

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

**ETUDE GEOMINIERE, STRATIGRAPHIQUE, LISTING CASE ET
ESTIMATION DES RESERVES DES COUCHES 4, 5, ET 6 DU
PANNEAU 8 DE LA MINE DE BENGUERIR**

Réalisé par :

MGHAZLI Kamal

DOUMBIA Abdoul Karim

Encadré par :

Mme Aicha REDDAD : Faculté des Sciences et Techniques – Marrakech

Mr ALAMI Abdelmjid : Office Chérifien de Phosphate

Soutenu le 23 Juin 2015 devant le jury :

Pr. Khadija EL HARIRI : Faculté des Sciences et Techniques – Marrakech

Année Universitaire 2014 - 2015

Remerciements

Nous adressons nos sincères remerciements à la direction du groupe OCP(Office Chérifien du Phosphate) pour nous avoir donné l'occasion d'effectuer notre stage au sein du service méthodes, plannings et performance de Benguerir. Particulièrement à Mr ALAMI Abdelmjid pour son aide, sa patience et ses précieux conseils.

Nous rendons hommage à l'ensemble du corps professoral du département de géologie de la FST de Marrakech particulièrement à notre encadrante Mme REDDAD Aicha.

Nous exprimons aussi nos vifs remerciements à Madame Khadija EL HARIRI d'avoir bien accepté de juger notre travail. Nous la remercions également pour son appui et ses multiples conseils.

Nous dédions ce travail à nos parents qui nous ont apporté tout l'amour et l'affection, à nos chers(e) frères et sœurs et à toutes les personnes ayant contribué à l'élaboration de ce rapport.

Sommaire

Remerciement.....	2
Introduction.....	6
Chapitre 1 : Présentation générale	7
I. APERÇU GENERAL SUR L’OCP	8
1. Introduction.....	8
2. Fiche signalétique de l’OCP	8
II. GENERALITE SUR LES PHOSPHATES	8
1. Introduction.....	8
2. Origine des phosphates et phosphatogenèse.....	9
3. LES DIFFERENTS TYPES DES GISEMENTS PHOSPHATES.....	10
3.1 Les gisements d’origine ignée.....	10
3.2 Les gisements de type Guanos	11
3.3 Les gisements de type sédimentaire (Bassins phosphatés marocains).....	11
III. UTILITES DES PHOSPHATES	14
Chapitre 2 : Présentation de la zone d’étude.....	15
I. CADRE GEOGRAPHIQUE ET GEOLOGIQUE DE LA ZONE D’ETUDE.....	16
II. DECOUPAGE DE LA SERIE PHOSPHATE	17
1. Découpage chronostratigraphique	17
2. Découpage minière	18
Chapitre 3: Etude lithostratigraphique ..	20
I. EXPLOITATION MINIERE.....	21
1. Découpage adoptée pour l’exploitation	21
2. Étapes d’exploitation.....	22
II. Étude lithostratigraphique des couches 4 ; 5 et 6 du panneau 8.....	26
1. Coupe synthétique moyenne du panneau 8.....	26
2. Stratigraphie séquentielle du Maestrichtien du panneau 8	29
3. Profil litho-stratigraphique de box cut du panneau8.....	33
3.1 Etapes d’élaboration du profil.....	33
Chapitre 4 : Etudes géo minières des couches 4, 5, et6 du panneau 8.....	36
I. PRESENTATION DE LA BASE DE DONNEES	37

II. REALISATION DES CARTES AVEC LE LOGICIEL ARCGIS.....	38
1. Cartes structurales	38
2. Cartes iso-teneurs	41
3. Cartes iso-puissances.....	46
III. ETUDES RENTABILITE.....	48
1. Estimation des réserves	48
2. Ratio d'exploitation.....	49
IV. LISTING CASE.....	49
1. Elaboration des cartes listing case en fonction de la qualité du phosphate ..	50
Conclusion générale	55
Références.....	56
ANNEXES	57

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Répartition chronostratigraphique des gisements phosphatés dans le monde (Cook et Me Elhinny (1979)	9
Tableau 2 : Un extrait de base de données de la couche 5.....	37
Tableau 3 :Estimations des réserves du panneau 8	49
Tableau 4 : qualités de phosphate demandées par les clients (OPC).....	50
Tableau 5 : La base de données de la couche 4.....	57
Tableau 6 : La base de données de la couche 6.....	58

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Mécanisme des courants ascendants Upwelling (Bakun, 1990)	10
Figure 2 : Schéma structural du Maroc et localisation des bassins phosphatés marocains. (Piqué et al. 2001) modifiée	12
Figure 3 : Carte géologique du bassin de Gantour SAADI (1982).....	16
Figure 4 : carte du gisement de bassin de Gantour (Boujo, 1976).....	17
Figure 5 : log synthétique de la série phosphatée de Benguéir.....	19
Figure 6 : Schéma de découpage du gisement de Benguéir en panneaux (OCP ,2009)21	
Figure 7 : schéma de découpage d'une zone phosphatée.....	22
Figure 8 : Opération de forage	22
Figure 9 : Opération de sautage.....	23
Figure 10 : Opération de décapage.....	23
Figure 11: Opération de defruitage	24
Figure 12 : Opération de transport	24
Figure 13 : Opération d'épierrage.....	25
Figure 14 : Opération de criblage.....	25

Figure 15 : Log lithostratigraphique synthétique du panneau 8.....	27
Figure 16: Photo des couches 6 et 5	28
Figure 17 : Photo de la couche 4	29
Figure 18: Indexation de l'analyse diffraction par rayon X de la marne siliceuse	30
Figure 19: Reconnaissance des phases de la marne siliceuse	32
Figure 20: Interprétation de diffraction par rayon x du silex.....	32
Figure 21 : Profil lithostratigraphique de box cut du panneau 8.....	34
Figure 22 : Carte structurale de la couche 4 du panneau 8.....	39
Figure 23 : Carte structurale de la couche 5 du panneau 8	39
Figure 24 : Carte structurale de la couche 6 du panneau 8	40
Figure 25 : Carte structurale des couches 4,5 et 6 en 3D.....	41
Figure 26 : Carte iso-teneur BPL de la couche 5 du panneau 8.....	42
Figure 27 : Carte iso teneur BPL de la couche 4 du panneau 8	43
Figure 28 : Carte d'iso-teneur de BPL de la couche 6 du panneau 8.....	44
Figure 29 : Carte d'iso-teneur de C02 de la couche 5 du panneau 8	44
Figure 30 : Carte d'iso-teneur de C02 de la couche 4 du panneau 8	45
Figure 31 : Carte d'iso-teneur de C02 de la couche 6 du panneau 8	45
Figure 32 : Carte d'iso- puissance de la couche 5 du panneau 8	46
Figure 33 : Carte d'iso- puissance de la couche 4 du panneau 8	46
Figure 34 : Carte d'iso- puissance de la couche 6 du panneau 8	46
Figure 35 : Listing case de la couche 4 du panneau 8.....	51
Figure 36 : Listing case de la couche 5 du panneau 8.....	53
Figure 37 : Listing case de la couche 6 du panneau 8.....	53

Liste des Abréviations

OCP : Office Chérifien de phosphate

Thc : Tonnage Humide Criblé

BPL : Bone phosphate of lime

PM : Puissance minéralisée

PBG : Profil de Ben guérir

Introduction

Le Maroc possède les plus grands gisements de phosphate au monde, soit $\frac{3}{4}$ des réserves mondiales (Lenoble et al 1952 ; Moutaouakil 1990). Leurs situations géographiques, leurs qualités et leurs diversités confèrent au royaume une place de premier exportateur mondial de phosphates sous toutes formes et le troisième producteur derrière les Etats –Unis et la chine. Ce stage de fin d'études s'inscrit dans le cadre d'appliquer les connaissances fondamentales et théoriques acquises lors des trois années d'études de licences afin d'acquérir une expérience professionnelle d'autant plus qu'il est réalisé dans une grande entreprise telle que OCP (Office Chérifien de Phosphate). L'étude réalisée au cours de ce stage a pour l'objectif de donner un maximum d'information sur les couches 4,5 et 6 du panneau 8 en effectuant :

- ☞ Une étude de rentabilité et estimation des réserves à travers l'élaboration des cartes Listing Cases.
- ☞ Une étude de variation structurale, puissance et teneur à l'aide du logiciel ARCGIS.
- ☞ Une étude stratigraphique et séquentielle à fin de suivre l'évolution dans le temps et dans l'espace de la série phosphatée du panneau 8.

CHAPITRE 1 :

PRÉSENTATION GÉNÉRALE

I. APERÇU GENERAL SUR L'OCP

1. Introduction

L'Office Chérifien du Phosphate est un établissement d'économie mixte dont l'activité est divisée entre le commercial et l'industriel. Cependant, le groupe est spécialisé dans l'extraction, le traitement, la valorisation et la commercialisation de la principale ressource naturelle dont dispose le Maroc à savoir les phosphates. Avec un effectif atteignant les 25.000 personnes et la nature de son activité, l'OCP joue un rôle déterminant dans le développement économique et social du pays.

2. Fiche signalétique de l'OCP

- ∞ DENOMINATION SOCIALE : Groupe Office Chérifien des phosphates (Groupe OCP dès 1975)
- ∞ STATUT JURIDIQUE : Organisme d'état relevant de droit privé
- ∞ DATE DE CREATION : 07 aout 1920
- ∞ ACTIONNARIAT : L'état Marocain
- ∞ SECTEUR D'ACTIVITE : Extraction, traitement, transformation, et commercialisation des phosphates et des produits dérivés
- ∞ CHIFFRE D'AFFAIRE: 8.9 milliards MAD
- ∞ PART DANS LE COMMERCE INTERNATIONAL DES PHOSPHATES:
 - ✘ Phosphate brut : 35 %
 - ✘ Acide phosphorique : 40 %
 - ✘ P₂O₅ sous toutes formes : 29 %
 - ✘ Engrais : 8,4 %

II. Généralité sur les phosphates

1. Introduction

Les dépôts phosphatés sont largement représentés dans l'échelle stratigraphique, ils sont connus depuis le précambrien - Infracambrien jusqu'à l'actuel. Leurs répartitions spatiales et chronologiques sont indiquées dans le tableau 1.

Tableau 1 : Répartition chronostratigraphique des gisements phosphatés dans le monde (Cook et Me Elhinny (1979))

Étage	Gisement
Pliocène	Gisement de Floride (formé par remaniement).
Crétacé supérieur—Éocène	Bassin côtier occidental et septentrional d'Afrique, Moyen-Orient, Aktynbinsk (Sud Oural, Russie) Olinda (Brésil).
Jurassique—Crétacé inférieur	Plaine Moscou-Volga Mexique
Permien	Gisement des montagnes Rocheuses Himalaya au nord de Delhi en Inde
Ordovicien	Gisement de Tennessee
Cambrien	Gisement Queensland (Georgia bassin, Australie) Karatan en Syberie Yunnan en Chine Laokao au Vietnam
Précambrien-infracambrien	Australie, Upper Peninsula dans le Michigan, Rajasthan (Inde), gisements sibériens, Chine.
1800-2200 Ma	Afrique Ouest (Ouest du fleuve Niger), partie orientale du Sénégal.
1200-1600 Ma	
700 – 800 Ma	

2. Origine des phosphates et phosphatogénèse

La présence d'un gisement de phosphates dans un bassin sédimentaire dépend de plusieurs processus notamment d'une source en phosphore suffisante, des conditions favorables à la formation de l'apatite dans les sédiments et des conditions favorables à la concentration et l'accumulation des Minéraux phosphatés.

Les auteurs sont subdivisés sur les sources possibles du phosphore en deux groupes, l'un avec la théorie d'alimentation directe à partir du continent et l'autre avec l'alimentation à partir des apports océaniques.

- L'alimentation directe à partir du continent est défendue par Bushinski (1964), il a évoqué l'exemple de la Volga qui déverse chaque année dans la mer Caspienne 6000 tonnes de phosphores sous forme de phosphate minéral en solution, l'accumulation de tel apport minéralisé a l'aptitude de donner lieu à un très gros gisement de phosphate. Peaver (1966) cite l'exemple des gisements de la côte atlantique des États-Unis.

- L'alimentation à partir des apports océaniques, les teneurs moyennes de phosphate en solution ou en suspension dans les océans sont de 0,07 à 0,075 ppm surtout sous quatre formes (Armstrong, 1965), cette teneur augmente proportionnellement avec la profondeur jusqu'à 1000m (Gulbrandsen, 1969 et.al). Cette théorie a été proposée par Kazakov (1937), elle a été reprise par McKelvey et al. (1953) et d'autres auteurs, grâce à son application possible à la plupart des gisements mondiaux.

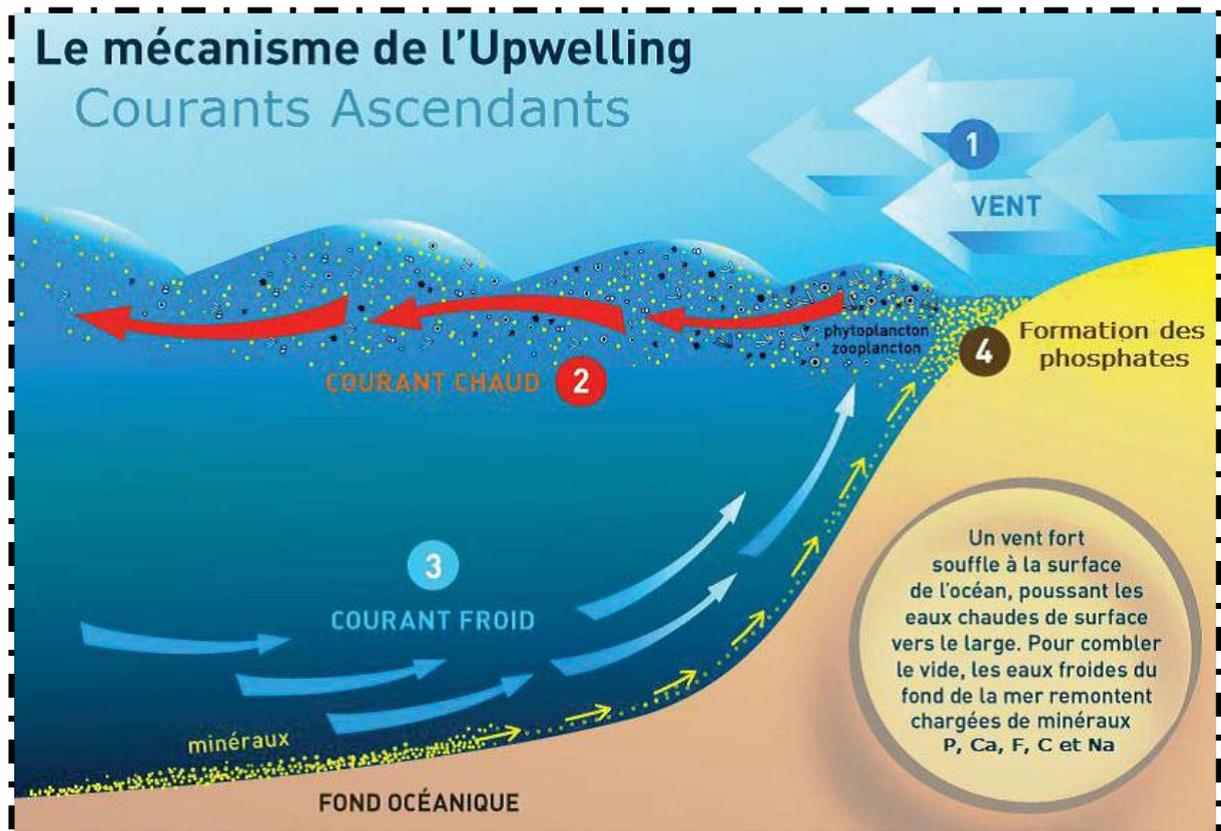


Figure 1 : Mécanisme des courants ascendants Upwelling (Bakun, 1990)

3. LES DIFFERENTS TYPES DES GISEMENTS PHOSPHATES

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

3.1 Les gisements d'origine ignée

Ils sont associés à des complexes intrusifs alcalins (les syénites, les syénites néphéliniques, les carbonates). À titre d'exemple les gisements de Khibiniy en Russie, avec 16 millions de tonnes de minerais et une teneur de 18 % en P_2O_5 ; les gisements de Palabora en Afrique de Sud qui est associé à des carbonatites et des pyroxénites (apatite + serpentine + magnétite).

3.2 Les gisements de type Guanos

Ils sont formés à partir des déjections des oiseaux de mer qui contiennent environ 4 % en P_2O_5 . 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_2O_5 et les gisements de l'île Christmas dans l'océan indien qui contient 200 millions de tonnes de minerai avec une teneur de 23 jusqu'à 27 % de P_2O_5 .

3.3 Les gisements de type sédimentaire (Bassins phosphatés marocains)

Ils sont les plus abondants en quantité et avec des teneurs en P_2O_5 qui dépassent les 28 % sur place. Nous citons les gisements phosphatés marocains sur lesquels se focalise cette étude, ils se localisent stratigraphiquement du Crétacé supérieur (Maastrichtien) à l'Éocène 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 du bassin des Ouled Abdoun, bassin des Gantour, bassin des Meskala et bassin d'oued Eddahab.

Principaux Bassins Phosphatés du Maroc :

Les plus importantes ressources en phosphates au Maroc se répartissent en plusieurs bassins, 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), Youssoufia et Benguérir (Gantour), Bou Craa (Oued Eddahab)

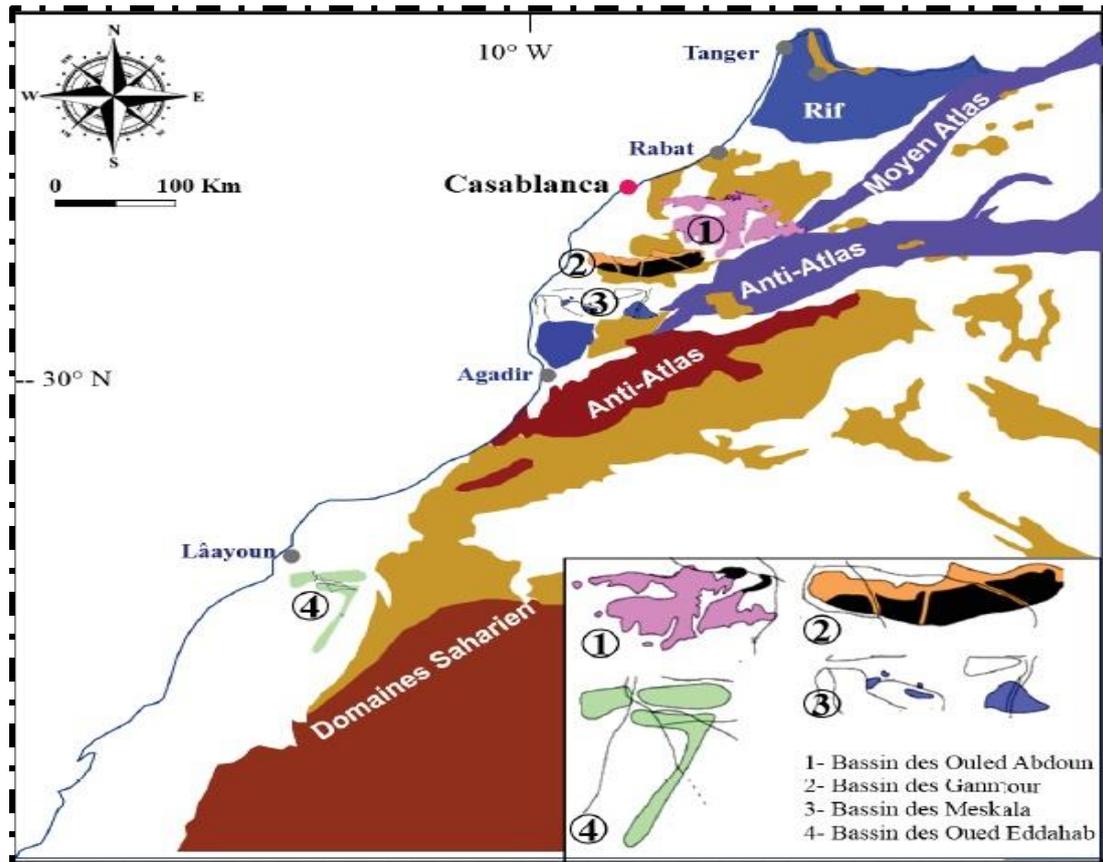


Figure 2 : Schéma structural du Maroc et localisation des bassins phosphatés marocains. (Piqué et al. 2001) modifiée

- Bassin d'Oulad Abdoun :

C'est le premier bassin reconnu et exploité au Maroc. Il est situé au Nord de la meseta, limité au Sud par la plaine BENI AMIR. Il occupe la moyenne partie du plateau des phosphates. La série phosphatée d'Oulad Abdoun débute du Maastrichtien par des dépôts phosphatés très marneux et se termine au lutétien par une dalle à thersitées, en passant par le Paléocène caractérisé par le calcaire phosphaté et le calcaire marneux, puis l'Yprésien, qui contient des niveaux phosphatés intercalés par des calcaires phosphatés cuprolithiques, des argiles et des silexites.

- Bassin de Gantour

Il est situé entre les massifs des Rhamna au Nord et les Jbilet au Sud. A l'Ouest, il est limité par les collines jurassiques de Mouissat et se prolonge à l'Est jusqu'aux rives de l'Ouest Tessaout. Le bassin des Gantour renferme deux centres miniers :

- Centre de Youssoufia

Il est situé à 60 km de Benguéir et à 100 km au Nord-Ouest de Marrakech, de moindre importance, ce gisement a été ouvert vers 1931. Parmi les phosphates extraits il y a (Boujo 1972): Phosphate clair du niveau Danién, titrant de 70-72 % BPL et provenant de la zone sèche ; Phosphate noir, chargé en matière organique qui après calcination passe de 68 % à 75 % BPL.

La production du centre de Youssoufia est entièrement acheminée par le train, vers le port de Safi où une partie du phosphate est traitée sur place par « Maroc-Chimie » et « Maroc-Phosphore » et l'autre partie est exportée.

- Centre de Benguerir.

Le centre minier de Benguéir est situé à 70 km au nord de Marrakech et à 60 km à l'Est de Youssoufia, il a été ouvert en 1979. L'exploitation à ciel ouvert touche l'ensemble des niveaux phosphatés d'intérêt économique. Les investissements programmés visent une augmentation du potentiel d'extraction de 3 à 4,5 millions de tonnes par an à l'horizon 2018. Après son extraction les phosphates sont acheminés par camions et par trains vers l'industrie chimique de Safi ou à l'usine de traitement de Youssoufia.

Une partie de la production destinée à l'exportation est expédiée via le port minéralier de Safi (OCP 2012).

-Bassin de Meskala :

Le bassin de Meskala est situé dans la plaine d'Essaouira-El Haouz, ses limites :

- Les Jbilet et les collines jurassiques de Mouissat au Nord.
- Le Haut Atlas au Sud.
- La plaine de l'Haouz à l'Est.
- La plaine côtière d'Essaouira.

Ce bassin est caractérisé par une série phosphatée dont la puissance totale varie entre 110m au Nord-est et 140 m au sud. Il est subdivisé en trois zones : Ouled Bou sbâa au Nord Est, zone Imin'Tanout au Sud Est et zone de Khémis Meskala à l'Ouest.

- Bassin d'Oued Eddahab :

Le bassin d'Oued Eddahab s'étend sur une superficie de 800 Km, dans la zone saharienne entre la zone d'Eddchira au Sud-est de Laayoune et le sud de la ville de Dakhla où il se rétrécit.

Il est limité par :

- Les affleurements de la série phosphatée au Nord et au Nord-est.
- La ligne côtière à l'Ouest.

Egalement aux autres bassins, la série phosphatée d'Oued Eddahab s'est déposée avec des intensités variables dans le domaine : la bande minéralisée reconnue ou explorée est assez large au nord (Laayoune- Boucraa) et se rétrécit en allant vers le sud où elle ne fait que 5 km.

III. UTILITES DES PHOSPHATES

L'acide phosphorique présente le produit intermédiaire de base d'industrie des phosphates. Ce dernier se présente sous forme liquide, utilisé dans la fabrication des produits chimiques et d'une grande variété d'engrais :

- Monoammonium de phosphate (MAP) : Il est utilisé dans la formation des engrais en suspension puisqu'il est complètement soluble dans l'eau.
- Diammonium de phosphate (DAP) : Il est composé de deux molécules d'ammoniac et fabriqué par réaction d'acide phosphorique et l'ammoniac.
- Triple superphosphate (TSP) : c'est l'excellente source de phosphore, mais son utilisation à diminuer dès que les autres engrais phosphatés sont devenus plus populaire.

L'utilisation industrielle d'acide phosphorique :

Nombreuses industries utilisent le phosphate : les engrais, les peintures, la production d'uranium, l'agroalimentaire. Ils sont donc indispensables à notre économie

CHAPITRE 2 :

PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

I. CADRE GEOGRAPHIQUE ET GEOLOGIQUE DE LA ZONE D'ETUDE

La zone d'étude est située entre les méridiens 32°10 et 38°20 et les parallèles 7°15 et 8°35. Ce centre minier de Benguerir est à 70 km au Nord –Ouest de la ville de Marrakech ,77 km à l'Est de Youssoufia, à 170 km au Sud-Est de Safi et en fin, il est à 190 km de Casablanca.

Le gisement de Benguerir est situé dans la partie centrale du bassin de Gantour. On y rencontre les unités suivantes (Boujo, 1972):

- Le socle paléozoïque affleure au Nord sous forme de roches métamorphiques et cristallines (massif des Rehamna), et au Sud essentiellement sous forme de schistes (Jbilet).
- Les formations jurassiques composées de calcaires et marno-calcaires avec des lits argileux et bancs gypsifères.
- Le Crétacé inférieur est représenté par des conglomérats de base, des calcaires argileux et des grès rouges continentaux.
- Le crétacé supérieur comprend les marno-calcaires du Cénomanién et les calcaires karstifiés du Turonien.

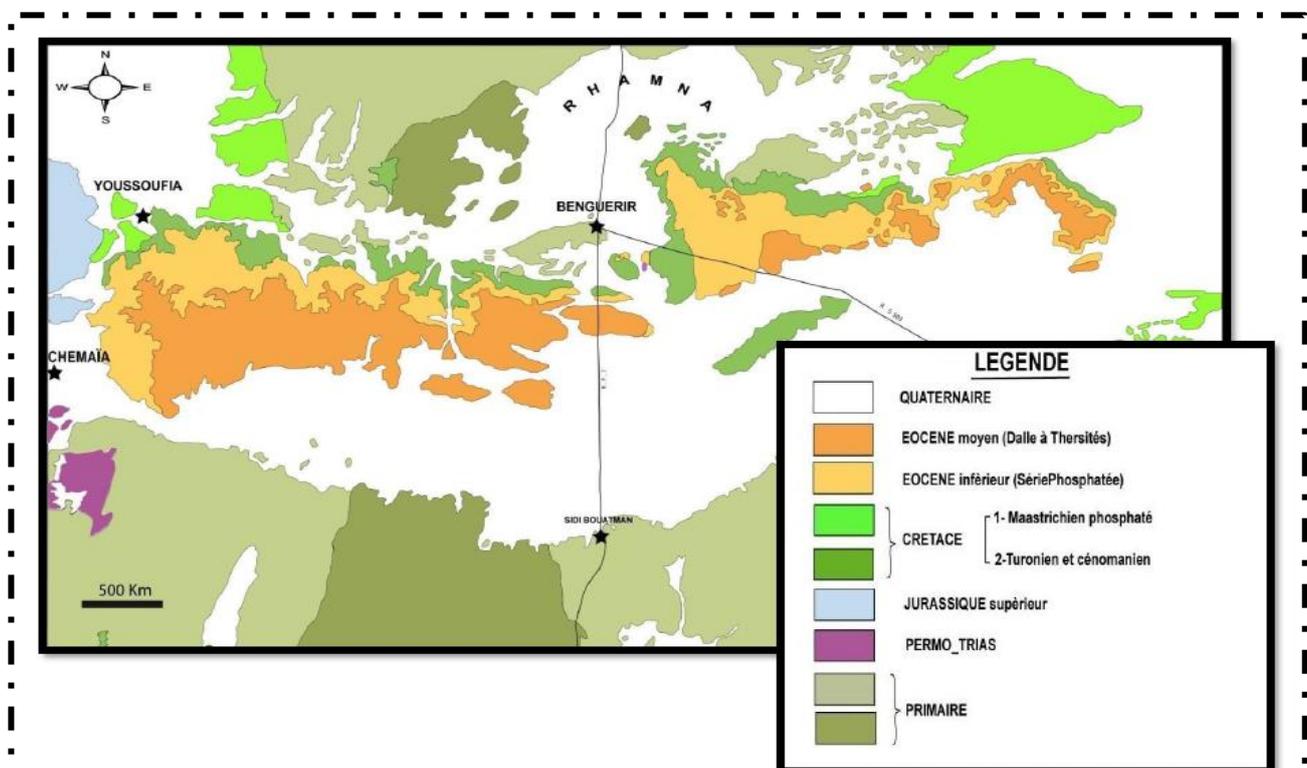


Figure 3 : Carte géologique du bassin de Gantour SAADI (1982)

Dans ce gisement, la série phosphatée s'étale du Maastrichtien au Lutétien avec des niveaux diverses et se présente sous forme de bancs phosphatés (couches, sillons et faisceaux) et sous forme des niveaux stériles à peu phosphatés (intercalaires). La zone étudiée se présente sous forme d'un plateau allongé Est-Ouest sur une longueur de 25 à 30 Km et une largeur de 10 à 20 Km. Le relief est relativement pondéré avec une altitude moyenne de 430 m.

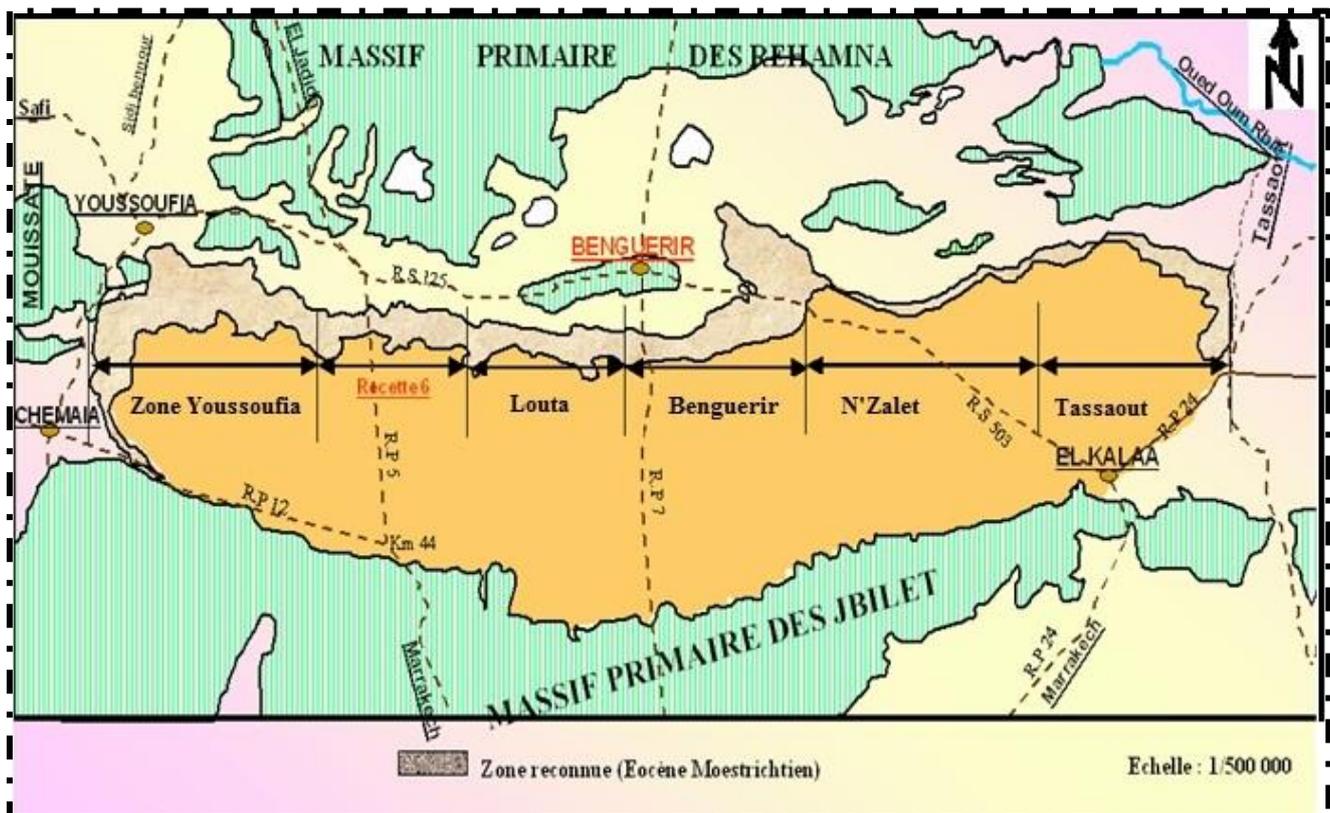


Figure 4 : carte du gisement de bassin de Gantour (Boujo, 1976)

II. DECOUPAGE DE LA SERIE PHOSPHATE

1. Découpage chronostratigraphique

La série phosphatée s'étend du Maastrichtien au lutétien, et subdivisée en trois mega-séquences :

La méga-séquence inférieure correspond au Maastrichtien.

La méga-séquence médiane correspond au Danien.

La méga-séquence supérieure correspond à l'Yprésien.

- Le Maastrichtien commence par un phosphate bioclastique, micro conglomératique et se termine par un banc de marnes siliceuses dans lequel s'intercale un niveau décimétrique de phosphate.
- Le Danien débute par un banc de calcaire phosphaté et contient le niveau le plus riche de la série, il se termine généralement par des marnes et marnes siliceuses sauf à l'extrême ouest du gisement ou ces marnes font défaut.
- Le Thanétien est représenté par un faisceau phosphaté sableux et des marnes à son sommet.
- L'Yprésien débute par un niveau centimétrique de phosphate coprolithique bioturbé à sa base, se poursuit par des argiles puis par des silts et des marnes siliceuses dans lesquels s'intercalent des niveaux décimétriques de phosphate.
- Le Lutétien est caractérisé par sa dalle calcaire, dalle à Thersitées.

2. Découpage minier

- Le Maastrichtien Comprend les niveaux suivants :
- Couche6–couche5–couche4–couche3–couche2–inférieur–couche2 supérieur–sillon X.
- Le Danien comprend la couche1, la couche 0 et le Danien supérieur phosphaté.
- Le Thanétien comprend le faisceau A qui se subdivise en 3 sous faisceaux : A3, A2, A1.
- L'Yprésien contient le niveau intermédiaire A/B, la couche des 11m, le sillon B et les sillons supérieurs.
- Le lutétien est stérile.

COUPE TYPE DU GISEMENT DE BENGUERIR

ECHELLE=1/500

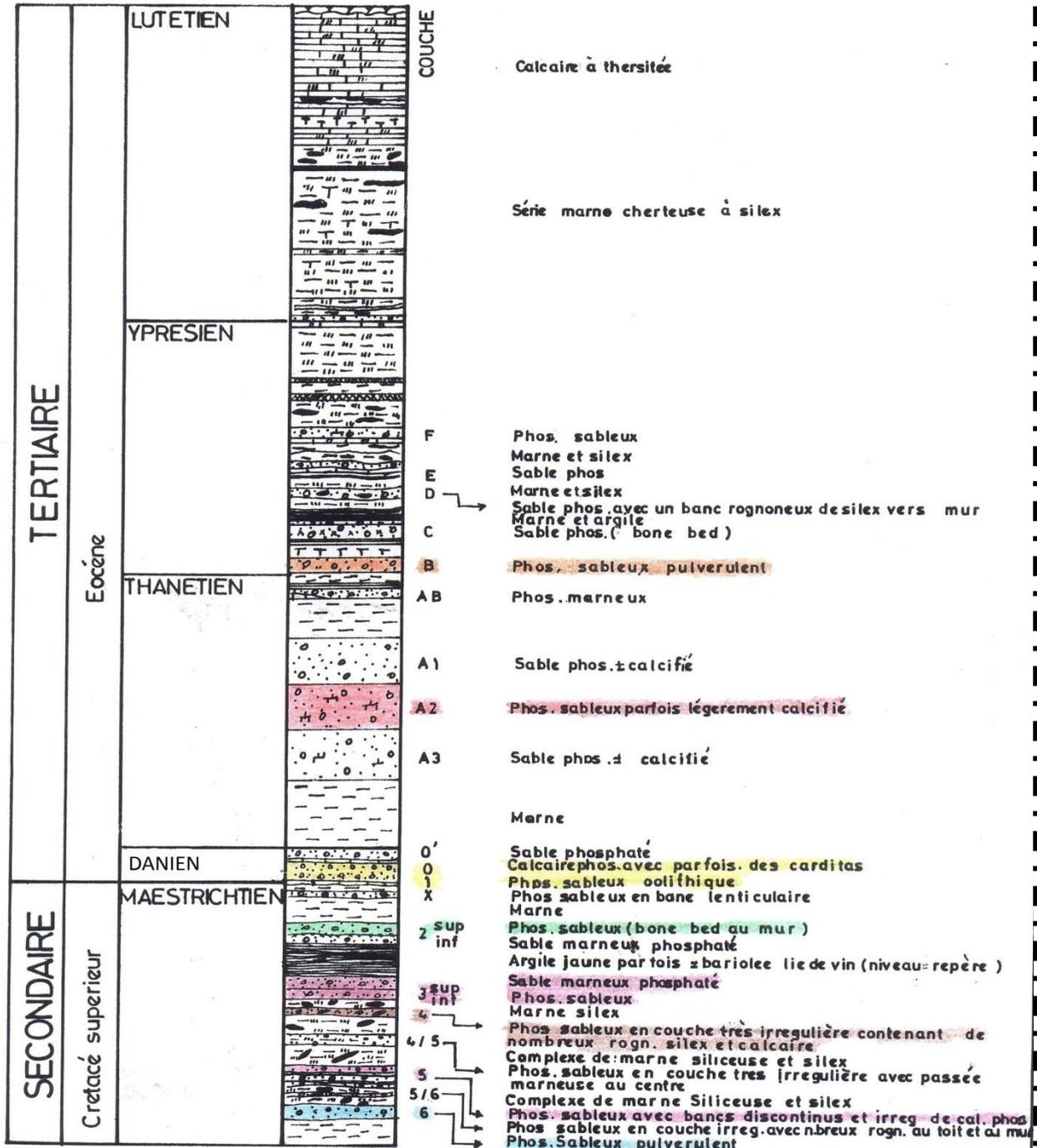


Figure 5 : log synthétique de la série phosphatée de Benguerir (OCP 2011)

CHAPITRE 3:

ÉTUDE LITHOSTRASTIGRAPHIQUE

I. EXPLOITATION MINIÈRE

1. Découpage adoptée pour l'exploitation

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 Benguérir 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, on a découpé cette mine en deux parties: La partie Nord avec les Panneaux 1, 2, 3, 4, 5,6, 7 et 8 et La partie Sud avec les Panneaux 6 ou mine Sud.

- Panneau : Un terrain ou une portion du gisement, délimité en fonction des facteurs tels que le nombre de couches phosphatées existants, le recouvrement et la qualité du phosphate.

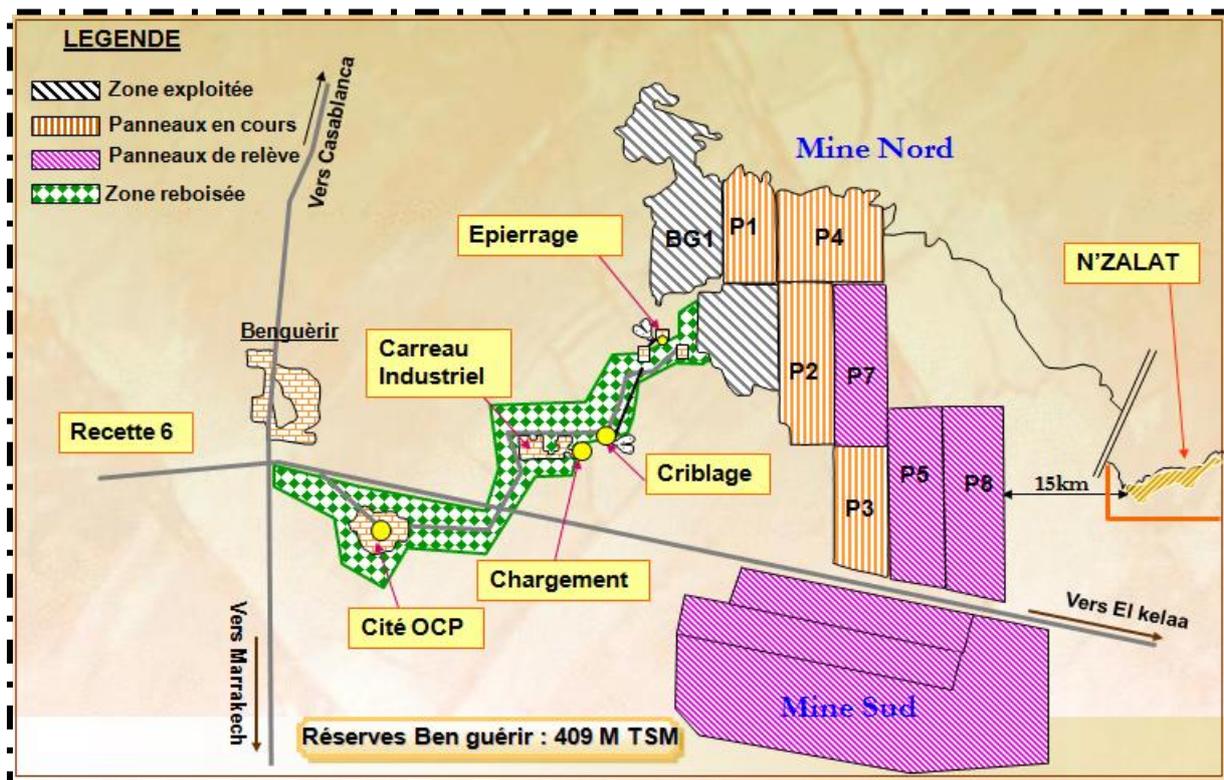


Figure 6 : Schéma de découpage du gisement de Benguérir en panneaux (OCP ,2009)

- ✘ Tranché d'exploitation : partie du panneau qui est elle-même subdivisée en case comme indiqué dans la figure 7.
- ✘ Case : unité du tranché d'exploitation à une longueur de 100m et une largeur de 40m.

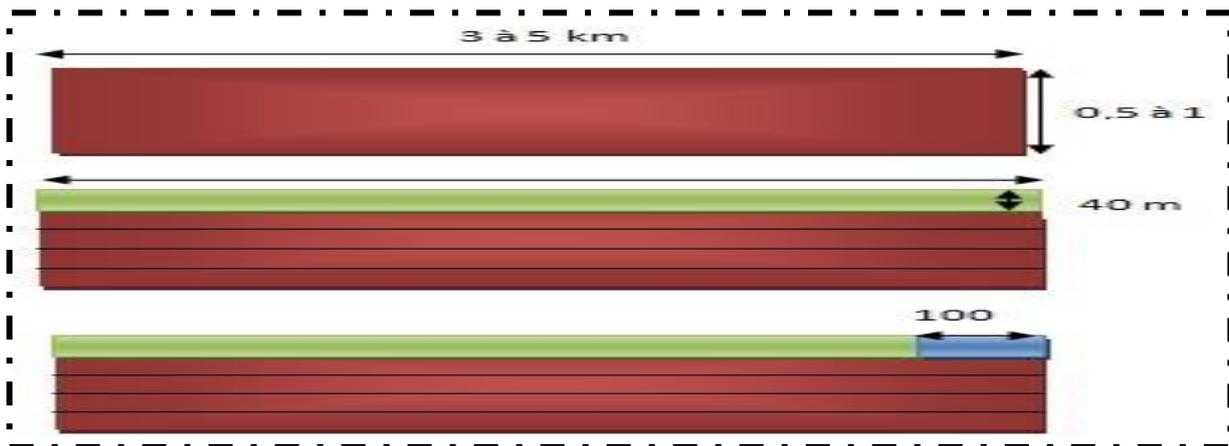


Figure 7 : schéma de découpage d'une zone phosphatée

2. Étapes d'exploitation

- **Foration** : C'est une opération qui consiste à forer des trous jusqu'à atteint du toit de la première couche rencontrée. Cette opération est effectuée par une machine appelée Sondeuse de type 45R.



Figure 8 : Opération de forage

✓ Sautage :

C'est une opération qui consiste à fragmenter les intercalaires par des charges explosives pour qu'ils puissent être enlevés par les engins de décapage.



Figure 9 : Opération de sautage

✓ Décapage :

C'est une opération qui consiste à enlever le stérile qui est au-dessus des couches phosphatées. Cette opération peut être faite par 3 types :

- Cassement : Dragline P&H 7500
- Poussage : Bull D11
- Transport



Figure 10 : Opération de décapage

✓ Défruitage:

C'est une opération qui consiste au gerbage du phosphate sous forme des tas à l'aide des machines appelées bulldozer.



Figure 11: Opération de defruitage

✓ Transport :

Transport Le phosphate gerbé sera transporté par des camions de types Lectra Hall, Unit-Rig et Haul-pakvers les trémies de l'épierre. Au niveau des installations fixes.



Figure 12 : Opération de transport

✓ Épierrage

Le phosphate transporté par des camions est versé dans deux trémies installées au début de la chaîne de l'épierrage et passé directement vers des cribles de maille carrée 90 mm, les gros blocs vont être par un concasseur afin de diminuer leur taille pour les rejeter facilement vers la mise à terril par les convoyeurs. Le phosphate épierré est acheminé par l'un des convoyeurs B1 ou B2 vers l'une des stockeuses qui ont pour rôle de stocker chaque couche dans un parc approprié.



Figure 13 : Opération d'épierrage

- ✓ **Criblage** : Les couches stockées à l'épierrage sont reprises par une Roue pelle et transportée par les convoyeurs en série B7 et T1 à l'installation du criblage qui renferme 5 trémies (A, B, C, D et E) situé au-dessus des cribles à maille carrée de 10mm.

Les particules supérieures à 10mm constituent les stériles qui sont transportés par les convoyeurs T9, T10, T11 et T12 vers la mise à terril.

Le passé des cribles est acheminé par un convoyeur T13 et T14 vers une stockeuse, qui le dispose au niveau des stocks appropriés, le stock obtenu est dit humide criblé



Figure 14 : Opération de criblage

✓ **Chargement :**

Au niveau des stocks de l'humide criblé, le phosphate est acheminé à l'aide d'une Roue pelle qui le dirige dans les convoyeurs vers la station de chargement, cette dernière est installée de façon que les wagons du train puissent passer au-dessous des 2 trémies, qui ont une capacité de charge de 300 m³. La cabine de commande qui se trouve au-dessus des trémies met en service toute l'installation du chargement.

II. Étude lithostratigraphique des couches 4 ; 5 et 6 du panneau 8

1. Coupe synthétique moyenne du panneau 8

Cette coupe lithostratigraphique a été réalisée avec le logiciel AUTOCAD, elle rassemble la description des caractéristiques de chaque couche à savoir leurs puissances, leurs teneurs moyennes de BPL et de CO₂, leurs lithologies et en fin leurs profondeurs.

La première étape de l'élaboration du log consiste à préparer la base de données . On rassemble les puissances et la description des faciès des différentes couches au niveau des coupes de puits, les valeurs de BPL et CO₂ sont fournies par le laboratoire d'analyse chimique à l'office . la dernière étape est la manipulation du logiciel AUTO CAD .



Figure 15 : Log lithostratigraphique synthétique du panneau 8

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

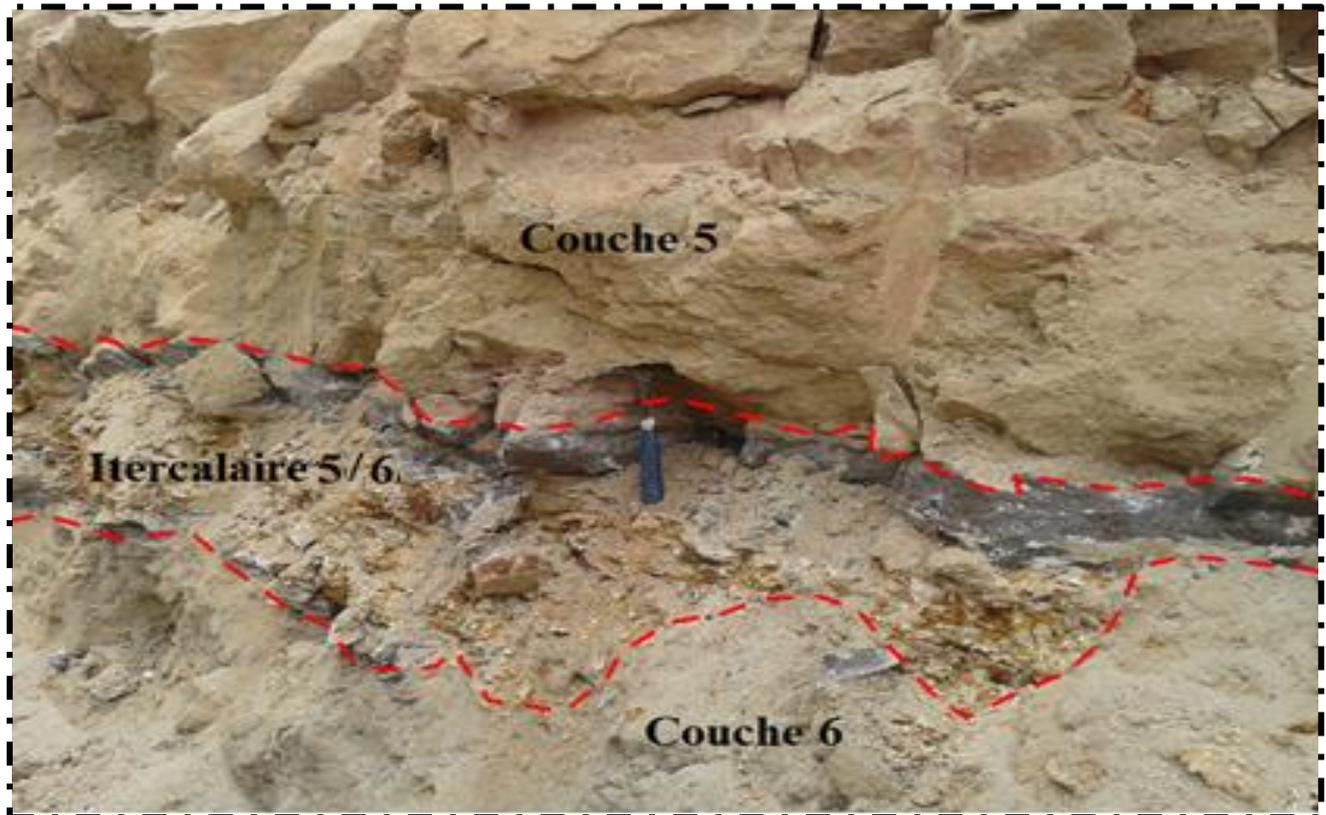


Figure 16: Photo des couches 6 et 5

✓ Couche 6 :

Constituée du phosphate meuble gris- beige, organo- détritique reposant en général sur des marnes jaunes, séparée de la couche 5 par un intercalaire 6/5 formé : complexe irrégulier de marne, marne siliceuse et marno calcaire a passé phosphates sableux grossier

✓ Couche 5 :

C'est un phosphate meuble plus au moins marneux, organo- détritique contenant souvent des barres de calcaires et quelques rognons de silex au centre.

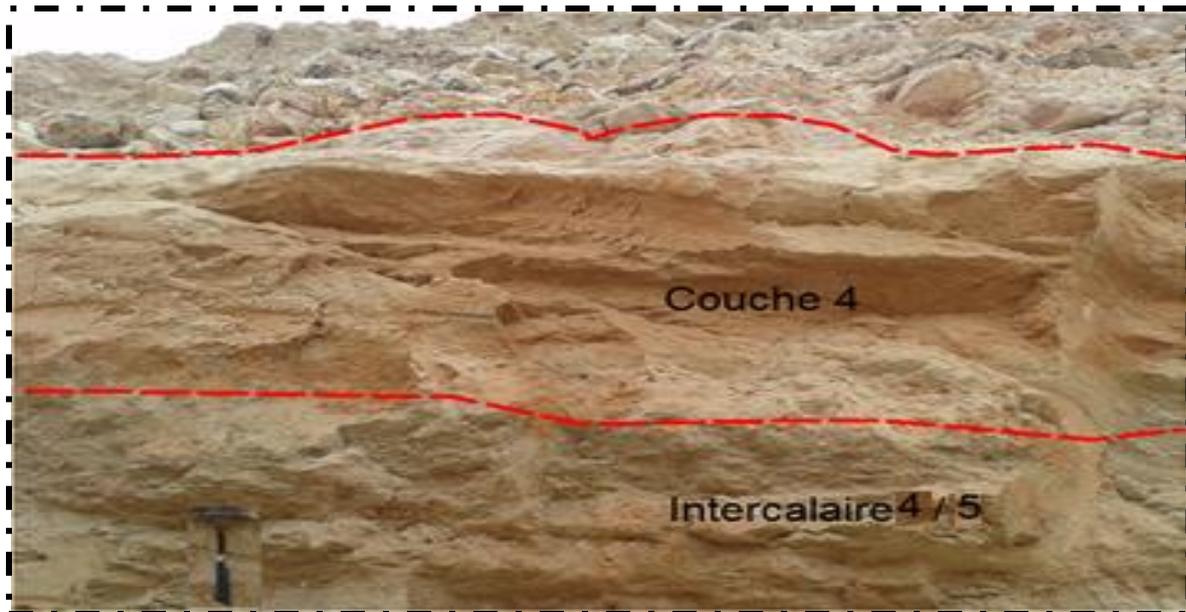


Figure 17 : Photo de la couche 4

Couche 4 : caractérisée du phosphate meuble avec des rognons de silex phosphates, limitée de la couche 5 par un intercalaire constitué principalement de marne et marne siliceuse avec souvent des niveaux marno-calcaires.

2. Stratigraphie séquentielle du Maestrichtien du panneau 8

Les dépôts phosphatés, Maestrichtien-Lutétien, du gisement de Ben guérir sont transgressifs sur un substratum paléozoïque à schistes et granite. C'est une surface à perforations, silicifications et oxydes de Fer. C'est un système qui reflète un paléoenvironnement marin épicontinental très favorable à une sédimentation phosphatée. L'étude granulométrique (Yassir, Majda 2013) des faciès, et l'analyse de diffraction par rayon X on a effectué sur les échantillons des intercalaires 4/5 et 5/6 qui a pour principe : Un faisceau de rayons X monochromatique incident est diffracté par l'échantillon à certains angles spécifiques, suivant la loi de Bragg.

L'enregistrement du signal par un détecteur adapté permet de visualiser les angles et intensités des pics de diffraction obtenus. L'indexation de ces pics est réalisée à l'aide de bases de données spécifiques permettant l'identification du (ou des) composé(s) en présence.

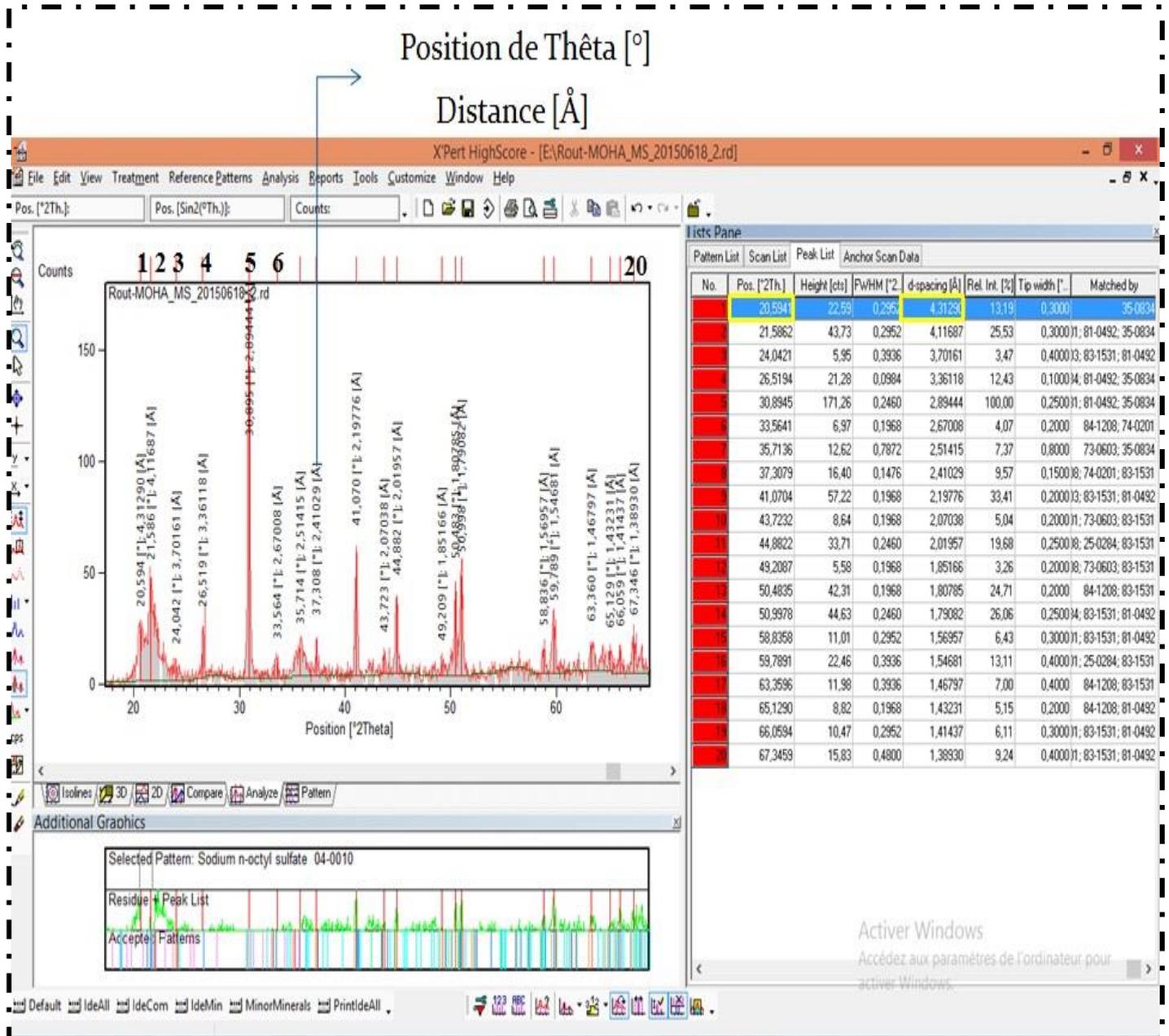


Figure 18: Indexation de l'analyse diffraction par rayon X de la marne siliceuse

L'indexation nous a permis de détecter vingt pics sur notre spectre d'échantillon de marne siliceuse en déduisant leurs position Thêta [°] et leurs distances [Å]. Le logiciel essaye de comparer leurs distances à celles d'autres éléments ; en cas de similitudes il nous propose des modèles spectrales.

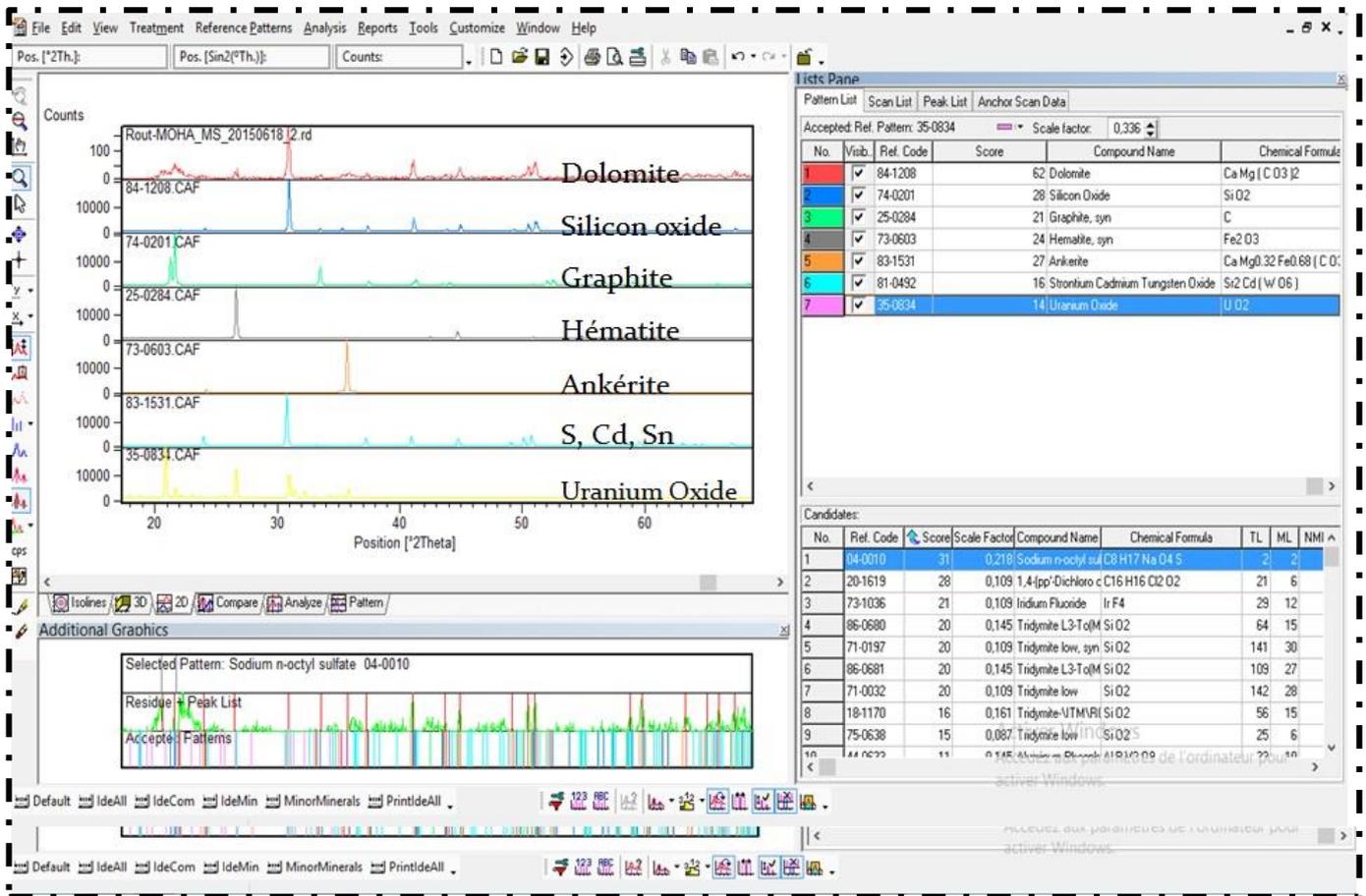


Figure 19: Reconnaissance des phases

Cette analyse avait pour but la recherche de la glauconite qui est un indicateur de la surface maximum d'inondation et d'autre indice de changement chimique lié à la variation de niveau marin afin d'effectuer un découpage séquentielle. Mais malheureusement on a trouvé que des indices paraséquentiels.

Le résultat obtenu de cette analyse montre que le signal pratique de notre échantillon marne siliceuse une forte similitude avec le signal du Dolomite, Silicon, Graphite, certains éléments traces tel que U, S et Sn on trouve aussi l'Ankérinite et l'Hématite qui sont des minéraux ayant un signal proche de celui de la Glauconite puisque il y a une affinité chimique. La Glauconite est un hydroxyde qui prend naissance en milieux aqueux mais qui se transforme en oxyde en absence d'eau et donne Ankérinite et Hématite.

Le résultat d'analyse du silex a permis de dire qu'il contient 90 % de quartz

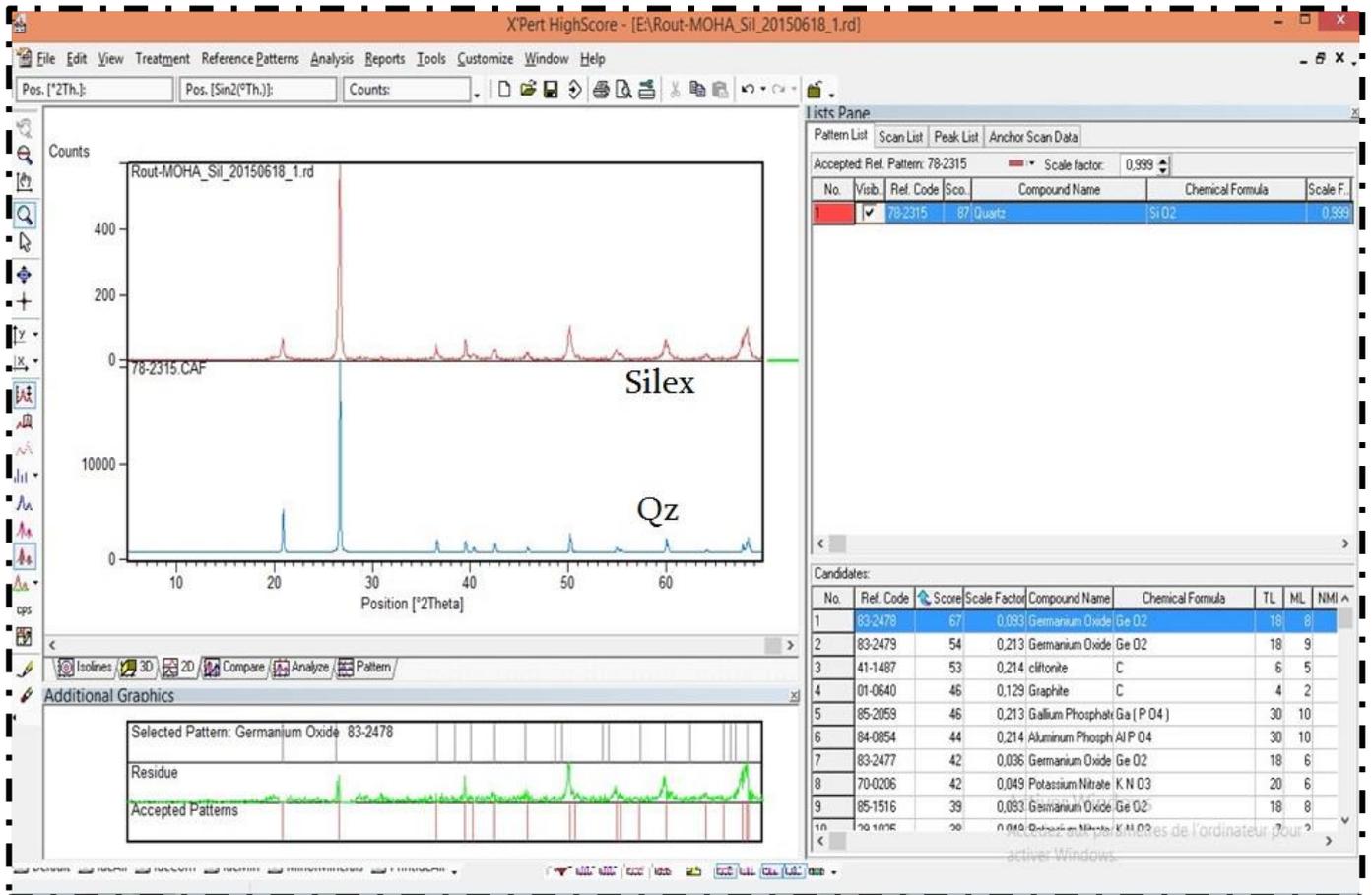


Figure 20: Interprétation de l'analyse diffraction par rayon X du silex

Commentaire (voir figure : 15)

Ces deux analyses nous ont permis d'établir un découpage paraséquentiel fin de suivre avec précision l'évolution et l'extension des entités phosphatées en tout point de notre panneau. Grace à cette étude on a dénombré 10 paraséquences .

Les trois couches 4,5 et 6 présentent une granulométrie moyenne qui indique un milieu peu profond transgressif .Elles ont un pourcentage de quartz légèrement faible indiquant un éloignement de la source détritique. Par contre les intercalaire 5/6 et 4/5 ont des faciès fin qui traduit un milieu plus profond avec un pourcentage de quartz très faible voir nul.

3. Profil litho-stratigraphique de box cut du panneau8

Le profil lithostratigraphique a pour but d'informer sur la continuité latérale des couches tout au long de la tranchée appartenant à un panneau précis d'une orientation Nord –Sud ainsi que la situation et l'affleurement des sillons pour le guide d'exploitation.

3.1 Etapes d'élaboration du profil

Un profil est une représentation d'un ensemble de couches vu par un vu de côté de côté .Dans notre cas les courbes représentent les couches d'ère maastrichtien vu longitudinalement tout au long de la tranchée centrale (BOX CUT) .

Normalement pour tracer le terrain naturel (TN) on se base sur les valeurs qui présentent l'intersection entre notre profil et les courbes de niveau sur une carte topographique Puisqu'il s'agit d'un profil de box cut, on fixe la valeur du coordonné X variant celui de Y. Mais en traçant notre profil on a remarqué qu'il ne passe par aucun puits donc on ne peut pas interpolé si non, on aura des fausses valeurs qui ne seront pas representative . La maille de notre panneau est 50 m par contre le reste des panneaux ont une maille de 20 m .On a procédé en traçant un profil qui passe par les puits qui nous interessent ensuite on corrèle entre ces puits .

- ✓ Récolter les Ztoit de chaque puis traversé par le profil en les calculant par :

$$Z_{\text{toit}} = Z - \text{Toit}$$

- ✓ Calcul du plan de comparaison par la formule $P_c = Z_{\text{toit}} - \text{Profondeur} \times \text{il}$ a pour role de centrer les couches
- ✓ Tracer le terrain naturel en calculant Z- Plan de comparaison

On decale le toit de chaque couche par rapport a la surface du terrain naturel

- ✓ On correle les couches de chaque puits



Figure 21 : Profil lithostratigraphique de box cut du panneau 8

Commentaire :

La couche n°2 supérieure montre une infime diminution continue de puissance du Nord vers le Sud, avec les plus fortes valeurs BPL recensées au niveau des puits n°239 et 232.

L'intercalaire Bone bed qui sépare la couche n° 2 supérieure et celle de n° 2 inférieure montre une baisse de puissance du Sud vers le Nord ou elle disparaît totalement au niveau du puits n°258.

La couche n° 2 inférieure présente non seulement une baisse de puissance du Nord vers le Sud mais elle a les plus faibles valeurs BPL parmi toutes les couches phosphatées.

Les couches n° 4 et 3 ont des puissances constantes et une distribution de BPL homogène tout au long du transect. On observe des fortes puissances de la couche n° 5 entre les puits 258 et 217 au niveau desquelles la puissance diminue de chaque côté vers le Nord et vers le Sud. Elle montre également une baisse de teneur BPL depuis le puits n°264 jusqu'au puits n°239.

La puissance de la couche 6 diminue aussi du Nord vers le Sud et finit par disparaître entre les puits n°224 et 217.

Les intercalaires marne siliceux et rognons de silex sont continus et gardent leurs puissances.

D'une manière générale les couches phosphatées diminuent de puissance du Nord vers le Sud et on trouve les fortes valeurs BPL dans la partie Nord, par conséquent on peut déduire que la partie Nord du panneau 8 se situe vers le bassin, cela peut être confirmé par la variation de la puissance du Bone bed.

CHAPITRE 4 :

ETUDES GÉO MINIÈRES DES COUCHES 4, 5, ET 6 DU PANNEAU 8

I. PRESENTATION DE LA BASE DE DONNEES

Pour la récolte des données, on a consulté plus de 108 coupes de puits ainsi que d'autres documents de reconnaissance élaborés par le service de la géologie de l'exploitation minière de Benguérir.

La méthode consiste à :

- classer les puits selon leurs profils indiqués sur le panneau étudié.
- savoir bien identifier les couches et les sillons phosphatés, calculer les intercalaires entes eux et les pondérations des teneurs en BPL et en CO₂, et en fin noter les coordonnées (X, Y et Z de chaque puits).

-effectuer des calculs par le biais du Microsoft Excel :

* Z du puits –profondeur=Z toit de la couche
Phosphatée.

* Z du toit –la puissance de la couche phosphatée = Z du mur de la couche phosphatée.

- Et finalement réaliser une étude statistique complète et globale sur l'ensemble des puits (valeur maximale, minimale, puits ayant la valeur mentionnée et la moyen).

Tableau 2: Un extrait de base de données de la couche 5.

Puits	x	y	z	z de toit	Pm	P t	BPL	CO2	PI
559	275 494,38	181 745,04	461,35	426,15	1,65	3,10	60,25	9,70	3,50
535	275 495,47	182 244,38	466,28	423,03	0,90	1,40	58,32	4,66	4,75
272	277 505,68	186 021,37	507,36	434,41	1,90	2,05	65,75	9,90	5,55
271	277 003,65	186 021,23	500,05	434,05	1,30	1,30	64,79	4,20	4,70
270	276 502,32	186 012,85	490,62	437,67	2,10	2,45	56,75	4,16	1,85
269	275 503,88	186 011,61	495,98	442,73	2,50	3,00	62,11	6,89	1,90
266	277 509,50	185 518,50	501,95	429,75	1,60	1,90	51,00	5,97	2,10
265	277 014,00	185 507,80	502,35	428,15	1,45	1,65	66,56	5,09	5,60
264	276 511,80	185 510,59	487,59	433,84	1,90	2,05	69,52	6,62	4,80
263	276 004,00	185 509,70	486,50	439,50	2,95	3,50	64,19	4,31	5,00
262	275 499,60	185 507,50	486,40	443,80	1,75	1,85	62,75	5,04	5,60
260	277 504,00	185 015,40	485,61	427,61	1,00	1,30	62,42	6,30	5,30
259	277 006,60	185 014,80	493,56	431,86	1,00	1,10	63,23	7,77	2,10
258	276 503,00	185 016,00	482,23	432,03	1,40	1,70	69,08	5,09	5,00
257	275 495,80	185 009,00	482,45	436,00	2,25	2,85	55,44	5,64	2,10
254	277 505,50	184 518,40	486,57	426,52	1,60	1,60	62,77	7,09	5,35
253	277 010,70	184 518,40	480,76	421,06	2,10	2,10	62,69	8,35	5,10
252	276 502,30	184 510,50	478,52	426,30	2,70	3,00	65,16	6,66	4,95
251	275 497,70	184 507,80	481,54	433,00	1,50	1,70	62,57	6,05	4,80
247	277 507,80	184 015,50	481,01	411,86	2,10	3,15	59,66	7,53	1,75
246	277 007,50	184 015,20	473,51	416,01	3,10	2,40	65,47	13,39	2,00

II. REALISATION DES CARTES AVEC LE LOGICIEL ARCGIS

La représentation des caractères physico-chimiques (structure, puissance, teneur, ...) sur des cartes spécifiques, sert à montrer l'évolution de ces caractères, afin de guider l'exploitant, en le renseignant sur les variations des différents paramètres relatifs à la zone d'exploitation. On établira par la suite des cartes d'isovaleurs.

1. Cartes structurales

La carte structurale est une carte qui représente la structure d'une couche dans le sous-sol, elle est fournie à partir d'une succession des courbes de même valeur de cote et d'équidistance entre elles, ces courbes sont appelées courbes structurales.

Elles sont obtenues à partir de l'interpolation des points ayant la même cote de toit d'une même couche dans une zone bien définie.

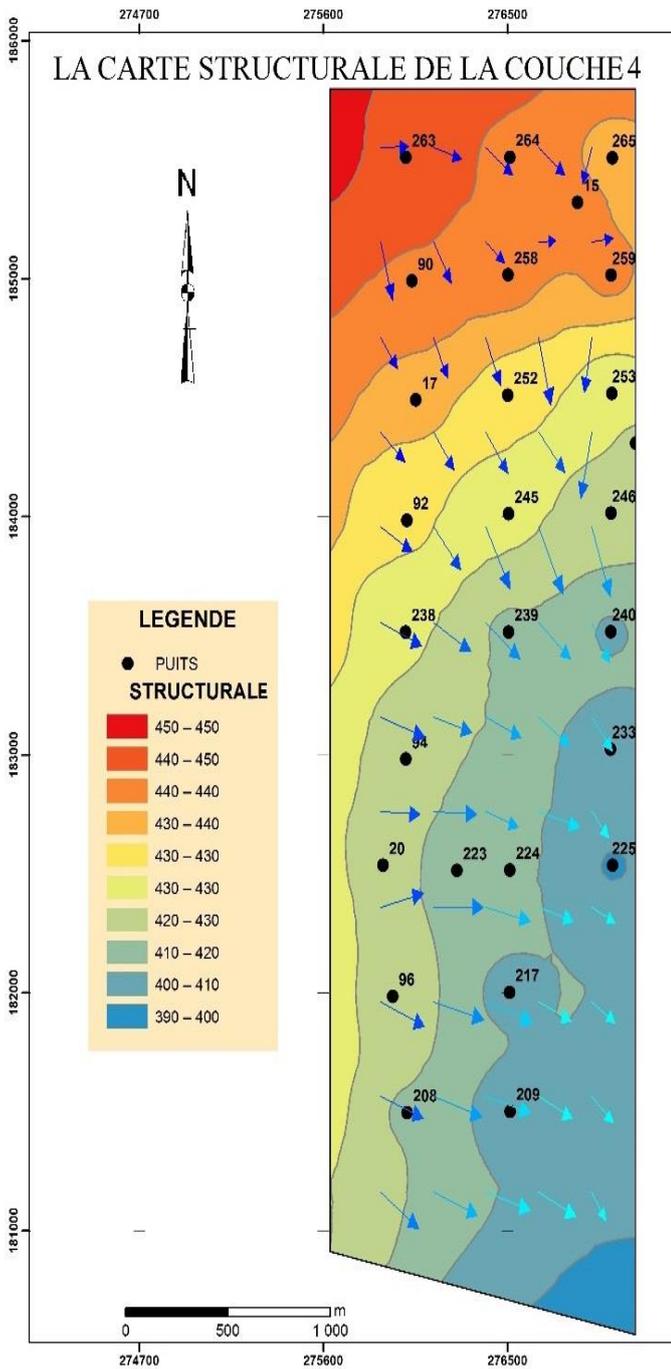


Figure 22 :
Carte structurale de la couche 4
du panneau 8

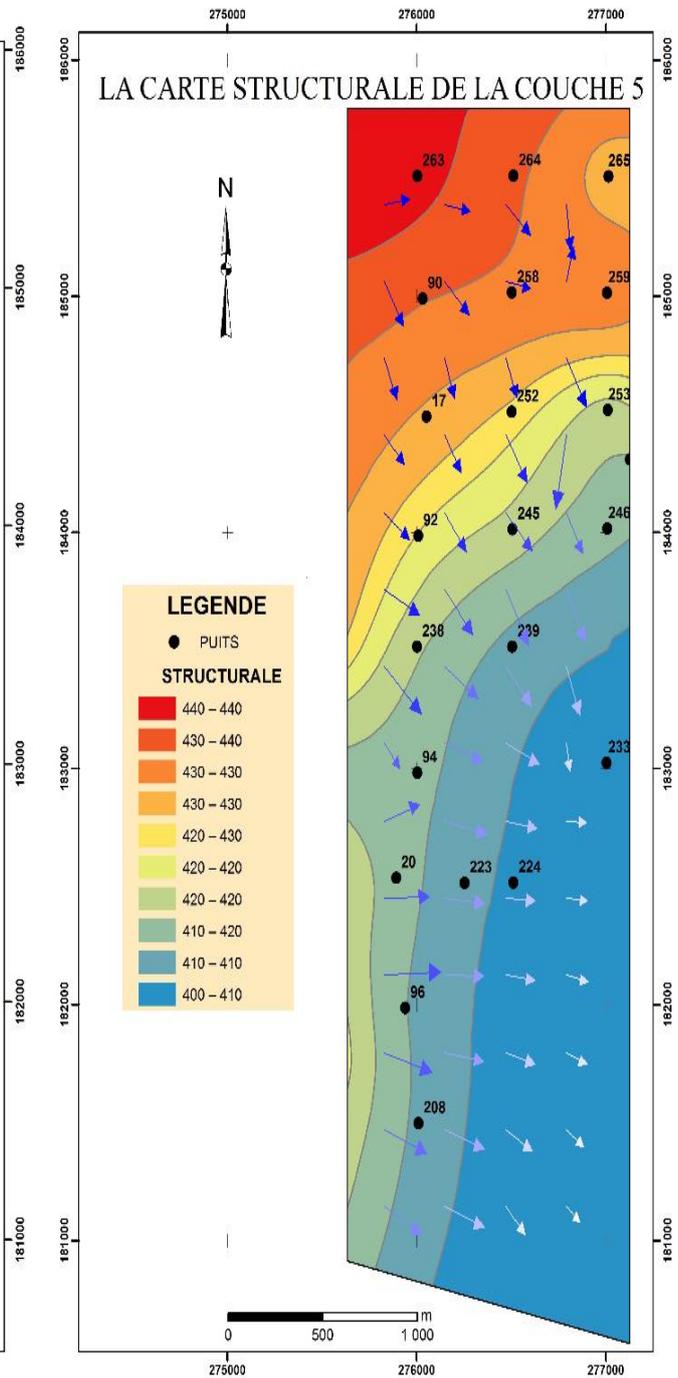


Figure 20 :
Carte structurale de la couche 5
du panneau 8

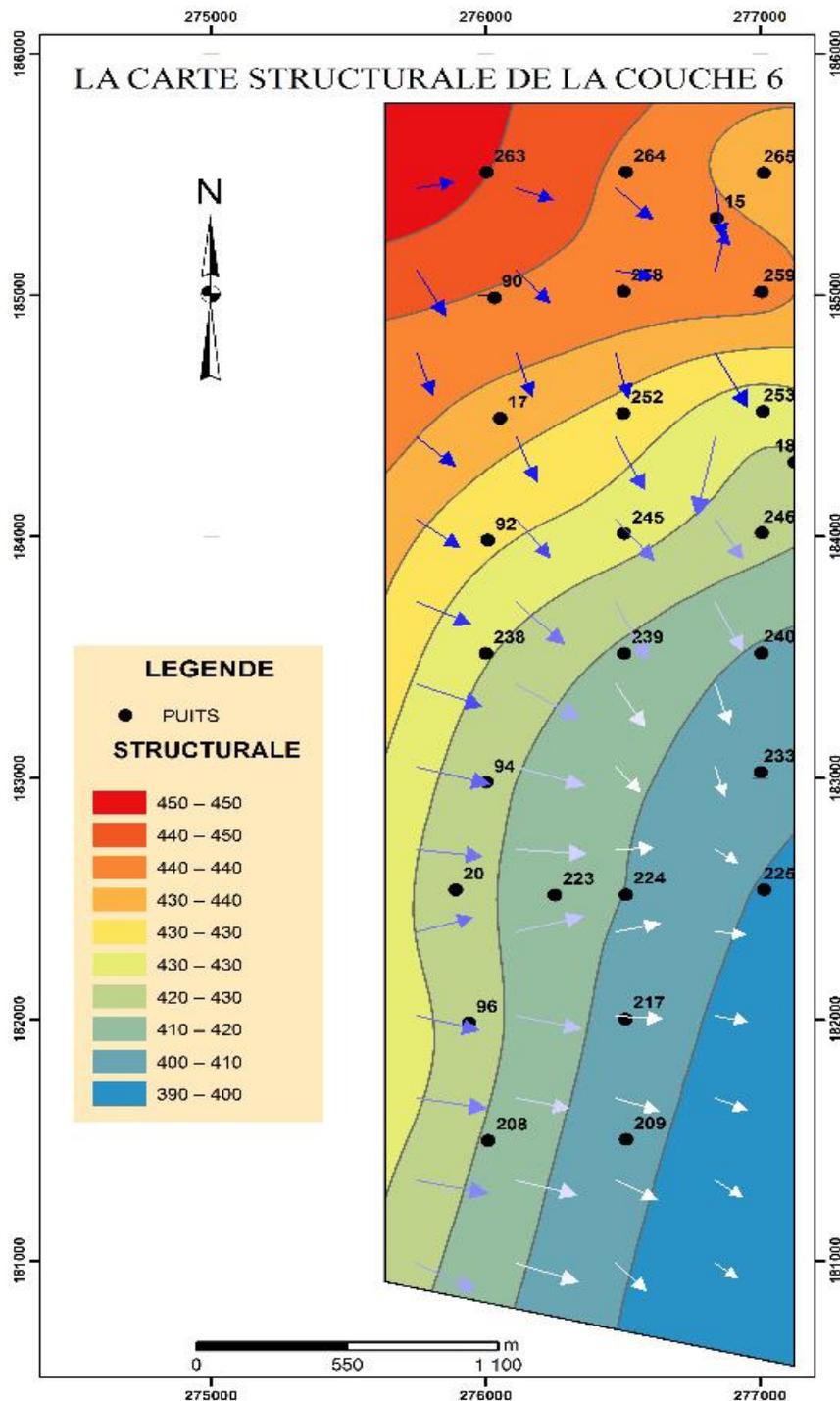


Figure 24 : Carte structurale de la couche 6 du panneau 8

COMMENTAIRE :

Les trois couches 4, 5, et 6 ont un faible pendage dans la partie Sud-Est du panneau au niveau de la quelle, les courbes de niveau sont très espacées .Le pendage diminue du centre vers la partie Nord-Ouest du panneau leurs sens de pendage est Sud-Est.

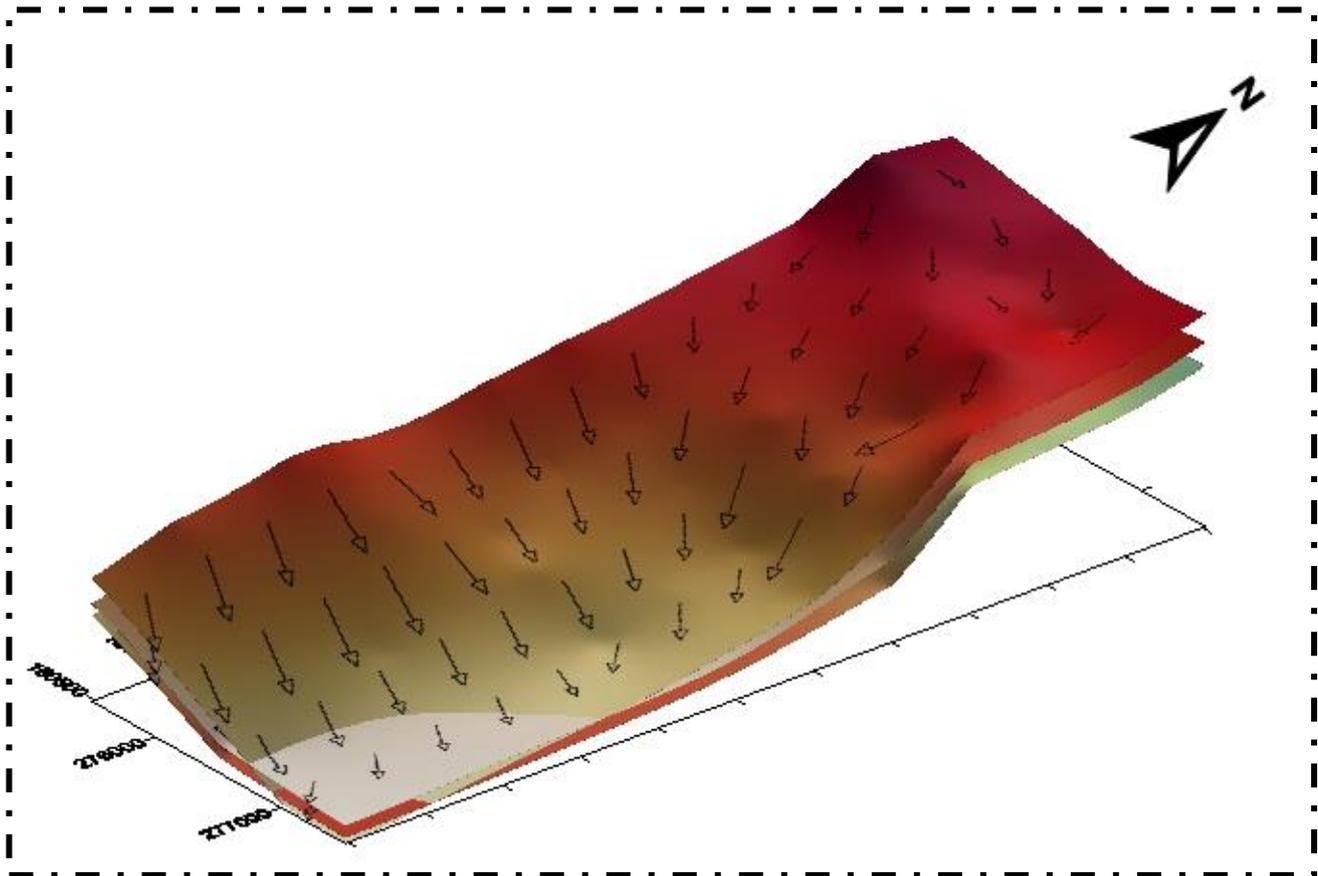


Figure 21 : Carte structurale des couches 4,5 et 6 en 3D

Cette carte représente la superposition des cartes structurales des trois couches 4 ,5 et 6 en 3 dimensions, elle permet de mieux observer, confirmer le sens de pendage de ces trois couches tout au long du panneau.

2. Cartes iso-teneurs

Les cartes iso teneurs déterminent les variations des teneurs par zone et par couche. On utilise le même principe d'établissement de la carte structurale avec une équidistance de 1m.

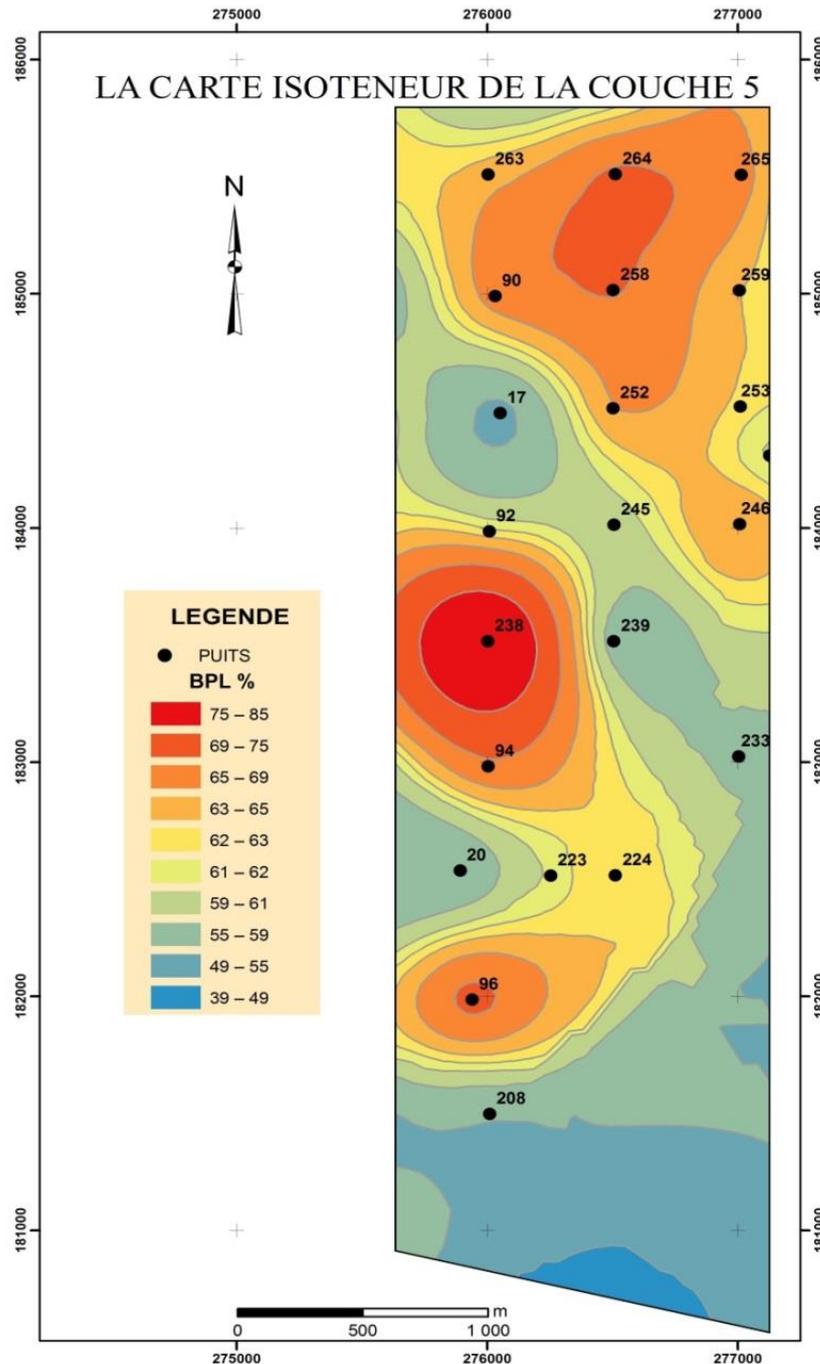


Figure 22 : Carte iso-teneur BPL de la couche 5 du panneau 8

COMMENTAIRE :

La carte d’isoteneur de la couche 5 présente des très fortes valeurs BPL dans les puits n° 238 et 96 avec des teneurs pouvant atteindre 85% d’une part dans la partie centrale du panneau , et des valeurs de BPL qui augmentent vers le Nord à partir des puits n° 245 et 246 d’autre part .

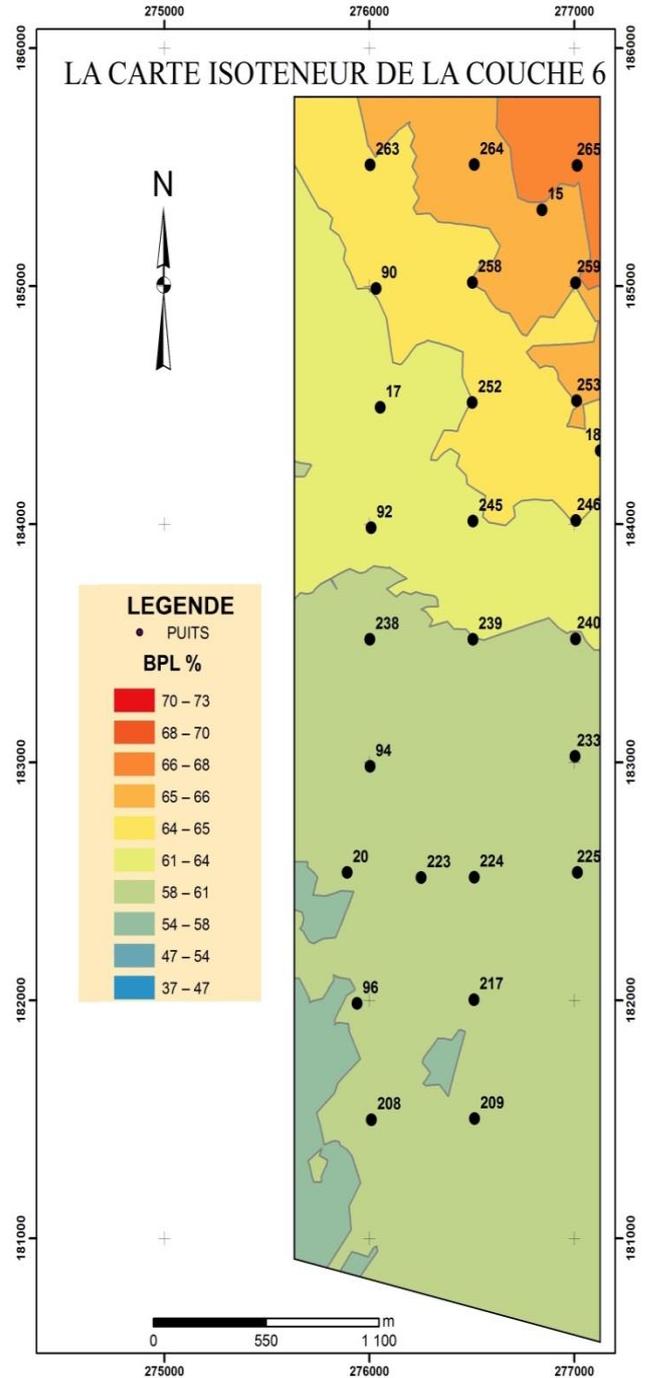
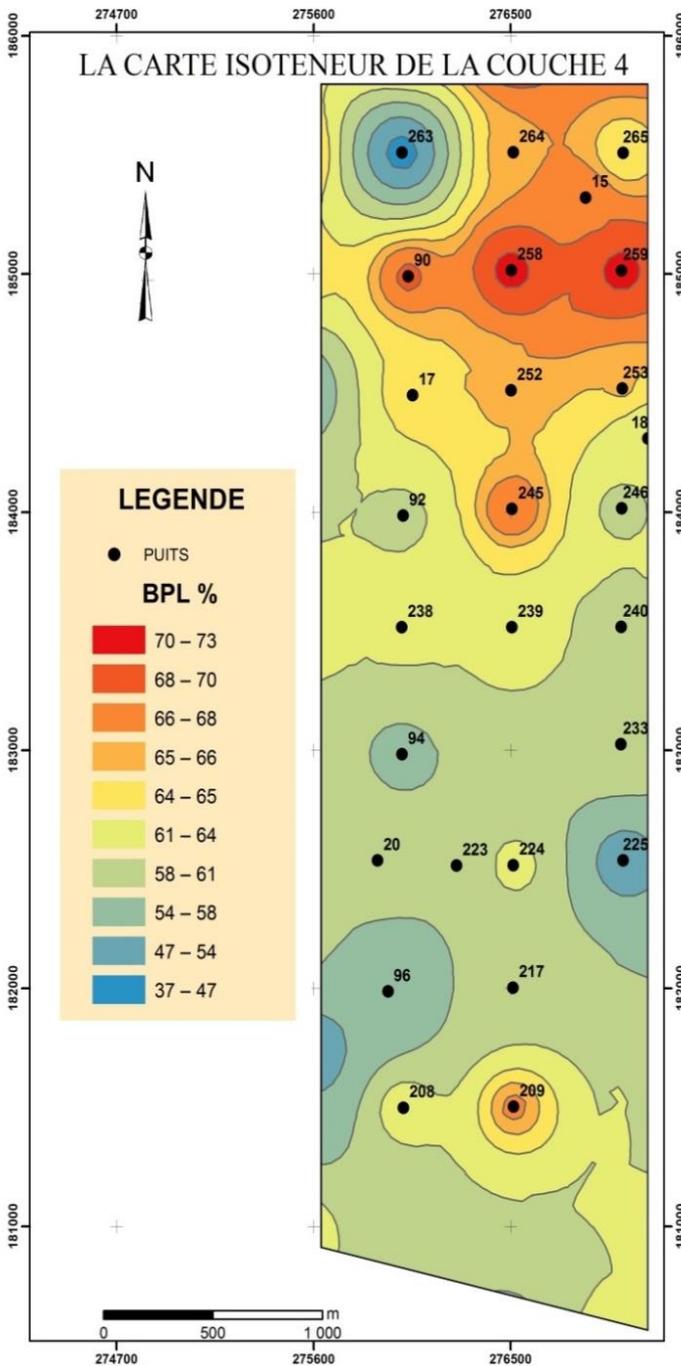


Figure 27 :
Carte iso-teneur BPL de la couche 4
du panneau 8

Figure 28 :
Carte iso teneur BPL de la couche 6
du panneau 8

COMMENTAIRE :

Les Valeurs de BPL augmentent à partir également des puits n°245 et 246 en allant vers le Nord du panneau. Elles ont des teneurs maximum qui atteignent 75 %. A la différence de la couche 5, elles ont une forte distribution des teneurs supérieure à 58%.

Seuil d'exploitabilité = % BPL \geq 50

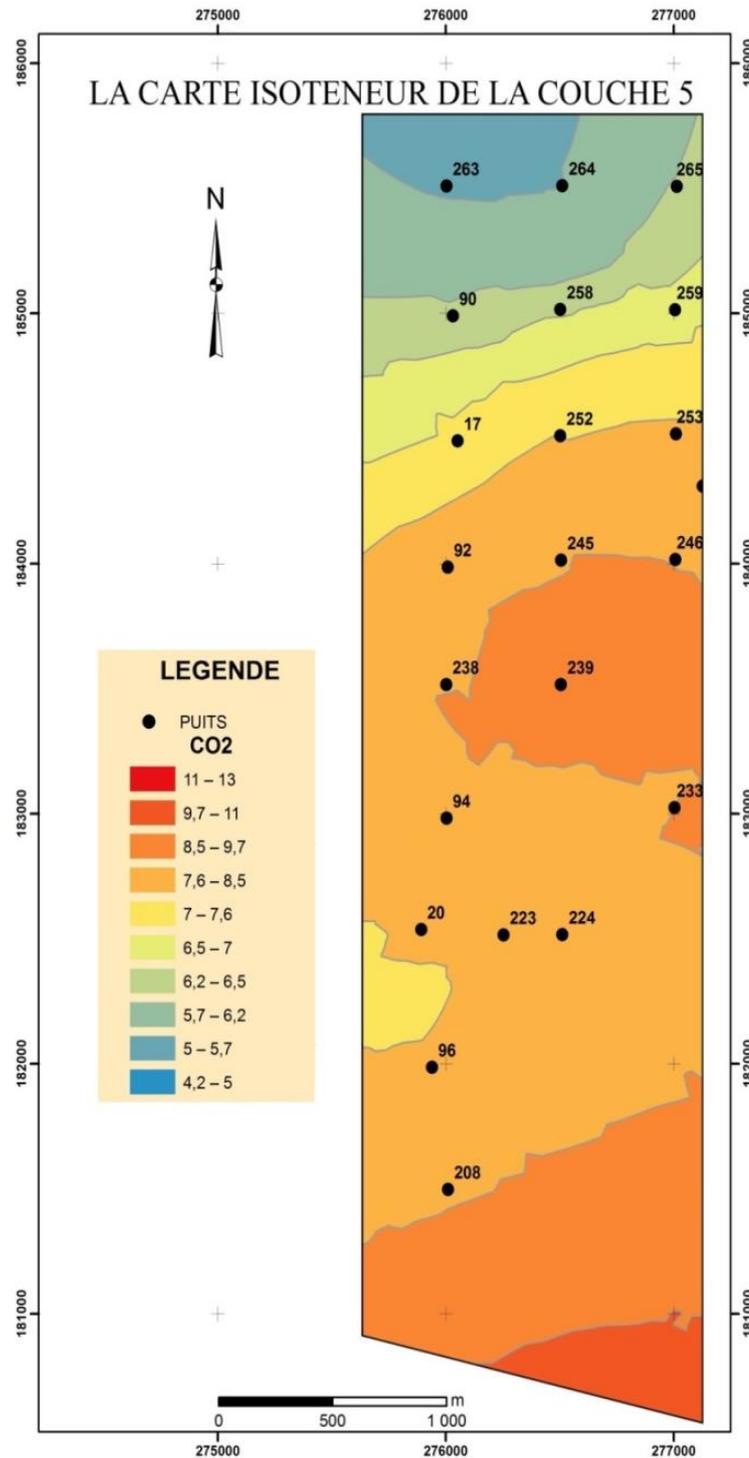


Figure 29 : Carte d'iso-teneur de CO₂ de la couche 5 du panneau 8

COMMENTAIRE :

La concentration du CO₂ à une influence négative sur le BPL c'est-à-dire l'augmentation de la teneur de CO₂ est inversement proportionnelle à celle de BPL.

La couche 5 a des faibles valeurs de CO₂ dans l'extrémité Nord du panneau au niveau des puits n° 263 et 264 à partir desquelles les valeurs de CO₂ augmentent jusqu'au Sud du panneau.

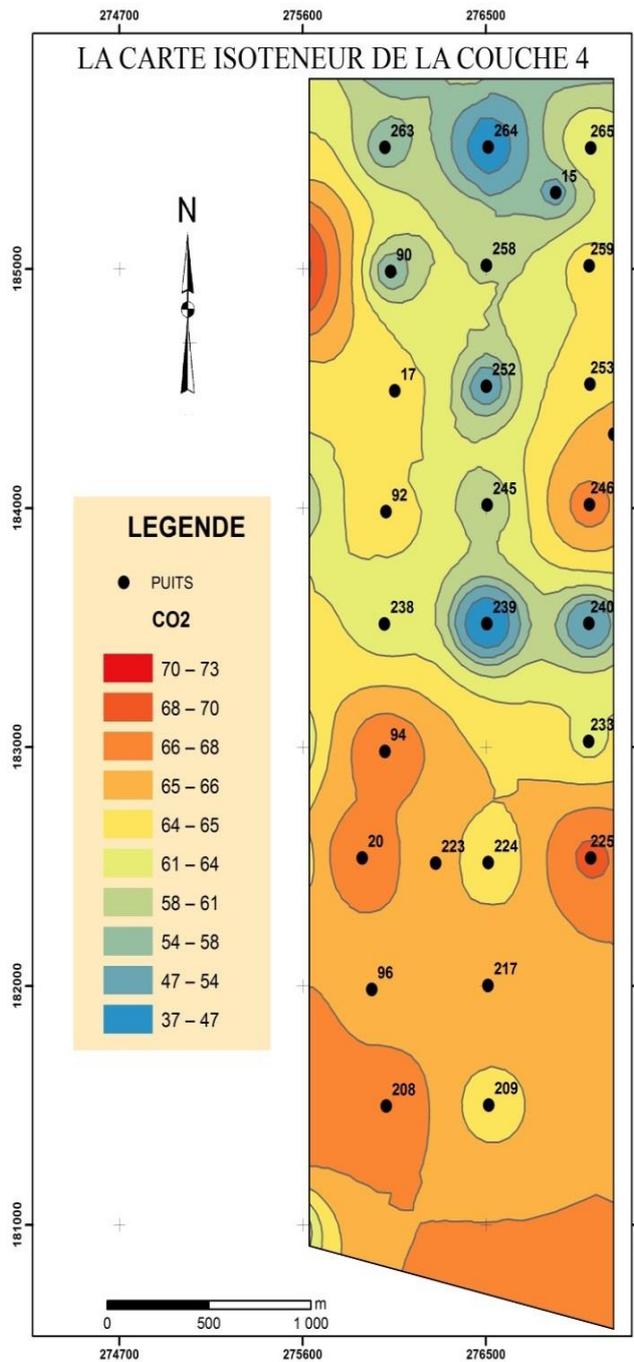


Figure 30 :
Carte d'iso-teneur de CO₂ de la couche 4 du panneau 8

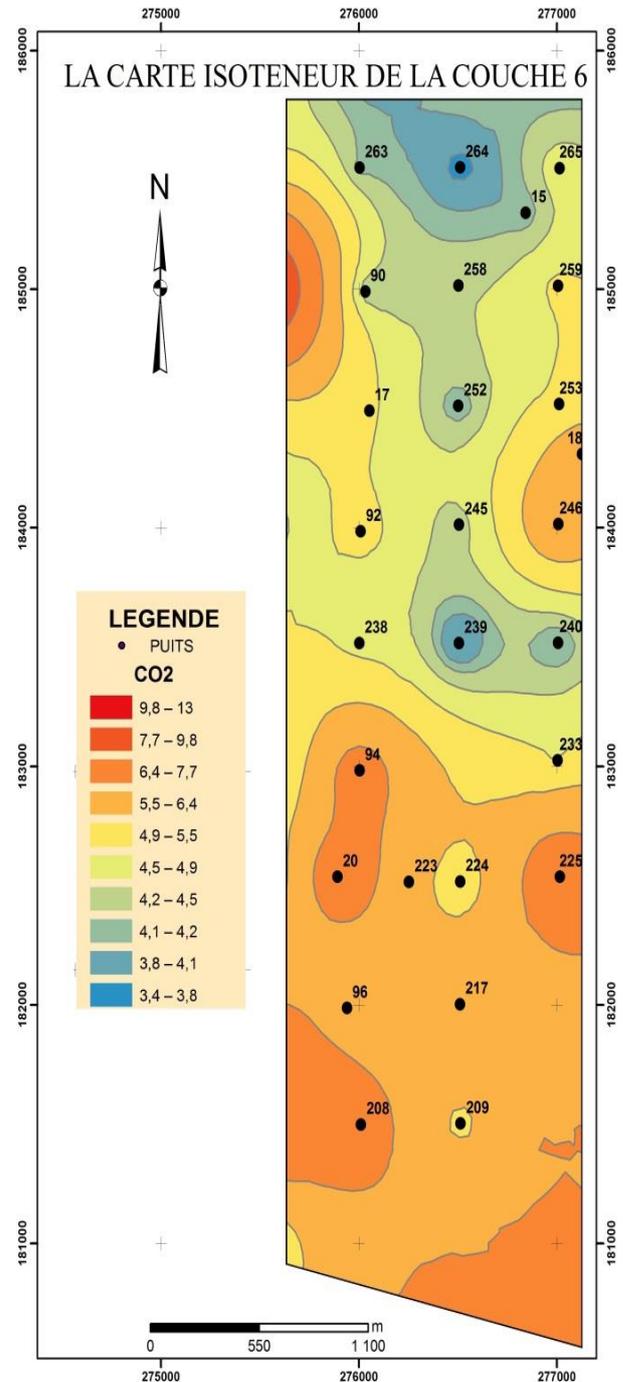


Figure 31 :
Carte d'iso-teneur de CO₂ de la couche 6 du panneau 8

COMMENTAIRE :

Les couches 4 et 6 ont une même répartition de CO₂ le long du panneau. Elles présentent une sorte de couloir ayant des faibles valeurs de CO₂ dans le Nord du panneau depuis le puits n° 254 au puits 239. Le sud est marqué par des fortes valeurs.

3. Cartes iso-puissances

La carte d'iso-puissance est établit en joignant les points ayant la même épaisseur et qui sont tracés suivant une équidistance constante (dans notre cas en utilise l'équidistance 0,4m).Le but de cette carte est de déterminer la variation des puissances de phosphate par zone et par couche, et aussi donne une idée sur la méthode d'exploitation.

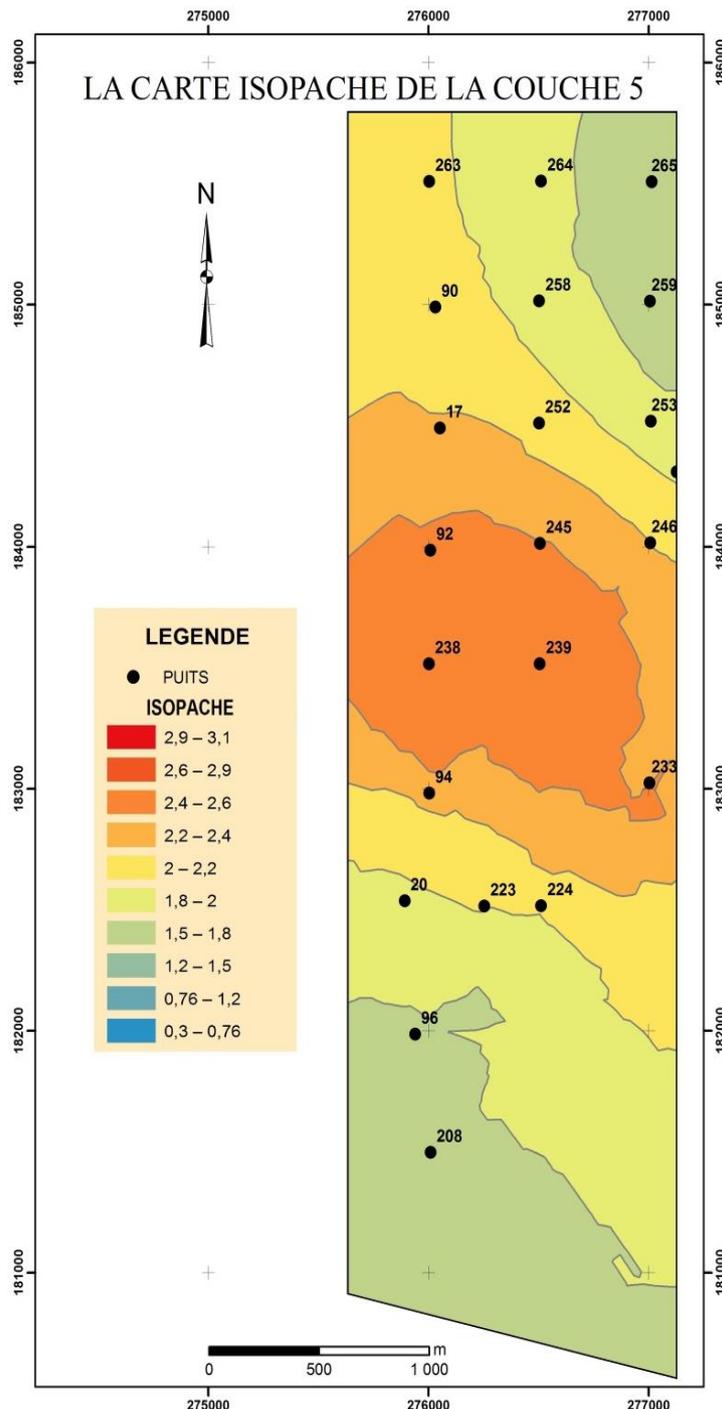


Figure 32 : Carte d'iso- puissance de la couche 5 du panneau 8

COMMENTAIRE :

La couche 5 a une diminution de la puissance phosphatée vers le nord et vers le sud à partir du centre du panneau. C'est-à-dire on trouve la plus forte puissance de la couche 5 dans la partie centrale du panneau précisément au niveau des puits n° 238 et 239, et les faibles puissances sont observées au Nord-Est et au Sud-Ouest.

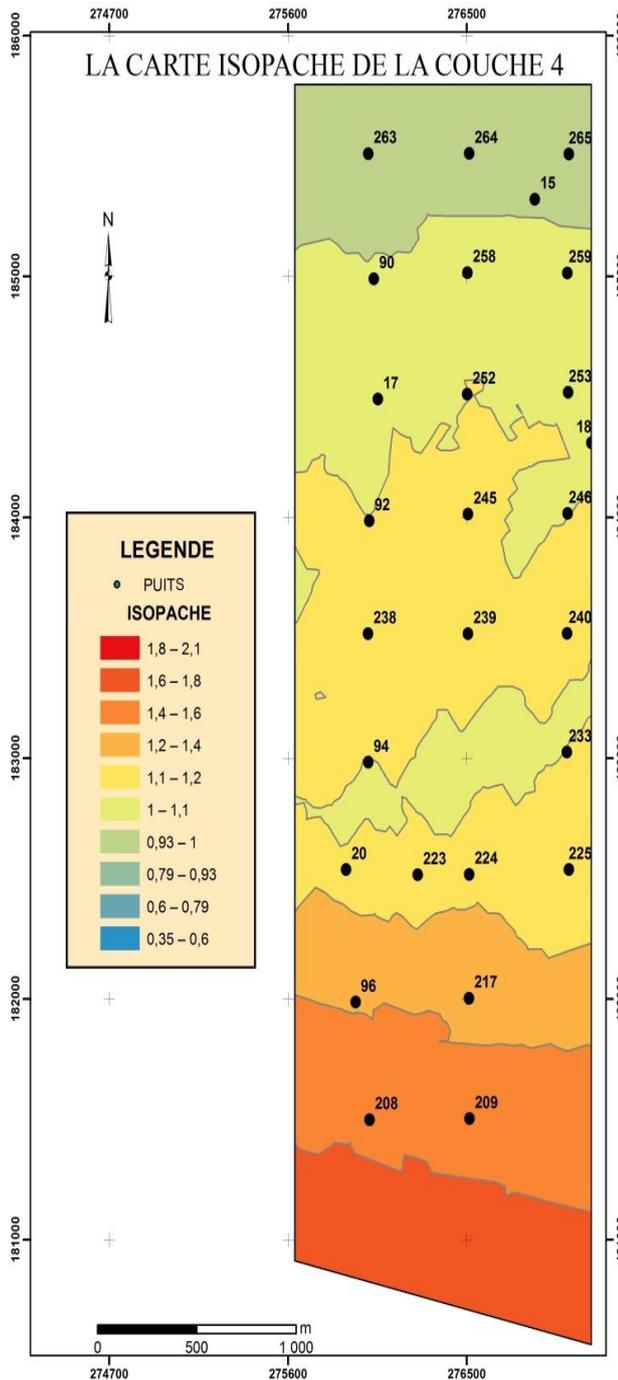


Figure 33 :
Carte d'iso-puissance de la couche 4
du panneau 8

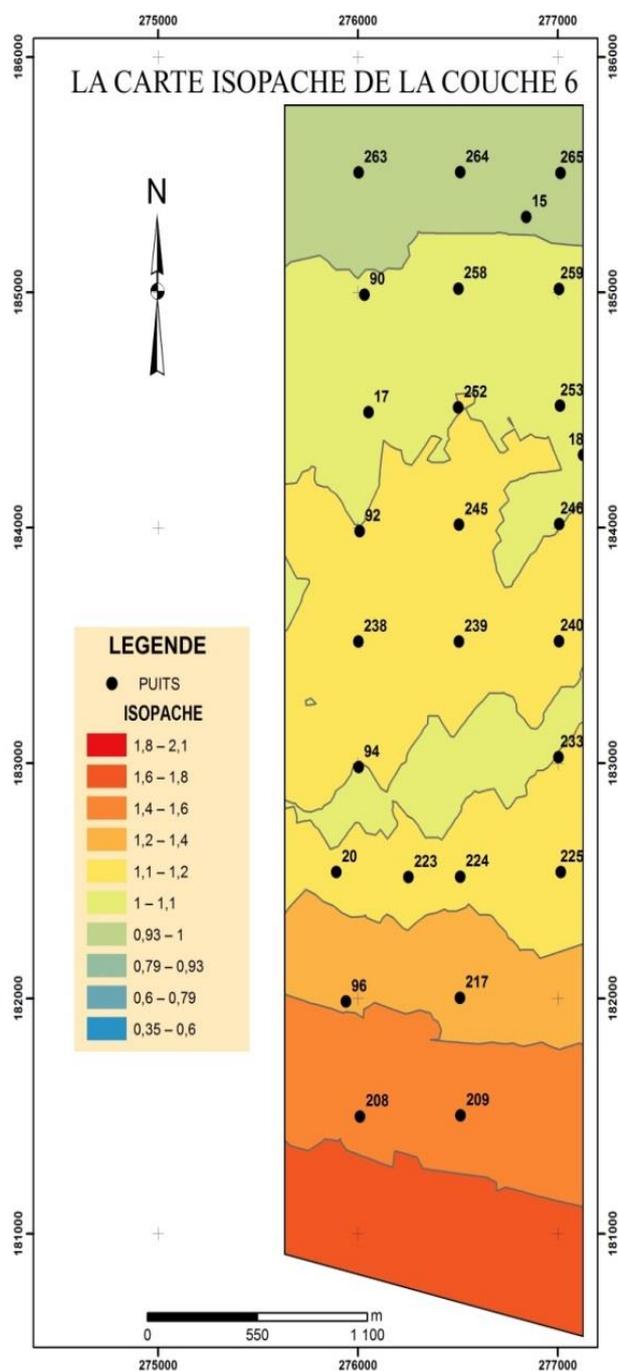


Figure 34 :
Carte d'iso- puissance de la couche 6 du
panneau 8

COMMENTAIRE

La variation de la puissance phosphatée des couches 4 et 6 est semblable. La puissance phosphatée des couches 4,6 augmente du nord vers le sud du panneau. La corrélation de cette carte d'iso puissance avec celle de BPL permet de donner une idée sur la méthode d'exploitation de ce panneau.

III. ETUDES RENTABILITE

1. Estimation des réserves

Le panneau 8 est constitué de 37 Tranchés. L'étude cible la partie inférieure du maastrichtien la série phosphatée en se basant sur une carte topographique à l'échelle 1/5000. Cette étude est faite suivant des étapes bien précises qu'on peut

résumer en 4 étapes :

Calcul de surface à l'aide du logiciel Autocad2012.

Calcul des Puissances moyennes à l'aide des cartes iso- puissances.

Calcul de volume :

- Volume phosphaté = puissance phosphatée * surface de la couche.
- Convertir le Volume en Thc (Tonnage Humide Criblé) :
- Le tonnage humide criblé = volume phosphaté *coefficient de densité

Sachant que chaque Couche à un Coefficient précis:

- ✓ C6 Coefficient = 1,62
- ✓ C5;C4 Coefficient = 1,42

Tableau 3: Estimations des réserves du panneau 8

Niveaux	Puissance	Surface (m ²)	Volume (m ³)	Thc	
Recouvrement	1,35	7174850	9686047,5		
Couche 4	1,2	7331850	8798220	12493472,4	
INTERCALAIRE 4/5	4,95	6555650	32450467,5		
Couche 5	1,67	6722850	11227159,5	15942566,5	
INTERCALAIRE 5/6	2,7	5259250	14199975		
Couche 6	0,7	5119250	3583475	5805229,5	
Σ STERILE		18989750	56336490		Ratio du panneau
Σ PHOSPHATE		19173950	23608854,5	34241268,4	2,38624411

2. Ratio d'exploitation

C'est le taux d'exploitation à partir duquel on peut dire que le niveau phosphaté est exploitable. Il est définie par la relation suivante :

Volume de stérile = puissance d'intercalaire moyenne * surface stérile.

Ratio de la couche = volume stérile / volume phosphaté.

Ratio du panneau = \sum volume de stérile des couches / \sum volume phosphaté des couches.

La valeur du ratio ne doit pas dépasser 6 si non la couche ou le panneau ne sera pas exploitable. Les résultats de l'étude sont comme suite :

Ratio du panneau : $56336490 \text{ m}^3 / 23608854,5 \text{ m}^3 = 2,38$.

Le panneau 8 a un ratio de 2,38 qui est inférieur au ratio d'exploitation (6) ; donc les niveaux phosphatés du Panneau 8 sont exploitable économiquement.

IV. LISTING CASE

La charte de qualité est un ensemble des lois constitutionnelles qui est destiné à consigner des caractères précis et des teneurs bien déterminées du phosphate selon les besoins des clients. Les clients demandent une spécification chimique contractuelle (éléments et ses valeurs limites) en précisant la méthode d'analyse utilisée (gravimétrie, absorption atomique, potentiomètre) et la méthode d'échantillonnage effectuée durant la prospection. Les qualités des phosphates demandées par le client varient en fonction de la teneur BPL d'où on distingue :

Tableau 4 : qualités de phosphate demandées par les clients (OPC)

Type des phosphates	Teneurs BPL	Client
PROFIL BENGUERIR	58 - 62	SAFI
TRES BASSE TENEUR (LAVEE)	51 -55	YOUSSOUFIA
BASSE TENEUR CALICINEE	56 - 58	YOUSSOUFIA
APPLICATION DIRECTE ET EXPORT	63 - 67	YOUSSOUFIA

-**Lavée** : Le phosphate subit un lavage qui lui augmente la pureté.

-**Calciné** : Elimination de la matière organique et l'humidité.

-**Application directe et Export** : Sa qualité est en fonction de la solubilité nitrique et formique.

1. Elaboration des cartes listing case en fonction de la qualité du phosphate

Les cartes listing case représentent les valeurs de BPL, le tonnage humide criblé (Thc), la teneur du CO₂, la puissance minéralisée (Pm) et le volume de la case. Ses cartes ont pour intérêt de visualiser la distribution globale de ses paramètres en fonction de qualité de phosphate demandée par les clients (Charte de qualité) dans chaque case du panneau. Elle est d'une importance capitale pour l'exploitation et la satisfaction des clients en facilitant la localisation d'une qualité précise dans le panneau.

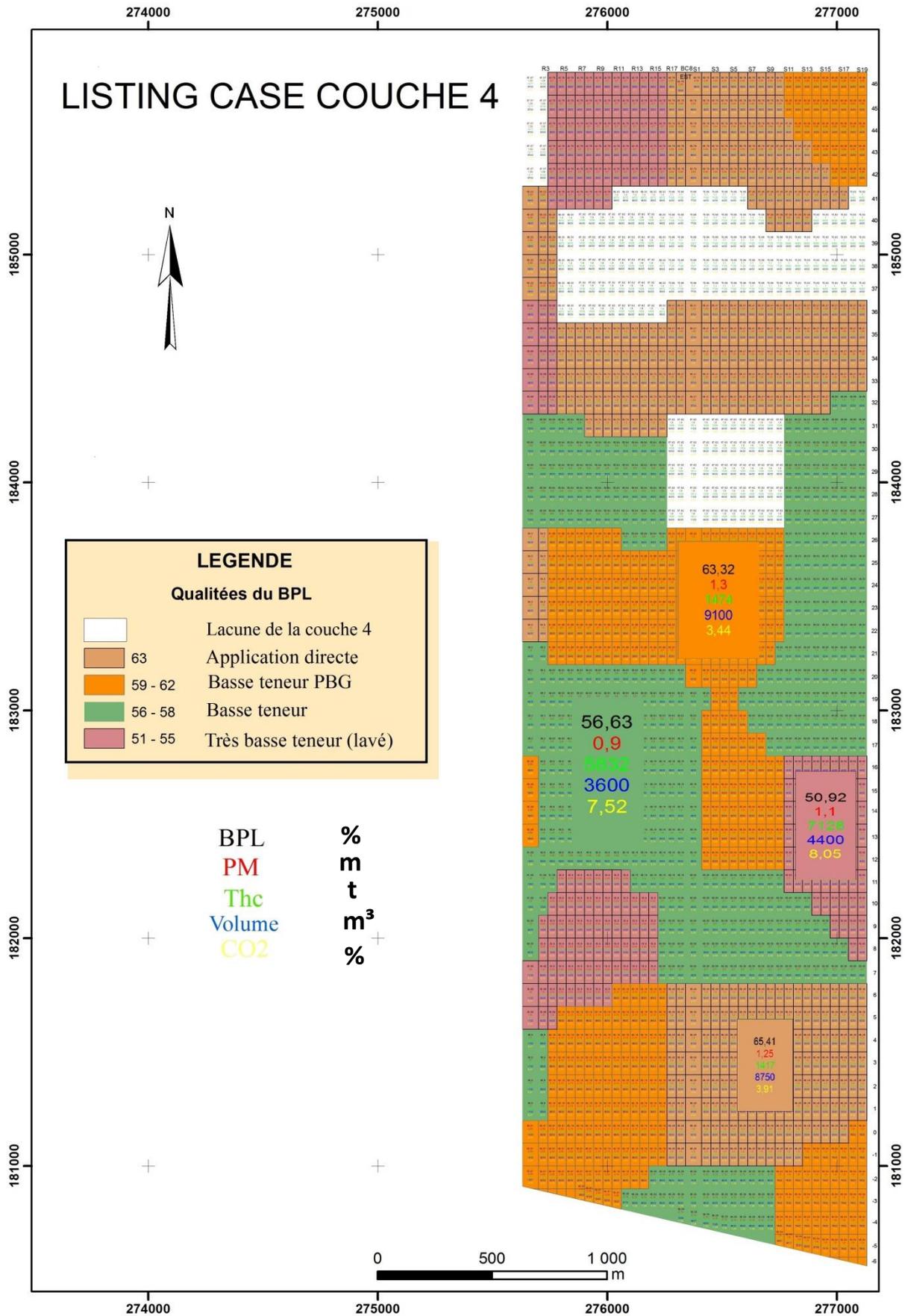


Figure 35 : Carte de listing case de la couche 4 du panneau 8

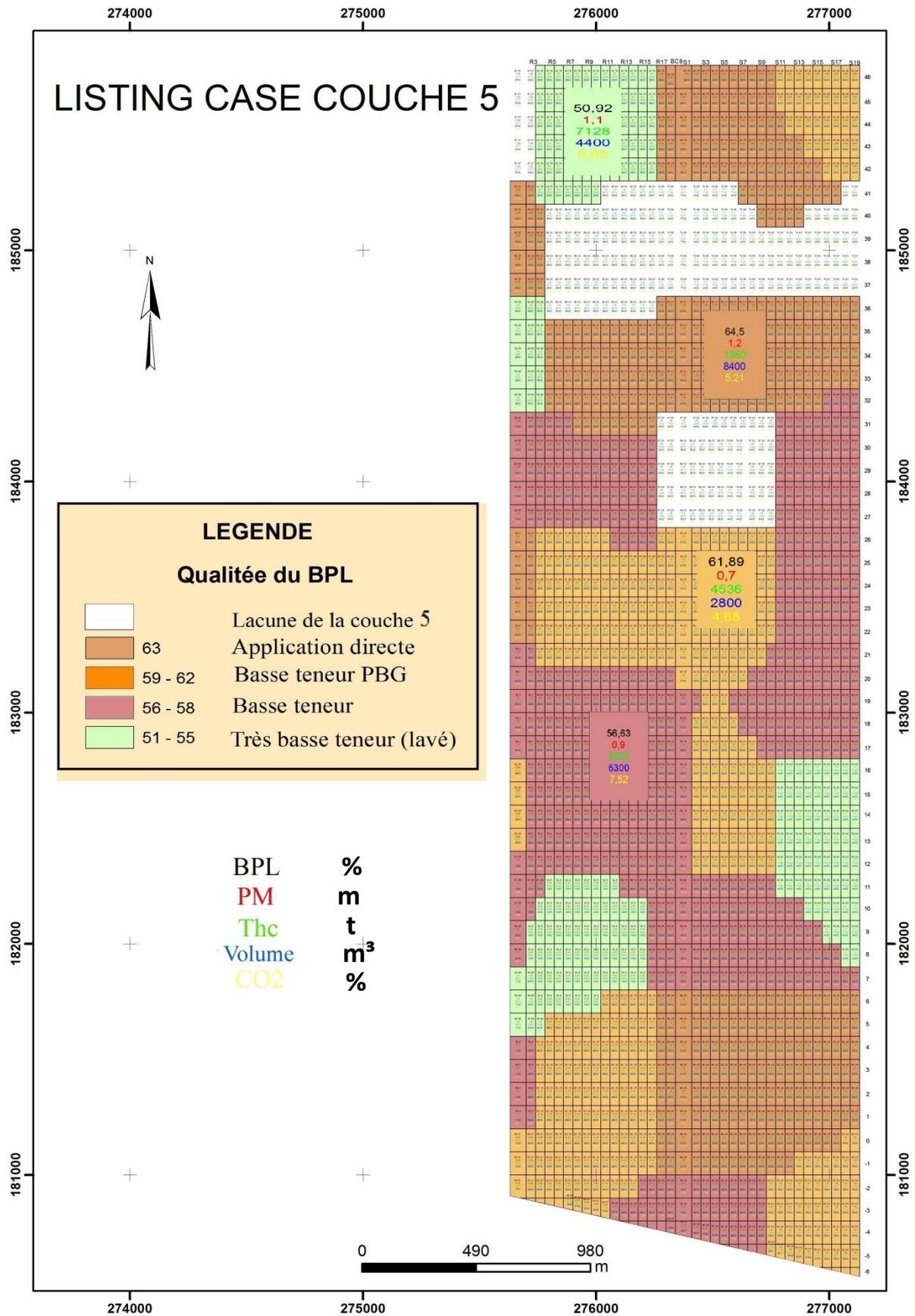


Figure 36 : Carte de listing case de la couche 5 du panneau 8

Commentaire :

✘ Listing case des couches 4 et 5

La distribution des différentes qualités de BPL dans le panneau de la couche 5 est semblable à celle de la couche 4 .Les qualités de basses teneurs PBG et basses teneurs sont les plus abondants dans le panneau, les teneurs d'applications directe sont représentées au Nord et au Sud du panneau. On observe des variations infimes de puissances le long des cases, pareil pour le tonnage humide criblé qui est fonction du volume phosphaté et le coefficient de densité de la couche.

✘ Listing case de la couche 6

La carte de listing case de la couche 6 montre une forte représentation des qualités d'Application directe et Basse teneur PBG au niveau du centre et la partie sud du panneau à la différence des couches 4 et 5.Cependant ,on observe aussi l'absence de la qualité de Basse teneur et d'importante zone noyée au niveau de la quelle ,le forage n'a pas atteint la couche 6 « Lacune de la couche 6 ».

Conclusion générale

Les différentes études effectuées au cours de ce stage, nous ont permis de tirer les conclusions suivantes :

- ✓ Les couches présentent des variations infimes des puissances, ces variations peuvent être attribuées à la forme du bassin de sédimentation, La topographie des zones de dépôt ou les variations du niveau marin durant le Maastrichtien.
- ✓ La répartition du BPL est variable le long du panneau et pour chaque couche, donc nous pouvons déduire que la teneur en P_2O_5 est reliée directement au taux de décomposition de la matière organique et dégagement de CO_2 .
- ✓ Les cartes structurales ont montré que les trois couches ne présentent aucun effet d'une tectonique, ni faille, ni plissement, et ni dérangement observés. Elles ont sens de pendage Sud-Est.
- ✓ Les couches 4,5 et 6 ont une réserve de 34 millions de tonnes de phosphate avec une teneur pouvant atteindre 75% et un ration d'exploitation estimé à 2.38 ,par conséquent, les trois couches sont exploitables économiquement .
- ✓ La variation de niveau eustatique et la transgression généralisée au cours du Maastrichtien a donné naissance à un paléoenvironnement de type épicontinentale dont on a pu déterminer 10 paraséquences.

Références

- Armstrong, A. Phosphorus. In *Chemical Oceanography*. Academic Press London and New-York. 1, p. 323-364. (1965).
- Bakun, A. Global climate change and intensification of coastal ocean upwelling. *Science*, vol.247, p. 198-201. (1990).
- Boujo, A. Contribution à l'étude géologique du gisement de phosphate crétacé-éocène des Gantour (Maroc occidental) ". *Notes & M. Serv. Géol., Maroc*, n° 43. (1976).
- Bushinski, G.I. On shallow water origin of phosphorite sediments. *Developments in Sedimentology.*, 1, p. 6270. (1964).
- Cook, P.J., Mc Elhinny M.W. A Réévaluation of the Spatial and Temporal Distribution of Sedimentary Phosphate Deposits in the Light of Plate Tectonics. *Economic Geology*, Vol. 74, p. 315-330. (1979).
- Kasakov, A.V. Faciès à phosphate de chaux et genèse des phosphates de chaux sédimentaires. *Trav. Inst. Rech. Engrais et inscto-fongicides*, fasc. 142, pp. 100-119. (1937).
- Lenoble, A. Salvan, H. Ziegler, V. Découverte de l'uranium dans les niveaux phosphatés du Maroc. *C. R. Acad. Sci. Paris*, t. 234, No 9, pp. 976-977. (1952).
- McKelvey, V.E., Swanson, R.W. Sheldon R.P. The Permian phosphorite deposits of western United States. *Congrès géol. intern. Alger 1952. Section XI. fase. XI, Origine des gisements de phosphates de chaux*, pp. 45-64. (1953).
- OCP Group Annual report. (2011).
- OCP Group Annual report. (2012).
- OCP Group Annual report. (2009).
- Peaver, D.R. The estuarine formation of United States Atlantic coastal plain phosphorite. *Econ. Geol.* 61, n° 2, p. 251-6. (1966).
- Piqué, A. *Geology of Northwest Africa: Beiträge zur regionalen Geologie der Erde*. Borntraeger, Berlin Stuttgart. p. 310. (2001).
- Roberson, C.E. Solubility implications of apatite in seawater. *U.S. Geol. Surv. Prof. Pap.*, 550D: D 178-D 185. (1966).
- SAADI (1982) ; Carte géologique du Maroc au 1/500.000. Ministère de l'énergie et des mines, direction de la géologie.
- SLANSKY (1987) ; géologie des phosphates sédimentaires .Mémoire des BRGM, n°114.P36.
- Yassir, Majda. Etude géo-minièrre des niveaux supérieurs de la série phosphatée du panneau 5 de la mine Benguerir. (2013).

ANNEXES

Tableau 5: La base de données de la couche 4

puits	x	y	z	z de toit	Pm	P t	BPL	CO2	PI
15	276 842,47	185 320,49	496,40	437,75	0,90	0,90	67,26	4,00	1,40
17	276 052,85	184 490,64	477,30	435,20	1,20	1,20	64,74	4,98	1,35
18	277 126,98	184 308,78	477,05	424,65	1,30	1,30	59,99	6,30	1,30
20	275 892,46	182 536,29	470,11	422,71	1,45	1,60	60,60	7,69	1,15
46	276 004,00	185 998,50	488,50	445,90	0,70	0,70	67,40	3,50	0,70
90	276 032,50	184 990,50	482,24	440,04	1,40	1,40	68,03	4,04	1,00
92	276 009,20	183 985,00	478,41	430,81	0,90	0,90	60,64	5,20	1,10
94	276 004,00	182 982,20	479,89	421,69	0,90	0,90	56,63	7,52	1,10
96	275 940,00	181 986,20	465,87	422,72	0,35	0,35	52,80	5,53	1,25
198	276 499,30	180 482,70	454,51	403,46	2,15	2,15	56,38	7,29	1,25
199	276 997,60	180 499,80	455,03	394,53	1,90	1,90	63,54	7,40	1,50
204	275 500,30	180 989,50	467,04	426,39	2,05	2,05	63,91	3,75	1,35
207	275 497,80	181 492,90	465,81	429,11	1,70	1,70	56,90	8,31	1,05
208	276 010,40	181 497,80	458,35	419,00	2,15	2,15	63,18	7,21	1,45
209	276 513,50	181 502,50	458,33	407,63	1,30	1,30	66,49	5,03	1,25
216	275 498,90	181 985,00	462,33	431,33	1,20	1,20	60,26	6,30	1,35
217	276 510,50	182 002,50	463,35	410,25	0,70	0,70	60,56	5,48	1,80
222	275 496,50	182 500,00	471,96	429,31	0,85	0,85	62,38	4,08	1,25
223	276 253,30	182 514,80	472,51	416,01	1,40	1,40	58,19	5,74	1,00
224	276 512,00	182 516,60	467,16	412,86	1,50	1,90	62,54	4,83	1,30
225	277 014,70	182 536,29	462,90	404,00	1,10	1,10	50,92	8,05	1,20
231	275 497,43	183 000,75	482,06	432,06	1,20	1,20	58,30	3,92	1,35
233	277 004,22	183 024,11	466,53	408,63	1,30	1,30	60,95	4,78	1,10
237	275 497,00	183 508,00	482,56	434,76	1,20	1,20	64,50	5,21	1,70
238	276 002,50	183 516,00	480,00	425,85	0,70	0,70	61,89	4,68	0,95
239	276 505,70	183 516,30	470,78	418,78	1,30	1,30	63,32	3,44	1,65
240	277 005,70	183 517,60	468,67	412,12	1,00	1,00	59,53	3,77	1,55
241	277 502,40	183 533,50	469,43	409,23	0,90	0,90	62,91	4,38	1,80
244	275 498,00	184 010,60	487,84	436,59	1,05	1,05	60,95	3,75	1,20
245	276 506,30	184 013,00	473,45	427,35	1,60	1,60	67,62	4,28	1,50
246	277 007,50	184 015,20	473,51	422,26	1,25	1,25	60,52	6,91	1,05
247	277 507,80	184 015,50	481,01	418,12	0,96	0,96	62,15	4,90	1,24
251	275 497,70	184 507,80	481,54	439,54	1,40	1,40	50,98	4,78	0,80
252	276 502,30	184 510,50	478,52	432,52	1,25	1,25	65,41	3,91	1,10
253	277 010,70	184 518,40	480,76	427,21	1,05	1,05	65,21	4,90	1,45
254	277 505,50	184 518,40	486,57	433,02	1,15	1,15	68,82	4,90	0,85
257	275 495,80	185 009,00	482,45	442,05	0,85	0,85	65,22	12,94	0,85
258	276 503,00	185 016,00	482,23	438,53	1,10	1,50	70,66	4,46	1,70

Tableau 6: La base de données de la couche 6

puits	x	y	z	z de toit	Pm	Pt	BPL	CO2	PI
535	275 495,47	182 244,38	466,28	418,20	0,60	0,60	67,87	7,00	3,40
272	277 505,68	186 021,37	507,36	429,16	1,20	1,30	68,73	4,72	2,40
271	277 003,65	186 021,23	500,05	429,75	0,65	0,65	68,45	4,20	3,00
270	276 502,32	186 012,85	490,62	432,37	1,00	1,00	71,26	6,25	2,85
269	275 503,88	186 011,61	495,98	436,58	0,95	1,15	64,98	5,26	2,35
266	277 509,50	185 518,50	501,95	424,95	0,70	0,70	64,53	6,65	3,10
265	277 014,00	185 507,80	502,35	423,35	1,10	1,30	65,31	6,30	3,15
264	276 511,80	185 510,59	487,59	428,99	0,85	0,85	67,90	4,36	2,95
263	276 004,00	185 509,70	486,50	433,80	1,00	1,00	57,79	3,39	2,20
262	275 499,60	185 507,50	486,40	438,15	0,75	0,75	58,55	8,05	3,80
260	277 504,00	185 015,40	485,61	423,01	0,75	0,75	70,34	4,72	2,20
259	277 006,60	185 014,80	493,56	427,76	0,95	1,10	69,51	4,14	3,00
258	276 503,00	185 016,00	482,23	427,33	0,70	0,70	65,32	4,55	3,00
257	275 495,80	185 009,00	482,45	430,60	0,85	0,85	70,20	4,70	2,55
254	277 505,50	184 518,40	486,57	421,72	0,15	0,15	58,85	4,55	3,20
253	277 010,70	184 518,40	480,76	415,86	0,80	0,80	69,12	4,41	3,10
252	276 502,30	184 510,50	478,52	420,72	0,75	0,75	69,24	4,20	2,60
251	275 497,70	184 507,80	481,54	428,34	0,70	0,80	68,24	4,25	3,30
247	277 507,80	184 015,50	481,01	406,21	0,70	0,70	68,33	4,55	2,50
246	277 007,50	184 015,20	473,51	410,86	0,55	0,55	67,32	9,85	2,05
245	276 506,30	184 013,00	473,45	415,15	1,00	1,00	68,66	4,73	2,60
244	275 498,00	184 010,60	487,84	425,04	1,10	1,10	76,01	4,90	2,50
239	276 505,70	183 516,30	470,78	406,73	0,90	0,90	68,78	6,13	3,00
237	275 497,00	183 508,00	482,56	423,31	0,90	0,90	68,78	6,13	3,00
232	276 505,80	183 022,00	480,76	401,76	0,60	0,60	65,98	4,55	2,35
231	275 497,43	183 000,75	482,06	421,06	1,05	1,05	66,53	10,15	3,10
224	276 512,00	182 516,60	467,16	401,61	0,35	0,35	56,04	5,60	2,75
223	276 253,30	182 514,80	472,51	404,61	0,20	0,20	59,60	5,25	1,60
222	275 496,50	182 500,00	471,96	418,46	0,50	0,50	64,60	4,90	3,00
216	275 498,90	181 985,00	462,33	420,13	0,30	0,30	42,84	4,20	1,60
208	276 010,40	181 497,80	458,35	408,35	0,30	0,30	61,40	4,20	1,10
207	275 497,80	181 492,90	465,81	418,21	0,20	0,20	46,10	6,65	1,45
204	275 500,30	180 989,50	467,04	417,44	0,40	0,40	66,93	4,55	0,80
198	276 499,30	180 482,70	454,51	397,01	0,60	0,60	51,70	5,25	1,40
96	275 940,00	181 986,20	465,87	413,27	0,50	0,50	72,30	4,78	0,70
94	276 004,00	182 982,20	479,89	410,59	0,30	0,30	64,33	5,25	1,50
92	276 009,20	183 985,00	478,41	419,01	0,80	0,90	68,65	5,25	2,30
90	276 032,50	184 990,50	482,24	428,44	0,95	0,95	71,58	4,44	3,00
46	276 004,00	185 998,50	488,50	434,00	0,70	0,70	69,25	4,37	2,90
20	275 892,46	182 536,29	470,11	411,91	0,45	0,45	66,61	4,55	2,25
18	277 126,98	184 308,78	477,05	413,05	0,90	0,90	67,47	4,55	2,80

