

UNIVERSITE CADI AYYAD

Faculté des Sciences et Techniques – Département des Sciences de la Terre

Licence en Science et Technique Géologie Appliquée aux Ressources Minières
(LST- GARM)

Projet de fin d'études :

**Étude géominière du Panneau I de la Mine Sud du
Gisement phosphaté de Benguerir
(Bassin du Gantour, Maroc)**



Réalisé par :

- ✓ ENNAJI Zakaria
- ✓ BOUKDIR Habib Allah

Encadrés :

- ✓ Pr. CHAFIKI Driss
- ✓ Mr. ZERWAWALI (OCP)

Soutenu, le 23 juin 2017, devant le jury composé par :

- | | |
|----------------------|------------------|
| - CHAFIKI Driss | Encadrant (FSTG) |
| - ZERWAWALI Said | Encadrant (OCP) |
| - EL GHORFI Mustapha | Examineur (FSTG) |

Année : 2016-2017

REMERCIEMENTS :

Ce n'est pas la tradition qui exige que cette page se trouve dans notre rapport, mais parce que les gens à qui nous nous adressons méritent vraiment ce remerciement.

*Nos sincères remerciements sont destinés plus particulièrement à nos encadrant dans le groupe OCP **Mr. A. EL ALAMI, Mr. S. ZEROUALI, et Mme F. EL RADOUANI** pour leur honorable assistance, leurs recommandations pertinentes et leurs efforts remarquables qu'ils ont déployé durant notre période de stage. Ils nous ont prodigués le maximum d'informations ayant trait avec la thématique abordée.*

*Nous tenons à remercier également notre encadrant dans la FSTG- **D.CHAFIKI**, Professeur à la FST de Marrakech, qui, malgré ses multiples taches, nous a donné de son temps et a pu diriger de plus près notre travail.*

*Nous remercions **Mr. M. EL GHORFI** {Responsable de la filière **LST GARM**}, d'avoir accepté d'examiner ce travail.*

Nos remerciements s'adressent aussi à tous nos enseignants et collègues du Département des Sciences de la Terre de la FST de Marrakech.

RESUME :

Le sujet abordé dans le cadre de notre projet de fin d'études est une contribution à la connaissance géominière des différentes couches phosphatée du panneau 1 dans la mine sud de Ben Guérir au Maroc.

Dans le mémoire élaboré, nous présenterons les résultats de notre stage réalisé au sein du service de la géologie de l'OCP à Ben Guérir. Il s'agit de l'élaboration de différentes cartes d'isovaleurs, d'isoteneurs et les listings cases réalisées. Ces documents serviront, certes, comme guide d'exploitation sur le terrain où les variations des caractéristiques des objets sédimentaires recherchés (couches et sillons) seraient dues à la tectonique et aux variations du taux de sédimentation au moment du dépôt.

L'étude de la qualitative révèle cinq catégories de phosphate existantes au niveau du gisement phosphaté de Ben Guérir. Enfin, pour une meilleure prévision des réserves, un essai de calcul a été réalisé.

SOMMAIRE

Remerciement :.....	2
Résumé :.....	3
Sommaire :.....	4
Liste des figures :.....	6
Introduction :.....	9
Chapitre I : Présentation de l'OCP.....	10
I Présentation de l'OCP.....	11
1 Introduction	11
2 Historique.....	11
II Généralité sur les phosphates.....	12
1 Origine des phosphates et Phosphatogenèse :.....	12
2 Types de gisements phosphatés :.....	12
3 Classification des roches phosphatées :.....	13
4 Utilités des phosphates :.....	14
III Répartition des phosphates dans le monde :.....	15
IV Les grands bassins phosphatés marocains :.....	15
V La Phosphatogenèse :.....	18
Chapitre II : Présentation du bassin de Gantour étudié :.....	19
I Cadres géographique et géologique bassin de Gantour :.....	20
I.1 Cadre géographique :.....	20
I.2 Cadre géologique :.....	21
I.3 Cadre structural :.....	22

I.4 Aperçu stratigraphique et découpage minier de la série phosphatée	
du bassin de Gantour :.....	23
I.5 Découpage de la mine de Benguerir :.....	26
Chapitre III : Etude géominière du panneau 1 de la mine sud de Benguerir.....	28
Objectif du présent travail :.....	29
I Situation du panneau 1 étudié :.....	29
II Aperçu sur les logiciels utilisés :.....	30
III Méthodologie de travail :.....	30
III.1 Etablissement de la base de données :.....	31
III.2 Log litho stratigraphique synthétique du secteur étudié :.....	32
IV Etablissement de la coupe géologique :.....	33
IV.1 Méthodologie :.....	34
IV.2 Présentation de la coupe géologique :.....	34
V. Etablissement des cartes :.....	36
V.1 Cartes structurales :.....	36
V.2 Les cartes d'isopuissances ou (cartes isopaches) :.....	38
V.3 Cartes iso-teneur ou (iso-valeur) :.....	45
A. Cartes iso-valeur de (BPL) :.....	45
B. Cartes iso-valeur de (CO2) :.....	52
VI Elaboration de listing case :.....	59
VI .1 Réalisation des cartes :.....	59
VI .2 Calcul des réserves :.....	66
Conclusion générale :.....	68
Liste des références bibliographique :.....	70
Annexes :	72

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Diagramme triangulaire de la classification des phosphates Apatite-Quartz- Carbonate-Argile (Jourani 1988).....	14
Figure 2: Estimation des réserves mondiales de phosphate en milliards de tonnes (Us Geological Survey 2011).	15
Figure 3: schéma structurale du Maroc et localisation des bassins phosphatés marocains piqué et al. (2001) modifié par H. El Haddi (2014)	16
Figure 4: Schéma Présente La Théorie de Kazakov	18
Figure 5: Carte du bassin de Gantour (BOJOU, 1976).....	21
Figure 6: Carte géologique du bassin des Gantour, extraire de la carte géologique du Maroc au 1/500 000. (SAADI, 1982)	22
Figure 7: Evolution de la série phosphatée marocaine (BOUJO, 1976).	23
Figure 8: Colonnes litho stratigraphiques de la série phosphatée des Gantour. Le découpage minier est présenté sur la deuxième colonne	25
Figure 9: Schéma illustrant le découpage de la mine de Benguerir	27
Figure 10: Exemple de schéma de découpage d'un panneau	27
Figure 11: situation du panneau 1 sur la carte géométrique de la mine de Benguerir.....	29
Figure 12: Exemple d'un puits de prospection (Puits N° 574).....	31
Figure 13: Coupe litho stratigraphique synthétique du panneau 1 de la mine sud de Benguerir	33
Figure 14: Coupe géologique levée sur la tranchée TJ3 et les cases 18-36.....	35
Figure 15: Carte structurale du sillon B.....	36
Figure 16: Carte structurale du sillon A2.....	36
Figure 17: Carte structurale de la couche C3 Sup	37
Figure 18: Carte structurale de la couche C3 Inf	37
Figure 19: Carte d'isopaches du sillon B.....	39
Figure 20: Carte d'isopaches du sillon A2.....	39
Figure 21: Carte d'isopaches de la couche C0.....	40
Figure 22: Carte d'isopaches de la couche C1.....	41

Figure 23: Carte d'isopaches de la couche C2.....	42
Figure 24: Carte d'isopaches de la couche C3 Sup	42
Figure 25: Carte d'isopaches de la couche C3 Inf.....	43
Figure 26: Carte d'isopaches de la couche C4.....	44
Figure 27: Carte d'isopaches de la couche C5 Sup	44
Figure 28: Carte d'isopaches de la couche C5 Inf.....	45
Figure 29: Carte d'iso-valeur du (BPL) du sillon B	46
Figure 30: Carte d'iso-valeur du (BPL) du sillon A2.....	46
Figure 31: Carte d'iso-valeur du (BPL) de la couche C0	47
Figure 32: Carte d'iso-valeur du (BPL) de la couche C1	48
Figure 33: Carte d'iso-valeur du (BPL) de la couche C2	48
Figure 34: Carte d'iso-valeur du (BPL) de la couche C3 Sup.....	49
Figure 35: Carte d'iso-valeur du (BPL) de la couche C3 Inf	50
Figure 36: Carte d'iso-valeur du (BPL) de la couche C4	50
Figure 37: Carte d'iso-valeur du (BPL) de la couche C5 Sup.....	51
Figure 38: Carte d'iso-valeur du (BPL) de la couche C5 Inf	52
Figure 39: Carte d'iso-teneur de (CO ₂) du sillon B	52
Figure 40: Carte d'iso-teneur de (CO ₂) du sillon A2.....	53
Figure 41: Carte d'iso-teneur de (CO ₂) de la couche C0	54
Figure 42: Carte d'iso-teneur de (CO ₂) de la couche C1	54
Figure 43: Carte d'iso-teneur de (CO ₂) de la couche C2	55
Figure 44: Carte d'iso-teneur de (CO ₂) de la couche C3 Sup.....	56
Figure 45: Carte d'iso-teneur de (CO ₂) de la couche C3 Inf	56
Figure 46: Carte d'iso-teneur de (CO ₂) de la couche C4	57
Figure 47: Carte d'iso-teneur de (CO ₂) de la couche C5 Sup.....	58
Figure 48: Carte d'iso-teneur de (CO ₂) de la couche C5 Inf	58
Figure 49: Listing case du sillon B	60
Figure 50: Listing case du sillon A2.....	61
Figure 51: Listing case de la couche C0.....	61

Figure 52: Listing case de la couche C1	62
Figure 53: Listing case de la couche C2	62
Figure 54: Listing case de la couche C3 Sup	63
Figure 55: Listing case de la couche C3 Inf	63
Figure 56: Listing case de la couche C4	64
Figure 57: Listing case de la couche C5 Sup	64
Figure 58: Listing case de la couche C5 Inf	65
Figure 59: Résultats obtenus d'après le calcul de réserve des niveaux phosphaté du panneau I	67
Figure 60: Carte structurale de la couche C0	74
Figure 61: Carte structurale de la couche C1	74
Figure 62: Carte structurale de la couche C2	75
Figure 63: Carte structurale de la couche C4	75
Figure 64: Carte structurale de la couche C5 Sup	75
Figure 65: Carte structurale de la couche C5 Inf	76

INTRODUCTION

Le Maroc possède les plus importants gisements des phosphates dans le monde, soit plus de trois quarts des réserves mondiales. Leur situation géographique, leur qualité marchande, et leur diversité confèrent au Maroc une place particulière dans le commerce international : premier exportateur mondial des phosphates sous toutes ses formes, troisième producteur derrière les États-Unis et la Chine. Sa production est d'environ 50,1 millions de tonnes par an (OCP, 2012). C'est l'Office Chérifien du Phosphate (O.C.P) qui détient le monopole de l'exploitation. Il extrait le phosphate brut du sous-sol marocain grâce à des chantiers à ciel ouvert. Environ la moitié du minerai est exportée comme matière première. L'autre moitié est livrée aux industries chimiques du groupe, pour la transformée en produits dérivés commercialisables tels que, l'acide phosphorique de base, l'acide phosphorique purifié et les engrais solides. Dans le cadre de notre parcours de la licence sciences et techniques, option géologie appliquée aux ressources minières on a eu l'opportunité d'effectuer un stage d'un mois (à partir du 17 avril) dans le groupe OCP section Ben guérir. Notre stage s'est déroulé au sein du service du service méthodes, plannings et performance de Benguerir (OIG/B/P). Cette expérience est menée pour consolider les connaissances théoriques et pratiques acquises pendant notre parcours. Les objectifs à atteindre à la fin de la période du stage se résument comme suit :

- Acquérir une première expérience professionnelle.
- Acquérir des nouvelles compétences.
- Acquérir des expériences en matière de documentation et recherches.
- Avoir des idées sur les différents travaux exécutés par les géologues et les prospecteurs.
- Élaborer un rapport qui nous a été confié.

Chapitre I :
Présentation de l'OCP

I. Présentation de l'OCP

1. Introduction :

Le sous-sol marocain renferme les plus importants gisements de phosphate de la planète : trois quarts des réserves mondiales, 98 % dans le centre de pays et de 2% dans le sud. Leur situation géographique et la diversité de leur qualité marchandes confèrent naturellement au royaume du Maroc une place particulièrement dans le commerce international du phosphate (Premier exportateur mondial du phosphate et ses dérivés).

Le groupe OCP joue un rôle important sur le plan économique et social du pays, vu l'effectif personnel qu'il emploie (environ 30000 agents), les retombées directe de ses investissements sur l'environnement social immédiat et les effets d'entraînement que l'activité phosphatique.

2. Historique :

En 1920, un établissement public a été créé sous le nom «Office chérifien des phosphates», qui a été dédié l'exploitation du phosphate marocain, il est devenu Groupe OCP en 1975.

En mars 1921, l'activité d'extraction et de traitement a démarré à Boujniba dans la région de Khouribga, et avec le mise en service du MAROC CHIMIE a Safi, le Groupe devient également exportateur de produits dérivés, ainsi en 1998 il franchit une nouvelle ère en lançant la fabrication et l'exportation d'acide phosphorique purifié.

Depuis lors les besoins mondiaux en phosphates ont fait de l'OCP une entreprise qui jusqu'à nos jours n'a cessé de grandir et pour se maintenir face à la concurrence des autres pays producteurs des phosphates et dérivés, il se modernise, se développe continuellement et s'affirme comme le leader du marché mondial des phosphates.

En effet l'OCP est le premier exportateur et troisième producteur mondial après les USA et l'ex-URSS.

Vers l'année 1975 l'OCP s'est organisé en groupe qui comporte l'OCP et les filiales.

Ce groupe est géré par plusieurs directions coiffées par une direction générale dont le siège social à Casablanca.

II. Généralité sur les phosphates

1. Origine des phosphates et Phosphatogenèse :

Elle 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 phosphore 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 Roberson, 1966). 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.

2. Types de gisements phosphatés :

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

- **Les gisements de type sédimentaire** : Ils sont les plus représentatifs, les plus volumineux et les plus riches en minerais. Leur teneurs en acide phosphorique noté P_2O_5 dépassent les 28 % sur place. Les gisements phosphatés marocains qui forment les plus grandes réserves mondiales en phosphates sont édifiants à ces égards. Il s'agit de sédiments marins qui s'étalent stratigraphiquement du Crétacé supérieur (Maastrichtien) à l'Éocène inférieur et moyen. Ils se répartissent en quatre bassins dont trois sont localisés au centre-Nord du pays

et constituent une partie importante de la couverture sédimentaire de la Meseta marocaine, ce sont les bassins des Ouled Abdoun, Gantour et des Meskala. Le quatrième bassin se situe dans les provinces Sud, dans la région d'Oued Eddahab.

- **Les gisements de type Guanos** : sont formés à partir de l'accumulation des déjections des oiseaux de mer au cours de longues périodes. Ils contiennent environ 4 % en P₂O₅. 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 P₂O₅ 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 P₂O₅.
- **Les gisements d'origine ignée** : qui sont associés à des complexes intrusifs alcalins (syénites, syénites néphéliniques, les carbonatites, 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 P₂O₅. Le gisement de Palabora en Afrique de Sud est associé à des carbonatites et à des pyroxénites dont les minéraux principaux sont l'apatite, la serpentine et la magnétite. Leurs teneurs moyennes sont, cependant, plus faibles.

3. Classification des roches phosphatées :

Les termes phosphorites ou Phosphatite sont utilisés pour qualifier les roches à teneur en P₂O₅ supérieure ou égale à 18 %. Si la teneur est inférieure à 18 % P₂O₅, la nomenclature pétrographique à utiliser en premier lieu est celle qui concerne la fraction non phosphatée, par exemple : grès phosphaté, argile phosphatée, calcaire phosphaté...etc. Pour apporter plus de précisions à cette nomenclature, les travaux de Jourani (1988) sur les phosphates marocains proposent une classification qui combine la phase minérale principale apatitique et les autres phases minérales associées telles le quartz, les argiles et les carbonates (Fig.1).

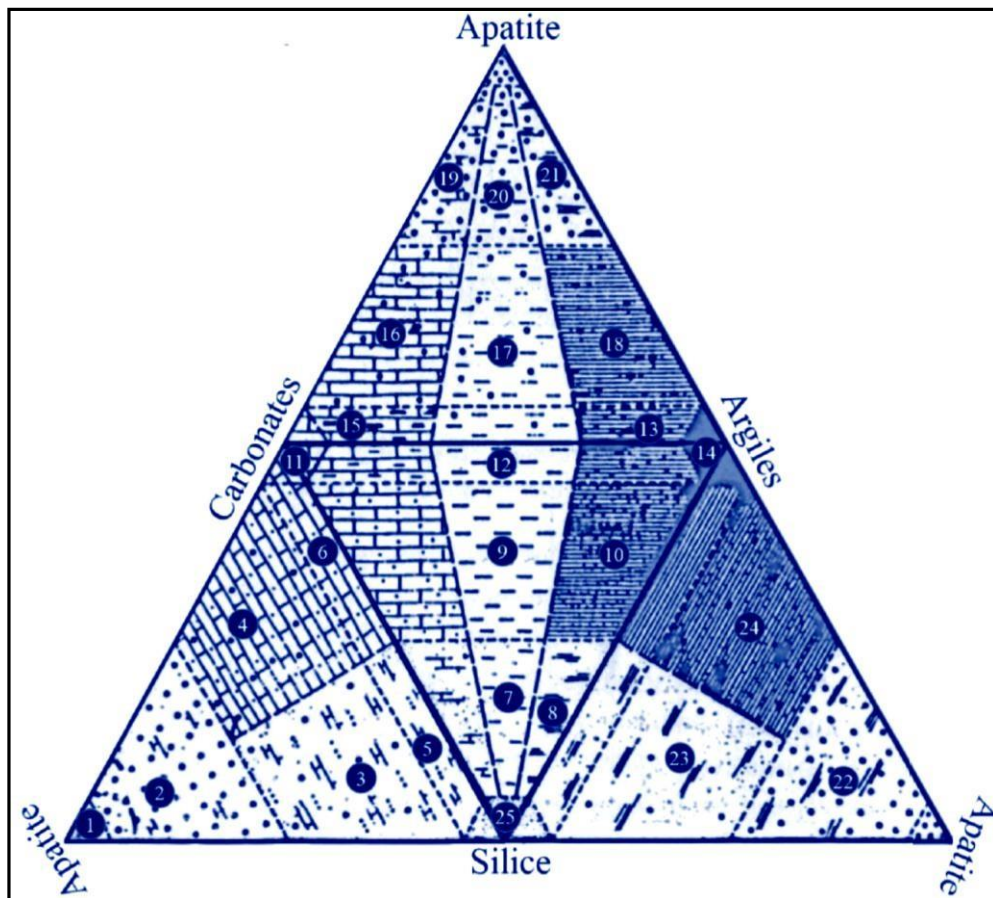


Figure 1: Diagramme triangulaire de la classification des phosphates Apatite-Quartz- Carbonate-Argile (Jourani 1988)

1) Phosphate, 2) Calcaire gréseux, 3) Grés phosphatés, 4) Calcaire gréseux phosphaté, 5) gréseux, 6) Grés à ciment de calcaire, 7) Sable marneux, 8) Sable argileux, 9) Marne sableuse, 10) Argile sableuse, 11) Calcaire, 12) Marne, 13) Argilite calcareuse, 14) Argile, 15) Calcaire argileux, 16)Phosphaté, 17)Marne phosphatée, 18) Argile phosphatée, 19)Phosphate calcareux, 20)marneux, 21)argileux, 22)Phosphate sablo-argileux, 23) Sable Argilo-phosphaté, 24) Argile sablo-phosphatée et 25) Sable.

4. Utilités des phosphates :

Les phosphates sont utilisés dans l'agriculture comme engrais pour enrichir les fruits et les légumes en source de phosphore, ils sont utilisés aussi dans l'industrie : les détergents,

les peintures, les engrais, l'agroalimentaire, la production de l'uranium. ..Le phosphate se trouve aussi impliqué dans la fermentation vinicole (type de fermentation éthylique).

III. Répartition des phosphates dans le monde



Figure 2: Estimation des réserves mondiales de phosphate en milliards de tonnes(Us Geological Survey 2011).

La figure 2 donne la situation des principaux gisements phosphatés dans le monde dont les plus importants se trouvent en Amérique du Nord (États-Unis), en Afrique du Nord (Maroc et Tunisie), en Chine et sur certaines îles d'Océanie (Nauru, Banaba et Maka-tea) et dans certains pays comme (Togo et Jordanie...), ainsi le Maroc, les États-Unis et la Chine considérés comme les pays les plus producteurs dans le monde avec une part de marché supérieur à 62 %

IV. Les grands bassins phosphatés marocains

Le phosphate marocain est de type sédimentaire sous-marin, qui représente approximativement 75% des réserves mondiales selon IFDC (World Phosphate Rock Réserves and Ressources) et se répartit en quatre bassins d'extensions importantes. Ces quatre grands bassins sont (Fig. 3) :

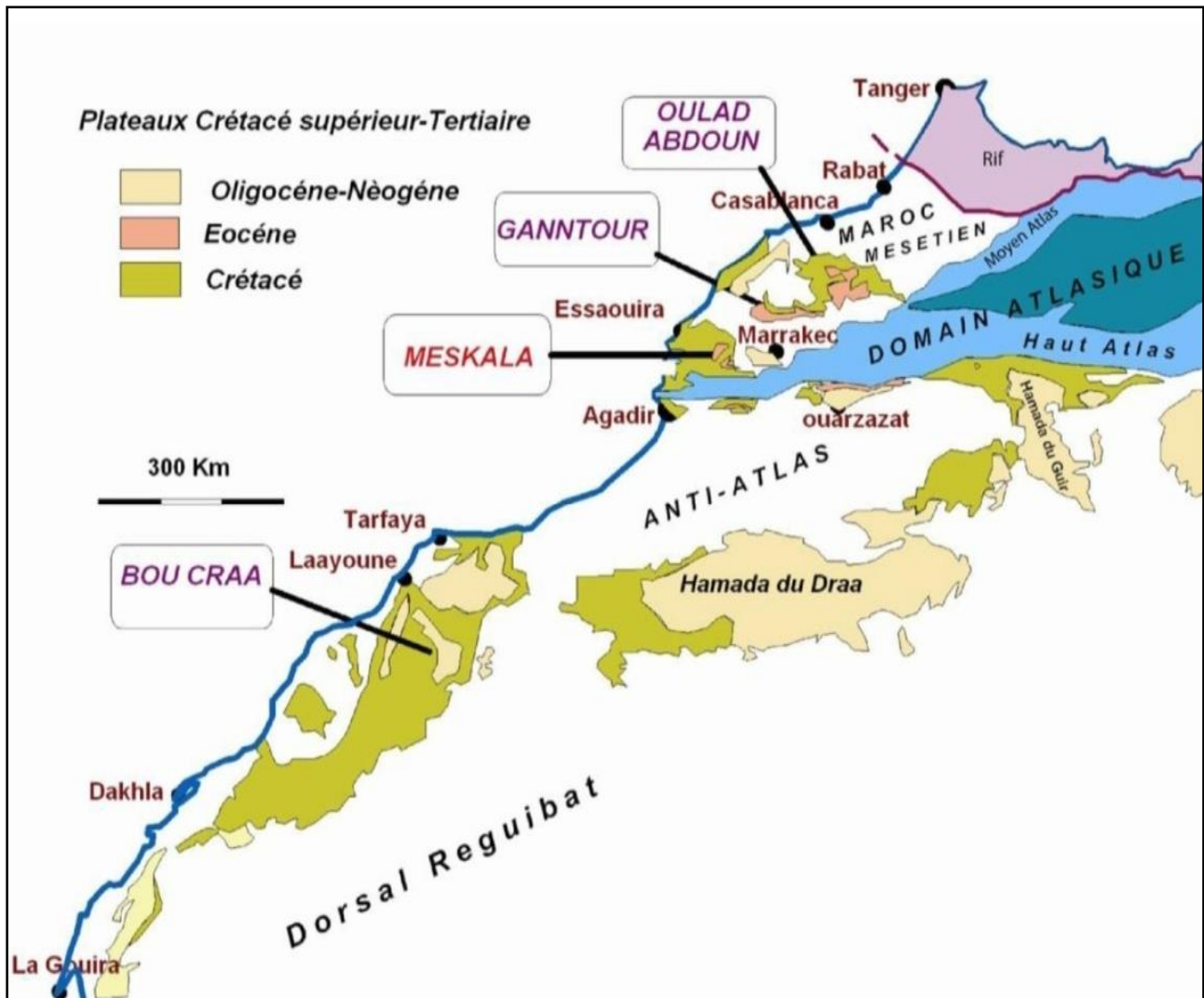


Figure 3: schéma structurale du Maroc et localisation des bassins phosphatés marocains piqué et al. (2001) modifié par H. El Haddi (2014)

1. Bassin d'Ouled Abdoun (Khouribga) :

C'est le bassin le plus étendu, et le plus riche en terme de qualité et de quantité du minéral qu'il renferme.

Il occupe la majeure partie de l'élément morphologique connu sous le nom du plateau des phosphates, ou plateau des Ourdigha bordé par le massif du Maroc central au nord, la plaine de Béni Amir au sud, la massif paléozoïque du Rehamna à l'ouest et le Haut Atlas de Beni Mellal.

Le phosphate d'Ouled Abdoun constitue le terme final d'une couverture sédimentaire. Le substratum supportant la série est formé de terrains paléozoïques plissés et faillés qui affleurent au niveau du massif central au nord et au niveau du massif des Rehamna vers le sud.

La série phosphatée s'étale du Maestrichtien caractérisé par des dépôts phosphatés très marneux, au Lutétien coiffé par une dalle calcaire.

2. Bassin des Gantour :

Ce bassin est identifié en détails dans le paragraphe Présentation du Bassin de Gantour.

3. Bassin des Meskala :

Le bassin de Meskala est le premier bassin que l'on rencontre à partir de la bordure atlasique en se dirigeant vers le Nord. Il est situé dans la plaine d'Essaouira Haouz. Il est limité par les Jbilet et les collines jurassiques de Mouissate au Nord, le Haut Atlas au Sud, la plaine de Haouz à l'Est et la plaine côtière d'Essaouira à l'Ouest.

4. Bassin d'Oued Eddahab :

Il est situé en zone saharienne couvre une vaste région qui part de la zone saharienne d'Edchira au Sud de Laàyoune en prés de confluence de Saquia El Hamra et Oued El Khat et se poursuivait en se rétrécissant jusqu'au Sud de la ville de Dakhla, il se limite au Nord et au Nord- Est par les affleurements de la série phosphatée et à l'Ouest par la ligne côtière.

La série phosphatée dans ce bassin s'étend du Maestrichtien à l'Yprésien, avec une puissance qui varie de 10 à 45 m.

Il est important de mentionner, l'existence d'autres gisements de moindre importance et qui ne relèvent, pour le moment, aucun intérêt économique, par exemple : gisement de Timahdit dans le moyen Atlas.

V. La Phosphatogénèse :

Plusieurs théories de Phosphatogénèse sont décrites dans la littérature. La plus utilisée est celle de Kazakov (Fig. 4). Cette dernière se base sur des données océanographiques anciennes. Kazakov constate que la teneur en P_2O_5 de l'eau de mer croît avec la profondeur à partir du bas de la zone d'oxydation. Son maximum est atteint vers la profondeur de 500m avec un pourcentage important du gaz carbonique (PH diminue). Si les courants ascendants ramènent les eaux profondes vers la surface en remontant le long du talus continental, le départ du gaz carbonique doit fournir la précipitation des phosphates. Le dépôt du phosphate s'opère. D'après Kazakov, à deux profondeurs comprises entre 200 et 500. On admet que cette théorie est une base d'explication satisfaisante.

Jusqu'ici certains gisements dans le monde ont été étudiés par des pétrographes, d'autre par des minéralogistes d'autre enfin par des océanographes et chacun a eu tendance à accorder le maximum d'importance aux éléments fournis par sa propre discipline. En fait il semble que ce soit un gisement par une liaison étroite entre les diverses disciplines de la géologie avec la chimie, l'océanographie et même la biologie (car les conditions écologiques de ce milieu si particulier sont encore mal connues) et surtout grâce à des travaux menés en équipe avec beaucoup de cohésion que l'on puisse espérer arriver à une solution à peu près satisfaisante de l'ensemble de ce problème.

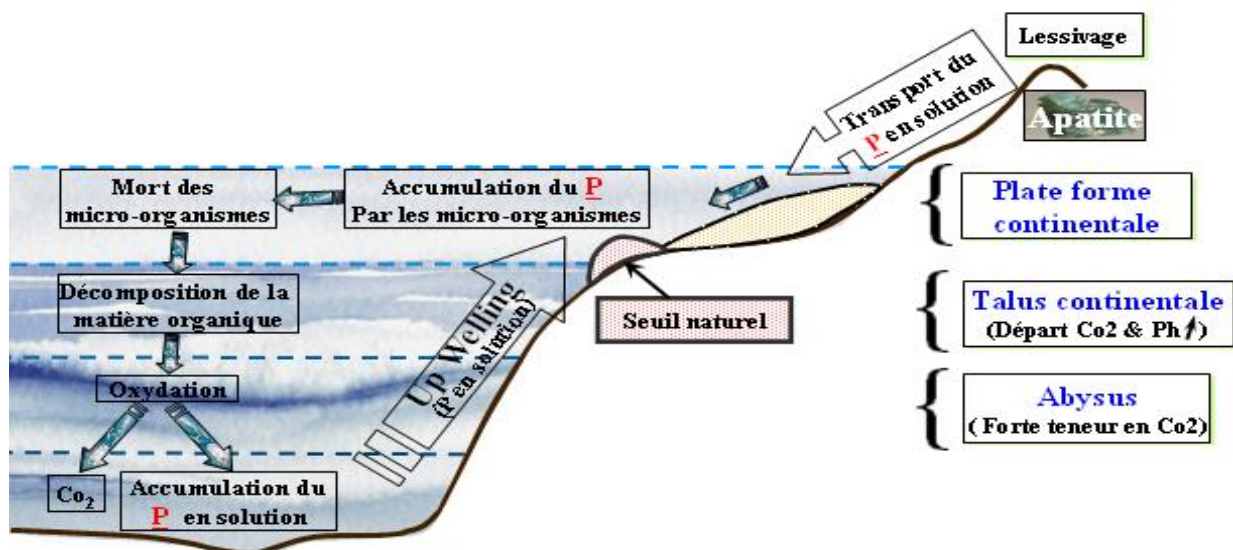


Figure 4: Schéma Présente La Théorie de Kazakov

CHAPITRE II
PRESENTATION DU BASSIN DE
GANTOUR ETUDIE

I - Cadres géographique et géologique Bassin de Gantour

I.1- Cadre géographique :

Le bassin des Gantour inscrit dans un rectangle orienté Est-ouest de la longueur de 120 et de largeur de 20 à 30 Km. Il est limité :

Au nord, le massif paléozoïque des Rehamna.

Au sud, le massif paléozoïque des Jbilets.

A l'Est, l'Oued Tassaout, affluent de l'Oued Oum-Errabia.

A l'Ouest, les collines jurassiques de Mouissate.

Ce socle ancien, rigide et figé dans la meseta, est largement recouvert par des séries sédimentaires tabulaires ou faiblement plissées, ondulées ou faillées.

Le bassin des Gantour (Fig. 5) est l'un des quatre grands bassins phosphatés du Maroc. Situé au centre Nord du pays, il constitue un élément important de la couverture sédimentaire de la meseta. La partie reconnue géologiquement du bassin peut être subdivisée en six zones qui sont d'Ouest vers l'Est (Fig. 5) :

- Youssoufia.
- Bouchane.
- Louta.
- Benguerir.
- Nzalet El Hrarcha.
- Tassaout.

Actuellement l'exploitation du phosphate n'intéresse que deux zones, Zoned

Youssoufia (partie occidentale du gisement) où l'on exploite le phosphate dans la zone de Bouchane et M'Zinda à ciel ouvert. Zone de Benguerir (partie centrale du gisement) où l'exploitation est faite à ciel ouvert.

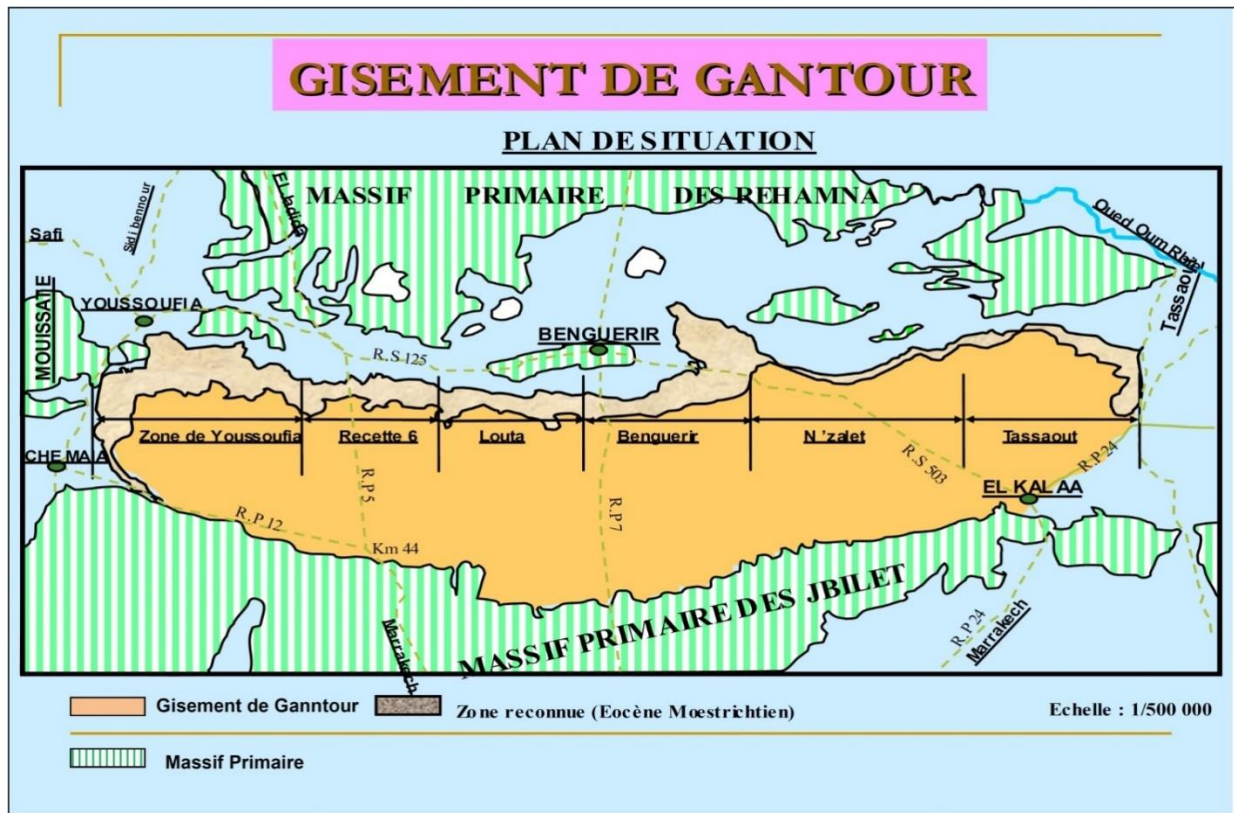


Figure 5: Carte du bassin de Gantour (BOJOU, 1976)

I. 2 -Cadre géologique :

A l'instar du gisement des Ouled Abdoun, la série phosphatée des Gantour s'inscrit dans l'intervalle Crétacé supérieur-Eocène inférieur. Cette série phosphatée est couronnée dans la partie méridionale du gisement par une dalle de calcaire siliceux renfermant des fossiles du genre "Thersite" (Gastéropode) et d'âge Eocène moyen. La série des Gantour comporte des faisceaux, des couches, et des sillons phosphatés entre lesquels s'intercalent des horizons de roches de natures variées dépourvues de phosphates ou très peu phosphatées.

Le dépôt de cette série phosphatée est typiquement d'origine marine. Le bassin dans lequel s'était opéré ce dépôt faisait partie d'une mer Crétacé-Eocène qui recouvrait probablement toute la moitié Ouest du domaine atlasique à l'exclusion des massifs primaires des Rehamna, des Jbilet et d'un massif également primaire situé au sein de l'Atlas Occidental.

A signaler qu'au sein de la partie Ouest du massif des Rehamna, on connaît une petite enclave de Maestrichtien phosphaté qui porte le nom de Gantour Seghuir.

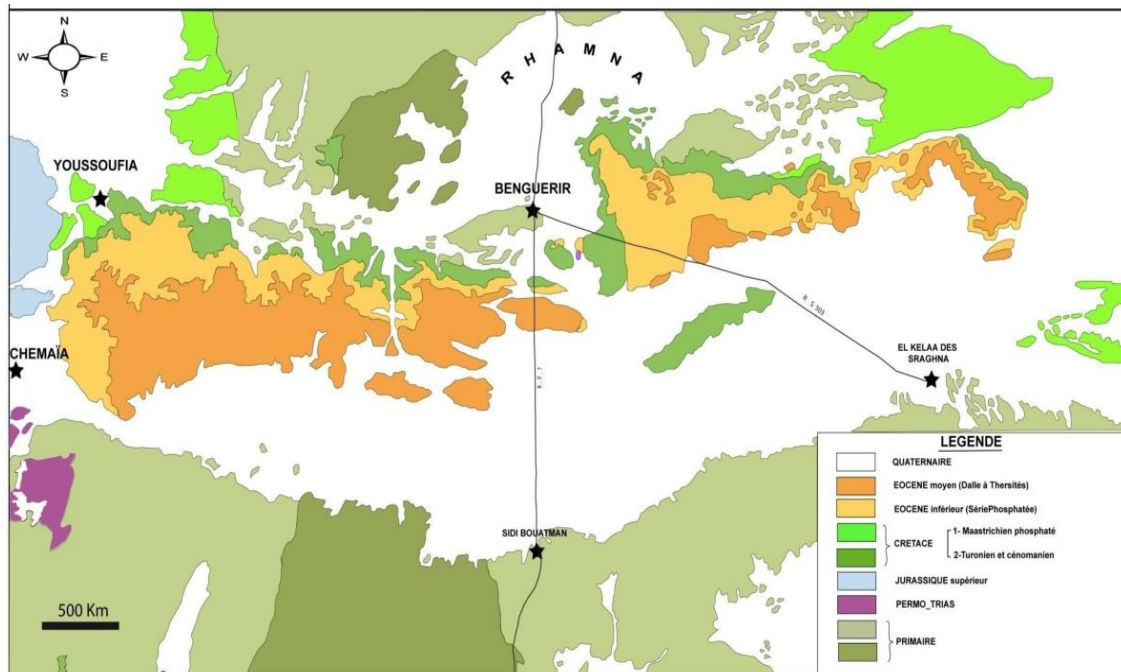


Figure 6: Carte géologique du bassin des Gantour, extraite de la carte géologique du Maroc au 1/500 000. (SAADI, 1982)

I. 3-Cadre structural :

La série phosphatée représente un changement très spectaculaire entre deux zones. Dans la zone méridionale, la série s'imprègne des traces de bitumes et de matière organique et elle est plus chargée en silices. Dans la zone septentrionale, on note une opposition entre deux domaines (Fig. 7).

- Un domaine occidental (de Youssoufia à El Ouata), montre une série relativement épaisse avec des niveaux phosphatés à teneur élevée.
- Un domaine oriental, caractérisé par une diminution très nette de l'épaisseur totale de la série et un nombre plus élevé des niveaux phosphatés à teneur élevée.

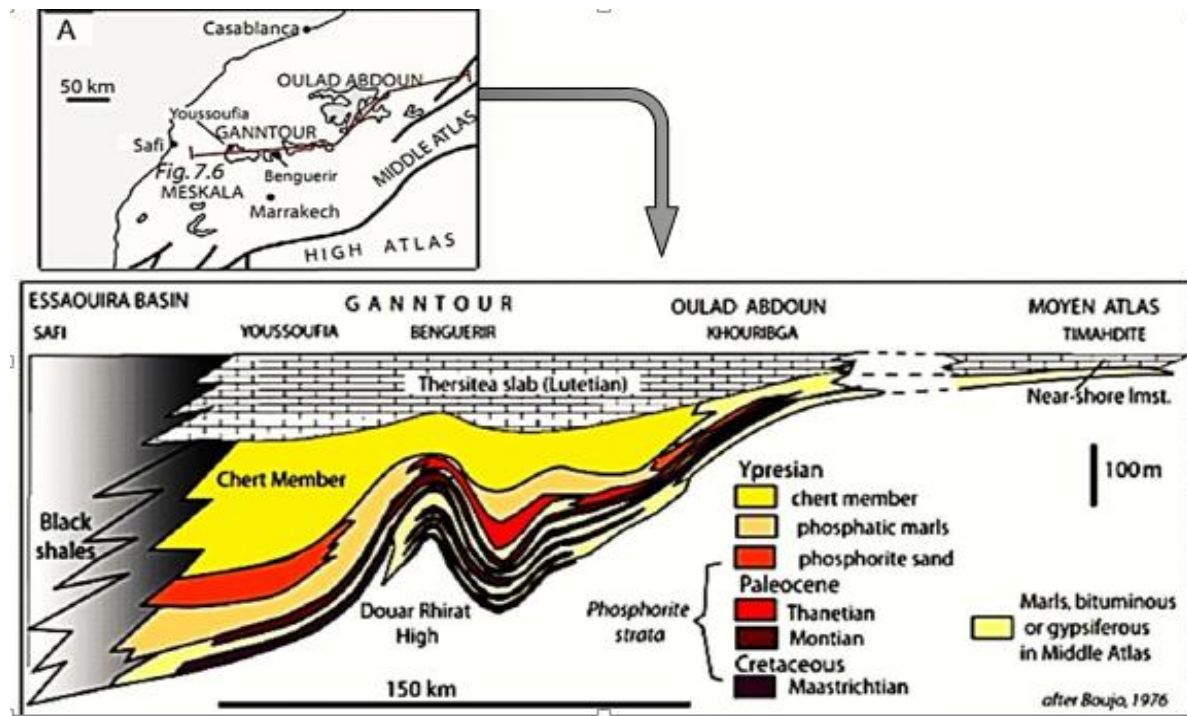


Figure 7: Evolution de la série phosphatée marocaine (BOUJO, 1976).

I.4-Aperçu stratigraphique et découpage minier de la série phosphatée du bassin des Gantour :

La série phosphatée dans le bassin s'étend du Maastrichtien au Lutétien (Fig. 8) :

- **Le Maastrichtien** : débute par un phosphate bioclastique, micro conglomératique et se termine par un banc de marnes siliceuses dans lesquels s'intercale un niveau décimétrique de phosphate.
- **Le Montien** : Commence 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** : Cet étage est dominé par une sédimentation sablo-phosphatée. Sa partie sommitale est constituée par des marnes et des argiles.

- **L'Yprésien** : débute par un niveau centimétrique de phosphate 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** : Il débute par un complexe marno-siliceux. Cet étage se caractérise par le développement d'une dalle calcaire dolomitique à Thérstités. Il confirme la régression de la Phosphatogenèse déjà amorcée à l'Yprésien.

La série phosphatée de Benguerir est constituée d'une alternance de couches phosphatées et des niveaux silico-carbonates stériles intercalaires (Fig.8).Le découpage minier révèle six (6) couches et six (6) sillons.

La couche 6 : formée généralement de phosphate meuble gris beige. organo-detritique et repose sur du marne jaune qui constitue la base de la chaîne phosphatée

La couche 5 : constituée d'un phosphate meuble plus ou moins marneux. organo-detritique contient 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 faible en BPL

La couche 4 : constituée de phosphate meuble avec des rognons de silex. Elle repose sur une discontinuité et est subdivisée en 2 sous couches dont l'inférieure a une teneur en BPL beaucoup plus importante

La couche 3 : elle est subdivisée en 2 sous couches de faciès variables :

Couche supérieure : formée de phosphate meuble beige plus ou moins marneux .sa teneur en BPL est toujours faible

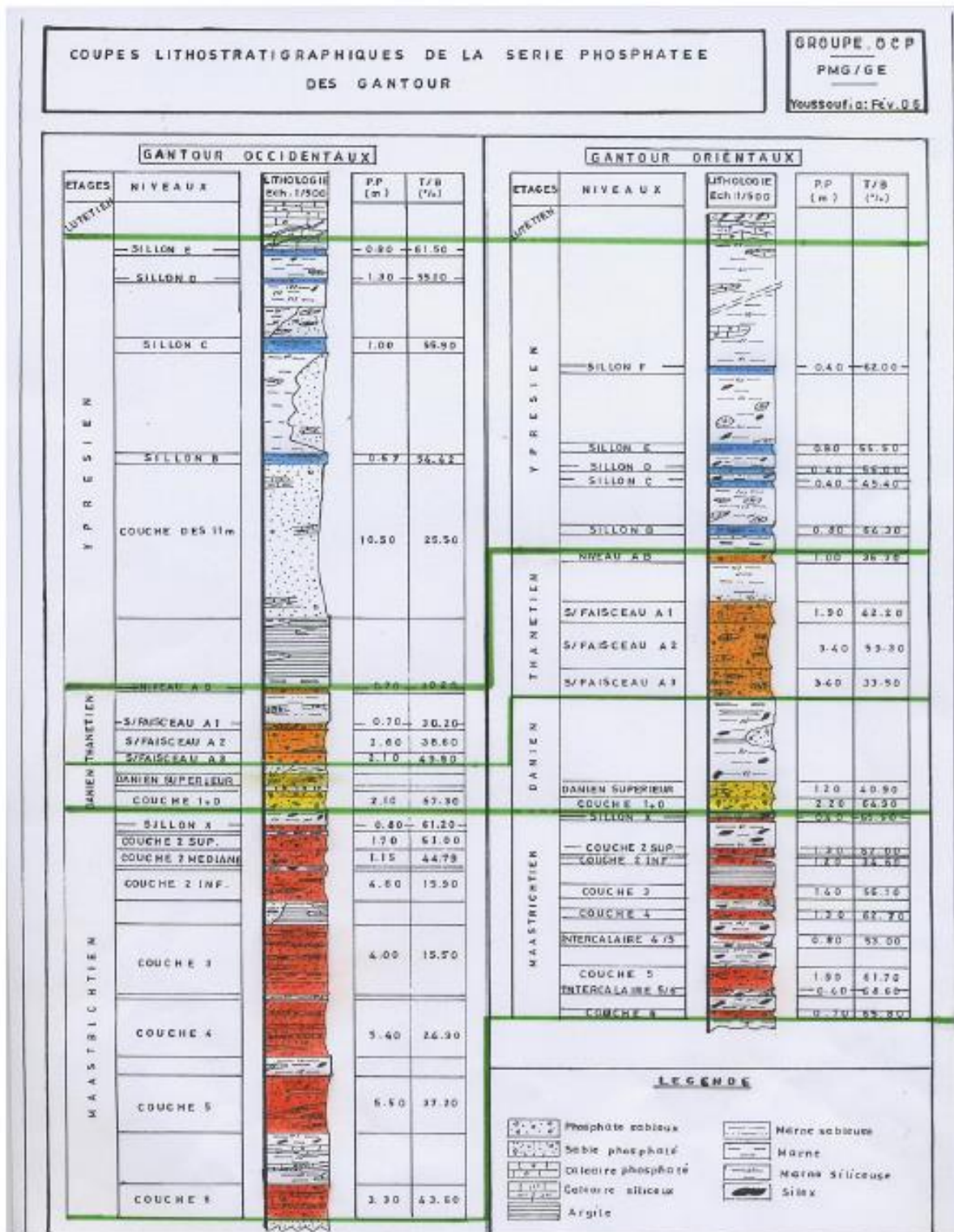


Figure 8: Colonnes litho stratigraphiques de la série phosphatée des Gantour. Le découpage minier est présenté sur la deuxième colonne

Couche inférieure : formée de phosphate meuble qui contient souvent du calcaire siliceux sa teneur en BPL est importante

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

La couche 2 : formée de 2 sous couche séparées par du bone-bed*lit d'os

Couche supérieure : forme de phosphate meuble avec un banc de calcaire siliceux sur le toit. sa teneur en BPL est importante

Couche inférieure : formée de phosphate meuble grès à jaune marneux et siliceux sa teneur en BPL est faible

Le sillon x : est un niveau de phosphate meuble. Discontinu, plus ou moins calcifié

Couche 1-0 : les deux niveaux 1 et 0

Peuvent être confondus lorsqu'il n'y a pas d'intercalaire de calcaire

Sillon A l'analyse chimique et leurs structures ont donné trois niveaux

Sillon A3 constitue d'un phosphate meuble calcifié à faible teneur en BPL

Sillon A2 Il est exploité et constitue de fossiles caractéristique

Sillon A1 constitue d'un phosphate calcifié et marneux et non exploité à cause de la présence de marnes friables

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

I.5 Découpage de la mine de Benguerir :

Pour mener à bien les travaux d'exploiter d'une zone phosphatée, celle-ci doit être découpée en panneaux, tranchées et cases (Figs. 9 et 10) :

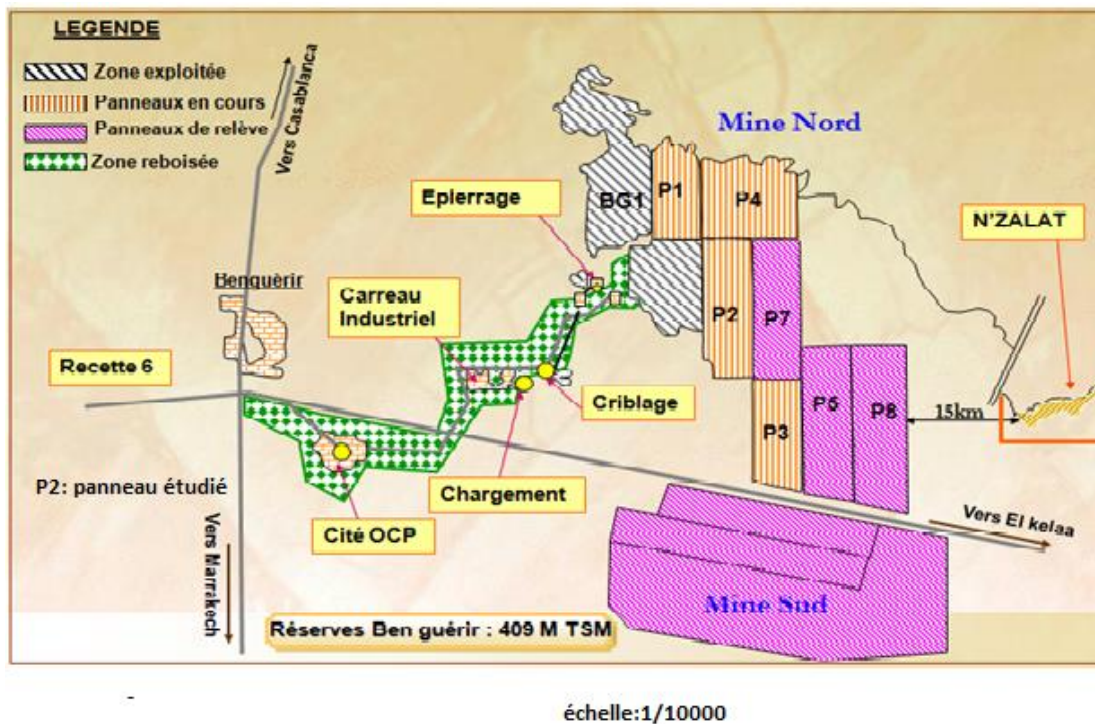


Figure 9: Schéma illustrant le découpage de la mine de Benguerir

- **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.
- **Tranché** : une partie ou unité du panneau dont une longueur est la même longueur du panneau et suit une largeur en générale de 40m.
- **Case** : une unité du tranché à une longueur de 100m et une largeur de 40m.

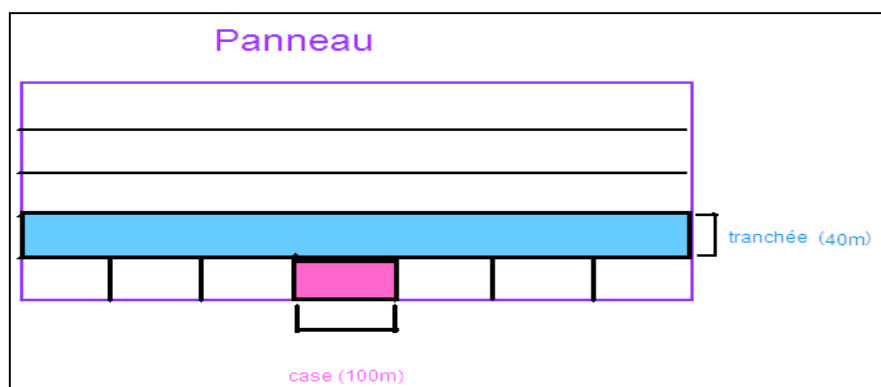


Figure 10: Exemple de schéma de découpage d'un panneau

CHAPITRE III
ETUDE GEOMINIERE DU
PANNEAU 1 DE LA MINE SUD DE
BENGUERIR

Objectif du présent travail :

L'étude menée dans le cadre de notre projet de fin d'étude est une contribution selon une optique géominière du panneau 1 de la mine sud de Benguerir. Elle intéresse particulièrement les niveaux phosphatés C5, C4 globale, C3, C2 supérieure, C1, C0, SA2 et SB de la série phosphatée du panneau 1. La méthodologie adoptée repose principalement sur l'outil informatique. Il s'agit de traitement de données recueillies sur le terrain par les logiciels ArcGIS et autoCAD, afin de dresser des cartes d'isoteneurs, d'isopuissances et des listings cases. L'étude de la qualité des phosphates et le de calcul de réserve ont été réalisés pour les différents couches du panneau 1.

I. Situation du panneau 1 étudié

Le panneau 1 de la mine sud de Benguerir se localise, comme son nom l'indique, à l'extrême sud de la mine et précisément au sud de la route nationale reliant El Kalaa Seraghna à l'Est et Benguerir à l'ouest (Fig. 11).

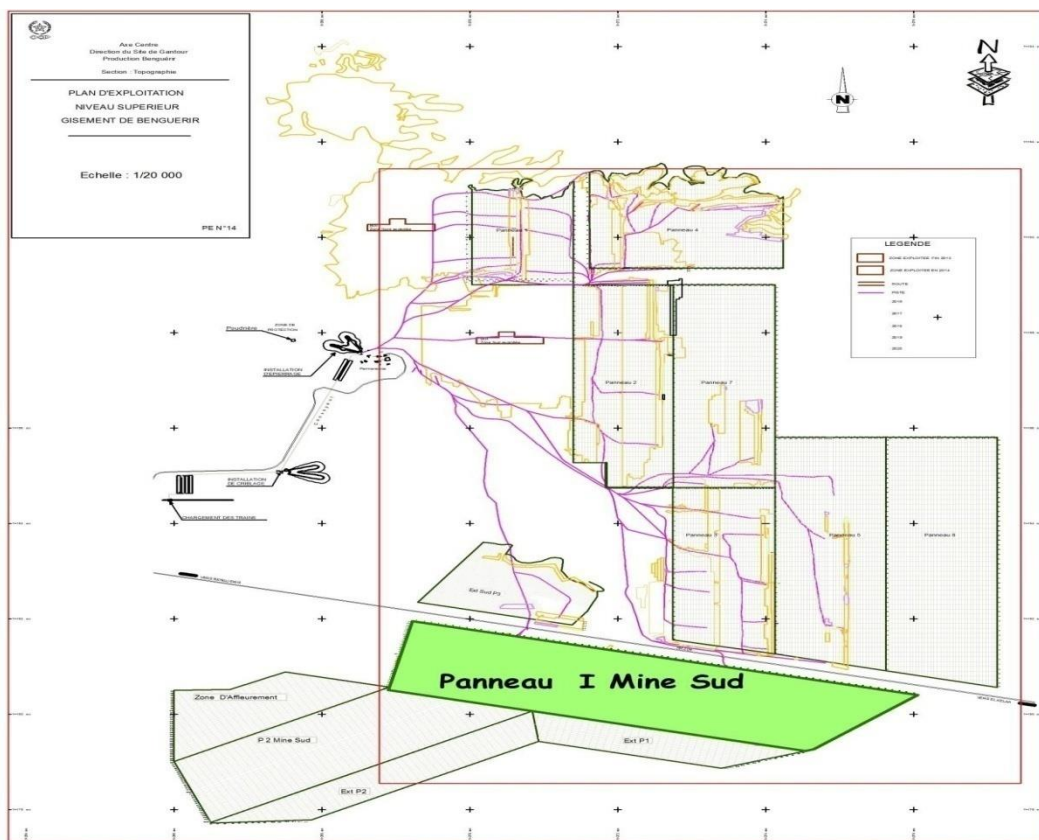


Figure 11: situation du panneau 1 sur la carte géominière de la mine de Benguerir

II. Aperçu sur les logiciels utilisés

Excel : C'est un tableur ; c'est-à-dire un programme permettant de gérer tous types de données numériques ; textuelles ; etc. Il est capable d'effectuer de nombreux calculs très rapidement.

ArcGIS : C'est un système complet qui permet de collecter, organiser, gérer, analyser, communiquer et diffuser des informations géographiques. En tant que principale plateforme de développement et d'utilisation des systèmes d'informations géographiques (SIG) au monde, ArcGIS est utilisé par des personnes du monde entier pour mettre les connaissances géographiques au service du gouvernement, des entreprises, de la science, de l'éducation et des médias.

ArcGIS permet la publication des informations géographiques afin qu'elles puissent être accessibles et utilisables par quiconque.

AUTOCAD : c'est un logiciel de dessin assisté par ordinateur, créé en 1982 par Autodesk. Il est utilisé par de nombreux corps de métiers. C'est un logiciel de dessin technique pluridisciplinaire : (Industrie * Cartographie et Topographie * Électronique * Architecture * Mécanique). Son succès est surtout dû au fait qu'il permet à l'utilisateur de créer ses propres menus et de développer des applications.

III. Méthodologie de travail

Pour atteindre les objectifs fixés, on est conduit à l'application des démarches suivantes :

- Création de la base de données à partir des puits de reconnaissance.
- Réalisation d'un log litho stratigraphique synthétique de la zone d'étude.
- Levée de coupe géologique de la zone d'étude.
- Etablissement des cartes structurales, iso valeurs et listing cases.
- Etude de la qualité de phosphate et calcul de réserve.

III.1 Établissement de la base de données :

L'étude d'un niveau phosphaté consiste à rassembler les données nécessaires qui le caractérisent, afin de pouvoir étudier la variation des teneurs et des structures dans le temps et dans l'espace. La base des données est basée sur des puits déjà faites par des anciens prospecteurs(Fig.12).

- Z de toit : Les côtes du toit de la couche s'obtiennent par la différence de l'altitude de la surface de la terre et celle du toit de la couche, en cas d'absence, la couche est considérée comme déjà érodée.
- BPL et CO2 de la couche : Les anciens prospecteurs ont désigné le BPL et CO2 des couches à l'aide des analyses nettement chimiques puis ils ont enregistré les valeurs au niveau des profils des puits par exemple : le puits N°574.

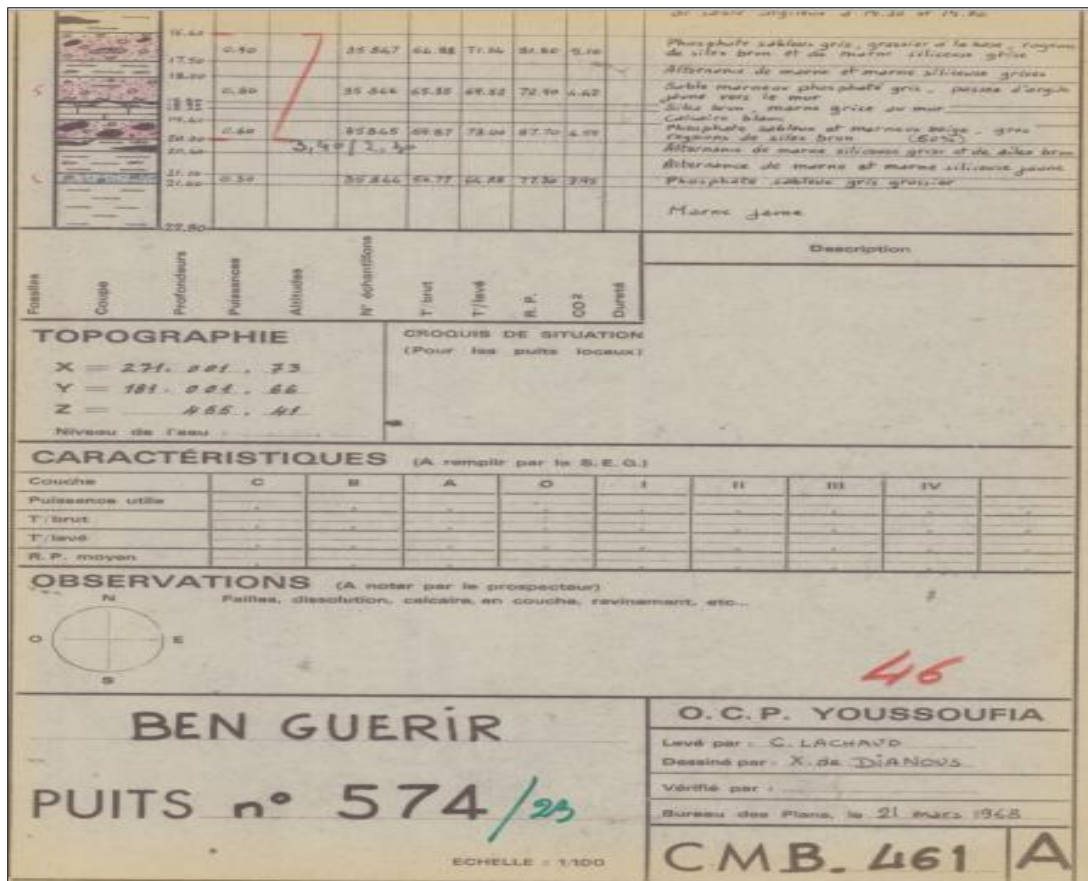


Figure 12: Exemple d'un puits de prospection (Puits N° 574)

La préparation de la base de données qui comporte les informations nécessaires sur les paramètres étudiés par le géo traitement sur l'ArcGIS est faite selon plusieurs étapes à savoir :

- Identification des niveaux phosphatés et des niveaux stériles.
- Détermination des puissances des niveaux phosphatés et des niveaux stériles.
- Calcul des paramètres physico-chimiques de chaque niveau phosphaté.
- Élimination des valeurs aberrantes des paramètres étudiés.

L'exemple de bases de données qu'on peut obtenir après avoir rassemblé les données nécessaires caractéristiques de chaque couche (voir le tableau dans l'annexes I).

III.2 Log litho stratigraphique synthétique du secteur étudié :

Le log litho stratigraphique synthétique du panneau I de la mine Sud montre que la couche phosphatée dans cette zone s'étend du Maastrichtien au Lutétien. 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....) (Fig.13).

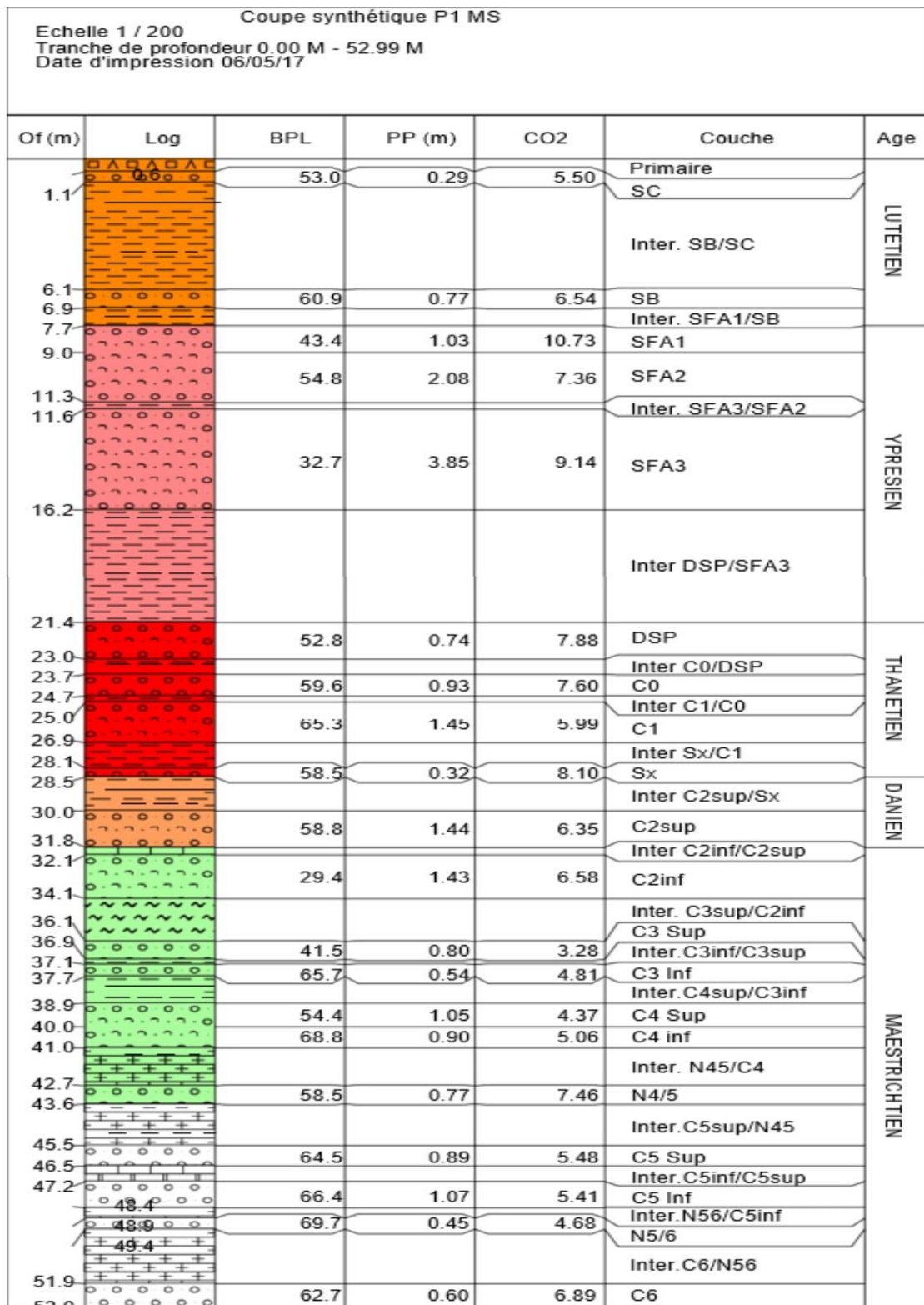


Figure 13: Coupe litho stratigraphique synthétique du panneau 1 de la mine sud de Benguerir

IV. Etablissement de la coupe géologique

IV.1 Méthodologie :

Pour élaborer une section géologique, il faut d'abord rassembler les coordonnées du terrain naturel et des courbes topographiques traversant la tranchée TJ3 du panneau I, de la case C18 jusqu'à case C36 (X, Y, Z) à partir d'une carte topographique. On introduit les coordonnées sous format Excel au but de produire un profil topographique du terrain naturel à l'aide du logiciel COVADIS.

À l'aide d'AUTOCAD on corrèle les couches appartenant aux puits qui font partie du terrain naturel correspondant au tranchet d'étude pour voir leur continuité (Fig. 14). Le profil litho stratigraphique aide à renseigner spécialement les ouvriers du chantier responsables du forage et le sautage sur la profondeur de la couche phosphaté par rapport au recouvrement.

IV.2 Présentation de la coupe géologique :

Cette coupe géologique nous donne des renseignements sur la continuité des couches tout au long de la tranchée TJ3 appartenant au panneau I sensiblement orienté WNW-ENE.

La coupe géologique de la figure 14 montre que les sillons B et A2 n'affleurent pas dans cette tranchée(TJ3). A l'ENE, au voisinage du puits 636 et 637, la couche C2 et le niveau argileux et la couche C3 n'affleurent pas car ils sont érodés. Par contre, les couche C4, C5, et C6 sont présentes au long de la section géologique. Il est à signaler que la profondeur du bassin augmente de l' WNW jusqu'à l'ENE, avec un amincissement notable de la couche 2. Par contre, on note un épaissement dans le même sens des autres couches phosphatées tels que ; C3, C4, et C6 (Fig.14).

Coupe géologique (TJ3_C18-C36)

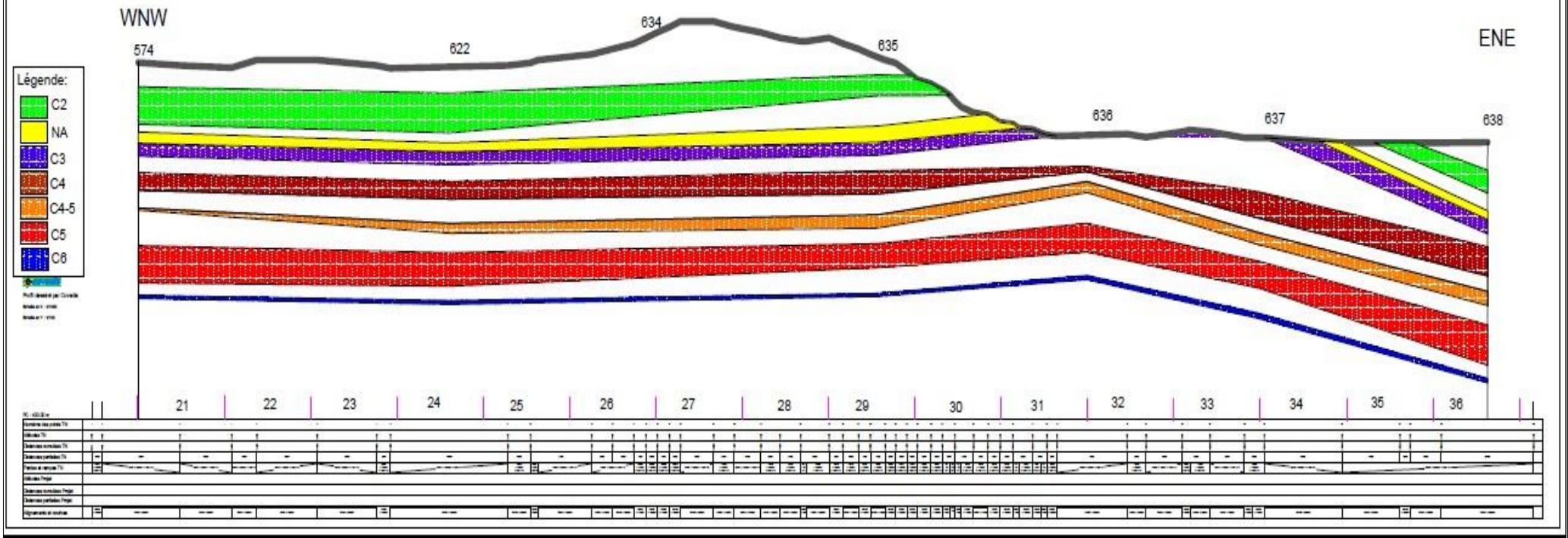


Figure 14: Coupe géologique levée sur la tranchée TJ3 et les cases 18-36

V. Établissement des cartes

V.1 Cartes structurales :

Définition :

Les cartes structurales représentent une succession de courbes de même valeurs et équidistances entre elles. Ces courbes sont obtenues à partir de l'interpolation des points ayant les mêmes cotes de toit ou de mur d'une même couche dans une couche bien définie.

Objectif :

La carte structurale a pour objectif de visualiser la structure d'une couche donnée.

1- Cartes structurales du sillon B et A2

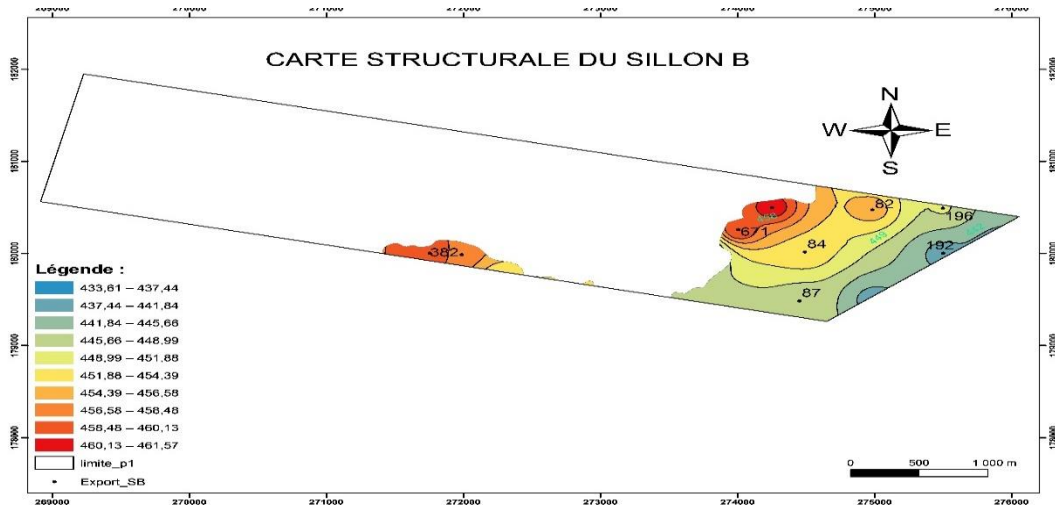


Figure 15: Carte structurale du sillon B

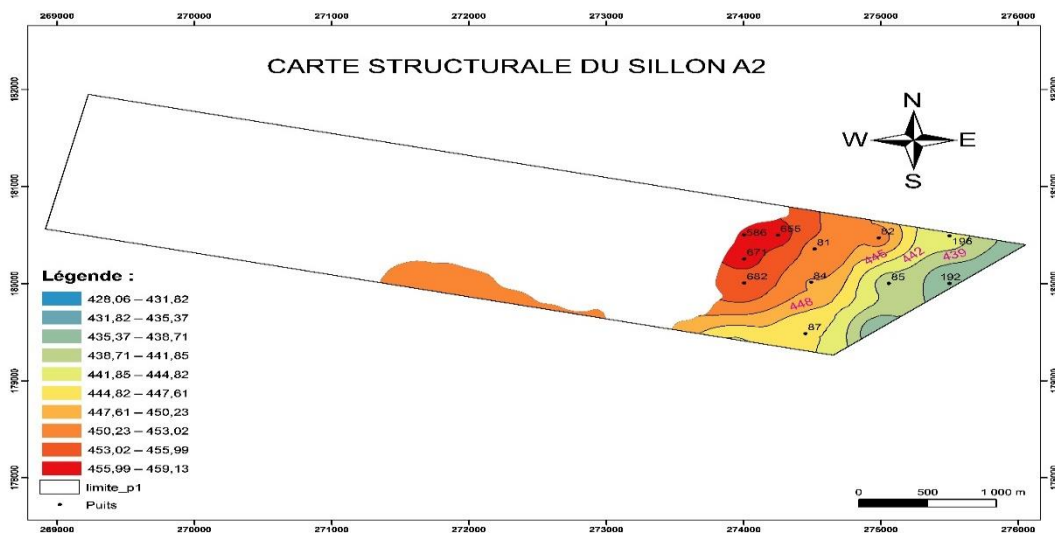


Figure 16: Carte structurale du sillon A2

Commentaires interprétations (Figs.15 et 16) :

- La direction globale des sillons B et A2 est SE-NW.
- Les Sillons B et A2 affleurent largement dans la partie Est du panneau I et apparaissent de manière restreinte à son extrémité Sud au voisinage du puit 382.
- L'examen structurale montre que les sillons B et A2 plongent régulièrement du SE vers le NW. Ils dessinent un dispositif monoclinale.
- Les couches (C0 ; C1 ; C2) montrent pratiquement les mêmes caractéristiques que les sillons B et A2 {voir les cartes dans l'annexe II}.

2- Cartes structurales de la couche C3 Sup et C3 inf.

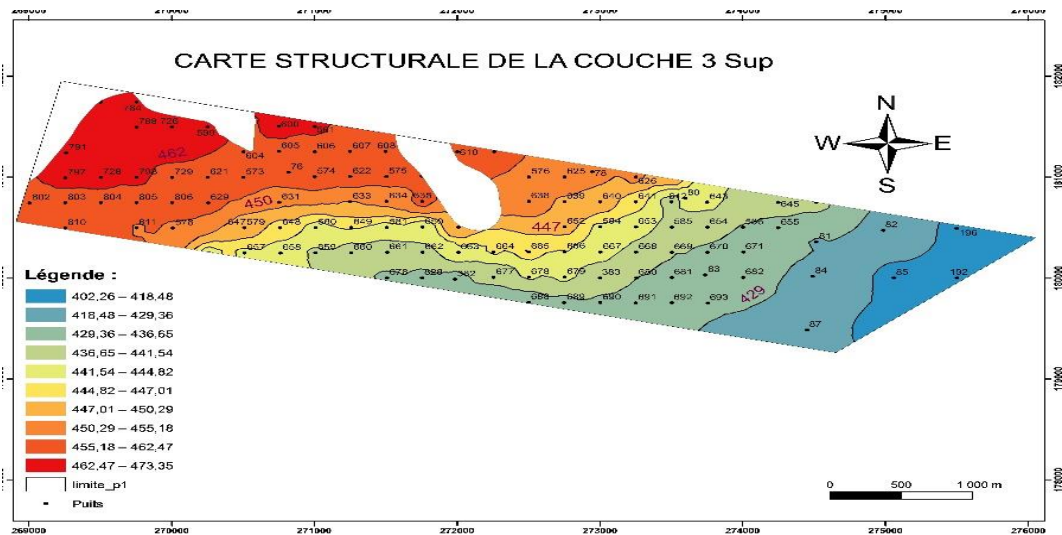


Figure 17: Carte structurale de la couche C3 Sup

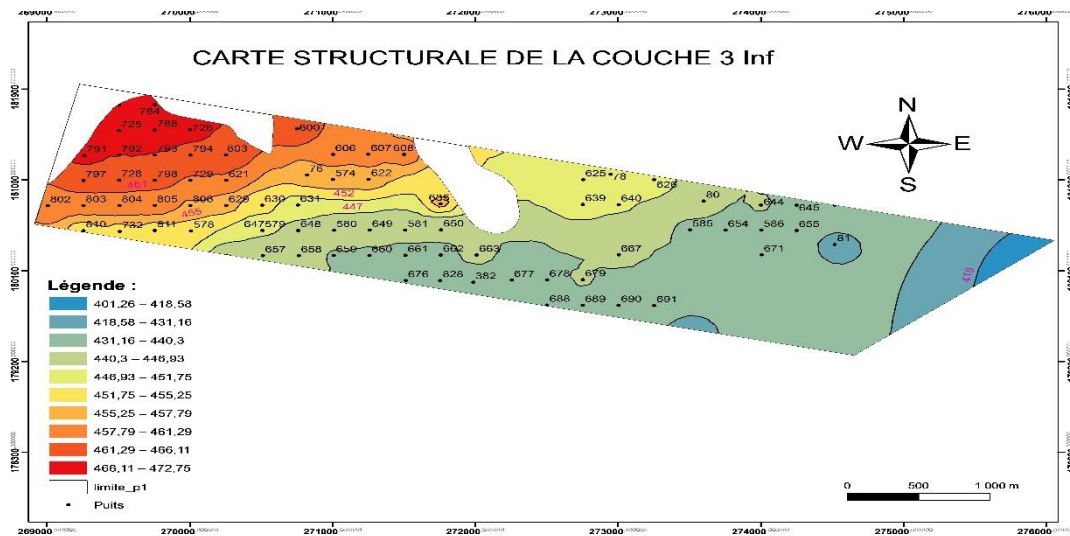


Figure 18: Carte structurale de la couche C3 Inf

Commentaires interprétations (Figs.17 et 18) :

- La couche 3 affleure dans la majorité du panneau I, ici de direction SE-NW ;
- La topographie de cette couche est représentée par des courbes espacées, dans la partie orientale traduisant ainsi, une pente très faible. Par contre, dans le secteur occidental, la pente augmente et atteint des valeurs moyennes.
- Les couches C3 inférieure et supérieure s'inscrivent dans une structure monoclinale où elles plongent vers le NW.
- Les couches (C4 ; C4-5 ; C5) révèlent, elles aussi, les mêmes caractères que la couche C3 {voir les cartes dans l'annexe II}.

V.2 Les cartes d'iso-puissances ou (cartes isopaches) :

Définition :

La carte d'iso-Pache est constituée par l'ensemble des courbes joignant les points ayant la même épaisseur d'une même couche. Elles sont tracées suivant une équidistance constante.

Objectif :

La carte d'iso puissances a pour but de déterminer :

- La variation des puissances d'une couche ou d'un sillon par zone.
- L'orientation de la méthode de l'exploitation.

1. Cartes d'isopaches des sillons A2 et B

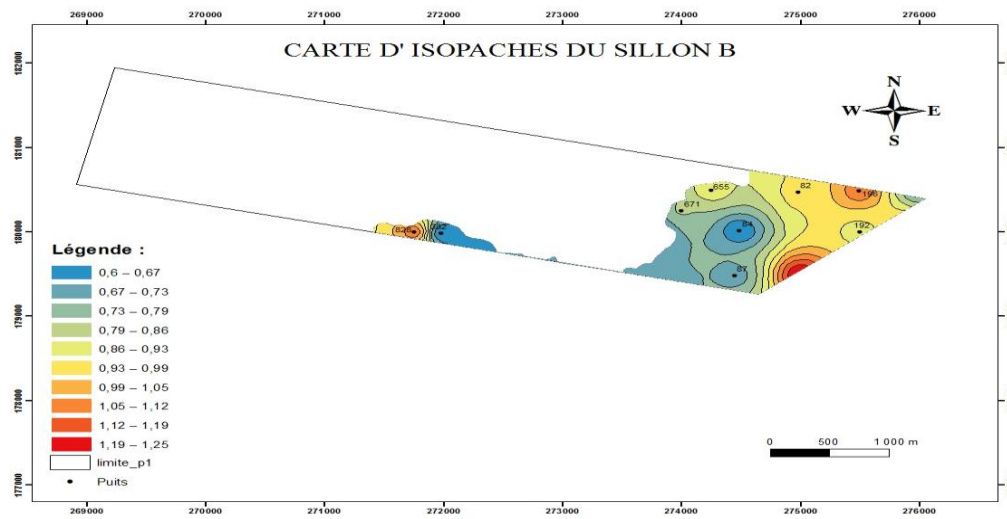


Figure 19: Carte d'isopaches du sillon B

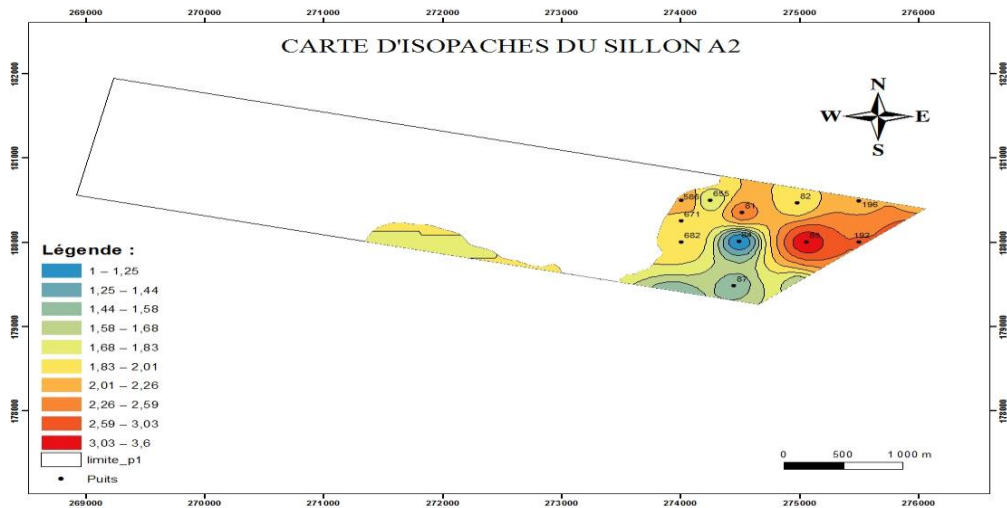


Figure 20: Carte d'isopaches du sillon A2

Commentaires interprétations (Fig. 19 et 20)

- Pour le Sillon B on remarque que sa puissance est comprise entre 0.6m et 1.25m avec une moyenne de 0.84 m. par contre celle du sillon A2 varie entre 1 m et 3.6 m avec une moyenne de 2.09 m.
- Les sillons B et A2 sont très puissants à l'extrémité Est du Panneau étudié.
- La puissance des Sillons B et A2 augmentent généralement du SW vers le NE, ceci serait dû à une augmentation de la vitesse de sédimentation au moment du dépôt.

2- Cartes d'isopaches de la couche C0

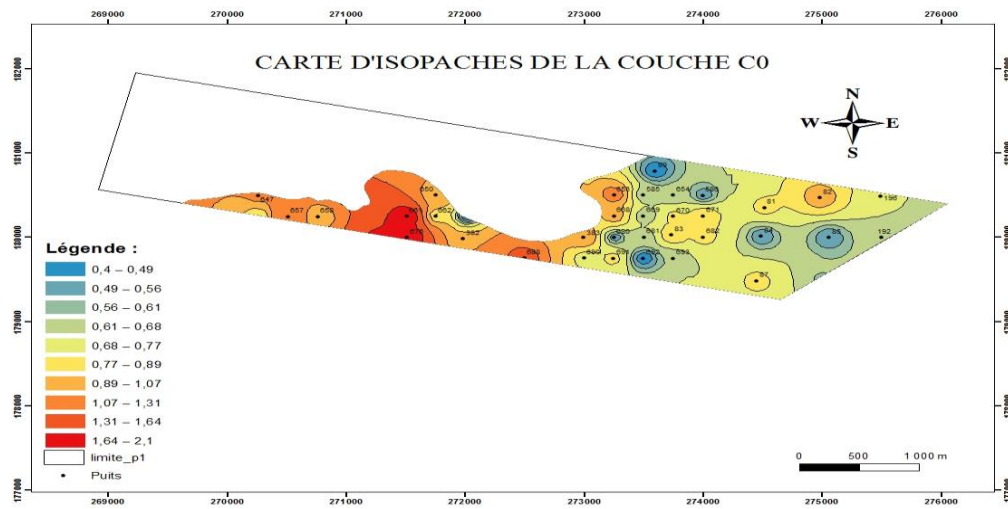


Figure 21: Carte d'isopaches de la couche C0

Commentaires interprétations (Fig.21) :

- On remarque que la puissance de cette couche est comprise entre 0.4m et 2.1m avec une moyenne de 0.87m.
- Sa puissance diminue progressivement du SW vers le NE.

3. Cartes d'isopaches de la couche C1

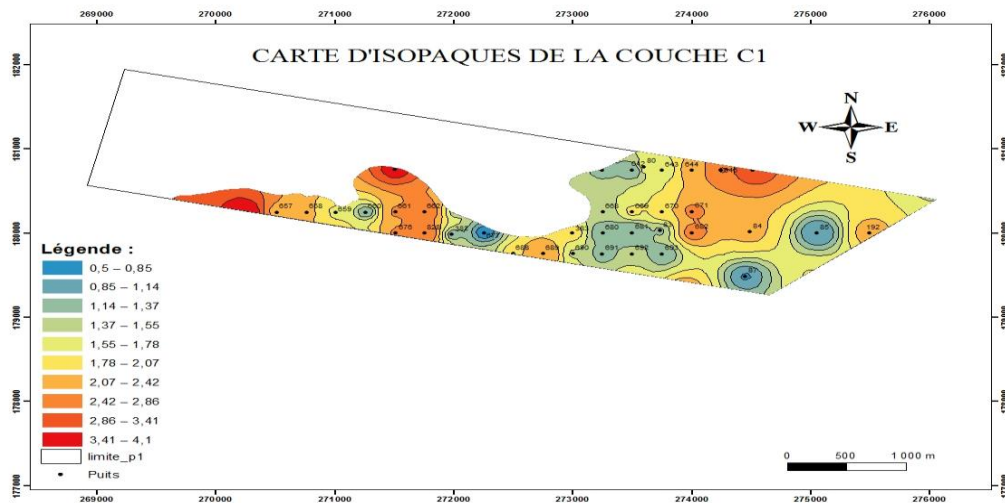


Figure 22: Carte d'isopaches de la couche C1

Commentaires interprétations (Fig.22) :

- On remarque que la puissance de la couche C1 est comprise entre 0.5 m et 4.1 m avec une moyenne de 1.91m. Les valeurs maximales se localisent au NE sur le méridien du puit 84, au SW à proximité des puits 661 et 676 et à l'Ouest du puit 657.
- La puissance de la couche C1 diminue du NE (puits 84) vers SW (puits 680) et augmente de nouveau vers le SW (puits 657). Cette variation pourrait être en relation avec celle de la vitesse de sédimentation et de la configuration du fond du bassin. Ce dernier serait marqué par la présence d'une zone haute centrale, orientée NW-SE, qui est flanquée par deux zones subsidences au moment de la sédimentation de la couche C1.

4. Cartes d'isopaches de la couche C2

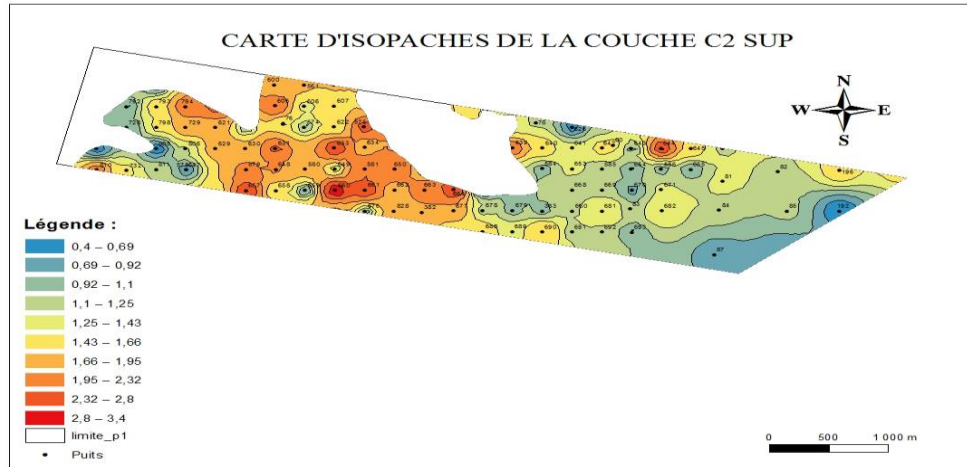


Figure 23: Carte d'isopaches de la couche C2

Commentaires interprétations (Fig.23) :

- La puissance de la couche C2, ici considérée, est très importante dans la moitié SW du Panneau 1.
- On remarque que la puissance varie entre 0.4 m et 3.4 m avec une moyenne de 1.47m.

5. Carte d'isopaches de la couche C3 sup.

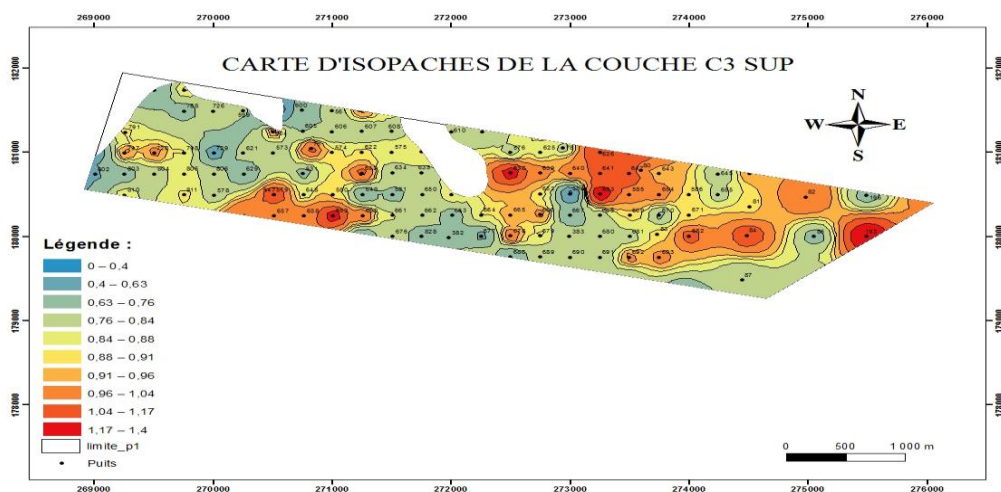


Figure 24: Carte d'isopaches de la couche C3 Sup

Commentaires interprétations (Fig. 24) :

- La puissance de la couche 3 supérieure varie dans l'espace géographique du Panneau 1.
- On remarque que la puissance de cette couche s'échelonne entre 0 m et 1.4m avec une moyenne de 0.85m.
- La variation irrégulière de l'épaisseur de C3 traduirait une irrégularité du fond du bassin et/ou du taux de sédimentation à l'époque de son dépôt.

6. Carte d'isopaches de la couche C3 inf.

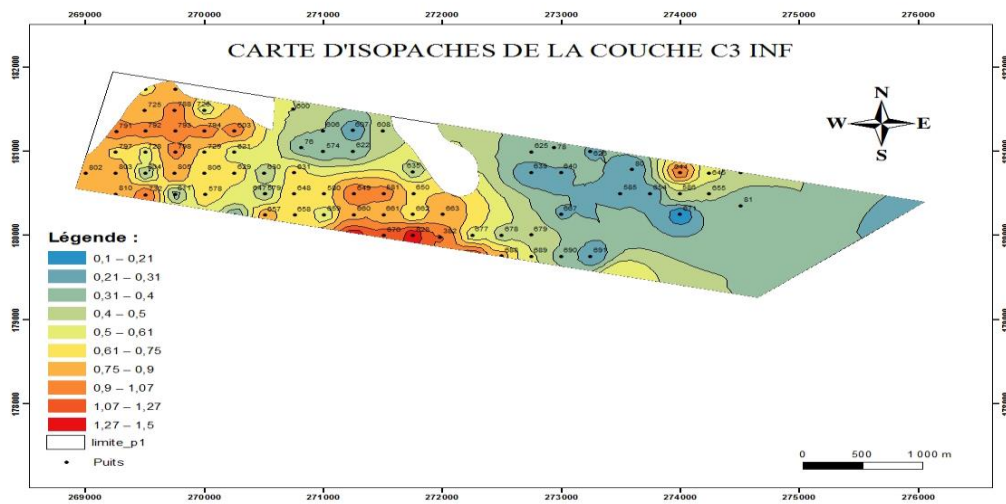


Figure 25: Carte d'isopaches de la couche C3 Inf

Commentaires interprétations (Fig. 25) :

- Les valeurs de la puissance de C3 inférieur sont comprises entre 0.1 m et 1.5 m avec une moyenne de 0.64m.
- La puissance de la couche 3 inférieur augmente de l'Est vers l'Ouest et du Nord vers le Sud.

7. Carte d'isopaches de la couche C4.

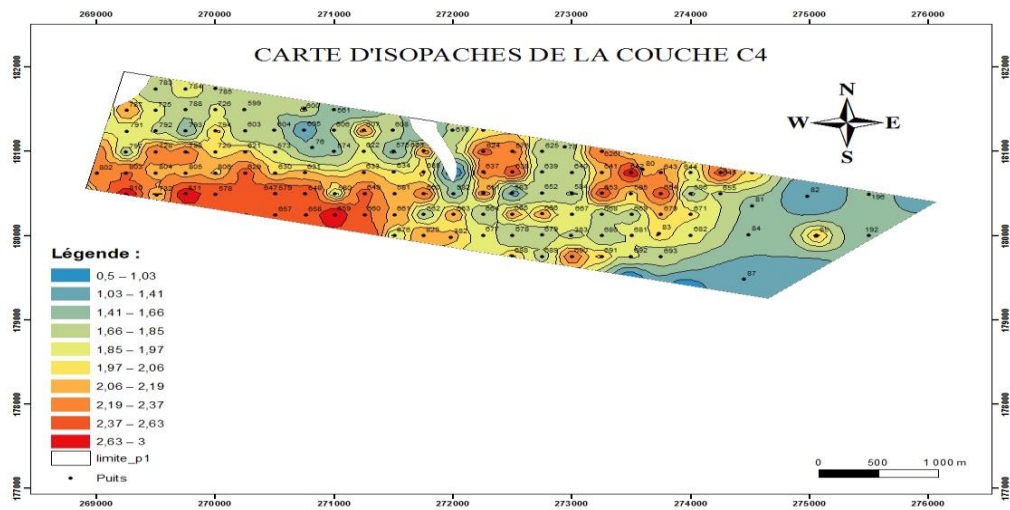


Figure 26: Carte d'isopaches de la couche C4

Commentaires interprétations (Fig. 26) :

- Les valeurs de la puissance de la couche 4 s'échelonnent entre 0.5 m et 3 m avec une moyenne de 1.93 m.
- La puissance de la couche 4 augmente de l'Est vers l'Ouest et du Nord vers le Sud.

8. Carte d'isopaches de la couche C5 sup.

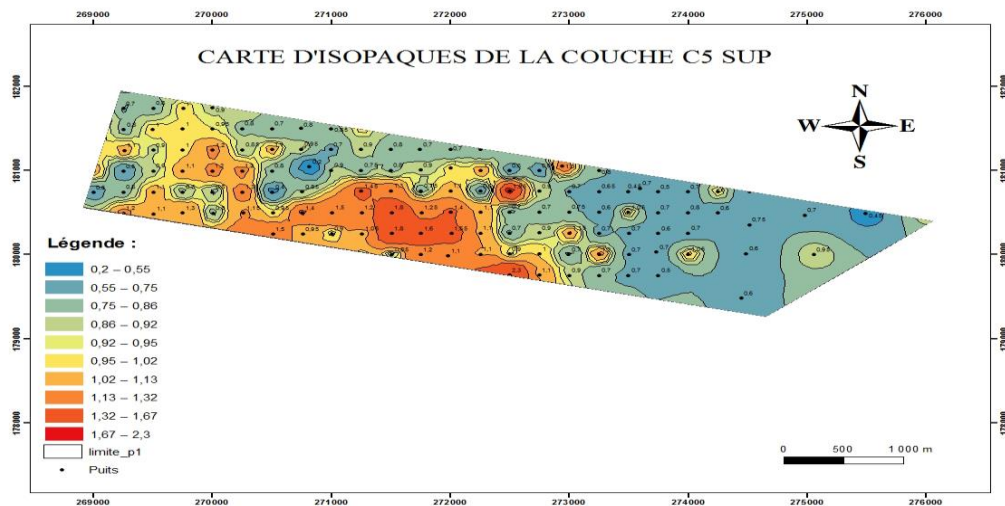


Figure 27: Carte d'isopaches de la couche C5 Sup

Commentaires interprétations (Fig. 27) :

- Les valeurs de la puissance de C5 oscillent entre 0.2 m et 2.3 m avec une moyenne de 0.93m.
- La puissance de la couche 5 supérieur est élevée dans le tiers SW du panneau 1 où elle atteint un maximum de 2,3m.

9. Carte d'isopaches de la couche C5 inf.

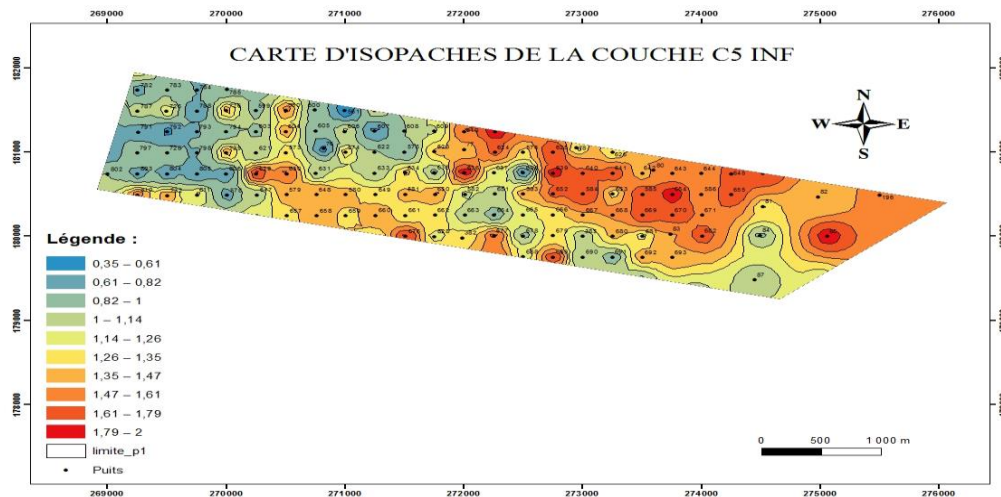


Figure 28: Carte d'isopaches de la couche C5 Inf

Commentaires interprétations (Fig. 28) :

- Les épaisseurs de la couche 5 inférieure sont très importantes au milieu et dans la partie Est et SE, par contre ils sont faible à l'extrémité Ouest et SW.
- Les valeurs de la puissance de C5 varient de 0.35 m à 2 m avec une moyenne de 1.24m.

V.3 Cartes iso-teneur ou (iso-valeur) :

Définition :

Cette carte représente la variation des paramètres ; BPL, CO2, MgO, Cadmium, Silice

Objectif :

Déterminer la variation des teneurs par zone et par couche.

A. Cartes iso-valeur de (BPL) :

1. Carte d'iso-valeur du (BPL) du sillon B.

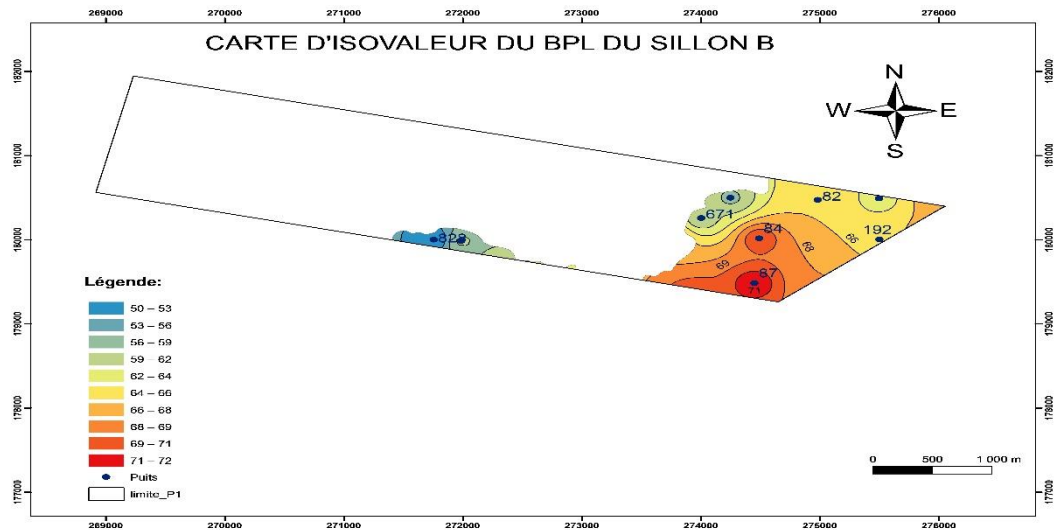


Figure 29: Carte d'iso-valeur du (BPL) du sillon B

Commentaires interprétations (Fig. 29) :

- Les teneurs de BPL du Sillon B sont très élevées à l'extrémité SSW et diminuent vers le Nord et au NW. Les teneurs les plus élevées de BPL sont cantonnées au voisinage du puits 84.
- On remarque les teneurs de BPL varient entre 50% au niveau du puits 82 et 72% au niveau du puits 87, avec une moyenne de 64%.

2. Carte d'iso-valeur du (BPL) du sillon A2.

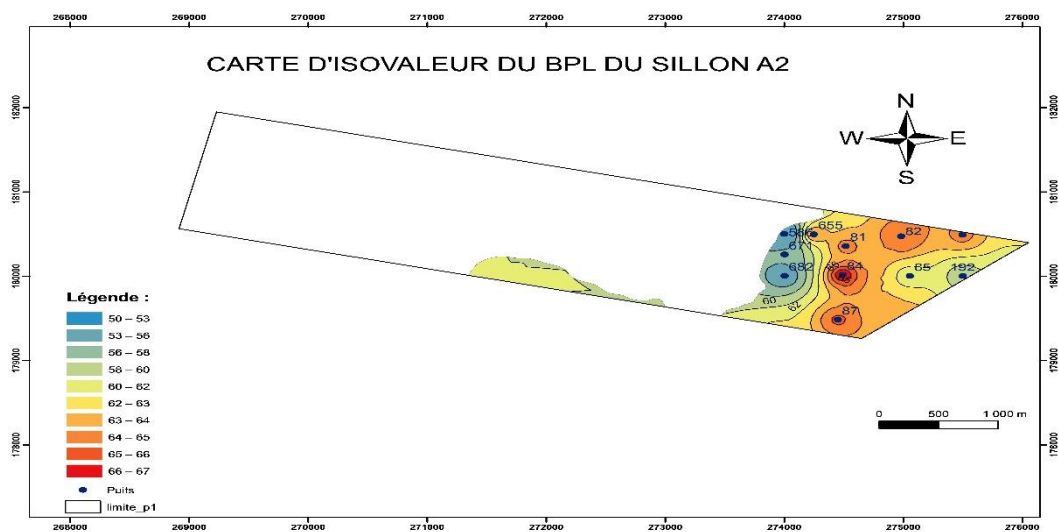
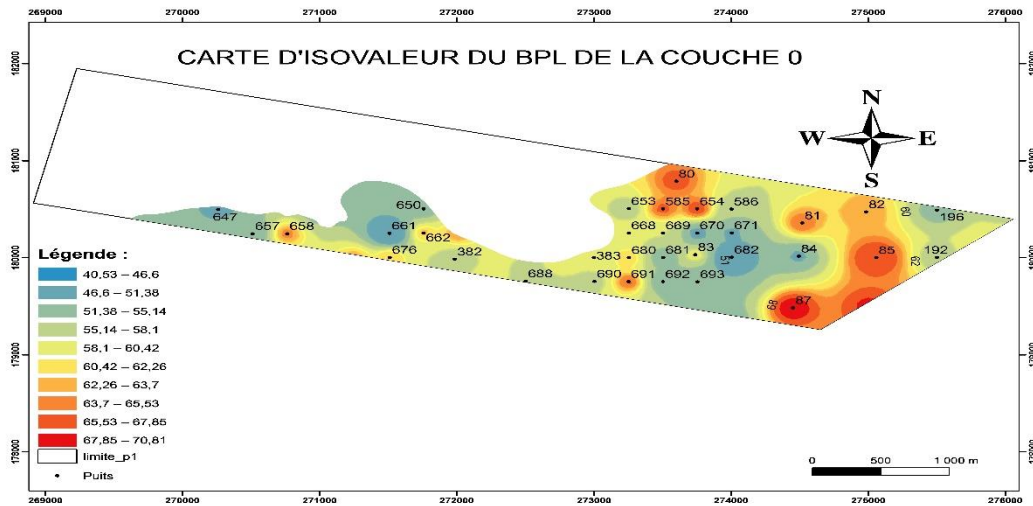


Figure 30: Carte d'iso-valeur du (BPL) du sillon A2

Commentaires interprétations (Fig. 30) :

- La distribution spatiale des teneurs de BPL du Sillon A2 est très proche de celle du sillon B.
- On remarque que ces teneurs de BPL s'échelonnent entre 50% et 67% avec teneur moyenne de 61%.

3. Carte d'iso-valeur du (BPL) de la couche C0



Commentaires interprétations (fig.32) :

- Les teneurs de BPL de la couche C₀ sont très développées de part et d'autre du méridien du puit 85 diminue progressivement vers l'Est et au SW.
- Les teneurs de BPL s'échelonnent entre 41% et 71% avec une teneur moyenne est de 58%.

4. Carte d'iso-valeur du (BPL) de la couche C1

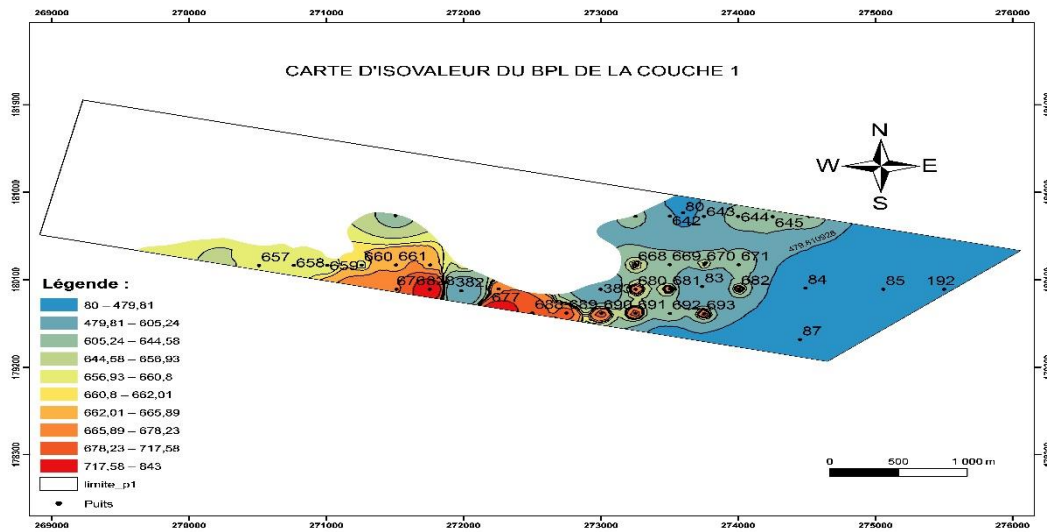


Figure 32: Carte d'iso-valeur du (BPL) de la couche C1

Commentaires interprétations (Fig. 32) :

- Les teneurs de BPL de la couche 1 sont élevées dans l'extrémité S-SW. Les valeurs les plus faibles sont enregistrées dans la partie Est et SE du panneau 1 étudié.
- On remarque les teneurs de BPL s'échelonnent entre 55% et 70%, avec de teneur moyenne de 64%.

5. Carte d'iso-valeur du (BPL) de la couche C2

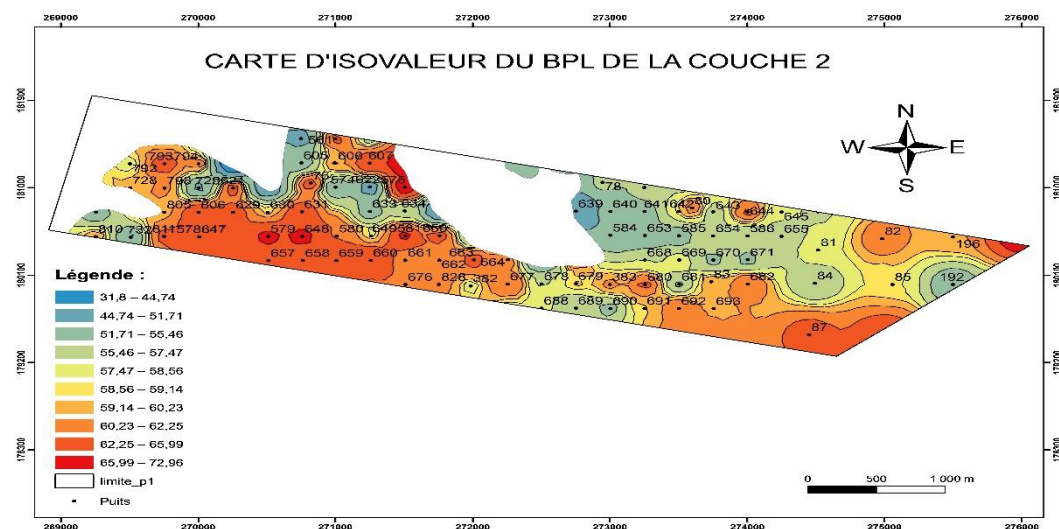


Figure 33: Carte d'iso-valeur du (BPL) de la couche C2

Commentaires interprétations (Fig. 33) :

- Les teneurs de BPL de la couche C2 sont très développées dans la partie sud et SW du panneau 1.
- On remarque que les teneurs de BPL varient de 32% jusqu'à 73%, avec une teneur moyenne de 59%.

6. Carte d'iso-valeur du (BPL) de la couche C3 sup.

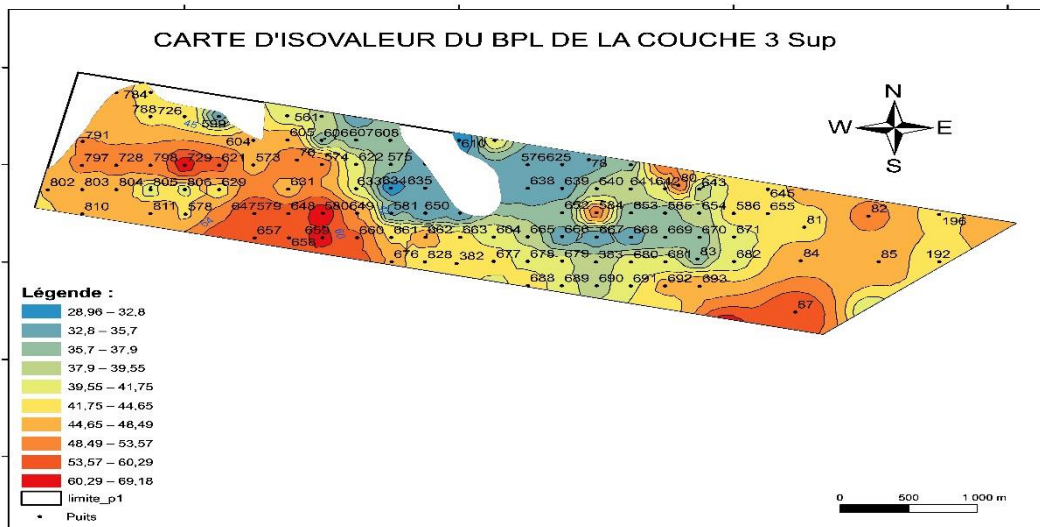


Figure 34: Carte d'iso-valeur du (BPL) de la couche C3 Sup

Commentaires interprétations (Fig. 34) :

- Les teneurs de BPL de la couche C3 supérieur sont très variables avec des teneurs moyennes à fort au SE et au SW. Les teneurs faibles s'inscrivent en une plage orientée NW-SE au milieu du panneau 1.
- On remarque les teneurs de BPL s'échelonnent entre 29% et 70%, avec une teneur moyenne de 44%.

7. Carte d'iso-valeur du (BPL) de la couche C3 inf.

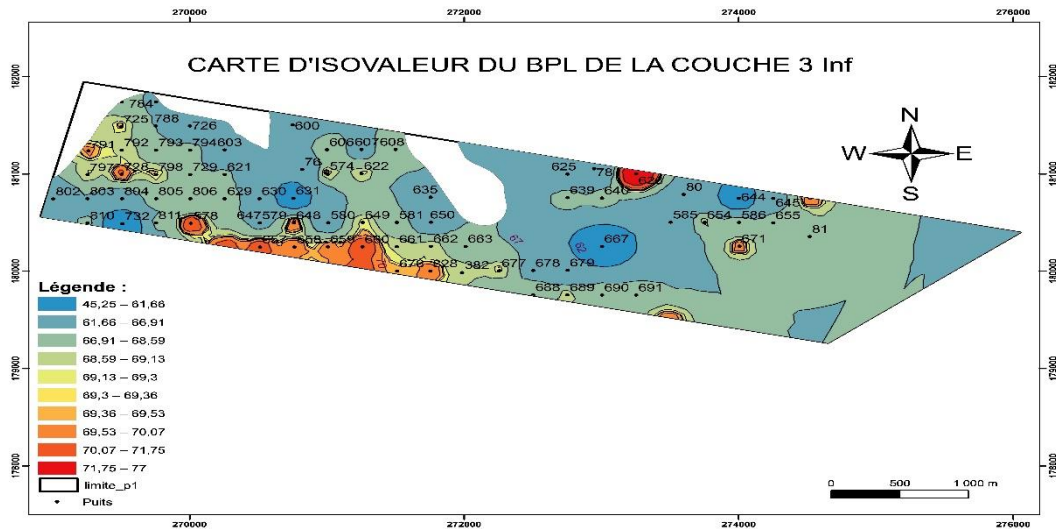


Figure 35: Carte d'iso-valeur du (BPL) de la couche C3 inf

Commentaires interprétations (Fig.35) :

- Les teneurs de BPL de la couche 3 inférieure sont généralement faibles avec toutefois des teneurs élevées dispatchées sous forme de petites plages. Orientée SE-NW au sud du panneau 1, la bande comprise entre les puits 811 et 678 se singularise par ses fortes teneur en BPL.
- On remarque que les teneurs de BPL oscillent entre 45% et 77%, avec une teneur moyenne de 67%.

8. Carte d'iso-valeur du (BPL) de la couche C4

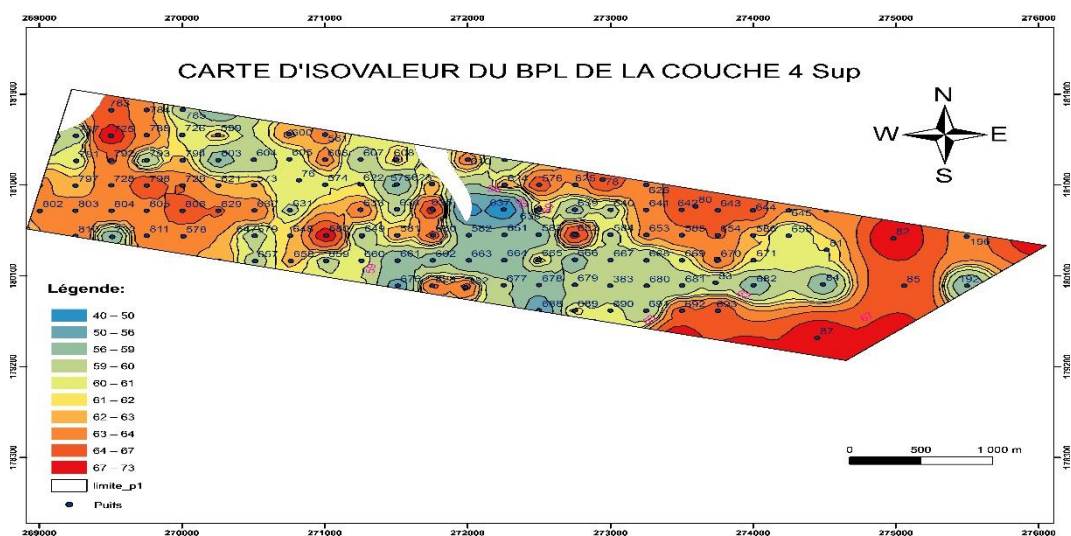


Figure 36: Carte d'iso-valeur du (BPL) de la couche C4

Commentaires interprétations (Fig.36) :

- Contrairement la couche C3 sus-jacente, les teneurs de BPL de la couche 4 sont fort contrastant avec de très importantes teneurs qui occupent la majorité du panneau 1. Les teneurs les plus faibles dessinent, néanmoins, une bande irrégulière au centre.
- Il ressort que les teneurs de BPL varient entre 40% et 73%, avec teneur moyenne de 62%.

9. Carte d'iso-valeur du (BPL) de la couche C5 sup.

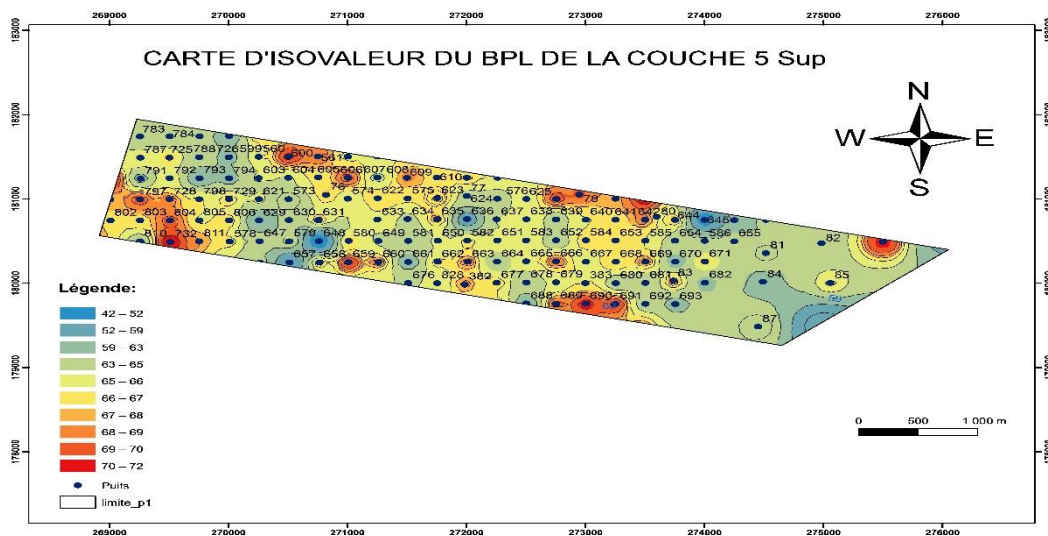


Figure 37: Carte d'iso-valeur du (BPL) de la couche C5 Sup

Commentaires interprétations (Fig.37) :

- Les teneurs de BPL de la couche 5 sont très variables et ils sont dispersés d'une manière aléatoire.
- On remarque les teneurs de BPL s'échelonnent entre 42% et 72%, avec une teneur moyenne de 65% qui prédomine à l'échelle du panneau 1 étudié.

10. Carte d'iso-valeur du (BPL) de la couche C5 inf.

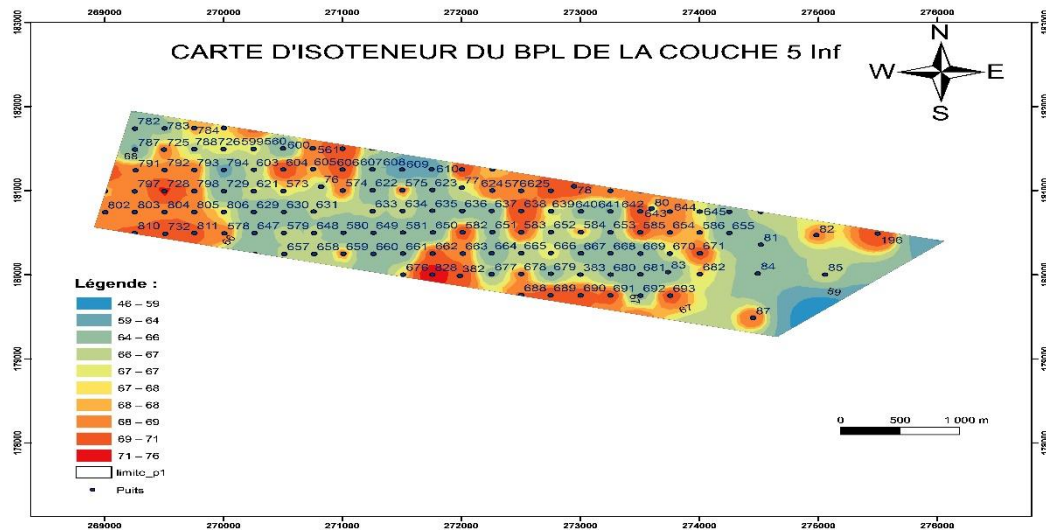


Figure 38: Carte d'iso-valeur du (BPL) de la couche C5 Inf

Commentaires interprétations (Fig.38) :

- Les teneurs de BPL les plus élevées de la couche 5 inférieure sont bien développées sur le pourtour du panneau 1.
- Les teneurs de BPL varient entre 46% et 76%, avec une teneur moyenne de 67%.

B. Cartes iso-valeur de (CO₂) :

1. Carte d'iso-teneur de (CO₂) du sillon B.

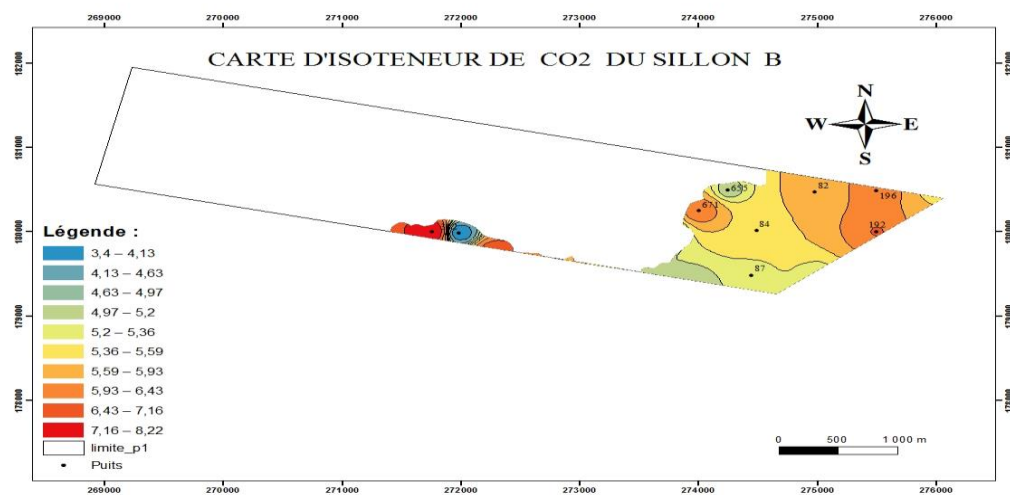


Figure 39: Carte d'iso-teneur de (CO₂) du sillon B

Commentaires interprétations (Fig. 39) :

- Le sillon B montre des teneurs en CO₂ plus élevées sur la portion Nord-Est du panneau étudié.
- Les teneurs de CO₂ du Sillon B varient généralement entre 3,4% et 8,22% avec une moyenne de 6%.

2. Carte d'iso-teneur de (CO₂) du sillon A2.

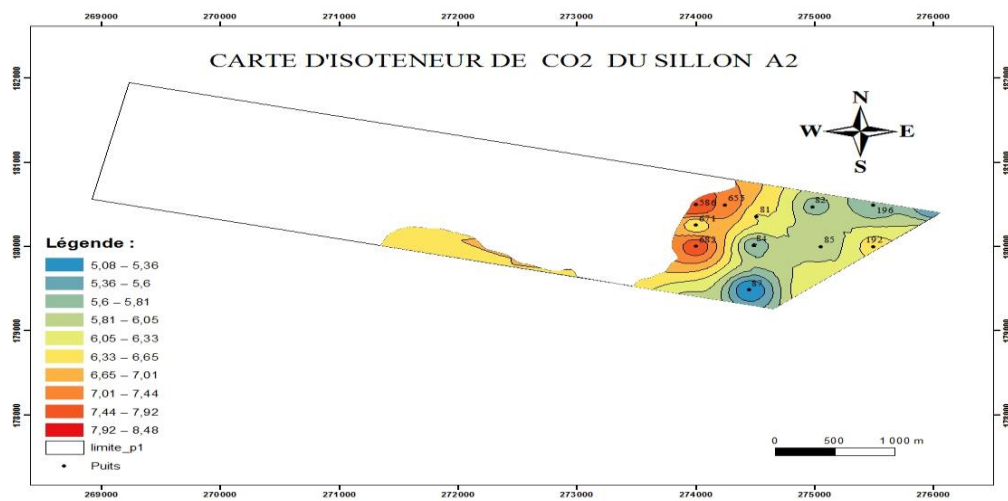


Figure 40: Carte d'iso-teneur de (CO₂) du sillon A2

Commentaires interprétations (Fig.40) :

- Dans le Sillon A2, les teneurs de CO₂ augmentent de l'Est vers l'Ouest.
- Les teneurs de CO₂ du Sillon A2 varient généralement entre 5,08% et 8,48% avec une moyenne de 6,39%.

2. Carte d'iso-teneur de (CO₂) de la couche C₀.

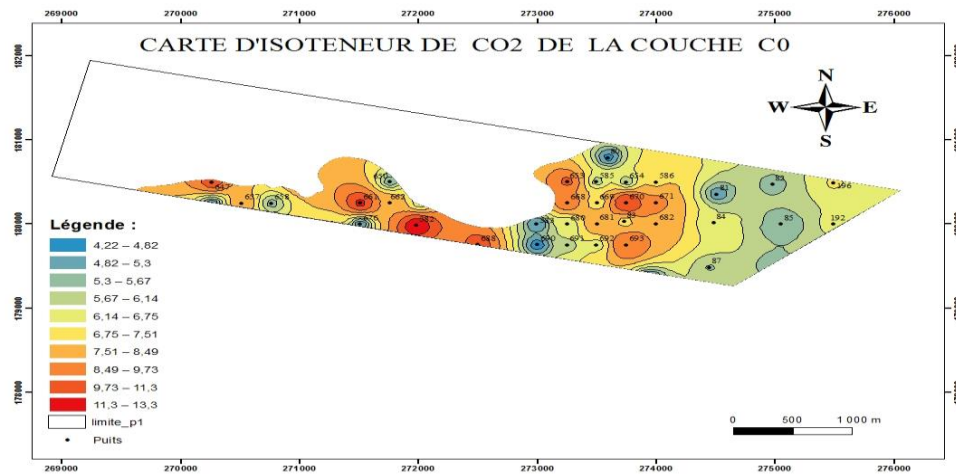


Figure 41: Carte d'iso-teneur de (CO₂) de la couche C₀

Commentaires interprétations (Fig.41) :

- Les teneurs de CO₂ de la couche C₀ augmentent sensiblement du SE vers l'Ouest et vers le NW du panneau étudié.
- Les teneurs de CO₂ de la couche C₀ varient généralement entre 4,22% et 13,3% avec une moyenne de 7,22%. Ces teneurs se montrent plus élevées par rapport à ceux du sillon A2 sus-jacente.

3. Carte d'iso-teneur de (CO₂) de la couche C₁.

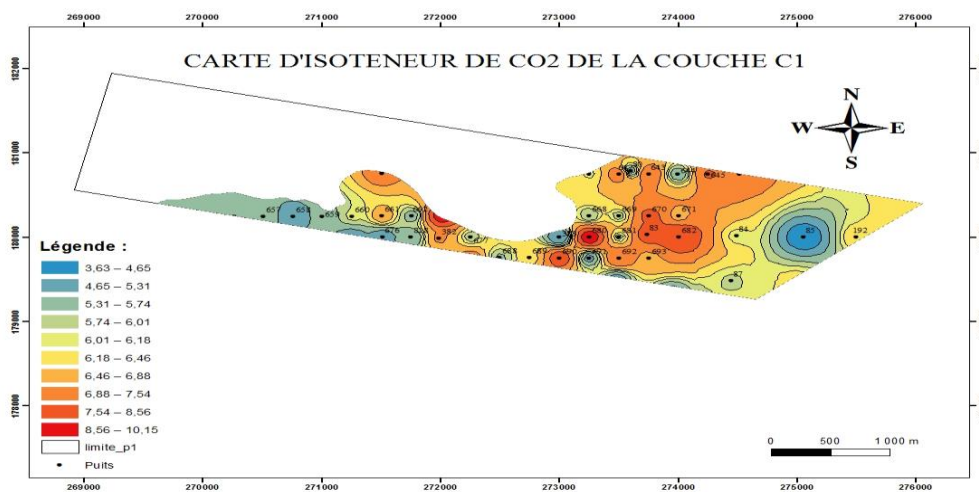


Figure 42: Carte d'iso-teneur de (CO₂) de la couche C₁

Commentaires interprétations (Fig.42) :

- La partie médiane du panneau 1 montre des teneurs élevées de CO₂ au sein de la couche C1. La diminution centrifuge de la teneur de CO₂ est très bien marquée au Sud et au SW.
- Les teneurs de CO₂ de la couche 1 varient généralement entre 3.63% et 10.15% avec une moyenne de 6.39%. Ces teneurs restent nettement faibles par rapport à ceux de la couche C₀ sus-jacente.

4. Carte d'iso-teneur de (CO₂) de la couche C2.

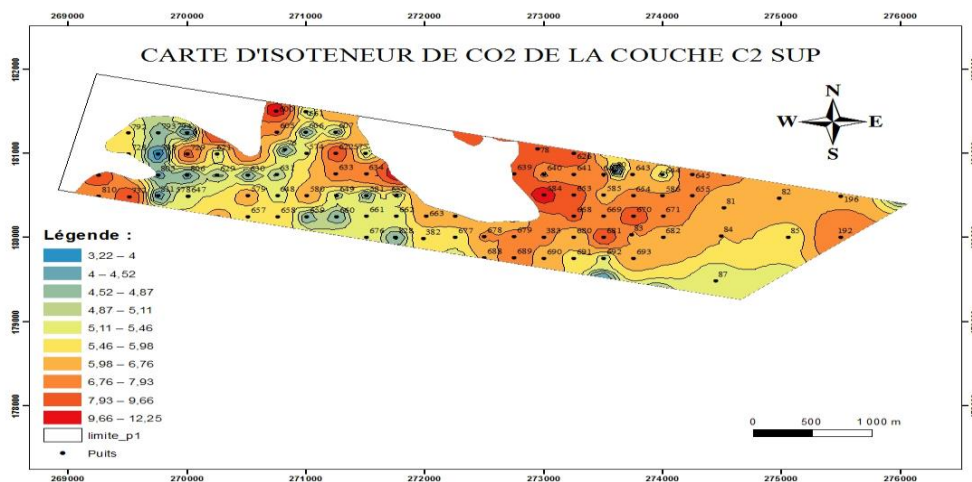


Figure 43: Carte d'iso-teneur de (CO₂) de la couche C2

Commentaires interprétations (Fig.43) :

- La majorité des teneurs très élevée de CO₂ est concentrée dans la partie médiane et septentrionale du panneau 1 où elle atteint les 12%.
- Les teneurs de CO₂ de la couche 2 varient généralement entre 3.22% et 12.25% avec une moyenne de 6.45%. Ces teneurs ne sont pas très loin de ceux de la couche C1 sus-jacente.

4. Carte d'iso-teneur de (CO₂) de la couche C3 sup.

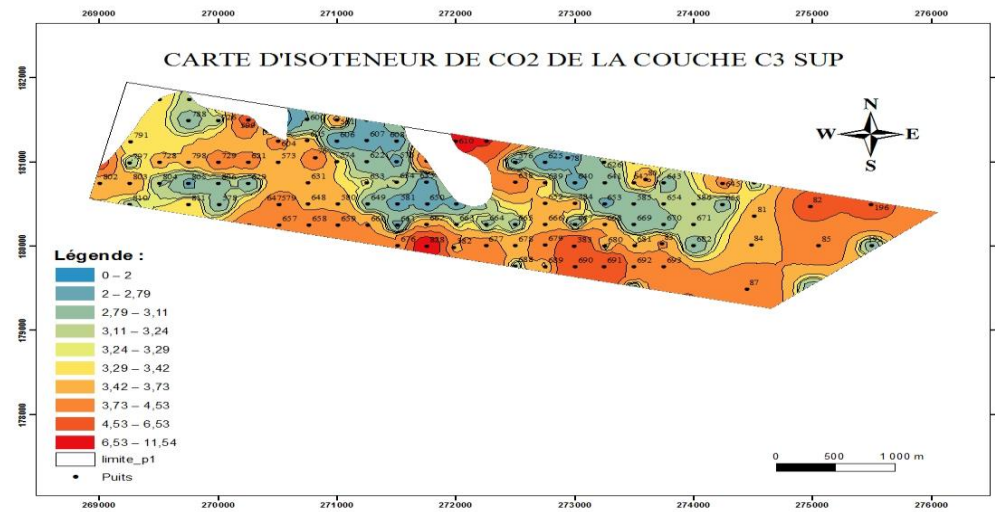


Figure 44: Carte d'iso-teneur de (CO₂) de la couche C3 Sup

Commentaires interprétations (Fig.44) :

- La couche 3 supérieure présente une grande variation spatiale des teneurs de CO₂. Les teneurs plus élevées de CO₂ occupent la majorité du panneau étudié.
- Les teneurs de CO₂ de la couche 3 supérieure varient généralement entre 2% et 11.54% avec une moyenne de 3.7%. Ces teneurs restent relativement proches à ceux de la couche C2 sus-jacente.

5. Carte d'iso-teneur de (CO₂) de la couche C3 inf.

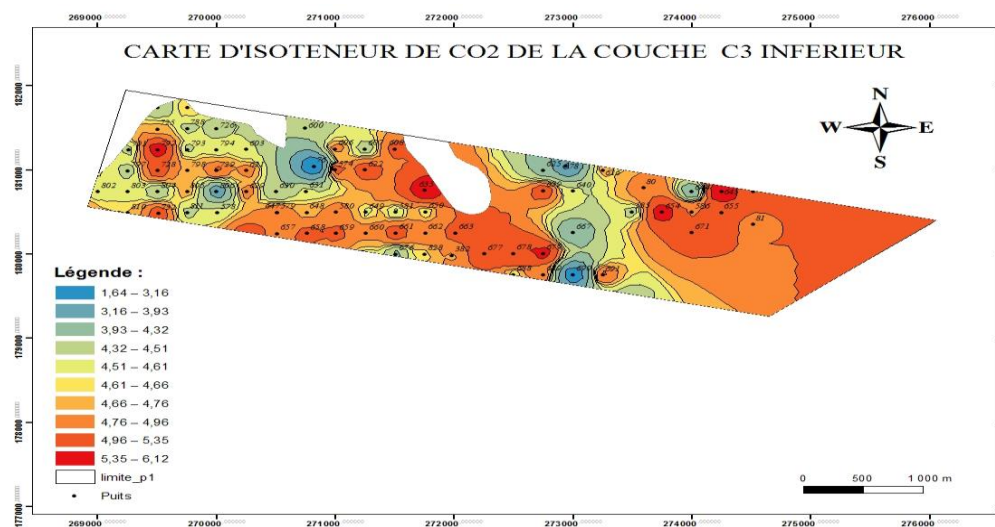


Figure 45: Carte d'iso-teneur de (CO₂) de la couche C3 Inf

Commentaires interprétations (Fig.45) :

- La couche 3 inférieure présente une grande variabilité horizontale des teneurs de CO₂. Les teneurs les plus élevées en CO₂ occupent plus du deux tiers de la surface du panneau 1. Les valeurs moyennes à faibles en CO₂ dessinent une bande étroite orientée NW-SE les puits 690 au Sud et 678 au Nord. On peut, par ailleurs, noter une diminution centrifuge de la teneur en CO₂ sur la portion à l'extrême NW du panneau étudié.
- Il ressort de cette analyse que les teneurs de CO₂ de la couche 3 inférieure varient généralement entre 1.64% et 6.12% avec une moyenne de 4.69%. Ces teneurs restent relativement faibles par rapport à ceux de la couche C3 sup. sus-jacente.

6. Carte d'iso-teneur de (CO₂) de la couche C4.

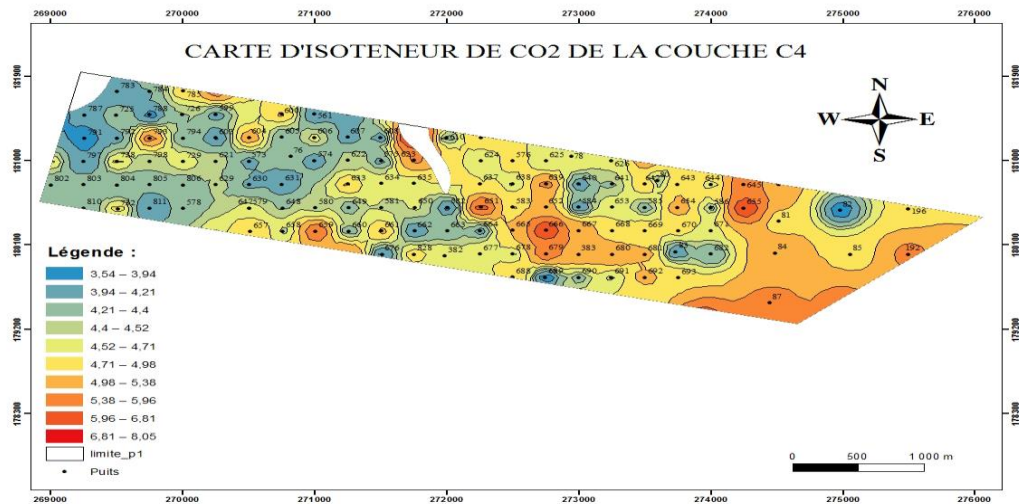


Figure 46: Carte d'iso-teneur de (CO₂) de la couche C4

Commentaires interprétations (Fig.46) :

- La couche C4 montre une grande irrégularité dans la distribution de ses teneurs de CO₂ au sein du panneau 1 avec, toutefois, une diminution progressive de ces teneurs du SE vers le NW.
- Les teneurs de CO₂ de la couche C4 varient généralement entre 3.54% et 8.05% avec une moyenne de 4.68%. Elles restent nettement supérieures à celles de couche C3 inf.

7. Carte d'iso-teneur de (CO2) de la couche C5 sup.

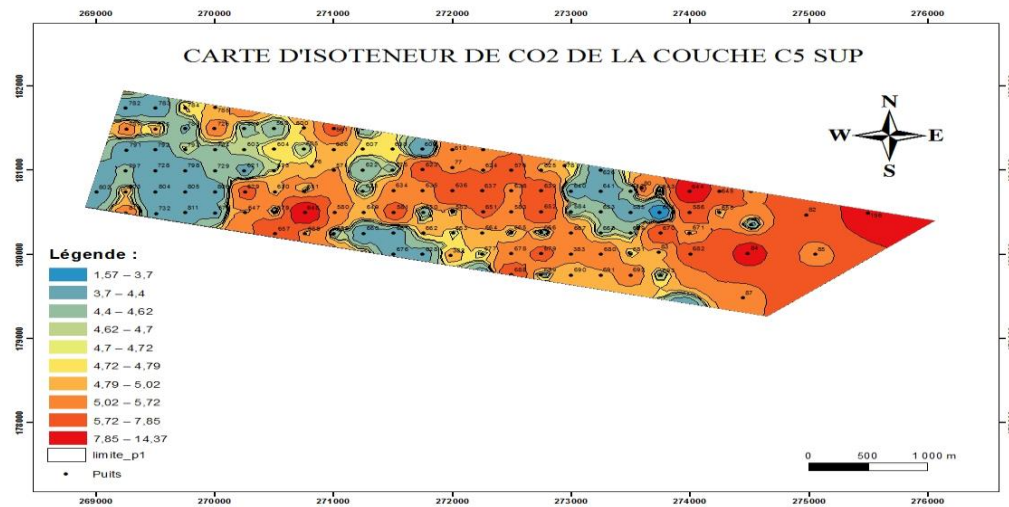


Figure 47: Carte d'iso-teneur de (CO2) de la couche C5 Sup

Commentaires interprétations (Fig.47) :

- L'examen de la carte d'iso-teneur de la couche 5 supérieure montre, au prime abord, une prédominance des teneurs élevées de CO2. Les teneurs inférieures à 4% occupent le seul secteur Nord occidental du panneau 1 étudié.
- Les teneurs de CO2 de la couche 5 supérieure varient généralement entre 1.57% et 14.37% avec une moyenne de 5.22%. Il s'agit là des plus importantes teneurs de CO2 enregistrées dans le panneau 1.

8. Carte d'iso-teneur de (CO2) de la couche C5 inf.

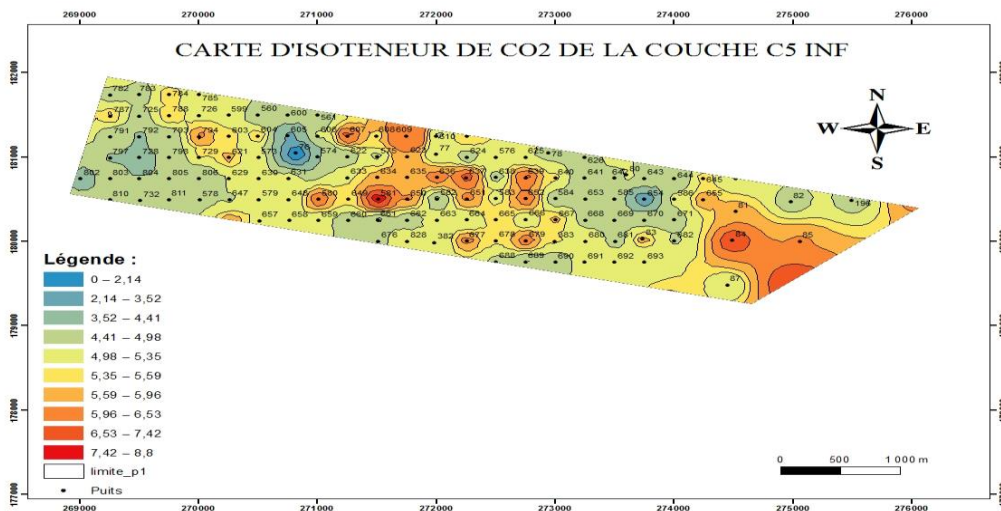


Figure 48: Carte d'iso-teneur de (CO2) de la couche C5 Inf

Commentaires interprétations (Fig.48) :

- La couche 5 inférieure présente une grande variation des teneurs de CO₂, les teneurs les plus élevées sont localisées au milieu et vers SE.
- Les teneurs de CO₂ de la couche 5 inférieure varient généralement entre 2.14 % et 8.8% avec une moyenne de 5.17%. Ces teneurs restent relativement faibles par rapport à ceux de la couche C5 sup. sus-jacente.

Discussion et résultats :

Les analyses des cartes précédentes permettent de dégager les conclusions suivantes :

- ◆ L'étude des cartes structurales montre que les sillons (B, A2) et les couches (C0, C1, C2) sont présents dans la partie Est et très réduits à l'extrémité sud-ouest de la zone d'étude. Par contre les couches (C3, C4, C5) occupent la majorité du panneau. L'ensemble de ces couches et sillons dessine un dispositif monoclinale avec un net plongement vers le NW du panneau 1 étudié.
- ◆ Les cartes d'isopaches révèlent des irrégularités dans la puissance des couches phosphatées étudiées. Ces irrégularités sont à mettre en relation avec des causes génétiques. Notamment, la variation des vitesses de sédimentation qui sont liées au fonctionnement des sources pourvoyeuses de sédiment, et la tectonique syn-sédimentaire qui régit la morphologie du fond du bassin (bassin accidenté ou non, présence ou non des aires subsidentes...). La puissance des couches phosphatées varie entre 0.84m (sillon B) et 2.11 m (sillon A2).
- ◆ L'analyse des cartes des isoteneurs de BPL et de CO₂ permet de retenir les faits suivants :
 - La répartition des teneurs de BPL varie d'un niveau phosphaté à l'autre. On trouve que les couche 3 inférieure, couche 1 et sillon B sont les plus riches en BPL par rapport aux autres couches.
 - La répartition des teneurs de CO₂ reste généralement peu oscillante avec, toutefois, des fortes teneurs de CO₂ enregistrées au sein de la couche 5 (elles varient entre 1.57% et 14.37% soit une moyenne de 5.22%).

VI. Élaboration de listing case

VI -1. Réalisation des cartes :

La réalisation des cartes listing case se fait à l'aide de logiciel ARC GIC, dont le but est l'estimation des réserves en phosphates tout au long d'une couche par unité de case et de tranchet en désignant la qualité survenue dominante dans la couche.

Listing Cases est la base de données minière qui lie chaque case à ses propriétés. Elle regroupe pour chaque niveau :

- Des données quantitatives : puissance et volume de phosphate et de stérile ;
- Des données qualitatives : BPL(%), CO2(%).

L'établissement des cartes listing cases minières se base sur les données compilées des paramètres physico-chimiques obtenus par les analyses chimiques des échantillons prélevés dans la série phosphatée à partir des puits de reconnaissance. Ces données sont ensuite enregistrées sur les coupes lithologiques de ces différents puits à des fins de corrélations et d'évaluation des ressources.

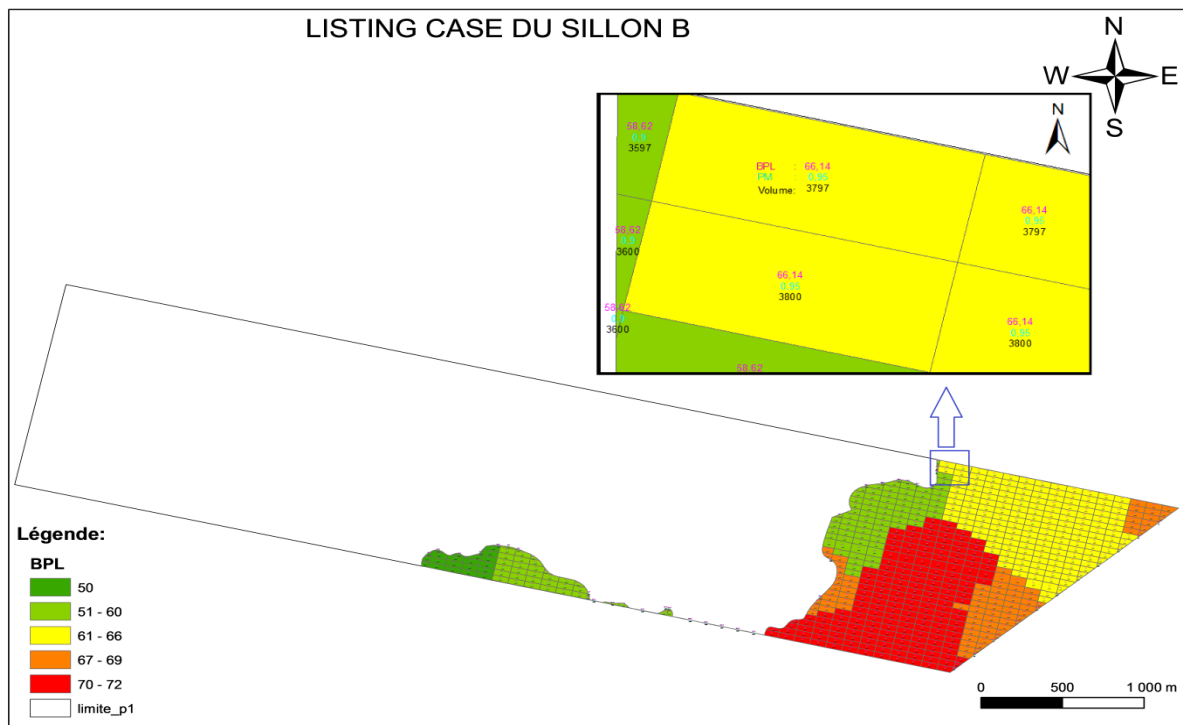


Figure 49: Listing case du sillon B

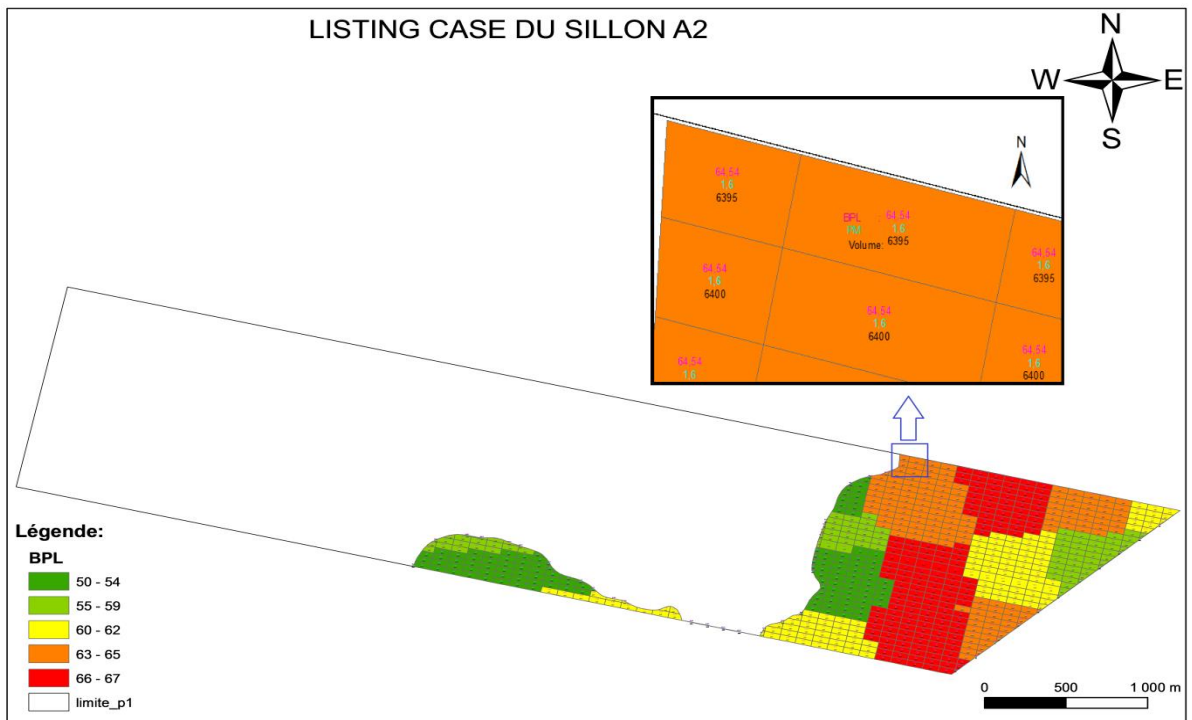


Figure 50: Listing case du sillon A2

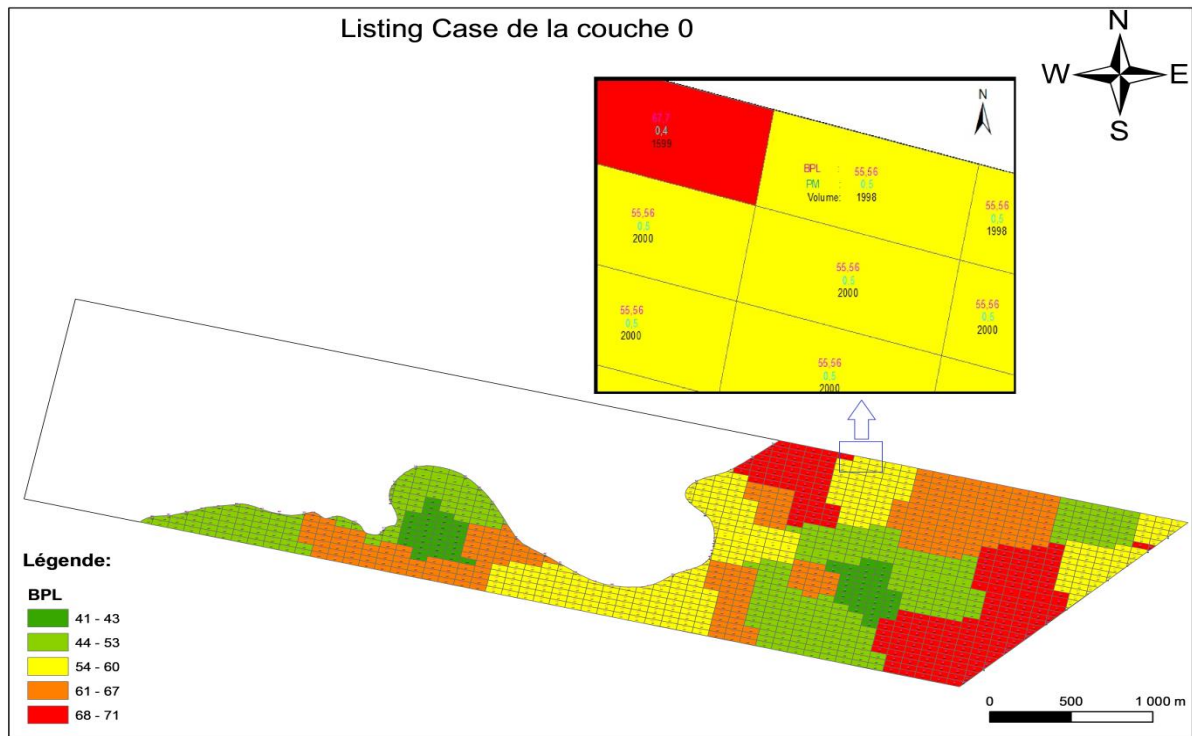


Figure 51: Listing case de la couche C0

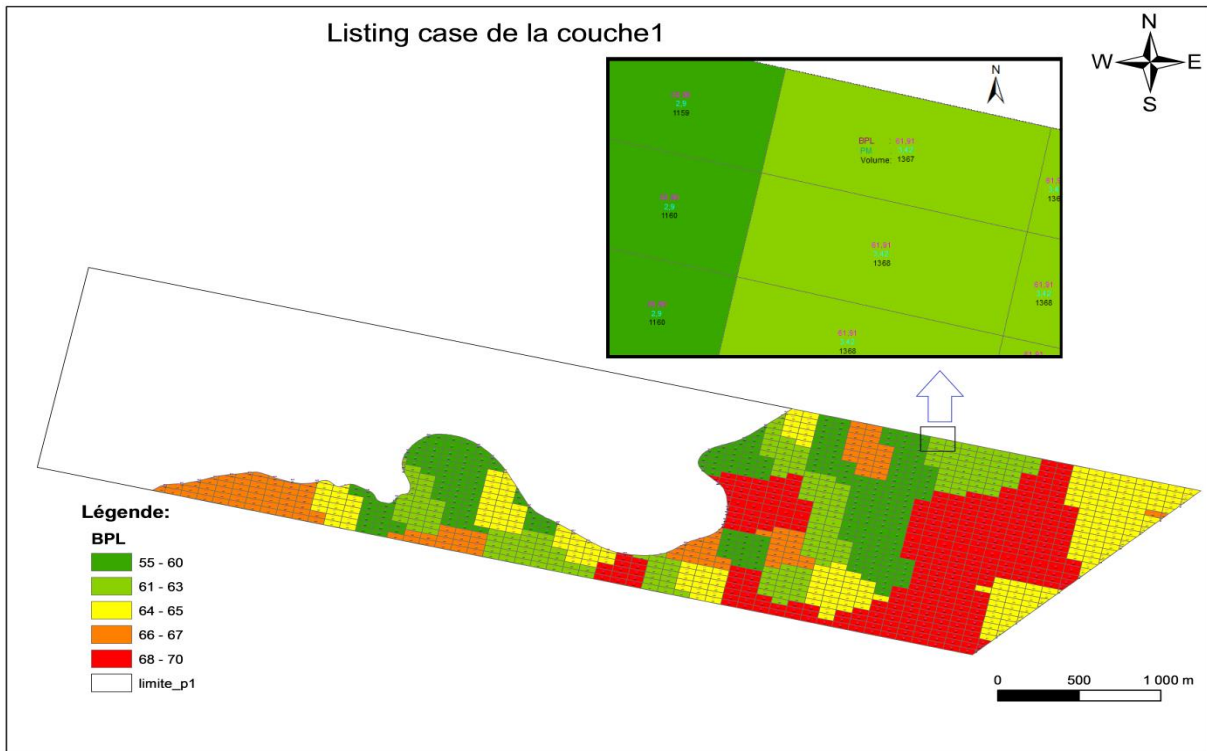


Figure 52: Listing case de la couche C1

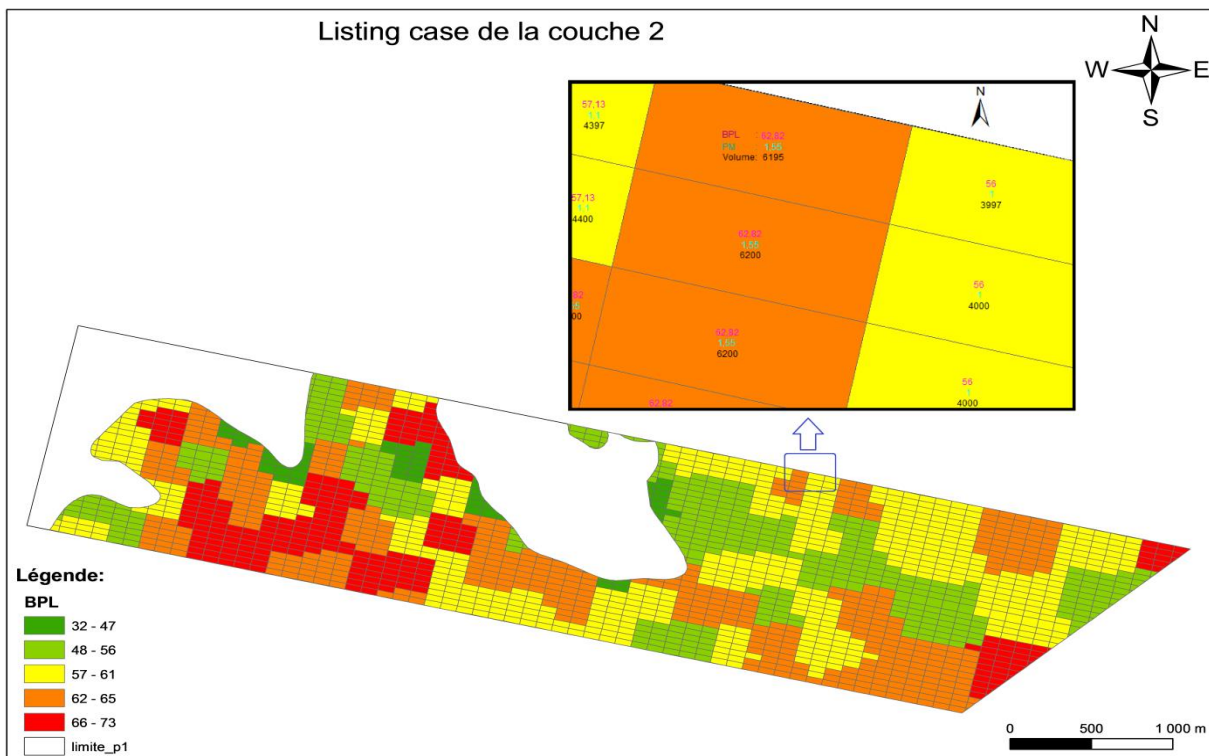


Figure 53: Listing case de la couche C2

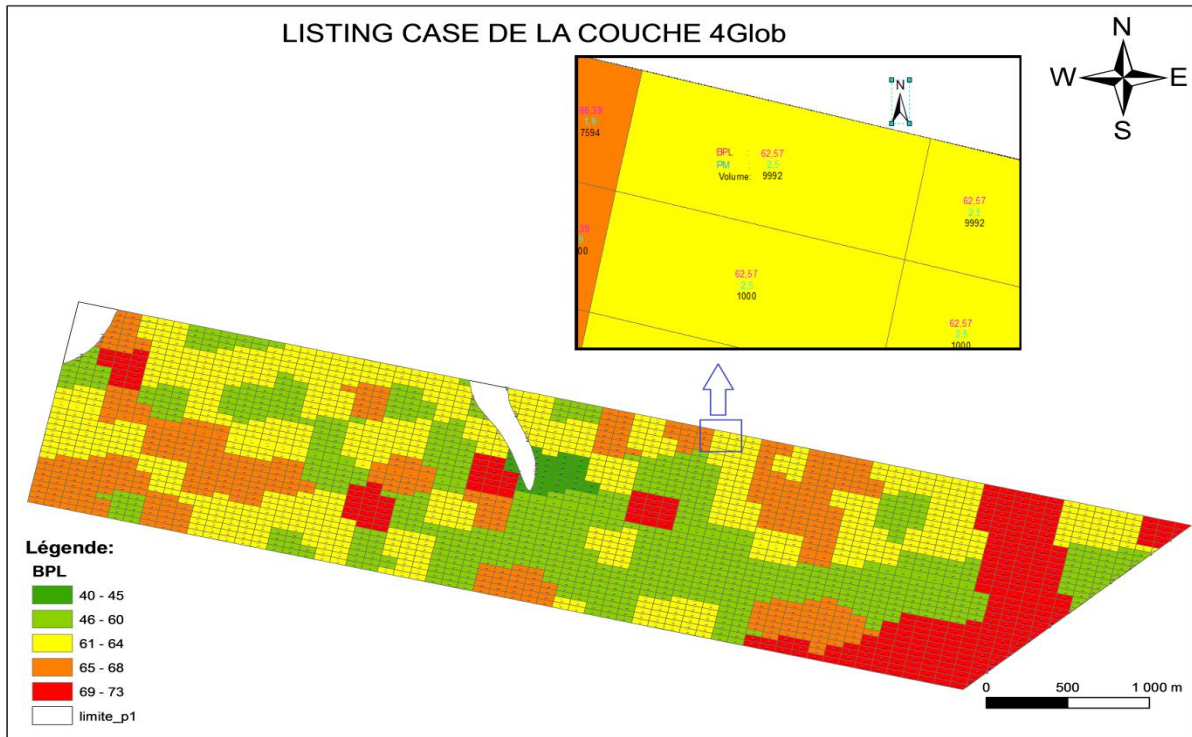


Figure 56: Listing case de la couche C4

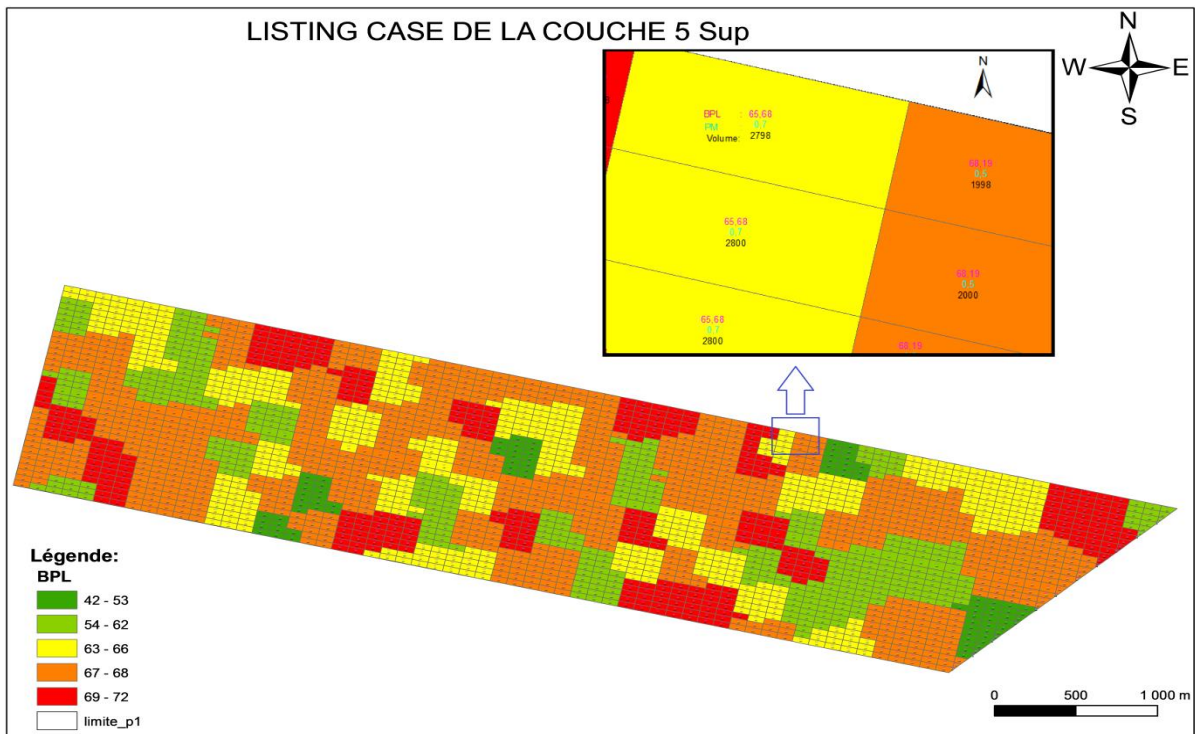


Figure 57: Listing case de la couche C5 Sup

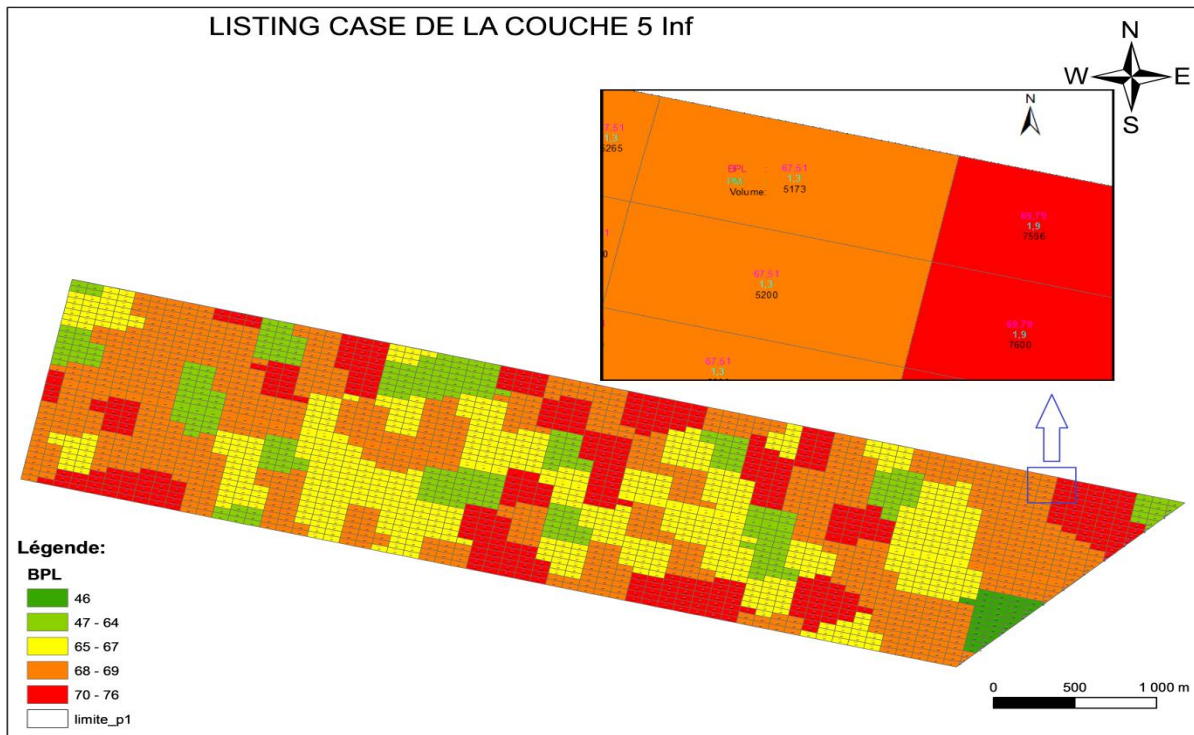


Figure 58: Listing case de la couche C5 Inf

Discussions et résultats :

- Pour les Sillon B et A2, on remarque la dominance des phosphates de haute et de très haute teneur en BPL. Entre 67% et 72% pour le Sillon B et entre 63% à 67% pour le sillon A2. Ces teneurs sont représentées par des couleurs marron et rouges dans les cartes (Figs.49 et 50).
- Les couches 0, 1, 2 sont généralement dominées par les couleurs marron et rouges qui présentent des teneurs des BPL élevées supérieures à 61%.Ce qui donne une bonne qualité aux phosphates de ces couches (Figs. 51, 52 et 53).
- La couche 3 supérieur (Fig. 54) est dominée par des teneurs de BPL entre 0% et 41% (couleur vert). Elle présente donc une mauvaise qualité du phosphate (Fig. 54).
- Par contre, la couche 3 inférieur (Fig. 55) présente bonne qualité, dont les teneurs de BPL comprises entre 68% et 77.
- La couche 4 présente une qualité moyenne. Les teneurs de BPL les plus dominantes sont généralement inférieures à 68% (Fig.56).

- La couche 5 supérieur est dominée par des teneurs de BPL entre 67% et 72%. Ce qui donne une bonne qualité à cette couche (Fig.57).
- Pour la couche 5 inférieur est représentée généralement par des teneurs de BPL de 68% à 76%. On peut dire donc que cette couche phosphatée a une très bonne qualité (Fig. 58).

VI-2. Calcul des réserves (fig.60) :

Le calcul de réserve représente une étape importante dans le processus de l'exploitation d'un nouveau gisement, dans l'OCP de Ben Guérir. Ce calcul consiste à déterminer le volume des niveaux phosphatés. Pour l'effectuer, on aura besoin de connaître la surface et la puissance moyenne de chaque niveau.

On a la relation suivante : $V_p \text{ (m}^3\text{)} = S * P_{moy}$

V_p : volume phosphaté de la couche en m³. S : surface de la couche en m².

P_{moy} : Puissance phosphatée moyenne en m.

On peut aussi calculer ce qu'on appelle le Tonnage Humide Criblé en tenant compte d'un coefficient qui dépend de la densité des niveaux phosphatés.

$$THC = V_p * Cd$$

THC : Tonnage Humide Criblé.

V_p : Volume phosphaté de la couche.

Cd : Coefficient de densité de la couche.

Ce coefficient de densité dépend de la composition lithologique de la couche phosphatée considérée, il a été estimé à :

- 1,42 dans les couches C3, C4, C4-5, C5, C6 (lithologie très dense à dominance de silex).
- 1,62 dans les couches ou sillons : SB, SA2, C0, C1, SX, C2 (lithologie moyennement dense).

Couche	Volume Total (m ³)	THC (m ³)	BPL Moyenne(%)	PM Moyenne (m)	Area Total (m)
Sillon B	1931510	3129046,2	65,79	0,84	2152373,38
Sillon A2	3633273	5885902,3	61,14	1,98	2418911,31
Couche 0	3980300	6448086	58,46	0,85	7042452,5
Couche 1	5325995	8628111,9	63,99	1,95	4267089,3
Couche 2	8726726	14137296,1	59,15	1,45	6962956,51
Couche 3Sup	7534214	10698584	44,11	0,87	8419079
Couche 3Inf	4266580	6058543,6	66,68	0,49	8419078,62
Couche 4Glob	13860802	19682338,8	62,19	1,88	8985391,6
Couche 5Sup	8234737	11693326,5	65,02	0,89	9147752,62
Couche 5Inf	11439345	16243869,9	66,71	1,27	9147752,69

Figure 59: Résultats obtenus d'après le calcul de réserve des niveaux phosphaté du panneau I.

CONCLUSION :

D'après les résultats suivants (fig. 59), On peut dire que tous les niveaux du panneau I, de la mine sud de gisement de Ben Guérir (Maroc), ont une très grande potentialité en phosphate. La teneur la plus faible en BPL parmi ces couches dépasse 58% excepté la couche 3 supérieure qui révèle une moyenne de 44.11%.Donc, on parle généralement de bonnes teneurs puisque le seuil d'exploitation en BPL est 45%, et aussi d'un tonnage total du panneau et très important d'une valeur de 102605105 m³.

CONCLUSION GENERALE

Le travail présenté dans ce mémoire est une étude géominière du panneau I de la mine sud de Benguerir appartenant au bassin des Gantour. L'exploitation des phosphates doit être précédée d'une exploration dans le but de reconstituer la géométrie des couches phosphatées comprenant leur extension et leur puissance, l'évaluation de leur qualité minière basée sur leur composition chimique globale et notamment leur teneur en P₂O₅ (BPL). Ces données sont obtenues grâce à des méthodes directes ou indirectes basées sur un échantillonnage par sondage ou puits régulièrement espacés sur les zones d'exploration. Elles doivent faire l'objet d'un traitement informatique objectif qui permet d'analyser et de discuter les propriétés du gisement mais surtout d'évaluer les volumes du minerai de telle façon à orienter les mineurs vers les meilleures méthodes d'exploitation. Nous proposons dans ce travail une technique basée sur l'utilisation du logiciel (ArcGIS) pour le traitement des données provenant du panneau I de la mine Sud. Cette technique nous a permis d'établir différentes cartes représentant différentes propriétés des couches phosphatées. Les principales sont les cartes structurales, les cartes isopaches, les cartes isoteneurs (en BPL et en CO₂), et enfin les cartes listing cases. Ces dernières permettent de lier chaque case à toutes ses propriétés minières. Cela nous a permis de reconstituer la géométrie des couches de l'ensemble du panneau. Les principaux résultats obtenus en termes de cette étude sont les suivantes :

L'étude des cartes structurales montre que les sillons (B, A2) et les couches (C0, C1, C2) sont présents dans la partie Est et très réduits à l'extrémité sud-ouest de la zone d'étude. Par contre les couches (C3, C4, C5) occupent la majorité du panneau. L'ensemble de ces couches et sillons dessine un dispositif monoclinale avec un net plongement vers le NW du panneau 1 étudié.

Les cartes d'isopaches révèlent des irrégularités dans la puissance des couches phosphatées étudiées. Ces irrégularités sont à mettre en relation avec des causes génétiques. Notamment, la variation des vitesses de sédimentation qui sont liées au fonctionnement des sources pourvoyeuses de sédiment, et la tectonique syn-sédimentaire qui régit la morphologie du fond du bassin (bassin accidenté ou non, présence ou non des aires subsidentes....). La puissance des couches phosphatées varie entre 0.84m (sillon B) et 2.11 m (sillon A2).

L'analyse des cartes des isoteneurs de BPL et de CO₂ permet de retenir les faits suivants :

- La répartition des teneurs de BPL varie d'un niveau phosphaté à l'autre. On trouve que les couche 3 inférieure, couche 1 et sillon B sont les plus riches en BPL par rapport aux autres

couches.

- La répartition des teneurs de CO₂ reste généralement peu oscillante avec, toutefois, des fortes teneurs de CO₂ enregistrées au sein de la couche 5 (elles varient entre 1.57% et 14.37% soit une moyenne de 5.22%).

L'étude des cartes de listing case qui permet de savoir les propriétés minières de chaque case montre que :

Les Sillon B et A2, sont riches par des phosphates de haute et de très haute teneur en BPL. Entre 67% et 72% pour le Sillon B et entre 63% à 67% pour le sillon A2. Les couches 0, 1, 2 sont généralement dominées par teneurs des BPL élevées supérieures à 61%. Ce qui donne une bonne qualité aux phosphates de ces couches. La couche 3 supérieur est dominée par des teneurs de BPL entre 0% et 41%, qui présente une mauvaise qualité du phosphate, Par contre la couche 3 inférieur présente une bonne qualité, dont les teneurs de BPL comprises entre 68% et 77%. Pour la couche 4, elle présente une qualité moyenne ou Les teneurs de BPL les plus dominantes sont généralement inférieures à 68%. Enfin la couche 5 supérieur et inférieure sont dominée par des teneurs de BPL de 67% à 72% et 68% à 76%, Ce qui donne une bonne à très bonne qualité à cette couche.

D'après les résultats de calcule du réserve, On peut dire que tous les niveaux du panneau I, de la mine sud de gisement de Ben Guérir (Maroc), ont une très grande potentialité en phosphate. La teneur la plus faible en BPL parmi ces couches dépasse 58% excepté la couche 3 supérieure qui révèle une moyenne de 44.11%. Donc on parle généralement de bonnes teneurs puisque le seuil d'exploitation en BPL est 45%. Avec un tonnage total du panneau très important de 102605105 m³.

LISTE DES REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

• Les grands auteurs :

- **Boujo, A.** Contribution à l'étude géologique du gisement de phosphate crétacé-éocène des Gannour (Maroc occidental) ". Notes & M. Serv. Géol., Maroc, n° 43. (1976).
- **Bushinski G.I.**, (1964) On shallow water origin of phosphorite sediments. *Developments in Sedimentology.*, 1, p. 6270.
- **EL Haddi, H., Benbouziane, A., Mouflih, M., and Laadila, M. (2014)** ; Silicification in the phosphate deposits of Maastrichtian-Lutetian age in the Ouled Abdoun basin (Morocco) : *Sedimentology, mineralogy, geochemistry. Arabian Journal of Earth Sciences.* V : 1, p. 16-25.
- **Jourani Es.** Anatomie séquentielle et géochimie des phosphates de Bouabout (Gisement de Meskala, Maroc) : Eléments pour un modèle génétique. Thèse, Académie de Bordeaux, Université De Pau et Des Pays De L'Adour, 205 p. (1988).
- **Kazakov A.V.**, (1950) l'équilibre du système fluoapatite dans les conditions de formation des roches sédimentaires. *Trav. Inst. Geol. Akad Nauk, URSS, n°114, sér. Géologie, n°40.* pp. 1-21.
- **Piqué, A. (2001)** ; "Geology of Northwest Africa" : Beiträge zur regionalen Geologie der Erde. Borntraeger, Berlin Stuttgart. p. 310.
- **SAADI. (1982)**, Carte géologique du Maroc au 1/500 000. Ministère de l'énergie et des mines, direction de la géologie.
- **Slansky M.**, (1980) Géologie des phosphates sédimentaires. Mémoire du BRGM n° 114.
- **US Geological Survey (USGS).** Mineral Commodity Summaries, US Geological Survey, Washington DC, (2011).

•Les anciens rapports :

- **ANJJAR A.** : étude géologique et géominière du panneau 7 de la mine nord de gisement de Benguerir (Bassin de Gantour, Maroc), (Faculté des Sciences Dhar El Mehraz- Fès), (2014-2015), (123p).
- **LACHGAR H.** : Contribution à l'étude géologique, minière et géochimique de la série phosphatée du Panneau I de la Mine Sud (Gisement de Benguerir, Bassin du Gantour), (Faculté des Sciences et Techniques de Settat), (2015-2016), (120p).
- **LAMAALIF A.** et **EL QUEMARY S.** : Etude géominière des niveaux supérieurs du panneau 7 du gisement phosphaté de Ben Guérir (Bassin de Gantour, Maroc), (Faculté des Sciences et Techniques), (2015-2016), (91p).

•Les sites visités :

- <http://geologie.wallonie.be>
- www.GeologyofMorocco.ma
- www.ocpgroup.ma
- <http://resources.arcgis.com/>
- https://fr.wikipedia.org/wiki/Mine_de_Ben_Guerir
- www.water.gov.ma

• Les Fichiers documentaires utilisés :

- Les logs stratigraphiques des puits.
- Cartes géologiques du bassin de Gantour
- Carte géologique de Ben Guérir

ANNEXES

ANNEXE I

Exemple de Base de données de la coupe géologique

N° PUIT	N°	X (m)	Y (m)	Z (m)	N° PUIT	N°	X (m)	Y (m)	Z (m)
	1	270900	180985	465,3		31	271844	180985	464
574	2	270912	180985	465		32	271856	180985	463,25
	3	271002	180985	464,5		33	271872	180985	462,85
	4	271062	180985	464,3		34	271885	180985	462,3
	5	271091	180985	465		35	271886	180985	462,25
	6	271161	180985	465		36	271894	180985	461,8
622	7	271230	180985	464,5		37	271900	180985	461,25
	8	271246	180985	464,25		38	271907	180985	460,75
	9	271382	180985	464,5		39	271921	180985	460,25
	10	271408	180985	464,75		40	271938	180985	460
	11	271417	180985	465		41	271952	180985	459,35
	12	271479	180985	465,5		42	271967	180985	459,2
	13	271503	180985	466		43	271974	180985	458,8
634	14	271528	180985	466,5		44	271990	180985	458,7
	15	271542	180985	467		45	271999	180985	458,4
	16	271555	180985	467,5		46	272006	180985	458,2
	17	271569	180985	468	636	47	272018	180985	458,1
	18	271582	180985	468,5		48	272099	180985	458,3
	19	271620	180985	468,5		49	272121	180985	458
	20	271644	180985	468		50	272163	180985	458,5
	21	271675	180985	467,5		51	272172	180985	458,65
	22	271697	180985	467	624	52	272195	180985	458,5
	23	271721	180985	466,7		53	272235	180985	457,95
	24	271728	180985	466,7	637	54	272244	180985	457,95
	25	271754	180985	467		55	272258	180985	457,95
635	26	271770	180985	466,5		56	272348	180985	457,5
	27	271788	180985	466		57	272415	180985	457,5

ANNEXE II

Les cartes structurales des couches :{C0, C1, C2, C4, C5}.

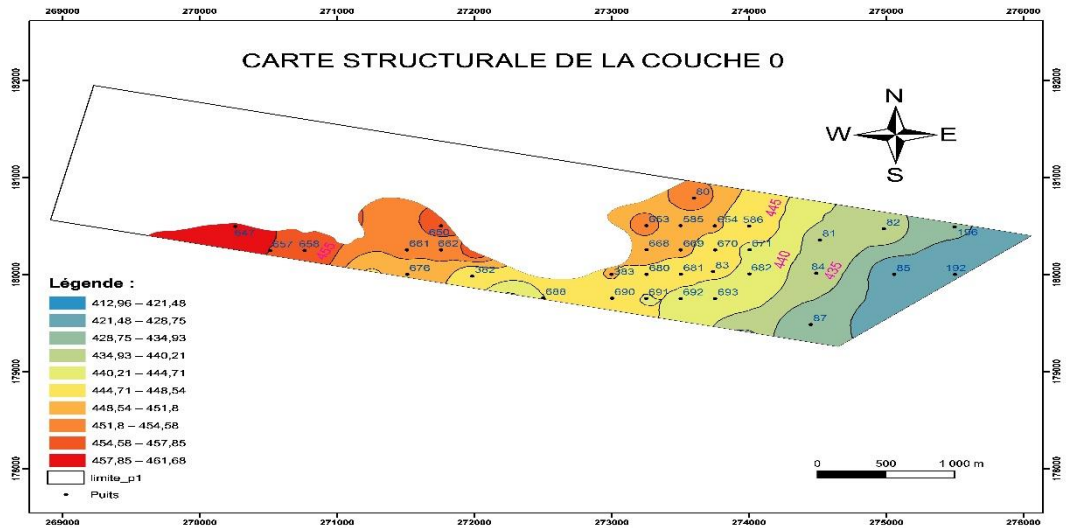


Figure 60: Carte structurale de la couche C0

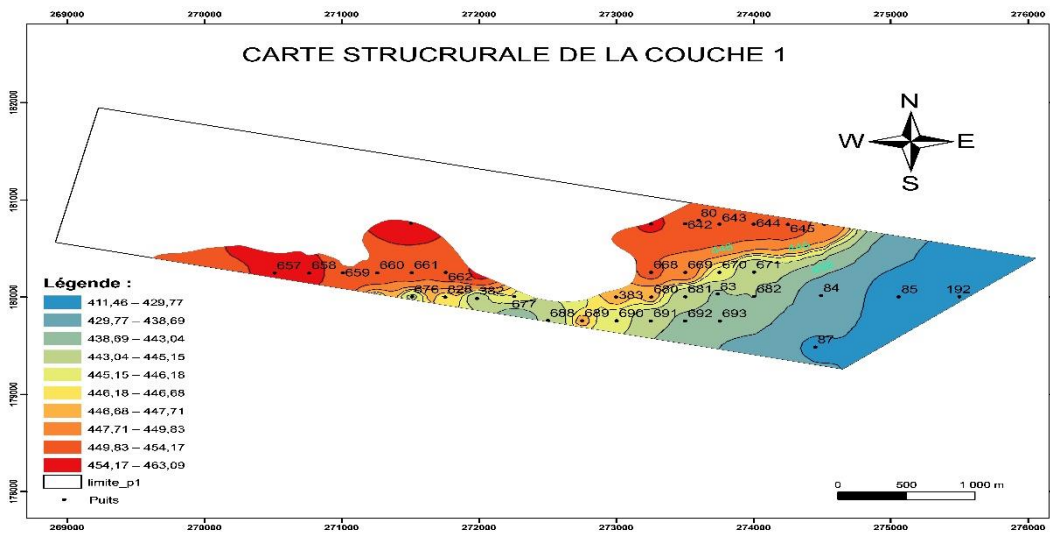


Figure 61: Carte structurale de la couche C1

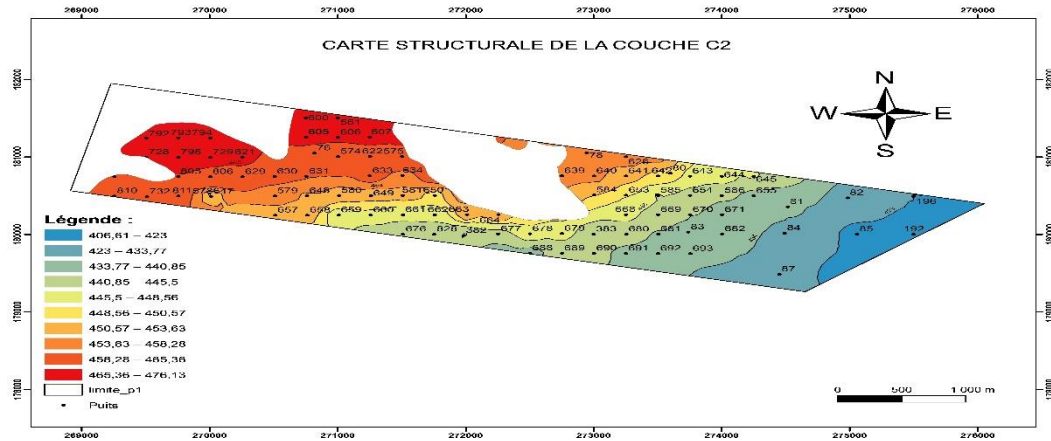


Figure 62: Carte structurale de la couche C2

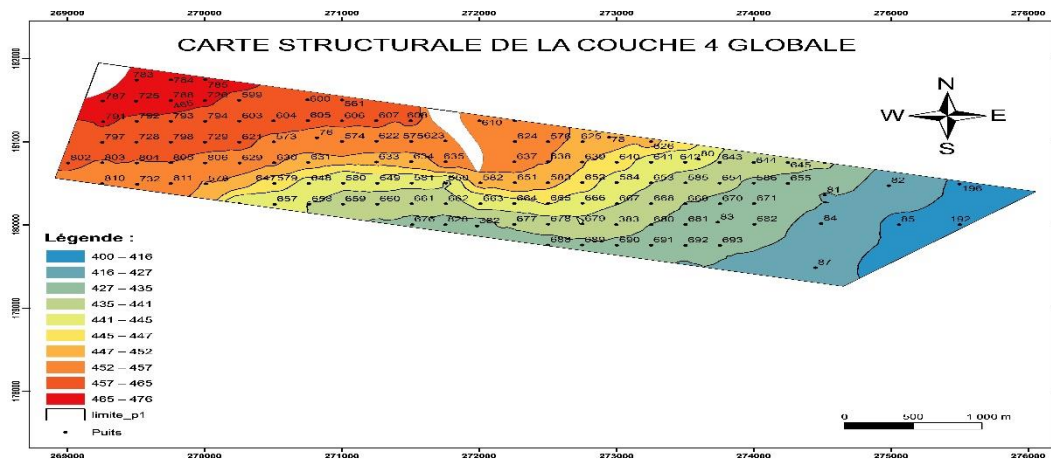


Figure 63: Carte structurale de la couche C4

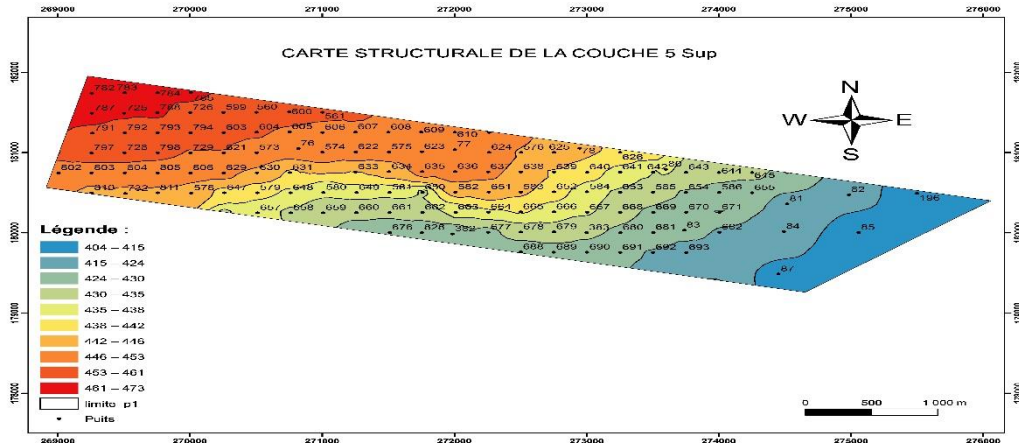


Figure 64: Carte structurale de la couche C5 Sup

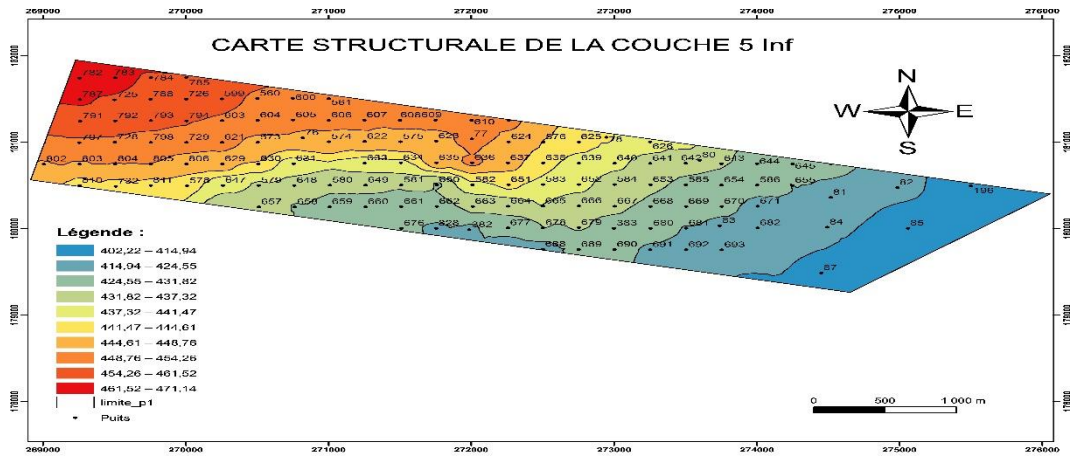


Figure 65: Carte structurale de la couche C5 Inf