case exprimé en bleu
- CO<sub>2</sub> exprimé en noir



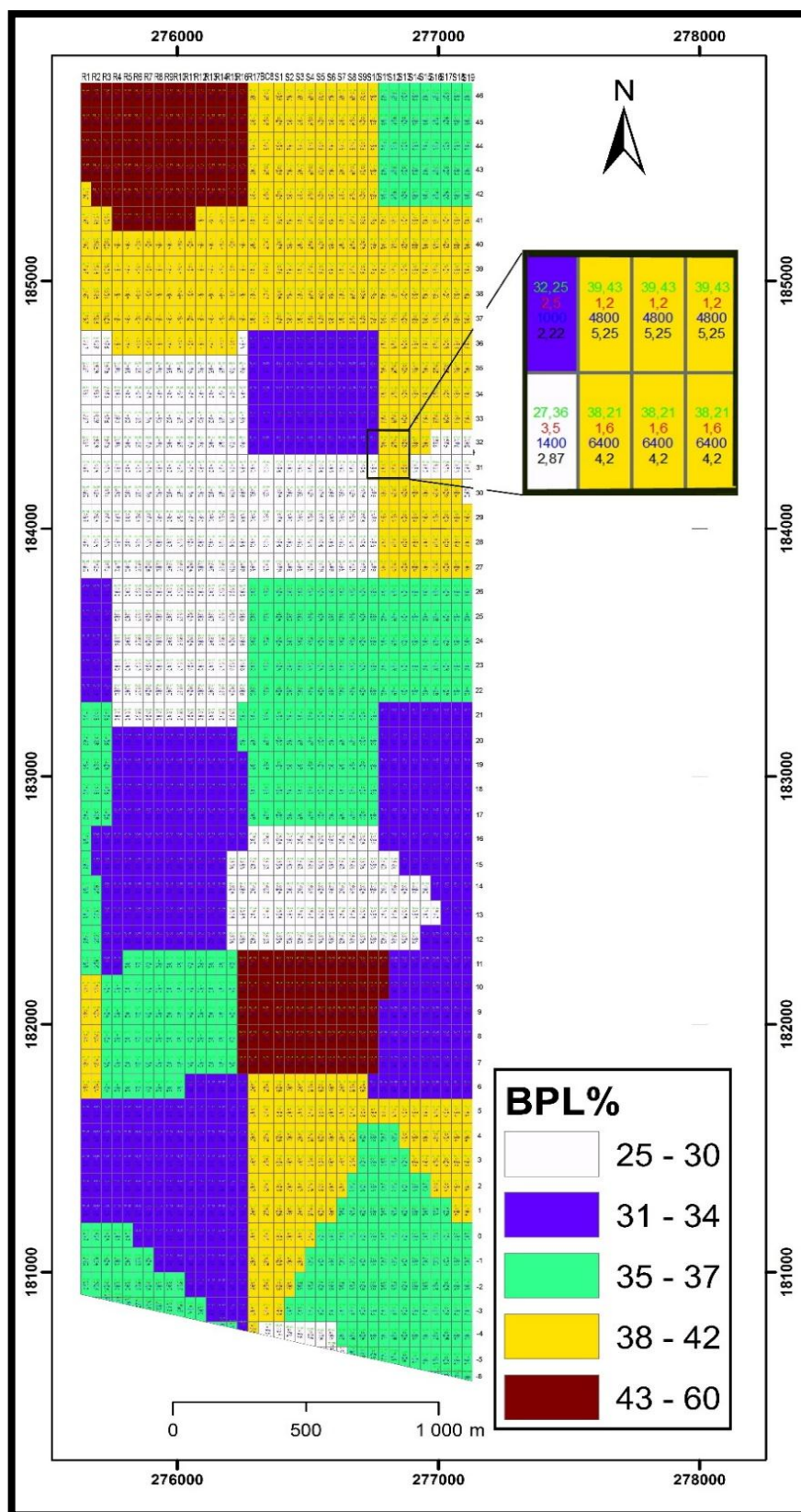
**Commentaires :**

Les phosphates de type Export et AD dominant vers le Nord et faiblement présentés au centre et au Sud du panneau.

Les phosphates de type PBG se localisent au centre et vers les deux extrémités NE et Sud.

Les phosphates de type Standard calcinée occupent la partie NW, Contrairement aux phosphates de type Lavée qui sont réparties vers le Sud et au centre vers l'Est.

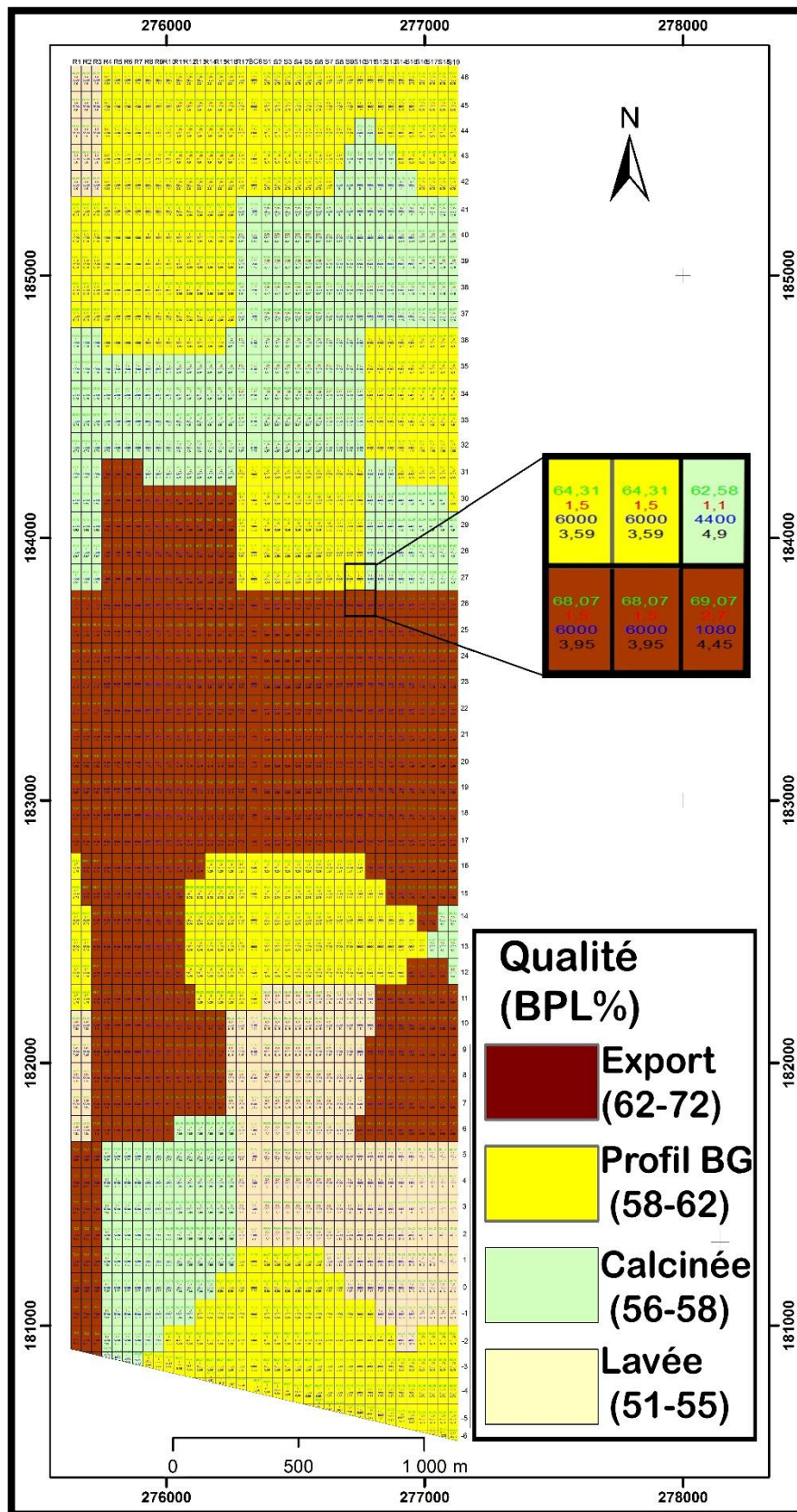
Figure 27: Carte Listing case de la couche 3 ©.



**Commentaires :**

La couche 2 inférieure n'est pas exploitable vu les faibles teneurs en BPL qu'elle présente (<50%). En revanche, cette couche contient des fortes teneurs en silice qui peuvent dépassées 30%, donc elle ne présente pas de qualité, mais reste stockée, car elle peut être demandée par des clients qui peuvent utiliser des méthodes précises pour diminuer les teneurs en silice.

Figure 28: Carte Listing case de la couche 2 inférieure ©.



**Commentaires :**

La couche 2 supérieure présente les 4 qualités du phosphate :

Les phosphates de type Export occupent principalement la partie centrale du panneau.

Les phosphates de type Profil BG se présentent vers le NW et vers le Sud.

Les phosphates de type Standard calcinée se localisent vers le Nord, tandis que les phosphates de type lavée sont concentrés vers le SE du panneau.

Figure 29: Carte Listing case de la couche 2 supérieure ©.

## VI. Etude géostatistique :

### 1. Estimation des réserves :

Le calcul des réserves représente l'un des stades les plus importants durant le processus préparatoire d'un nouveau gisement à l'exploitation. L'évaluation des réserves consiste à déterminer les volumes de phosphate que représente chaque niveau minier en le reliant avec les qualités, pour pouvoir relever tous les renseignements sur le produit prévu et sa conformité avec les exigences des clients.

Pour faire l'estimation des réserves pour un niveau phosphaté, on aura besoin de ses surfaces afin de calculer les volumes. Ces derniers doivent être multipliés par le coefficient de densité de la couche pour avoir le tonnage humide criblé (THC).

**Volume :**

$$V \text{ (m}^3\text{)} = S \times P_{\text{moy}}$$

**V : volume de la couche**

**S : surface de la couche en (m<sup>3</sup>)**

**P<sub>moy</sub> : puissance phosphatée moyenne en (m)**

**Tonnage humide criblé :**

$$\text{THC} = V \times \text{CD}$$

**THC : tonnage humide criblé (m<sup>3</sup>)**

**V : volume de la couche**

**CD : coefficient de densité de la couche :**

- 1,42 pour les couches (C5, C4, C3, SA2).
- 1,62 pour les couches (C6, C2, C1, SB).

Les résultats obtenus sont affichés dans le tableau suivant :

Couches	Surface totale (m <sup>2</sup> )	Puissance moyenne(m)	Volume totale (m <sup>3</sup> )	Coef.de densité	THC (m <sup>3</sup> )	BPL(%) moyenne	CO2(%) moyenne
Couche 3	7404450	1,33	9847918,5	1,42	13984044,27	57,85	4,17
Couche 2 supérieure	7490850	1,54	11535909	1,62	18688172,58	64,89	4,89
Couche 2 inférieure	7490850	1,63	12210085,5	1,62	19780338,51	36,13	4,67

**Tableau 4:** Tonnage humide criblé (THC) des couches 2 et 3.

Ce tableau nous permet de comparer les critères des couches que nous avons étudiés (volume totale phosphaté, tonnage humide criblé, teneurs moyennes en BPL, puissances moyennes...) pour en déduire que :

La couche 2 supérieure est très rentable économiquement, elle présente une teneur en BPL% moyenne égal à 64,89% et un tonnage de 18 millions de tonnes.

La couche 2 inférieure montre une teneur en BPL% très faible (36,13%), donc elle est moins importante de point de vue économique, mais il présente un grand tonnage de 19 millions de tonnes, elle fait partie du stérile.

La couche 3 a une teneur de 57,85% avec un tonnage estimé de 13 millions de tonnes, elle est moyennement rentable

Le mélange des couches rentables et celles qui sont moins rentables peut donner des réserves avec un tonnage important et une teneur en BPL acceptable qu'on peut exploiter.



## 2. Ratio d'exploitation :

C'est le taux d'exploitation auquel on peut dire que le niveau phosphaté est exploitable.

Il est défini par la relation suivante :

$$\text{Ratio} = \frac{\text{Volume du stérile}}{\text{Volume phosphaté}}$$

Avec :

**Volume du stérile** = recouvrement ou intercalaire moyen \* surface du stérile.

**Volume phosphaté** = puissance phosphaté x surface de la couche.

Si le Ratio d'exploitation dépasse 6, les couches d'études sont non exploitables contrairement, S'il est inférieur à 6, on peut conclure que les couches sont exploitables économiquement.

Le tableau ci-dessous montre les volumes du stérile et des intercalaires des couches 2 et 3

du panneau 8 :

Niveaux	Volume (m <sup>3</sup> )
Intercalaire 1/2	22866126
Couche 2 supérieure	11535909
Intercalaire 2/3	34818453
Couche 3	9847918,5

*Tableau 5: les volumes des couches et des intercalaires du panneau 8.*

Volume total du stérile	Volume total du phosphate
57684579	21383827

Le Ratio du panneau 8 pour les couches 2 et 3 :

$$\text{Ratio} = \frac{\text{Volume total du stérile}}{\text{Volume total des phosphates}}$$

$$= \frac{57684579}{21383827,5}$$

$$= 2,69.$$

Le ratio des couches 2 et 3 du panneau 8 est inférieur au ratio d'exploitation qui est de 6, donc ces couches sont exploitables et économiquement rentables.

## **Conclusion :**

Notre travail consiste en l'estimation des réserves au niveau des couches phosphatées 2 et 3 du panneau 8 de la mine de Benguerir.

L'histoire de ces couches phosphatées d'âge Maastrichtien est étroite, elle est en relation avec la transgression de l'atlantique qui s'est opérée à l'échelle planétaire et manifestée au sein de notre pays par les différents gisements phosphatés.

La réalisation des différents types de cartes : Cartes structurales, cartes d'isoteneurs, cartes d'isopuissances et cartes de listing case, nous a permis une analyse en terme de teneurs mais aussi de rentabilités des différentes couches phosphatées exploitables.

L'étude structurale a montré que les couches 2 et 3 du Panneau 8 présentent une structure tabulaire à faible pendage qui est toujours dirigé vers le Sud-Est, elle ne représente aucun effet d'un point de vue tectonique, ni faille ni plissement ni dérangement sont visualisés.

la variation des teneurs en BPL% et en CO<sub>2</sub> des couches nous a permis de déduire celles qui sont économiquement très rentables comme la couche 2 supérieure qui présente des teneurs en BPL importantes pouvant atteindre 76%. Ces variations peuvent être dues à la paléogéographie de notre bassin, ainsi qu'aux variations du niveau marin eustatique pendant le Maastrichtien.

Les cartes listing case en fonction de la qualité nous ont permis d'identifier les différents types de qualité des phosphates qui caractérisent chaque couche étudiée.

Enfin, l'étude de l'estimation des réserves montre que les couches 3 et 2 supérieure présentent des réserves de 32 millions de tonnes de phosphate avec des teneurs en BPL pouvant atteindre 76%, donc ces couches sont exploitables économiquement.

### Références bibliographiques :

- Bakun A., (1990). Global climate change and intensification of coastal ocean upwelling. Science, vol. 247, p. 198-201.
- Belfkira. , (1980). Evolution sédimentologique et géochimiques de la série phosphatée du Maastrichtien des Ouled Abdoun (Maroc).Thèse Doct. Spec. Géol. Appl. , Univ. Grenoble, p 164.
- Boujo A .,( 1972) .Contribution à l'étude géologique du gisement de phosphate Crétacé-Eocène des Gantour (Maroc occidental), Thèse de doctorat en sciences naturelles (université Louis Pasteur de Strasbourg) Décembre. (Partie I et II), p 227.
- Cheney, T.M. et Sheldon, R.P. (1959). Permian stratigraphy and oil potential in Wyoming and Utah. U.S. Geol. Surv. 10th annual field Congr.
- Hite. , (1978).Possible genetic relationship between evaporite, phosphorite and iron-rich sediments. The montain geology, p 107.
- Jourani. , (1994). Etude géologique de synthèse et d'actualisation de la série phosphatée de Benguerir Sud, Mai 1997, Rapport GEOL n°402.
- Kasakov., (1937), Cheney et Sheldon., (1959).l'équilibre du système fluorapatite dans les conditions de formation des roches sédimentaire. Trav. Inst. Geol. Akad Nauk USSR.n° 114, série géologie n° 40, p121.
- Keyser et Cook. (1972).Geology of the middle Cambrian phosphorites and associated sediments of North-Western Queensland. Bur. Min, Res. Geol. Geophys. Bul. Canberra, N 138.
- Lucas et al. (1979). M. Les phosphorites rubéfiées de Sidt Daoui. Transformation météorique locale du gisement de phosphate des Ouled Abdoun (Maroc). Sci. Géol., Bull. 32, 1-2, pp. 21-37. (1979).
- Piqué A et al. (2001). Evolution structurale des domaines atlasiques du Maghreb au Méso-Cénozoïque; le rôle des structures héritées dans la déformation du domaine atlasique de l'Afrique du Nord. Bulletin de la Société Géologique de France, 6: 797-810.
- Prevot L., (1975).Géochimie et pétrographie de la formation à phosphate de Gantour (Maroc).Utilisation pour une explication de la genèse des phosphates crétacés-éocènes, Doct. D'Etat, Unis. Louis Pasteur, Instit. Geol. Strasbourg, p325.
- Rios, J.M., (1972) Investigaciones geologicas en los yacimientos del Sahara espanol (marrocos). Inst. Nat. Ind. (INI) Empr. Nat. ADARO rapport inéd.
- Saadi. , (1989).Carte géologique du Maroc au 1 /500 000. Ministère de l'énergie et des mines, direction de la géologie.
- Sassi, S. (1974).La sédimentation phosphatée au Paléocène dans le Sud et le Centre-Ouest de la Tunisie. [Ph.D. Thesis], Université Paris-Sud (Orsay).
- Slansky. , (1980).géologie des phosphates sédimentaires. Mémoires des BRFM n° 114, p 36.
- Vaccari D., (2010) .*Phosphore : une crise imminente*, Pour la Science, janvier, p 36-41.
- www.ocpgroup.ma/OCP, 2009.

## Annexes:

### Annexe 1:

➤ **Presentation du groupe OCP:**

<i>Forme juridique</i>	Etablissement privé
<i>Date de création</i>	Le 7 août 1920
<i>Conseil d'administration</i>	Le Premier ministre.
<i>Activités principales</i>	Extraction, traitement et transformation des phosphates

➤ **Dates clés :**

1920 : Création OCP

1921 : Démarrage de l'extraction souterraine dans la région d'Oued-Zem

1931 : Début de l'extraction souterraine à Youssoufia

1951 : Démarrage de l'extraction en découverte à Sidi-Daoui

1965 : Début de la production de l'acide phosphorique et des engrais à Safi

1974 : Lancement des travaux de réalisation du centre minier de Benguerir

1980 : Démarrage de l'exploitation à Benguerir.

2005 : Usine de lavage et flottation à Youssoufia

2007 : Maroc phosphore.

## Annexe 2 :

**Tableau 6:** Base de données de la couche 2 inférieure.

Puits	X	Y	Z	Z du toit	PM	PT	BPL	CO2	PI
17,00	276 052,85	184 490,64	477,30	443,20	4,00	4,40	28,35	3,34	0,45
18,00	277 126,98	184 308,78	477,05	433,85	3,45	3,70	27,04	5,51	0,70
20,00	275 892,46	182 536,29	470,11	428,81	0,55	0,55	33,08	6,82	0,10
90,00	276 032,50	184 990,50	482,24	446,84	1,30	1,30	41,00	3,00	1,60
92,00	276 009,20	283 985,00	478,41	439,91	1,70	1,70	33,52	4,01	0,70
94,00	276 004,00	182 982,20	479,89	427,19	0,80	0,80	33,64	4,51	0,70
94,00	276 004,00	182 982,20	479,89	427,19	0,80	0,80	33,64	4,51	0,70
96,00	275 940,00	181 986,20	465,87	429,57	1,00	1,00	35,01	6,31	0,60
97,00	277 014,70	181 899,20	460,75	409,75	0,35	0,35	33,35	5,98	1,40
99,00	276 821,70	181 356,35	458,18	407,38	0,75	0,75	35,74	5,57	0,10
199,00	276 997,60	180 499,80	455,03	401,03	0,30	0,30	25,26	5,96	0,15
204,00	275 500,30	180 989,50	467,04	432,84	0,85	0,85	35,95	3,94	0,40
207,00	275 497,80	181 492,90	465,81	436,31	2,00	2,00	31,66	6,56	1,10
208,00	276 010,40	181 497,80	458,35	426,85	1,20	1,20	31,42	3,28	0,30
209,00	276 513,50	181 502,50	458,33	415,73	0,60	0,60	37,93	7,59	0,10
210,00	277 009,10	181 508,80	459,32	406,72	1,30	1,30	39,19	6,40	0,10
216,00	275 498,90	181 985,00	462,33	437,53	0,80	0,80	41,38	7,70	0,15
217,00	276 510,50	182 002,50	463,35	416,95	0,30	0,30	60,34	4,83	0,80
222,00	275 496,50	182 500,00	471,96	436,51	1,95	1,95	34,17	4,76	0,20
224,00	276 512,00	182 516,60	467,16	419,66	1,45	1,45	30,44	2,04	0,20
225,00	277 005,00	180 514,80	462,90	411,40	1,50	1,50	35,98	4,65	0,25
226,00	277 506,00	182 519,20	471,56	406,26	2,40	2,40	32,33	7,00	0,10
231,00	275 497,43	183 000,75	482,06	438,92	1,40	1,40	34,54	4,09	0,90
232,00	276 505,80	183 022,00	480,76	420,06	1,50	1,50	34,55	4,12	0,15
233,00	277 004,22	183 024,11	466,53	416,03	1,20	1,20	33,20	4,61	0,11
237,00	275 497,00	183 500,00	482,56	441,86	2,30	2,30	33,72	4,64	0,35
238,00	276 002,50	183 516,00	480,00	433,45	2,35	2,35	30,27	4,54	0,50
239,00	276 505,70	183 516,30	470,78	425,53	2,25	2,25	34,30	3,61	0,45
240,00	277 005,70	183 517,60	468,67	419,52	2,00	2,00	36,08	3,42	0,45
241,00	277 502,40	183 533,50	469,43	416,98	2,35	2,35	35,71	3,85	0,80
244,00	275 498,00	184 010,60	487,84	445,29	2,50	2,90	29,29	3,41	0,45
245,00	276 506,30	184 013,00	473,45	435,50	3,50	4,25	27,36	2,87	0,50
246,00	277 007,50	184 015,20	473,51	430,11	1,60	3,60	38,21	4,20	0,80
247,00	277 507,80	184 015,50	481,01	426,21	1,60	1,60	38,45	4,81	0,50
251,00	275 497,70	184 507,80	481,54	447,14	3,65	4,70	27,61	1,62	0,60
252,00	276 502,30	184 510,50	478,52	439,92	2,50	2,70	32,25	2,22	0,55
253,00	277 010,70	184 518,40	480,76	435,26	1,20	3,00	39,43	5,25	0,55
254,00	277 505,50	184 518,40	486,57	439,57	2,25	2,40	36,50	2,69	0,40
257,00	275 495,80	185 009,00	482,45	448,25	1,25	1,25	42,07	7,44	0,20
258,00	276 503,00	185 016,00	482,23	445,53	1,90	1,90	39,34	4,95	0,10
259,00	277 006,60	185 014,80	493,56	445,11	1,70	1,70	40,63	6,77	0,20
260,00	277 504,00	185 015,40	485,61	440,41	1,50	1,80	37,64	4,42	0,40
263,00	276 004,00	185 503,70	486,50	451,60	0,80	0,80	51,13	3,81	0,10

**Tableau 7:** Base de données de la couche 2 supérieure.

puits	X	Y	Z	Z du toit	PM	PT	BPL	CO2	PI
15,00	276 842,47	185 320,49	496,40	445,50	0,90	0,90	61,98	5,00	3,95
17,00	276 052,85	184 490,64	477,30	444,85	1,20	1,20	62,70	4,81	3,00
18,00	277 126,98	184 308,78	477,05	435,85	1,30	1,30	66,70	4,55	3,25
20,00	275 892,46	182 536,29	470,11	430,51	1,60	1,60	68,07	4,72	3,35
46,00	276 004,00	185 998,50	488,50	453,20	1,00	1,00	65,66	4,90	3,65
90,00	276 032,50	184 990,50	482,24	448,44	1,00	1,00	66,24	3,06	3,10
92,00	276 009,20	183 985,00	478,41	443,41	2,50	2,80	69,51	4,88	3,00
94,00	276 004,00	182 982,20	479,89	430,29	2,40	2,40	76,07	4,18	3,00
96,00	275 940,00	181 986,20	465,87	431,87	1,40	1,70	67,43	4,40	3,60
97,00	277 014,70	181 899,20	460,75	411,65	1,10	1,10	71,67	3,85	2,60
99,00	276 821,70	181 356,35	458,18	408,38	1,20	1,20	58,75	6,13	4,25
199,00	276 997,60	180 499,80	455,03	401,93	0,75	0,75	60,94	6,79	2,80
205,00	276 519,20	181 004,80	456,56	411,46	1,00	1,00	66,37	5,56	2,90
207,00	275 497,80	181 492,90	465,81	439,16	1,75	1,75	72,20	4,55	2,50
208,00	276 010,40	181 497,80	458,35	428,45	1,30	1,30	60,79	7,86	2,75
209,00	276 513,50	181 502,50	458,33	417,33	2,30	2,80	60,04	7,70	2,50
210,00	277 009,10	181 508,80	459,32	407,92	1,10	1,10	56,12	4,00	2,30
216,00	275 498,90	181 985,00	462,33	439,13	1,45	1,45	54,33	7,35	3,10
217,00	276 510,50	182 002,50	463,50	418,80	0,90	0,90	59,43	5,16	2,90
222,00	275 496,50	182 500,00	471,96	438,51	1,70	1,80	64,09	5,74	2,85
223,00	276 253,30	182 514,80	472,51	424,91	1,60	1,60	66,26	5,28	1,40
224,00	276 512,00	182 516,60	467,16	421,06	1,40	1,40	64,40	3,24	2,50
225,00	277 005,00	180 514,80	462,90	413,80	1,75	1,85	66,25	3,73	2,90
226,00	277 506,00	182 519,20	471,56	408,76	2,50	2,50	63,41	6,40	2,60
231,00	275 497,43	183 000,75	482,06	441,46	1,60	1,60	72,97	3,92	2,80
232,00	276 505,80	183 022,00	480,76	422,06	2,15	2,15	67,78	3,58	3,00
233,00	277 004,22	183 024,11	466,53	418,01	1,80	1,80	68,32	4,98	3,00
234,00	277 507,30	183 019,00	472,61	409,41	2,55	2,55	65,89	5,07	2,25
237,00	275 497,00	183 500,00	482,56	445,06	2,85	2,85	68,74	5,12	3,10
238,00	276 002,50	183 516,00	480,00	436,35	2,40	2,40	70,25	4,51	3,75
239,00	276 505,70	183 516,30	470,78	427,48	1,50	1,50	68,07	3,95	2,65
240,00	277 005,70	183 517,60	468,67	422,67	2,70	2,70	69,07	4,45	3,20
241,00	277 502,40	183 533,50	469,43	420,18	2,40	2,40	66,91	4,68	3,55
244,00	275 498,00	184 010,60	487,84	446,74	1,00	1,00	61,80	3,92	3,40
245,00	276 506,30	184 013,00	473,45	437,50	1,50	1,50	64,31	3,59	3,00
246,00	277 007,50	184 015,20	473,51	432,01	1,10	1,10	62,58	4,90	3,45
247,00	277 507,80	184 015,50	481,01	427,91	1,20	1,20	61,86	4,90	3,20
251,00	275 497,70	184 507,80	481,54	452,74	1,00	1,00	63,04	3,74	3,00
252,00	276 502,30	184 510,50	478,52	441,82	1,35	1,35	63,33	3,57	3,10

253,00	277 010,70	184 518,40	480,76	437,41	1,60	1,60	64,99	4,90	3,70
254,00	277 505,50	184 518,40	486,60	441,60	1,40	1,40	66,94	9,62	2,75
257,00	275 495,80	185 009,00	482,45	449,60	1,15	1,15	64,65	6,14	3,05

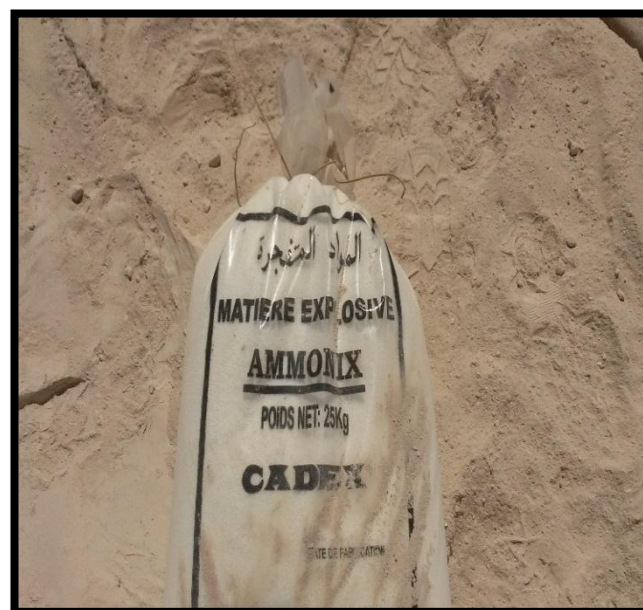
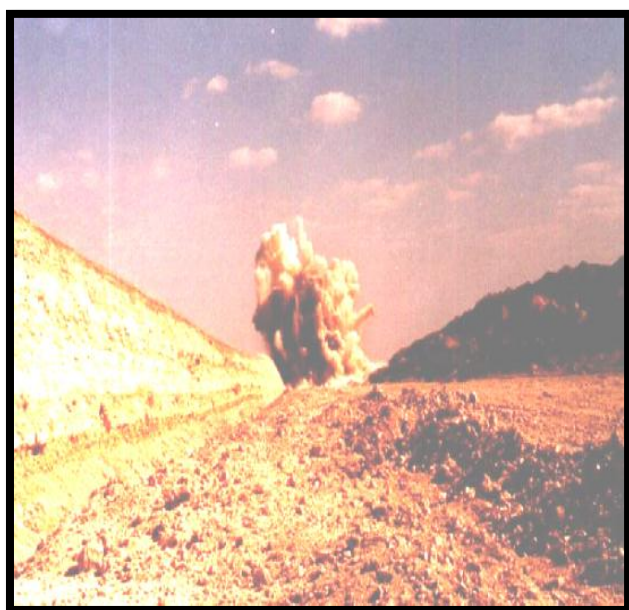
### Annexe 3 :

Etapes d'exploitation du phosphate de Benguerir :

1-Foration :



2-Sautage :



3- Décapage :



**Décapage par casement.**

**(Dragline)**



**Décapage par poussage.**

**(Bulldozer)**



**Décapage par transport.**



4- Défruitage et Transport :



5-Epierrage et Criblage :

