

Année Universitaire : 2017-2018



Licence Sciences et Techniques : Géoresources et Environnement

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du Diplôme de Licence Sciences et Techniques

**Suivi d'exploitation des couches phosphatées au niveau de la mine
Merah El Ahrach (Maroc).**

Présenté par:

**Touali Khaoula.
Ghazouany Ikram.**

Encadré par:

**Pr. M.CHARROUD, FST-Fès.
Ing. R. BENEDDI OCP-Khouribga.**

Soutenu Le 09 Juin 2018, devant le jury composé de:

**Pr. M. Charroud.
Pr. S.Hinaje.
Pr.D. Azzab.**

Stage effectué à : OCP, KHOURIBGA.



Liste d'abréviations :

OCP : office chérifien des phosphates

MEA : Merah El Ahrach.

EZCN : extension zone centrale nord

EZCS : extension zone centrale sud

PEZCN : Prolongement extension zone centrale nord

ZCS : zone centrale sud

TN : terrain naturel

RC : recouvrement

DAN/DN : dalle à nodules

SB : sillon B

SA : Sillon A

C0 : couche 0

C0' : couche 0'

C1 : couche 1

C2 :couche 2

C3 : couche 3

BPL : bone phosphates of lime

Remerciement :

Au terme de cette étude, nous tenons à remercier notre profonde reconnaissance à toutes les personnes qui, à divers titres, nous a aidés à la réaliser.

Nous exprimons notre profonde et respectueuse reconnaissance à Monsieur: CHARROUD Mohammed, professeur à la FST DE FES pour son encadrement, son accompagnement et son soutien durant la période de stage, qui n'a hésité à répondre à nos interrogations.

Nos remerciements s'adressent également à Mr R. BENEDDI, notre encadrant, pour toute attention qu'il nous a portée afin de réussir notre stage au sein du service d'exploitation de MEA.

Nous tenons à remercier nos jurys Pr. Hinaje Saïd et Pr. Azzab Driss et tous les enseignants de la FST.F pour les connaissances qu'ils nous ont permis d'acquérir

Merci Bien

Sommaire :

INTRODUCTION:	1
CHAPITRE1 : PRESENTATION DU GROUPE CHERIFIEN DES PHOSPHATES :	2
I. Généralités sur l'OCP :	3
1.Introduction :	3
2.Statut juridique :	3
3.Filiales du groupe OCP :	3
4.Secteurs d'activité de l'OCP :	4
5.Organigramme du groupe :	4
Chapitre 2 : Etude géologique et minières des couches phosphatées	5
I. Généralités sur Le phosphate :	5
1. Introduction :	5
A.Phosphatogenèse :	5
B.Teneurs de phosphates :	6
II.Présentation du bassin Ouled Abdoun	7
1. Situation géographique :	7
2. Cadre géologique :	8
A.Découpage chrono-stratigraphique et minier du gisement Ouled Abdoun :	9
a.Découpage chrono-stratigraphique :	9
b.Le découpage minier :	10
3. La mine Merah El Ahrach (M.E.A) :	13
A.Situation géographique :	13
B.Zones en activités :	14
4. Structure du secteur MEA :	14
A.Les dérangements :	14
a.Définition :	14
b.Classification des dérangements :	15
c.Origine des dérangements :	15
B.Les failles :	16
C.Les plissements :	17
Chapitre 3 : Les coupes moyennes par zone	18
I. Etude géologique et minière par zone :	18
1. Découpage chrono-stratigraphique et minier:	18
A.Extension Zone Centrale Sud « MLIKATE » :	18
B.Extension Zone Centrale Nord (EZCN) :	20
C.Prolongement Extension Zone Centrale Nord (PEZCN):	22
D.Zone Centrale Sud (ZCS) :	24
2. Corrélations et interprétations :	25
A.Corrélations suivant la direction E-W : allant de ZCS vers PEZCN :	25
B.Corrélation N-S : allant de ZCS vers EZCS :	27

Chapitre 4 : Prospection	29
I. <u>Introduction</u> :.....	29
II. <u>Méthodes de reconnaissance</u> :.....	29
III. <u>Etapes de caractérisation des gisements de phosphate</u> :.....	29
Chapitre 5 : Les phases d’exploitation et le rôle du prospecteur dans chaque phase :.....	31
1. <u>Exploitation</u> :.....	31
A. <u>Foration</u> :.....	31
B. <u>Sautage</u> :.....	32
C. <u>Décapage</u> :.....	32
D. <u>Défruitage</u> :.....	35
E. <u>L’épierrage, criblage et la mise en stock</u> :.....	35
3. <u>Le rôle du prospecteur dans les phases d’exploitation</u> :.....	36
A. <u>Suivi de la foration</u> :.....	36
B. <u>Suivi du sautage</u> :.....	36
C. <u>Suivi de décapage</u> :.....	36
D. <u>Suivi du défruitage</u> :.....	36
E. <u>Gestion et suivi des stocks</u> :.....	37
Chapitre 6 : Etude des différents scénarios d’exploitation par zone...	38
I. <u>Méthodes d’exploitation</u> :.....	38
1. <u>Méthode sélective</u> :.....	38
2. <u>Méthode globale</u> :.....	38
II. <u>Extension Zone Centrale Sud (EZCS)</u> :.....	39
III. <u>Extension Zone Centrale Nord (EZCN)</u> :.....	41
IV. <u>Zone Centrale Sud (ZCS)</u> :.....	44
Chapitre 7 : Les plans d’actions pour l’optimisation des scénarios d’exploitation du phosphate & leur impact économique :.....	46
I. <u>Extension Zone Centrale Sud (EZCS)</u> :.....	46
1. <u>Couche 0’+ DAN+ C1</u> :.....	46
A. <u>Calcul des réserves</u> :.....	46
a. <u>Calcul de volume sélectif de la couche 1</u> :.....	46
b. <u>Calcul de tonnage sélectif de la couche 1</u> :.....	47
c. <u>Calcul du volume et du tonnage de la C1 globale sans C0’+DAN</u> :.....	48
3. <u>Couche 2 et couche 3</u> :.....	49
CONCLUSION GENERALE :.....	51
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :.....	52

Liste des figures :

Figure 1: Les bassins phosphatés Marocains.....	1
Figure 2: Evolution de la série phosphatée Marocaine (D'après Boujo 1976).	1
Figure 3: Transgression par la mer épicontinentale paléogène.	2
Figure 4: les bassins phosphatés du Maroc.	3
Figure 5: Secteurs d'activités du groupe OCP.	4
Figure 6: Situation géographique du gisement d'Ouled Abdoun (Document OCP).....	8
Figure 7: Mécanisme des courants ascendants.	9
Figure 8: Coupe lithologique de la série phosphatée du gisement d'Ouled Abdoun.....	13
Figure 9: Zones d'activités dans la mine Merah El Ahrach.	14
Figure 10: Les origines des dérangements.	16
Figure 11: Coupe lithologique moyenne de la partie RC-Inter SA/C0' de l'EZCS.	18
Figure 12: Coupe lithologique de la Couche 1+DN de l'EZCS.....	18
Figure 13: Coupe lithologique moyenne de la partie Inter C1/C2-Base de C3 de l'EZCS.....	19
Figure 14: Coupe lithologique de la partie RC-Inter SA/C0' de l'EZCN.	20
Figure 15: Coupe lithologique moyenne de la Couche 1+DN de l'EZCN.....	20
Figure 16: Coupe lithologique moyenne de la partie Inter C1/C2-Base de C3de l'EZCN.....	21
Figure 17: Coupe lithologique moyenne de la partie RC- Inter SA/C0' du PEZCN.....	22
Figure 18: Coupe lithologique moyenne de la partie C1+DN du PEZCN.....	22
Figure 19: Coupe lithologique de la partie Inter C1/C2-Base de C3 du PEZCN.....	23
Figure 20: Coupe lithologique de la partie RC/Inter SA/C0' de la ZCS.	24
Figure 21: Coupe lithologique moyenne de la partie C1+DN de la ZCS.....	24
Figure 22: Coupe lithologique moyenne de la partie Inter C1/C2-Couche 2B de la ZCS.	24
Figure 23: Corrélation E-W des niveaux phosphatés SB, SA et C0.	25
Figure 24: Corrélation E-W des niveaux phosphatés C0'+DN et de C1.	26
Figure 25: Corrélation E-W des niveaux phosphatés C2 et C3.....	26
Figure 26: Corrélation N-S des niveaux phosphatés SB, SA, C0.	27
Figure 27: Corrélation N-S des niveaux phosphatés C0'+DN et la C1.	28
Figure 28: Corrélation N-S de la Couche 2.	28
Figure 29: Schéma explicatif du remplissage des trous de foration.....	32
Figure 30:Schéma illustrant le choix des types de décapage.	34

liste des photos :

Photo 1: Matériel d'échantillonnage, Appareil de quartage en inox et Broyeur mécanique à mortier.....	6
Photo 2: Dérangements affectant la série phosphatée dans l'EZCS (MLIKATE).....	15
Photo 3: failles inverses affectants la série phosphatée.....	17
Photo 4: Plissement de faible amplitude.	17
Photo 5: Sondeuse à foration inclinée 30 à 40°, série phosphatées renversée (Cuttings)	31
Photo 6: Décapage par poussage vers la tranchée (n-1) déjà exploitée.....	33
Photo 7: Décapage par Casement (Engin 195M).	33
Photo 8: Camion de transport Komatsu 730E (190T).....	34
Photo 9: Phase du défruitage.	35
Photo 10: Maille du criblage 90*90mm.....	36

Liste des tableaux :

Tableau 1 : Teneurs du phosphates en % BPL, (Document OCP 2012).....	7
Tableau 2: Mailles utilisées à M.E.A	31
Tableau 3: Scénario d'exploitation du Sillon B et Sillon A.....	39
Tableau 4: Scénarios d'exploitation de la DN+C1.	39
Tableau 5: Scénarios d'exploitation de la couche 2.....	40
Tableau 6: scénario d'exploitation de la C2+C3 globale.....	40
Tableau 7: Scénarios d'exploitation de la C3.	41
Tableau 8: Scénarios d'exploitation du Sillon B et du Sillon A.	41
Tableau 9: Scénarios d'exploitation de la DN et de la Couche 1.	42
Tableau 10: Scénarios d'exploitation de la couche 2.....	42
Tableau 11: Scénarios d'exploitation de la Couche 2 et de la Couche 3.....	43
Tableau 12: Scénarios d'exploitation de la couche 3.....	43
Tableau 13: Scénarios d'exploitation du Sillon B et du Sillon A.	44
Tableau 14: Scénarios d'exploitation de la DN et de la couche 1.	44
Tableau 15: Scénario d'exploitation de la Couche 1+ Couche 2.....	45
Tableau 16: Scénario d'exploitation de la couche 2.	45
Tableau 17: Volume sélectif de la Couche 1 et de la DN.	47
Tableau 18: Tonnage sélectif de la couche 1.....	47
Tableau 19: Volume et tonnage de la couche 1 globale.....	48
Tableau 20:Récapitulatif des deux méthodes d'exploitation de la couche 1.	48
Tableau 21: Coût de traitement de la couche 2globale.....	49
Tableau 22: Coût de traitement de la couche 3 globale.....	49
Tableau 23: Coût de traitement total de la (Couche2+ Couche3) globale.	49
Tableau 24: Coût de traitement de la C1+C2 globale sans C0'.	49
Tableau 25: Coût de traitement de la C0'+C1+C2 globale.....	50
Tableau 26: Coût de traitement de la DN+C0'+C1+C2+C3 globale.....	50

Introduction

Les phosphates du Maroc font partie de l'ensemble des gisements d'âge Crétacé jusqu'à l'éocène des bassins Atlantiques du continent Africain (**Figure 1**).

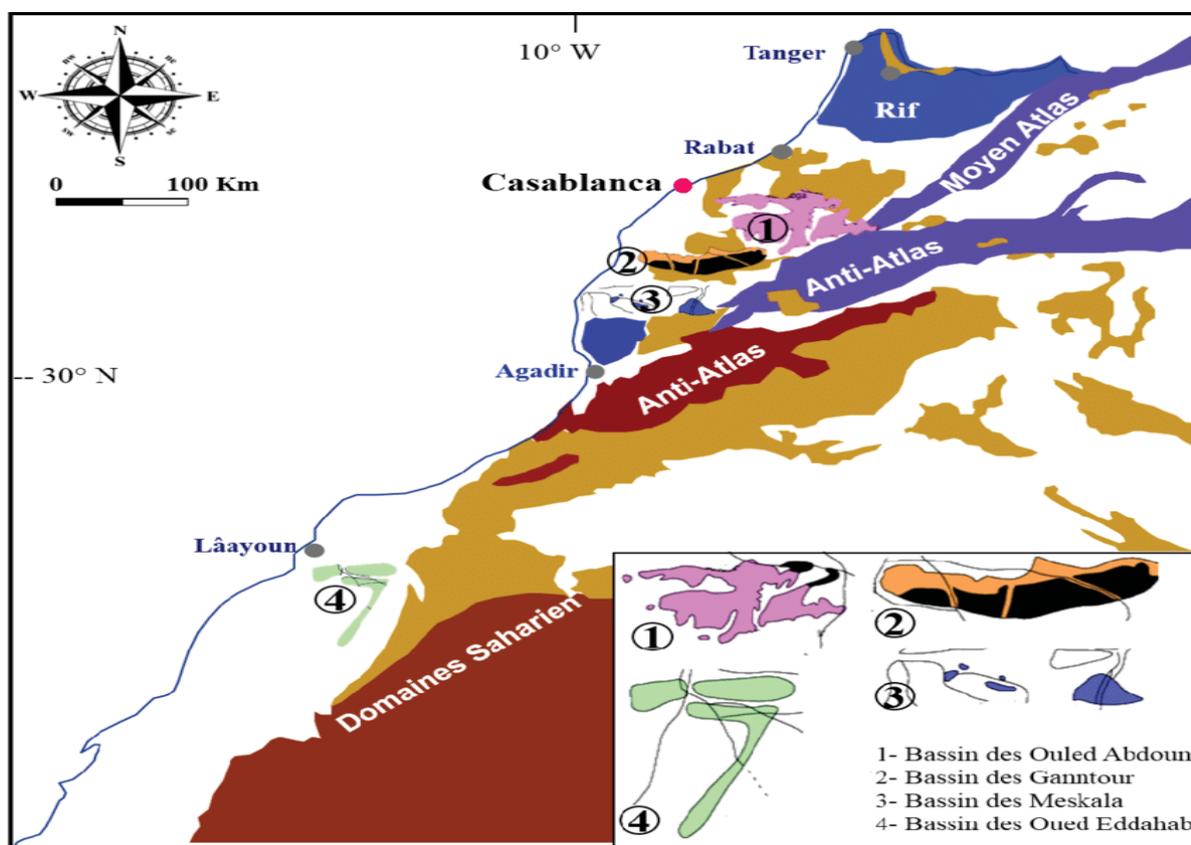


Figure 1: Les bassins phosphatés Marocains.

D'un point de vue évolution paléogéographique :

-**Au Crétacé moyen** s'effectue une transgression générale (**figure 2**). L'Atlantique central s'élargie le long de sa rive orientale..., les Rehamna centraux, les Jbilètes et la terre des Idrissides et le Moyen Atlas sont entourés par une mer épicontinentale à dépôts essentiellement marneux puis phosphatés (La série d'Ouled Abdoun) (Salvan1963, Boujo, 1976, Choubert et Faure Muert 1956).

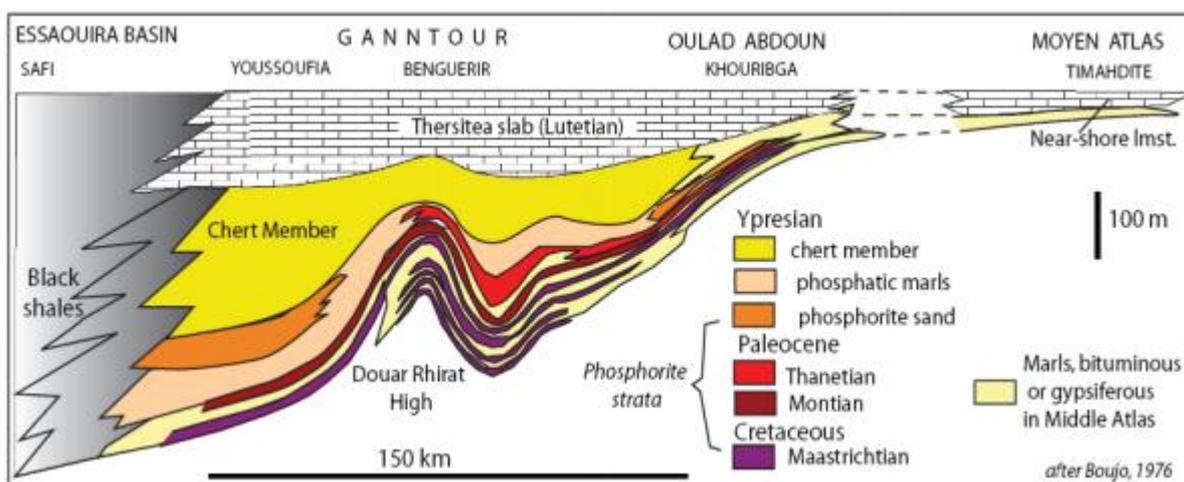


Figure 2: Evolution de la série phosphatée Marocaine (D'après Boujo 1976).

Les reconstitutions paléogéographiques du Sénonien (**Choubert et Salvan, 1949**) ont permis de mettre en évidence plusieurs golfes Marocains ouverts sur l'Atlantique :

- ✚ Le grand golfe inter-Atlasique qui représente le golfe phosphaté principal : Ouled Abdoun (Khouribga).
- ✚ Le golfe d'El Youssoufia qui correspond à la partie occidentale du bassin de Ganntour.
- ✚ Le golfe sub-Atlasique septentrional où se trouve le gisement de Benguerir.
- ✚ Le golfe sub-Atlasique méridional : Boucaâ.

- **Au Paléogène**, le Maroc est une période de généralisation de faciès de plateforme lutétienne (**Eocène moyen**) (**Figure3**), la marge Atlantique continue à s'enfoncer en recevant des marno-Calcaires affectés par des nombreuses discordances témoignent d'une tectonique synsédimentaire (G.Choubert et Faure Muert 1971).

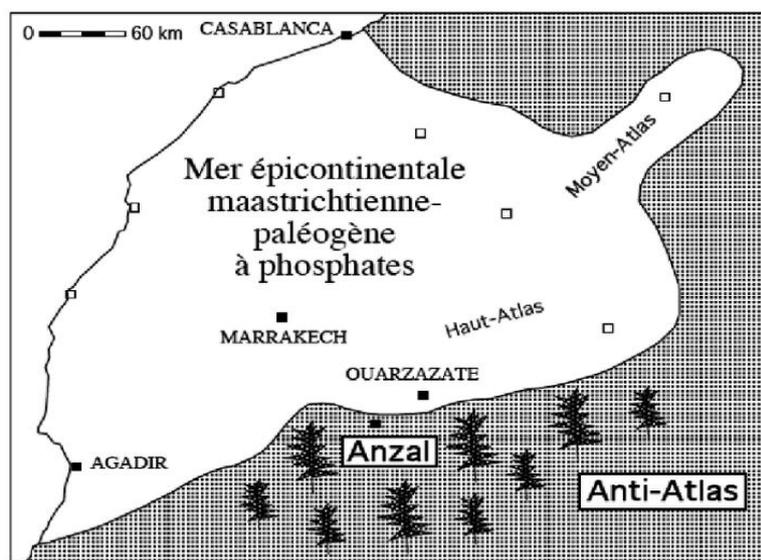


Figure 3: Transgression par la mer épicontinentale paléogène.

La consommation mondiale de phosphate s'accroît d'une année à l'autre. Pour faire face à cette demande, le Groupe Office Chérifien des Phosphates (OCP) ne cesse de moderniser les moyens de production, multiplier les zones minières et surtout d'extraire les nombreux niveaux phosphatés.

A Khouribga, trois secteurs d'exploitation à ciel ouvert :

- Le secteur **Sidi Daoui** : qui se trouve à proximité d'Oued Zem, et il est en voie d'épuisement.
- Le secteur **Sidi Chennane** : qui se trouve à 35 Km au Sud-Ouest de Khouribga.
- Le secteur **Merah El Ahrach (M.E.A)** : se trouve à 20 Km au sud de Khouribga, c'est le secteur où on a effectué notre stage.

Dans le secteur MEA, l'exploitation du phosphate concerne tous les niveaux phosphatés sauf la couche 0 (C0), cette dernière fait partie de l'intercalaire entre le sillon A (SA) et la couche 0' (C0'), malgré qu'elle ne manque pas d'importance de point de vue qualité et réserves par rapport aux autres niveaux.

Chapitre 1 : Présentation du groupe office chérifien des phosphates :

I. Généralités sur l'OCP :

1. Introduction :

Avec les réserves les plus importantes au monde, principalement localisées dans le bassin de Khouribga au centre du Maroc, Le **groupe OCP S.A** offre une large sélection de roche de phosphates de différentes qualités, destinée à divers usages. L'OCP est le premier exportateur de roche de phosphates et l'acide phosphorique dans le monde, et l'un des principaux exportateurs d'engrais phosphatés.

Les réserves du phosphate Marocain se répartissent dans quatre principales zones: **Khouribga, El Youssoufia, Benguerir et Boucraâ**. (Figure 4)

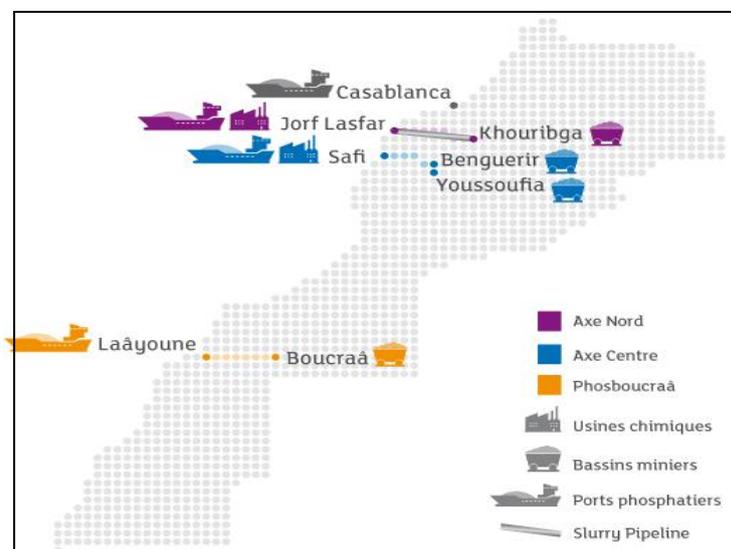


Figure 4: les bassins phosphatés du Maroc.

2. Statut juridique :

Le groupe OCP est un établissement public, honoré de la personnalité civile, et dispose d'une autonomie financière absolue, et ses filiales acquièrent la forme de sociétés anonymes, ainsi comme l'indique l'article premier du Dahir 1-06-178, le groupe OCP est mis sous tutelle administrative du ministère de l'économie nationale.

3. Filiales du groupe OCP :

- ✚ PHOSBOUCRAA (Phosphates de Boucraâ S.A).
- ✚ SOTREG (Société de Transports Régionaux).
- ✚ STAR (Société de Transport et d'Affrètements Réunis).
- ✚ CERPHOS (Centre d'Etudes et de Recherches des Phosphates Minéraux).
- ✚ SMESI (Société Marocaine d'Etudes Spéciales et industrielles)...

4. Secteurs d'activité de l'OCP :

Les activités du groupe OCP sont présentes dans cinq zones géographiques du pays ; Trois sites d'exploitation minière: Khouribga, Youssoufia, Boucraâ et deux sites de transformation chimique : Safi et Jorf Lasfar. Elles sont comme suit : (Figure5).

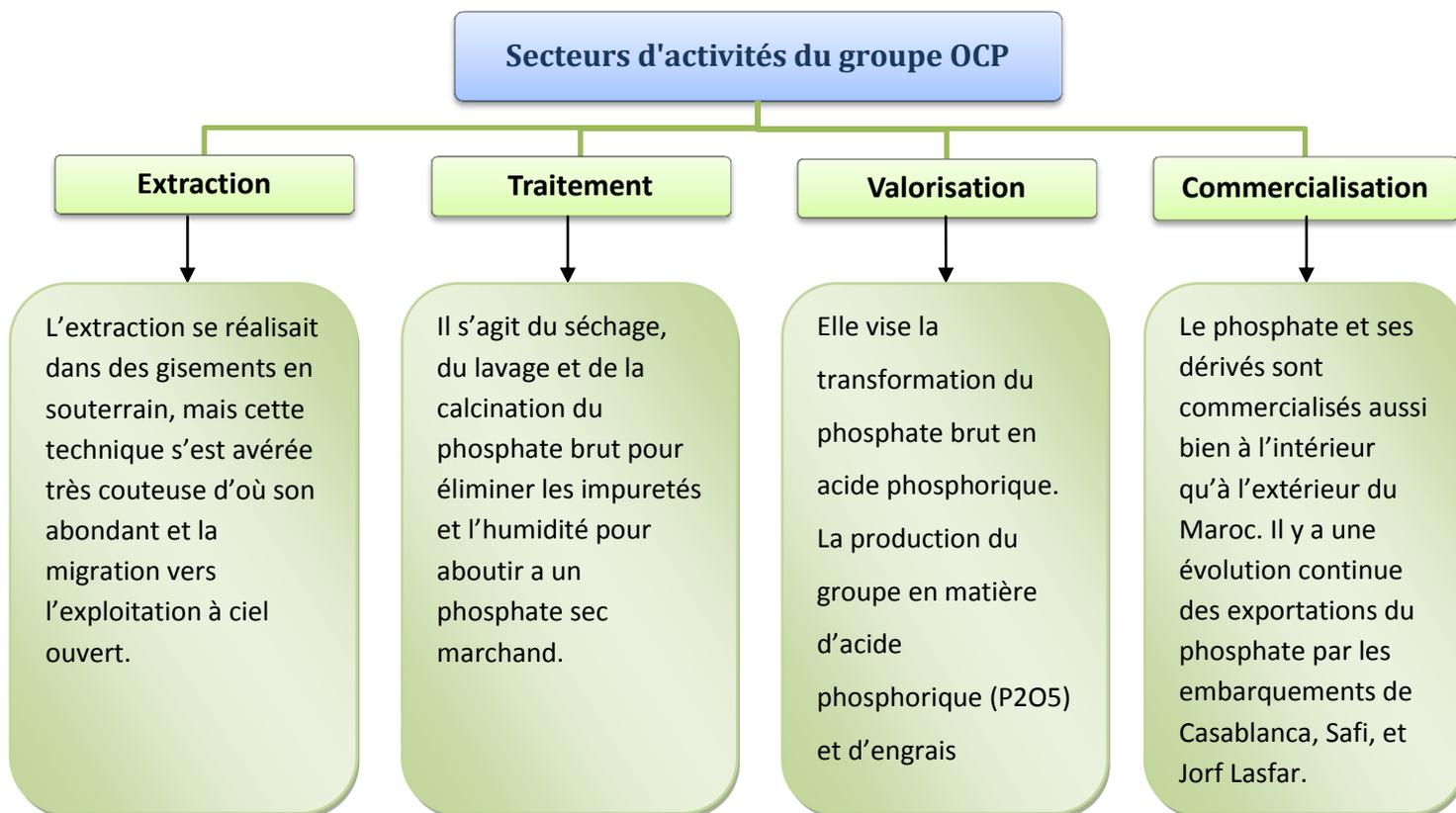


Figure 5: Secteurs d'activités du groupe OCP.

5. Organigramme du groupe :

Les activités du groupe sont structurées au sein de trois pôles d'activité : mines, chimie, finance et support logistique, à côté d'autres directions : Secrétariat de Directeur Général, Direction commerciale, Direction des Ressources Humaines, Direction Recherche et Innovation, Direction Stratégie et Développement, Caisse Interne et Retraite, les entités filiales et l'institut OCP.

- **Le pôle Mine** : Englobe la Direction des Exploitations Minières de Khouribga (PMK), la Direction des Exploitations Minières de Gantour (PMG) et la Direction de Phosboucraâ (PMB).
- **Le pôle Chimie** : Englobe les Directions Maroc Phosphore Safi, Maroc Phosphore Jorf- Lasfar, l'Imacid et l'Emaphos.
- **Le pôle Finance et Support Logistique** : Englobe la Direction des Systèmes d'Informations, la Direction Financière, la Direction des Approvisionnements et Marchés et la Direction Partenariats Internationaux.

Chapitre 2 : Etude géologique et minières des couches phosphatées.

I. Généralités sur Le phosphate :

1. Introduction :

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

La formation de roches phosphatées est connue en tout temps et en tous lieux. On distingue des gisements :

- **Continental** : karsts et sols, leur volume est important mais leurs teneurs sont faibles
- **Epi-continental** : lagons et bassins peu profonds. Ils sont riches et exploitables (gisements Marocains).
- **Marins** : talus continental, hauts fonds sous-marins. Ils sont minces et pauvres de point de vue qualité.

A. Phosphatogenèse :

La présence d'un gisement de phosphates dans un bassin sédimentaire dépend de plusieurs processus notamment :

- Une source en phosphore suffisante par décomposition d'organismes peuplant les milieux marins (tel que les poissons, les reptiles marins, les organismes planctoniques...).
- Des conditions favorables à la formation de l'apatite dans les sédiments: dans une région à température proche de 30°C aride ou semi-aride à proximité des courants ascendants « **upwellings** » dont la morphologie est adaptée à une sédimentation cyclique condensée.
- Des conditions favorables à la concentration et l'accumulation des Minéraux phosphatés : une stabilité due à une absence de tectonique, et un calme en-terme d'érosion diminuant les apports terrigènes... **KAZAKOV, (1937)**.

⇒ La deuxième théorie se limite à l'intervention des organismes qui se fossilisent lorsque les conditions deviennent insupportables : **La Théorie Biolitique**.

⇒ Une autre théorie renvoie la formation des phosphates au lessivage de l'apatite : **Théorie Abiolitique**.

B. Teneurs de phosphates :

Pour déterminer la teneur du phosphate dans un échantillon, il est nécessaire de passer par les étapes suivantes:

- * **Echantillonnage** : consiste à prélever un échantillon témoin représentatif du niveau échantillonné à l'aide d'un marteau, sachets, godet, double mètre, stylo, bloc-notes.
- * **Quartage** : à partir de l'échantillon prélevé en sachets (1Kg) on prend 10g, qui représente la composition générale de l'échantillon.
- * **Séchage** : on met notre échantillon dans le four à 170°C afin d'éliminer les traces d'eau, la matière organique, et les gaz...
- * **Broyage** : après séchage on met notre échantillon dans un broyeur mécanique pour avoir une poudre de granulométrie égale à 160 µm, puis on remet la poudre phosphatée dans l'étuve à 105°C.
- * **Analyse** : par la mise en solution de la poudre phosphatée, on verse une quantité dans un bécher, on ajoute une quantité d'acide perchlorique (HClO₄), et on chauffe sous la haute, en ajoutant le réactif Vanado-Molybdique, on laisse refroidir, puis on filtre la solution et on ajuste dans une fiole jaugée avec de l'eau distillée. On met la solution dans des tubes à essai, puis dans l'appareil qui détermine la teneur en % BPL. **(Photo 1)**



Photo 1: Matériel d'échantillonnage, Appareil de quartage en inox et Broyeur mécanique à mortier.

Le tableau suivant résume les teneurs en% BPL, ainsi que les qualités du phosphate :

Qualité	Abréviation	BPL en %
Super Haute Teneur	SHT	>75
Très Haute Teneur	THT	73 – 75
Haute Teneur Normale	HTN	71,5 – 73
Haute Teneur Moyenne	HTM	69,5 - 71,5
Moyenne Teneur	MT	68 - 69,5
Basse Teneur Riche	BTR	65 – 68
Basse Teneur Normale	BTN	63 – 65
Basse Teneur Pauvre	BTP	61 – 63
Très Basse Teneur	TBT	56 – 61

Tableau 1 : Teneurs du phosphates en % BPL, (Document OCP 2012).

II. Présentation du bassin Ouled Abdoun

Le bassin D'Ouled Abdoun est le plus anciennement connu et exploité à ciel ouvert parmi les dépôts phosphatés Marocains. Il est également le plus important, aussi bien par son extension que par la qualité et la quantité du minerai qui renferme.

1. Situation géographique :

Le bassin du Ouled Abdoun s'étend sur plus de 10000 km², il s'inscrit dans rectangle limité qui a pour cotés méridiens 6°30' et 7°35' et parallèles 32°30' et 33°. Ce bassin est situé au Maroc central est limité au Nord par le massif du Maroc central, à l'Ouest par le massif de Rehamna et au Sud par la chaîne du moyen Atlas de Béni Mellal (**Figure 6**). Le plateau des phosphates présente une morphologie quasi-tabulaire très faiblement ondulée à faible pendage sud, l'altitude varie entre 500m Sidi Hajjaj et 800m Sidi Daoui (**Belfkira, O .1980**).

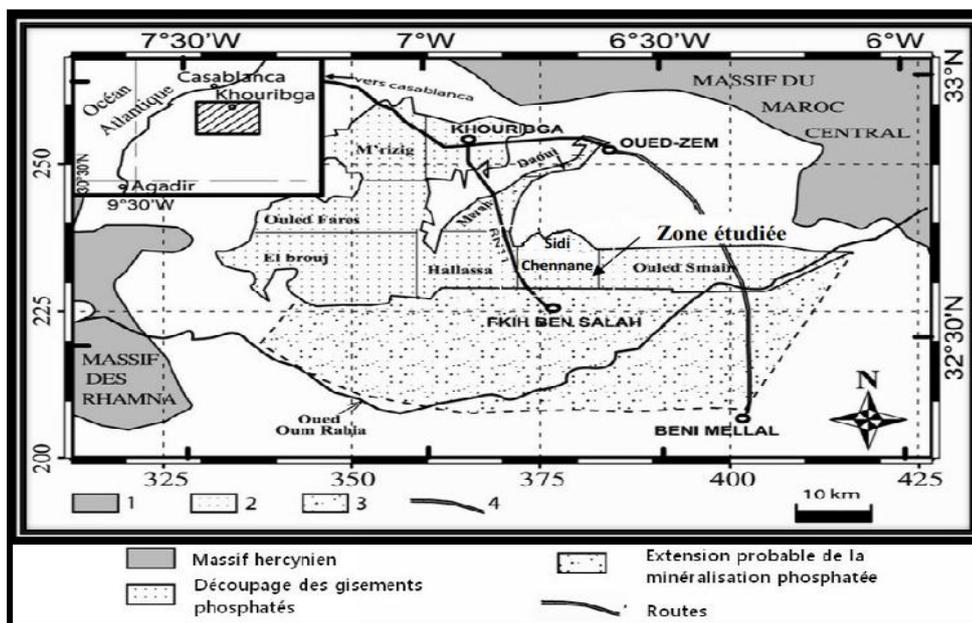


Figure 6: Situation géographique du gisement d'Ouled Abdoun (Document OCP).

2. Cadre géologique :

Plusieurs orogénèses jalonnent l'histoire géologique du Maroc, elles ont guidé l'individualisation des différents domaines structuraux, le territoire Marocain (paradis des géologues) est subdivisé en trois domaines structuraux définis par leurs localisations comme suit :

- ✓ Le domaine Anti Atlasique et Saharien au Sud.
- ✓ Le domaine Atlasique et Mésetien (occidental et oriental) au Centre.
- ✓ Le domaine Rifain au Nord.

Le substratum Mésetien, qui support la série phosphatée d'Ouled Abdoun est formé de terrains **Paléozoïque** violemment plissés et faillés, et avec une couverture sédimentaire quasi-tabulaire légèrement plissée, et faillée s'étalant de l'**infra-Cénomaniens** au **lutétien supérieur**.

Les courants permanents dus à la force de Coriolis ont permis la mise en place des phosphates Marocain suivant une direction NW-SE (**BOUABDELLI. 1989**) dans le bassin de Khouribga-Tadla, et NE-SW au Moyen Atlas (Région de Timahdite et Boulmane) (mais de faible quantité par rapport à celle du bassin de Khouribga, l'intersection des deux bassins phosphatés et plus profonde ce qui a abouti à la transformation de la matière organique en Marnes bitumineux (Pétrole immature) de Timahdite par l'effet de subsidence. (**Figure 7**).

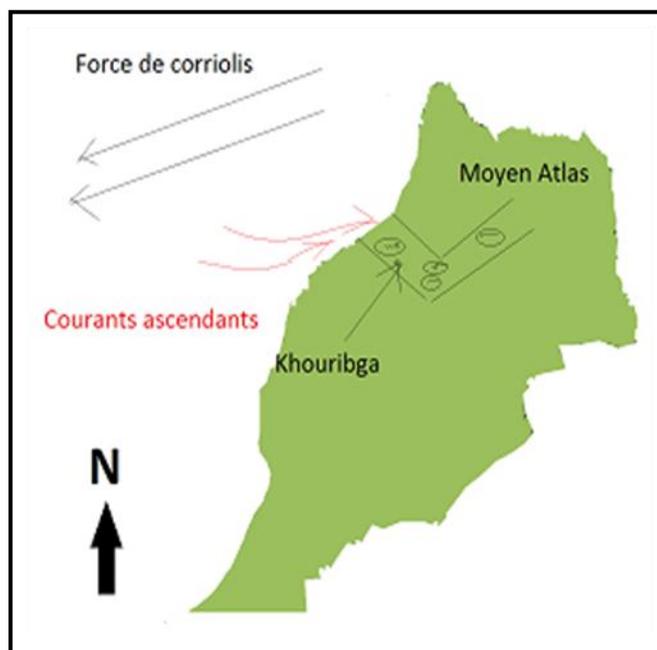


Figure 7: Mécanisme des courants ascendants dus à la force de Coriolis.

L'absence de fossiles stratigraphique ne permet pas la distinction du Coniacien, du Santonien et du Campanien, seul le Maestrichtien phosphaté est distingué.

La série phosphatée débute au Maestrichtien par des dépôts phosphatés relativement très marneux et se termine au lutétien par une dalle calcaire. Elle est de type transgressif dont les couches phosphatées sont formées par un ensemble de séquences, dans chaque séquence on trouve un grano-classement positif.

A. Découpage chrono-stratigraphique et minier du gisement Ouled Abdoun :

a. Découpage chrono-stratigraphique :

C'est le découpage de la série phosphatée basé sur la succession des couches (strates) durant le temps géologique, ce découpage se fait suivant une échelle chrono stratigraphique divisé en unités chronologiques.

La succession litho-stratigraphique de la série phosphatée se présente comme suit :

Au Crétacé, les formations attribuées au Cénomano-Turonien affleurent au nord du bassin d'Ouled Abdoun, elles sont surmontées par les marnes jaunâtres à intercalations calcaires datées du Sénonien inférieur.

Le Maastrichtien apparaît en continuité de sédimentation avec le Campanien et le Sénonien inférieur. Il est présenté par un complexe de Calcaires, de marnes phosphatées et de phosphates sableux.

Le Paléocène (Montien-Thanétiens) est représenté par des phosphates et un complexe d'argile et marnes légèrement bitumineux.

L'Yprésien est formé d'un complexe de Silex, marnes et marno-calcaires.

A l'intérieur de ce complexe, on rencontre des horizons de phosphates sableux de couleur grisâtre, refermant des débris osseux, des coprolithes...

Le Lutétien est représenté par un complexe formé d'une alternance de marnes, calcaires et Silex avec de rares passées de phosphates sableux.

L'ensemble est surmonté par des niveaux carbonatés silicifiés refermant de nombreux Gastéropodes : c'est la dalle à Thersite.

La réalisation de ce découpage a été principalement fondée sur la paléontologie animale.

b. Le découpage minier :

C'est le découpage qui est basé sur la qualité des niveaux phosphatés et sur les intercalaires qui les séparent. Ce découpage a d'ailleurs précédé le découpage chrono stratigraphique. (**Figure 8**).

On distingue du haut en bas :

*** Le recouvrement au toit sillon B :**

On trouve du bas en haut :

- Une alternance des marnes, de marnes siliceuses à silex, de calcaire marneux et des sillons parasites de phosphates l'ensemble et environ 5 m de puissance.
- Un calcaire marneux à silex « dalle intermédiaire » environ 4 m de puissance.
- Une alternance de marne, de marnes siliceuses à silex et de calcaire marneux, d'environ 4 à 5 m de puissance.
- Une puissante dalle de calcaire coquillée : dalle à Thersités de 0 à 30 m de puissance suivant la topographie.

*** Le sillon B :**

- Il est formé par un phosphate grossier meuble Coprolithique, d'environ 1 m de puissance, et de qualité qui dépasse 73% BPL.

* **Intercalaire B/A :**

- Il est formé de marnes tendres, calcareuses ou siliceuses par place, d'environ 90 cm de puissance.

❖ Niveau repère:

- Calcaire phosphaté Coprolithique à silex phosphaté, d'environ 70 cm de puissance.

* **Le sillon A :**

- Il formé par un phosphate grossier à coprolithes dans sa partie inférieur et d'un phosphate marneux à calcifié dans sa partie supérieure. Il est d'environ 70 cm de puissance, et de 66 à 70 % BPL de qualité (variation latérale de faciès.)

* **Intercalaire SA /C0 :**

Il est formé de :

- Calcaire phosphaté à gros silex phosphaté, à la base, d'environ 80 cm de puissance.
- Banc de silex continu, qui coiffe le toit de la couche 0.

❖ Niveau repère:

- Alternance de marne tendre à compacte, siliceuse par place, calcareuse au toit, et d'un à plusieurs bancs de silex continus (**Sandwich**), l'ensemble est d'environ 1,2 m de puissance.

* **La couche 0 :**

- Elle est formée par un phosphate marneux calcifié, d'environ 80 cm de puissance, et de qualité très faible (cette couche n'est pas exploitée à M.E.A).

* **Intercalaire CO/CO' :**

Il est formé de :

- Calcaire phosphaté marneux, d'environ 60 cm de puissance.

❖ Niveau repère :

- Marnes à gros silex « Ménilites », qui coiffent le toit de la couche 0', d'environ 80 de puissance.

* **La couche O' :**

- Elle est formée de phosphate marneux, renfermant des silex en néoformation vers le toit, d'environ 40cm de puissance, et de qualité très variable de 60 à 68 % BPL.

* **Intercalaire C0'/C1 (Dalle à nodules) :**

- Elle est formée par calcaire marneux

❖ Niveau repère :

- Marne plastique à nodules de silex, d'environ 40 cm de puissance.

* **La couche 1 :**

Elle est formée de :

- **Couche 1 supérieure :** formée d'un phosphate meuble, limitée en haut et en bas par deux rangés de rognons de silex, elle est d'environ 1m de puissance, et de qualité variable de 65 à 76 % BPL. (Variation latérale de faciès).
- **Couche 1 médiane :** formée par un phosphate marneux, calcareuse au milieu, et se sépare de la couche 1 inférieure par des marnes plastiques, elle est d'environ 40 à 50 cm de puissance, et de qualité faible, ne dépasse pas 65% BPL.
- **Couche 1 inférieure :** Elle est formée par un phosphate grossier meuble, d'environ 0,50 à 1, 20 m de puissance, et de qualité haute teneur normale entre 71,5 et 73% BPL.

* **Intercalaire C1/C2 :**

- Il est formé par une dalle calcaire Coprolithique, d'environ 1,2 à 1,6m de puissance.

* **La couche 2 :**

Elle est formée de :

- **Couche 2A :** (C2 supérieure) formé par un phosphate meuble, marneux à consolider dans sa partie supérieure, d'environ 2.3 à 3m de puissance, et de qualité faible entre 63 et 65% BPL.
- **Dalle à Cardita :** formée par un calcaire phosphaté à Cardita, d'environ 30 à 60 cm de puissance.
- **Couche 2B :** (C2 inférieur) formée par un phosphate grossier meuble, d'environ 0.8 à 1.2 m de puissance, et de qualité entre 68 à 71% BPL.

* **Intercalaire C2/C3:**

Il est formé de :

- Calcaire phosphaté, d'environ 60 cm de puissance.

❖ **Niveau repère :**

- Marne à calcite, grumeleuse, calcareuse au toit, jaunâtre qui coiffent le toit de la couche 3 Supérieure, d'environ 1m de puissance.

* **La couche 3:**

Elle est formée de :

- **Couche 3 Sup :** (C3 supérieure) formée par un phosphate marneux jaunâtre séparé au milieu par un liseré de marne plastique, elle est d'environ 2.10 m de puissance, de qualité faible.
- **IntercalaireC3Inf /C3Sup :** formé de premier niveau à Bone-bed d'environ 20 cm de puissance, et de marne légèrement phosphatée d'environ 40cm de puissance.

- **Couche 3Inf** : (C3 inférieure) formée par un phosphate marneux grossier fossilifère à la base, d'environ 2.3 m de puissance, de qualité faible, et qui repose sur le 2^{ème} niveau à Bone-bed qui marque le début de la série phosphatée.

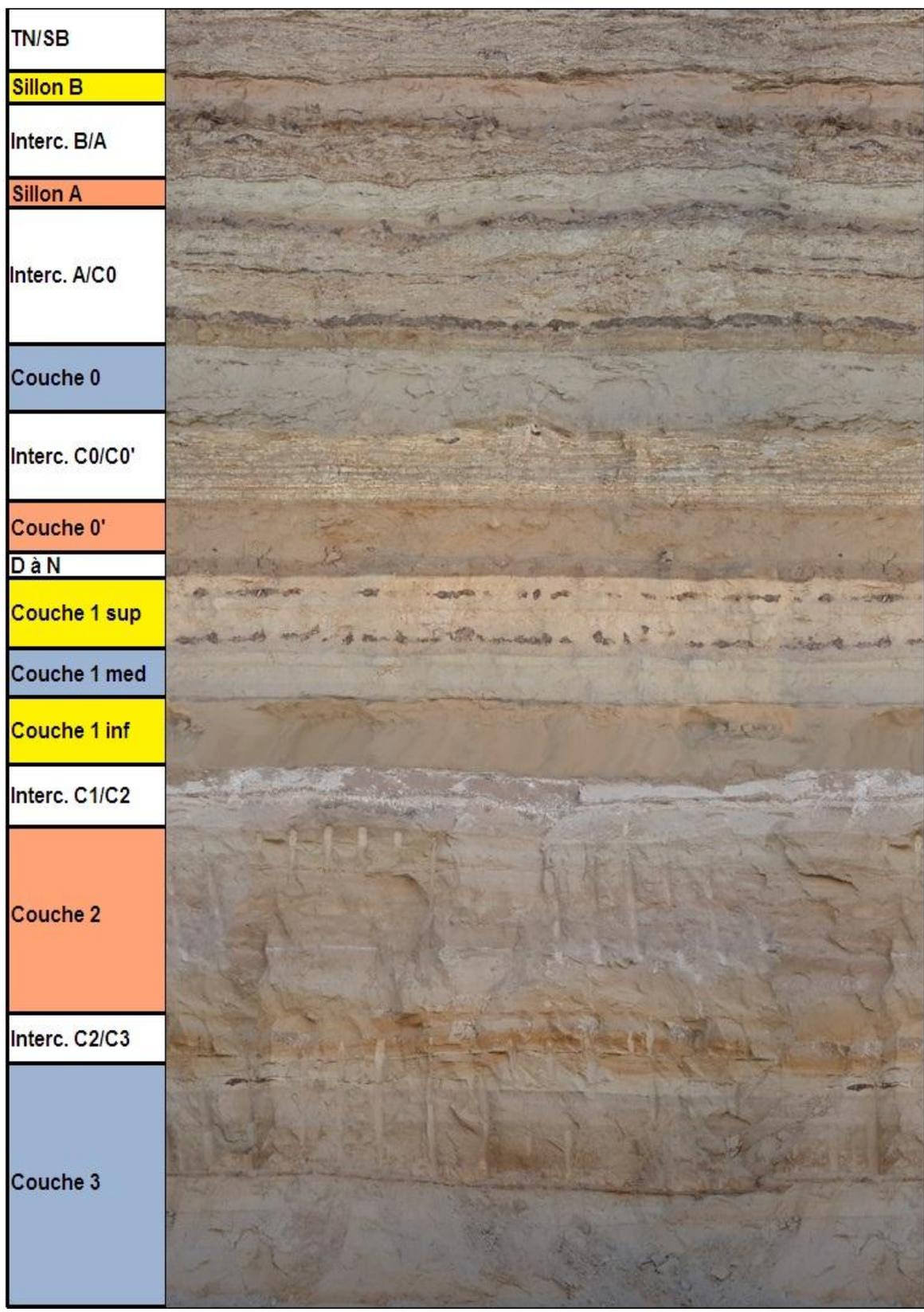


Figure 8: Coupe lithologique de la série phosphatée du gisement d'Ouled Abdoun.

3. La mine Merah El Ahrach (M.E.A) :

A. Situation géographique :

La mine de M.E.A se trouve à 24 km au Sud-Est de la ville de Khouribga et au Nord de la ville de Fekih Ben Saleh, il est traversé par la route nationale N°11.

B. Zones en activités :

Dans la mine MEA, il y a 8 zones d'exploitation, dont 6 zones en activité : (**Figure 9**).

- * Extension Zone Centrale Sud « EZCS » (MLIKATE).
 - * Zone Centrale Sud « ZCS ».
 - * Extension Zone Centrale Nord « EZCN ».
 - * Prolongement Extension Zone Centrale Nord « PEZCN ».
 - * Recette 7 « R7 ».
 - * Est Recette 7 «Zone C ».
 - * Ghar Tajer.
 - * Ghar El Mâati.
- } En cours d'exploitation
- } Epuisé

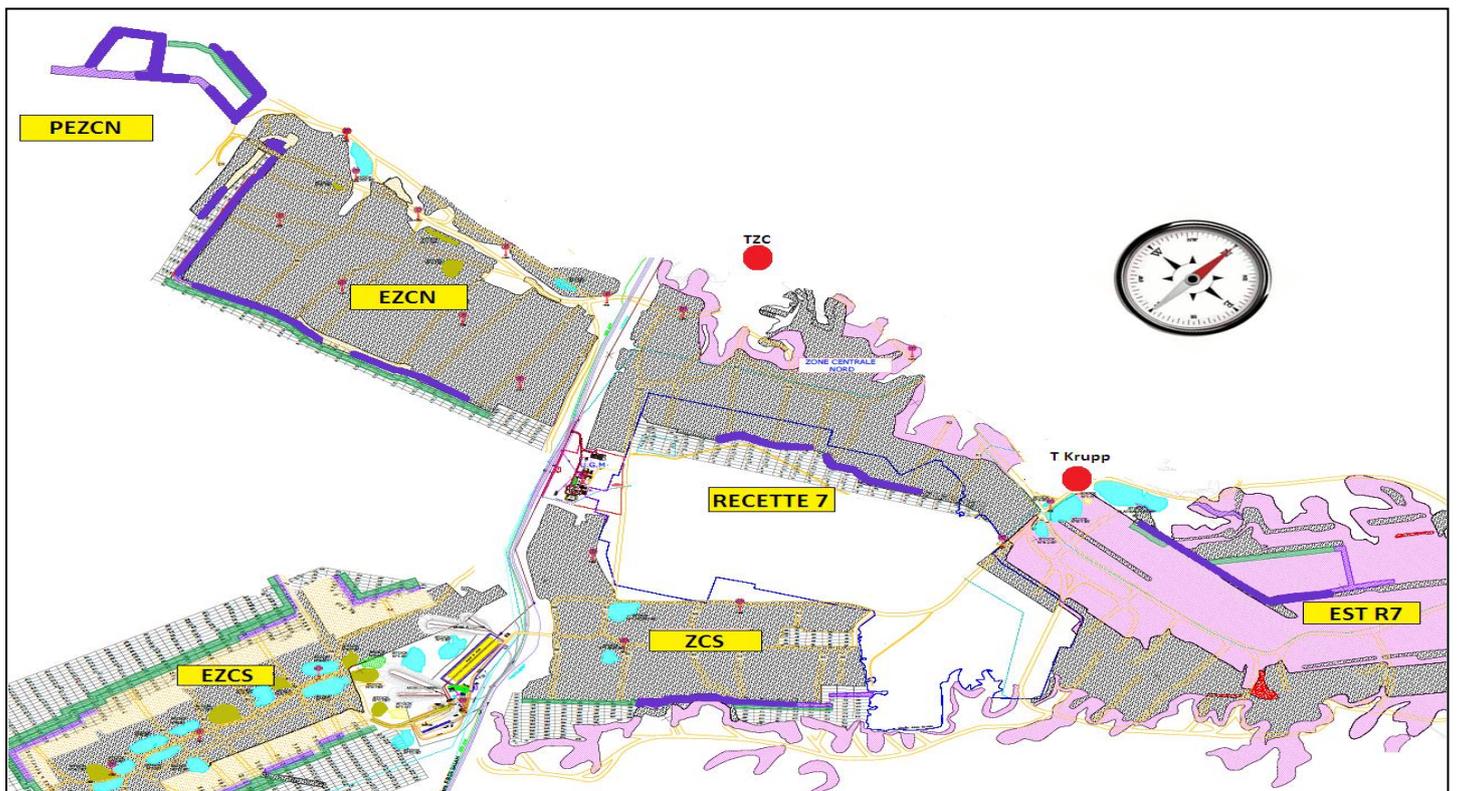


Figure 9: Zones d'activités dans la mine Merah El Ahrach (Document OCP).

4. Structure du secteur MEA :

A. Les dérangements :

a. Définition :

On appelle dérangement, toute perturbation de la succession habituelle des couches de la série phosphatée, ce sont des structures qui influencent sur la qualité des niveaux phosphatés. Dans lesquels on peut avoir une dominance des marnes, calcaires, silex..., dans le cas où le dérangement est dominé par les phosphates on le classe dans la qualité des basses teneurs (BT), (**Beneddi. R, chef des prospecteurs dans la mine MEA OCP**).

L'exploitation qualifie le dérangement toute structure stérile, généralement très dure, qui perturbe l'évolution de la chaîne cinématique d'exploitation. Ces structures subcirculaires sont contournées au moment du défruitage puis elles sont sautées et transportées avec l'intercalaire qui suit. (**Photo2**).

b. Classification des dérangements :

La classification des dérangements est basée sur les critères suivants (**Kchikach et al.1990**):

- L'ampleur des dérangements, selon qu'ils affectent totalement ou partiellement la série phosphatée.
- Nature des matériaux qui les constituent.
- La dureté des matériaux constituants.
- L'existence ou non de la stratification à l'intérieur des dérangements.

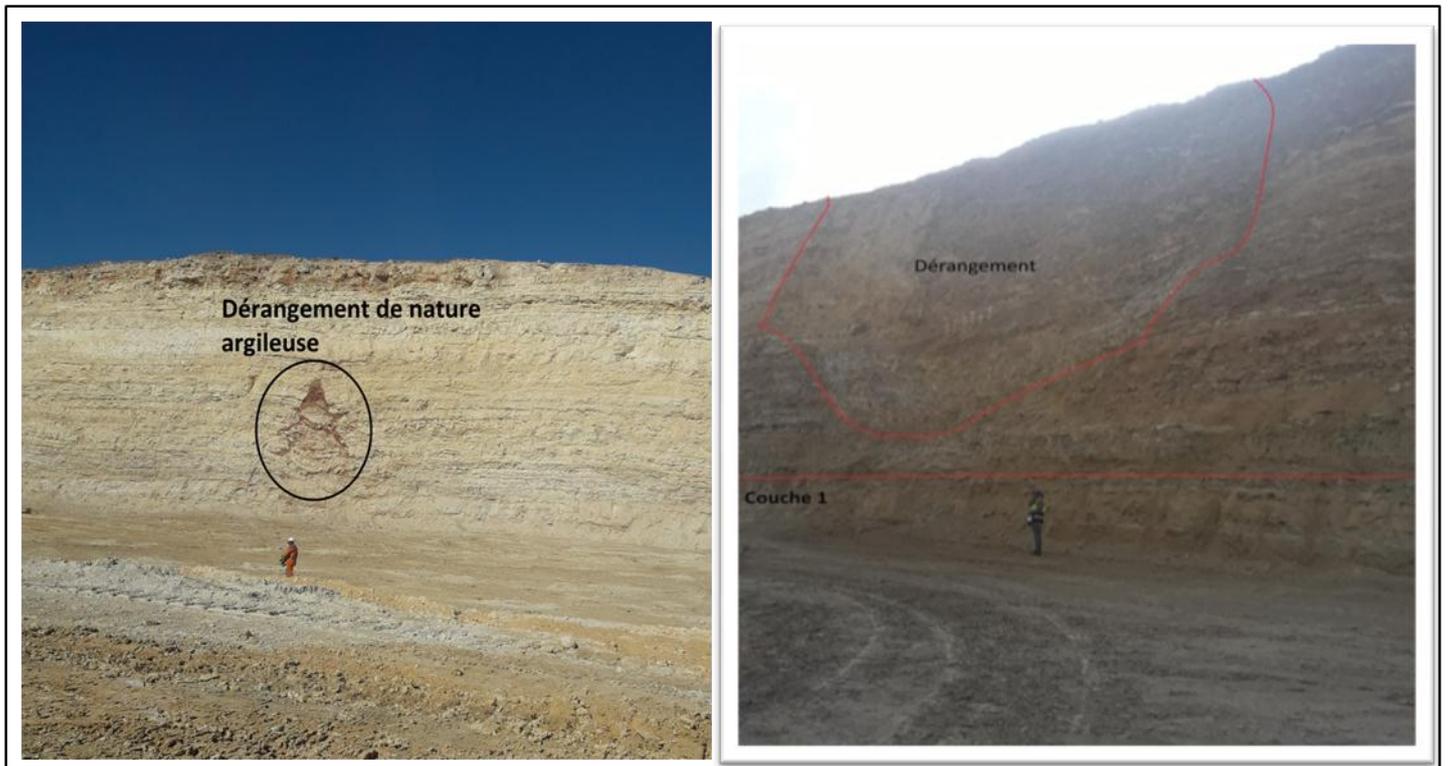


Photo 2: Dérangements affectant la série phosphatée dans l'EZCS (MLIKATE).

c. Origine des dérangements :

- Les dérangements peuvent être d'origine tectonique : à cause des hétérogénéités du milieu et sous l'action de grands efforts, il se produit des fissures et des diaclases dans la dalle à Thersitées après l'infiltration des eaux météoriques, le diamètre des fissures augmente.
- Ils peuvent aussi être dus à une dissolution des calcaires Turonien suite à l'infiltration des eaux météoriques riches en CO₂ dissout, la karstification aura lieu et par conséquent un enfouissement des couches sous-jacentes sous l'effet de leur charge litho-statique. **(Figure 10).**

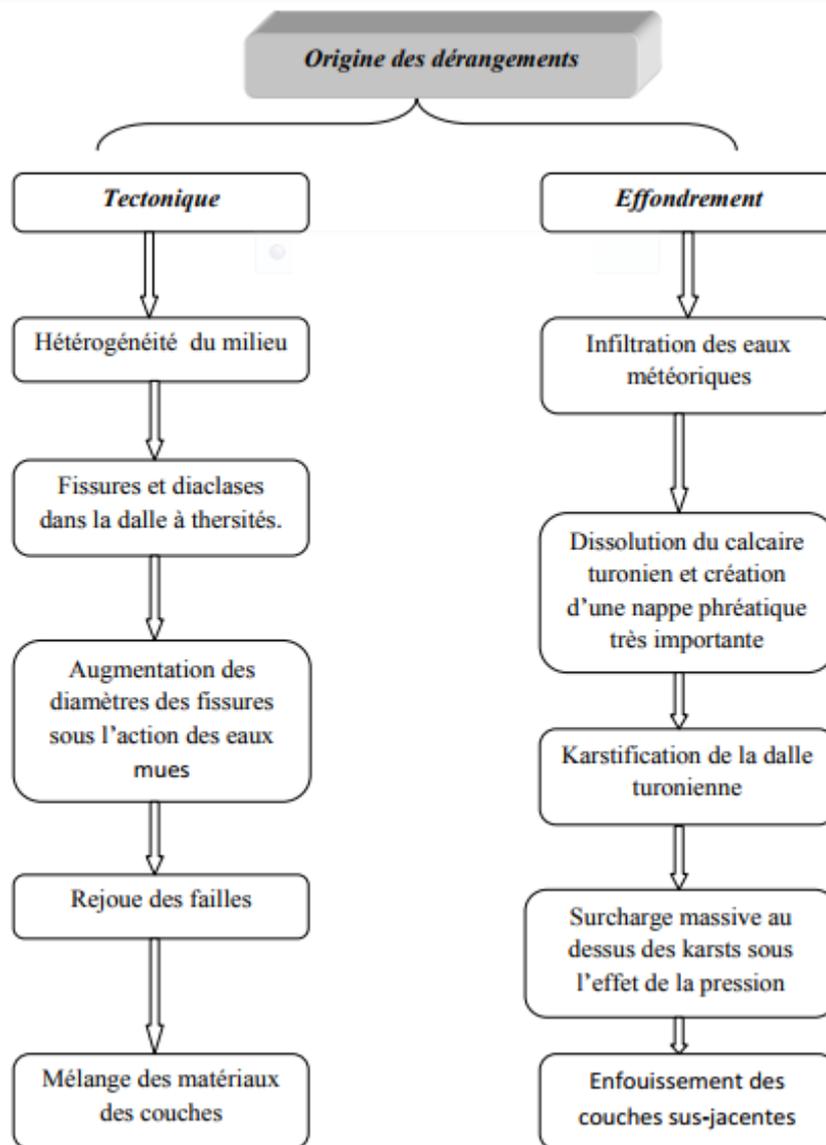


Figure 10: Les origines des dérangements.

B. Les failles :

Ce sont des surfaces de rupture qui séparent deux volumes rocheux qui se déplacent l'un par rapport à l'autre. Ces cassures qui affectent la série phosphatée conduisent à la rupture de la continuité des niveaux pouvant entraîner des complications lors de l'exploitation. On note que ces cassures sont souvent le lien de circulation de fluides. Ces infiltrations contribuent au salissement du minéral.

Généralement la série phosphatée est affectée par des failles de rejets variables d'une zone à l'autre (**Photo3**)

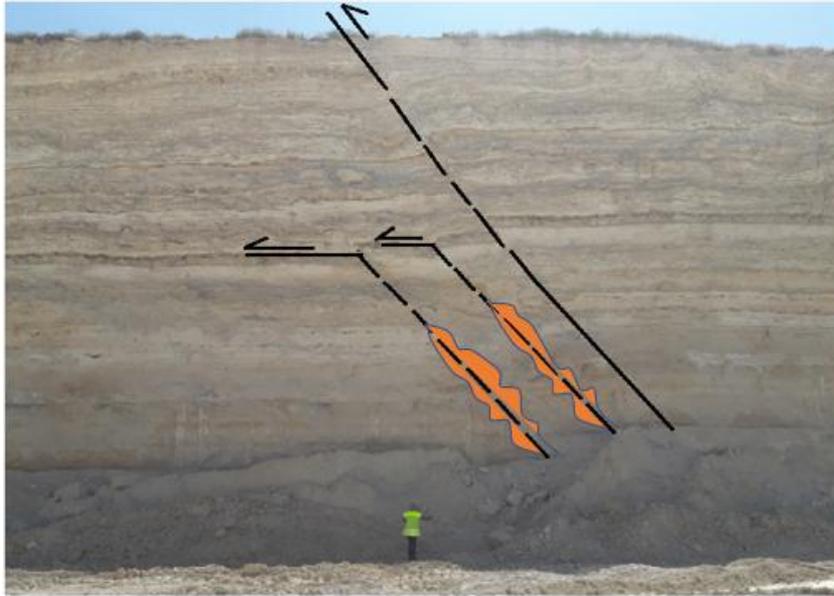


Photo 3: failles inverses affectants la série phosphatée.

C. Les plissements :

Dans le cas de M.E.A, la série phosphatée est légèrement plissée dans des zones restreintes. (**Voir photo 4**).



Photo 4: Plissement de faible amplitude.

En général, le régime tectonique affectant la série phosphatée est dominé par les dérangements de nature gypsifères, argileuses, Calcareuses ou marneuses. On peut avoir aussi des zones de dérangements d'origine karstique.

Chapitre 3 : Les coupes moyennes par zone.

I. Etude géologique et minière par zone :

1. Découpage chrono-stratigraphique et minier:

Le suivie, l'échantillonnage et la description lithologique des coupes, de log et l'établissement de Logs définitifs sont faits dans le cadre de ce travail.

A. Extension Zone Centrale Sud « MLIKATE » :

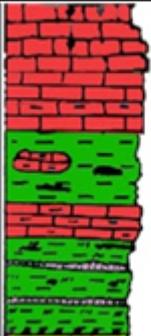
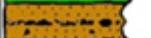
Niveau (EZCS)	Log	Puissance(m)	BPL(%)	Description
Recouvrement: (primaire)		10,57	-	Alternance des Marnes tendres à silex, calcaires, marnes siliceuses, calcaires phosphatés et des sillons phosphatés parasites vers le toit di sillon B.
Sillon B		0,88	72,53	Phosphates sableux, meuble, coprolithique.
Inter SB/SA		1,81	-	Calcaire phosphaté à silex qui repose sur le toit des marnes tendres siliceuses.
Sillon A		0,71	67,41	Phosphate grossier coprolithique.
Inter SA/C0'		2,45	-	Calcaire phosphaté gris à silex à la base
				Marnes tendres à compactes grisâtres avec des passées de silex (Sandwich).
		0,76	58,43	Phosphate marneux très calcifié. (couche 0)
		1,45	-	Calcaire phosphaté marneux.
				Marnes compactes à tendres .

Figure 11: Coupe lithologique moyenne de la partie RC-Inter SA/C0' de l'EZCS.

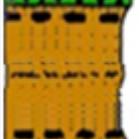
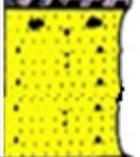
Niveau phosphaté	log	Puissance(m)	BPL(%)	Description
C0'+DN		0,9	65,5	Phosphate marneux meuble peu calcifié, de couleur jaunâtre.
				calcaires phosphaté au toit, avec des marnes plastiques verdâtres (ravinée au toit) bioturbées à la base, à nodules de silex (Ménilites).
C1 Sup		1	71,1	phosphates fin légèrement marneux, avec deux rognons de silex
C1 Méd		0,6	62,3	phosphate marneux légèrement compacte jaunâtre.
C1 Inf		1	73,3	phosphate grossier friable grisâtre à silex, fossilifère.

Figure 12: Coupe lithologique de la Couche 1+DN de l'EZCS.

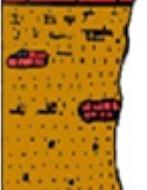
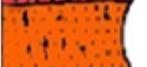
Niveau phosphaté	log	puissance (m)	BPL(%)	Description
Intercalaire C1/C2(DAC)		1,45	-	Calcaire phosphaté Coprolithique à poches de Phosphates.
C2A		0,6	62,4	N3: Phosphates marneux fin, dure de couleur grisâtres.
		0,6	64,1	N2:Phosphates moyen calcifié meuble, à blocs de calcaires .
		0,7	66,5	N1:Phosphates grossier meuble.
Interc C2A/C2B		0,35	-	Dalle de Calcaires à Cardita.
C2B		1	68,8	Phosphate grossier , meuble grisâtre.
Interc C2/C3		0,9	32,8	Marnes calciteuses, grumuleuses, calcareuses jaunâtres à la base avec des calcaires phosphaté au toit.
C3 Sup		1,2	53,7	phosphate marneux à blocs de calcaires, dure fossilifère à la base.
Inter C3 Sup/C3 Inf		0,4	43	Marnes calciteuses compacte légèrement phosphatée à dalle de Calcaire discontinue.
Partie Sup de C3 inf		1,4	62,9	Phosphate marneux fin, meuble blanchâtre avec un liseré de marnes plastique au milieu (10cm).
Partie Inf de C3 Inf		1,5	63,7	phosphate moyen meuble, grisâtre
Base de C3 Inf		0,3	-	Calcaire phosphaté à Bone-Bed.

Figure 13: Coupe lithologique moyenne de la partie Inter C1/C2-Base de C3 de l'EZCS.

B. Extension Zone Centrale Nord (EZCN) :

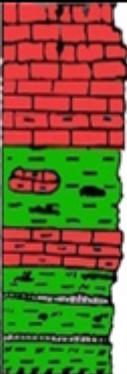
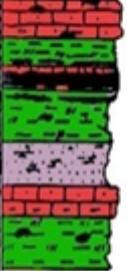
Niveau phosphaté	Log	Puissance (m)	BPL(%)	Description
Recouvrement/Pri maire		21,6	-	Alternance des marnes tendres, sillons phosphatés parasites calcaires phosphatés, avec une dalle à Thérstées vers le toit.
Sillon B		0,83	72,74	Phosphate coprolithique gris clair, grossier meuble, riche en BPL.
Inter SB/SA		1,75	-	calcaires phosphatés à coprolithe qui reposent sur les marnes tendres siliceuses par places.
Sillon A		0,76	70,02	phosphate grossier coprolithique sableux à la base, marneux vers le toit riche en Silice.
Inter SA/C0'		2,63	-	Alternance des calcaires phosphatés à silex avec les marnes tendres à compactes avec un banc de silex (Sandwich).
		0,78	55,63	phosphates marneux calcifié. (couche 0)
		1,39	-	présence des marnes plastique au mur à silex de type (Mélinites), et des calcaires phosphatés marneux vers le toit.

Figure 14: Coupe lithologique de la partie RC-Inter SA/C0' de l'EZCN.

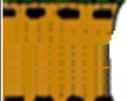
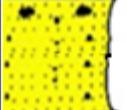
Niveau phosphaté	Log	Puissance (m)	BPL (%)	Description
C0'+DN		0,8	63,01	Phosphates marneux meuble à calcifié.
				Dalle de calcaire phosphaté à nodules de silex.
C1 Sup		0,9	67,1	Phosphate fin marneux, calcifié au milieu, à deux rangées de rognons de silex faible en BPL.
C1 Méd		0,65	59,27	Phosphate fin marneux plus au moins calcifié grisâtres, faible en BPL.
C1 Inf		0,8	72,6	Phosphate coprolithique meuble, grossier à moyen, jaunâtre, riche en BPL.

Figure 15: Coupe lithologique moyenne de la Couche 1+DN de l'EZCN.

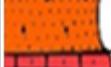
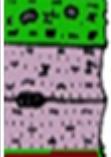
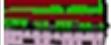
niveau phosphaté	Log	Puissance (m)	BPL (%)	Description
Intercalaire C1/C2(DAC)		1,4	-	Calcaires phosphatés à coprolithes.
C2A		2,2	62,4	Phosphates marneux calcifié au toit à blocs de Calcaires phosphatés pauvre en BPL.
			66,2	Phosphate meuble grisâtre à dominance marneuse, à géodes de calcite pauvre en BPL.
Interc C2A/C2B		0,2	-	Dalle de Calcaires intermédiaire.
C2B		1,1	69,2	Phosphate pur grossier meuble grisâtres riche en BPL très fossilifère.
Interc C2/C3		0,9	25,7	Calcaires phosphatés grisâtres dure à coprolithes, irrégulier à la base qui coiffent le toit des marnes verdâtres grumuleuses calciteuses à géodes de calcite, bioturbées et compactes qui présentent un ravinement vers le toit.
C3 Sup				Phosphates marneux calcifié au toit, à grains grossiers à la base, avec un niveau fossilifère à Bone-Bed, pauvre en BPL.
Interc3 Sup/C3 Inf		0,4	28,3	Marnes argileuses, bioturbées au toit en alternance avec les marnes phosphatés compactes.
Partie Sup de C3 inf		1,2	47,6	phosphates marneux fin blanchâtre à grisâtre légèrement fossilifère.
Partie Inf de C3 Inf		1,3	50,16	Phosphate marneux moyen à grossier grisâtre très fossilifère. Avec une passée de marnes phosphatés verdâtres (10cm).
Base de C3 Inf		1,7	-	Calcaires à Bone-Bed très fossilifère qui coiffent le toit des marnes jaunes du Sénonien.

Figure 16: Coupe lithologique moyenne de la partie Inter C1/C2-Base de C3de l'EZCN.

C. Prolongement Extension Zone Centrale Nord (PEZCN):

Niveau phosphaté	Log	Puissance (m)	BPL (%)	Description
Recouvrement/ Primaire.		23,17	-	Alternance des calcaires siliceux (Dalle à thersitées), calcaires marneux, marnes, marnes à silex, et quelques sillons phosphatés parasites.
Sillon B		0,95	73,57	Phosphate meuble à grains grossiers, renfermant une mince passée de marnes
Inter SB/SA		1,72	-	Calcaire phosphaté avec des bloc de silex qui repose sur les marnes siliceuses renfermant des blocs de silex, et des poches de phosphate.
Sillon A		0,98	62,34	Phosphate meuble marneux au sommet, subdivisé par une passée de marnes.
Inter SA/C0'		2,97	-	Alternance de calcaire phosphaté, marnes siliceuses, des rognons de silex réguliers (Sandwich), et marnes plastiques.
		0,73	50,56	Phosphate fin souvent marneux au toit, calcifié à la base. (couche 0)
		1,71	-	Marnes siliceuses au mur, renfermant parfois quelques rognons de silex, avec des calcaires phosphaté (parfois absents) vers le toit.

Figure 17: Coupe lithologique moyenne de la partie RC- Inter SA/C0' du PEZCN.

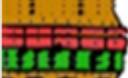
Niveau phosphaté	Log	Puissance (m)	BPL (%)	Description
C0'+DN		0,86	59,24	Phosphates meuble parfois marneux ou meme calcifié
				Calcaires phosphaté marneux au toit, avec des nodules de silex au mur.
C1 Sup		1,03	56,66	Phosphate marneux calcifié au sommet, avec du silex sous forme des passées irrégulières, et des rognons.
C1 Méd		0,72	49,8	Phosphate très marneux fin.
C1 Inf		1,3	70,75	Phosphate meuble à grains grossiers et moyens pouvant renfermer plusieurs rangées de rognons de silex.

Figure 18: Coupe lithologique moyenne de la partie C1+DN du PEZCN.

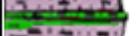
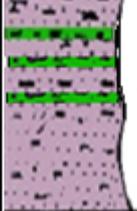
Niveau phosphaté	Log	Puissance (m)	BPL (%)	Description
Inter C1/C2		1,38	-	Calcaires phosphaté coprolithique
C2A		2,2	53,25	Phosphate calciteux, rarement marneux vers le toit.
Inter C2A/C2B		0,4		Dalle de calcaires légèrement marneux.
C2B		2,47	65,54	Phosphate meuble grossier à la base, à grains moyens puis fins vers le toit, renfermant une à deux banquettes de calcaire phosphaté.
Inter C2/C3		1,32	-	Calcaires phosphaté au sommet, marneux à la base qui coiffent le toit des marnes siliceuses ou calcareuses à rognons de silex.
C3 Sup		1,8	53,21	Phosphate meuble à calcifié à dominance marneuse vers le toit.
Inter C3 Sup/C3 Inf		0,58	-	Marnes phosphatées grisâtres à verdâtres.
C3 Inf		5,43	49,06	Alternance irrégulière de marnes légèrement phosphatées et du phosphate marneux pauvre en BPL.
Base de C3 Inf				Calcaires phosphaté à Bone-Bed, très fossilifère.

Figure 19: Coupe lithologique de la partie Inter C1/C2-Base de C3 du PEZCN.

D. Zone Centrale Sud (ZCS) :

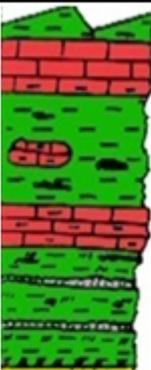
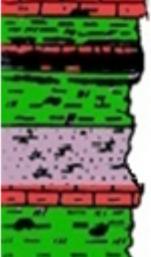
Niveau phosphaté	log	puissance (m)	BPL (%)	Description
Recouvrement / Primaire		10,45	-	Alternance des marnes compactes jaunâtres avec les calcaires, calcaires marneux et quelque blocs de silex, vers le mur, et la présence des sillons phosphatés parasites vers le toit du Sillon B.
Sillon B		0,65	75,16	phosphates grossier meuble riche en BPL.
Intercalaire SB/SA		1,65	-	calcaires phosphatés grisâtres avec du silex au mur.
		0,73	-	Marnes siliceuses tendre à blocs de calcaire.
Sillon A		0,34	68,28	phosphates sableux à la base marneux vers le toit, riche en BPL.
Intercalaire SA/C0'		2,1	-	Alternance des marnes tendres et les calcaires phosphatés, avec des passées de silex (Sandwich).
		0,8	62,2	phosphates marneux calcifié (couche 0).
		1,3	-	calcaires phosphaté marneux. Marnes plastiques verdâtres à silex de type mélinites vers le toit.

Figure 20: Coupe lithologique de la partie RC/Inter SA/C0' de la ZCS.

Niveau phosphaté	log	puissance (m)	BPL (%)	description
C0'+DN		0,8	66,9	Phosphate sableux friable grisâtre, marneux au toit.
				Dalle à nodules de silex au mur (0,40m)
C1 Sup		0,8	72,5	Phosphate sableux friable grisâtre avec deux rognons de silex vers le toit et vers le mur de la couche.
C1 Méd		0,2	64,1	phosphates marneux grisâtre, faible en BPL
C1 Inf		0,5	73,7	phosphates sableux riche en BPL avec des traces de silex vers le toit.

Figure 21: Coupe lithologique moyenne de la partie C1+DN de la ZCS

Niveau phosphaté	Log	Puissance (m)	BPL (%)	Description
Inter C1/C2		1,1	-	Calcaires phosphatés Coprolithique.
C2A		2	63,85	Phosphate grossier meuble au mur, fin calcifié et marneux vers le toit.
Inter C2A/C2B		0,15	-	Calcaires phosphatés à Cardita.
C2B		0,9	70,9	Phosphates grossiers meuble, légèrement marneux au toit.

Figure 22: Coupe lithologique moyenne de la partie Inter C1/C2-Couche 2B de la ZCS.

2. Corrélations et interprétations :

Remarque :

- La distance entre la ZCS et EZCN : 8Km à vol d'oiseau, 10Km distance réelle.
- La distance séparant la ZCS et EZCS : 5km à vol d'oiseau, 7,5Km distance réelle.
- La distance entre EZCN et le PEZCN : 7Km à vol d'oiseau.

A. Corrélations suivant la direction E-W : allant de ZCS vers PEZCN :

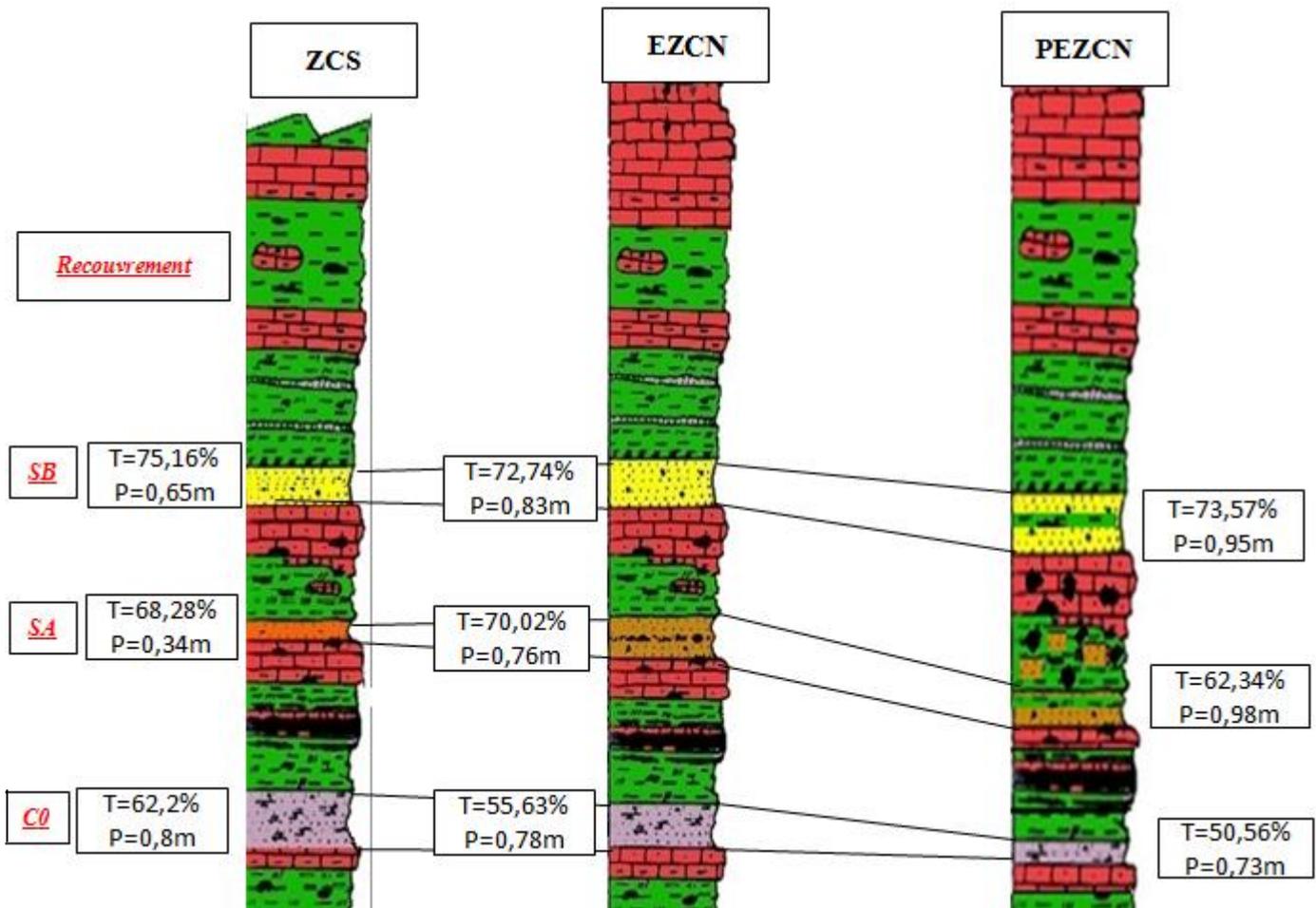


Figure 23: Corrélation E-W des niveaux phosphatés SB, SA et C0.

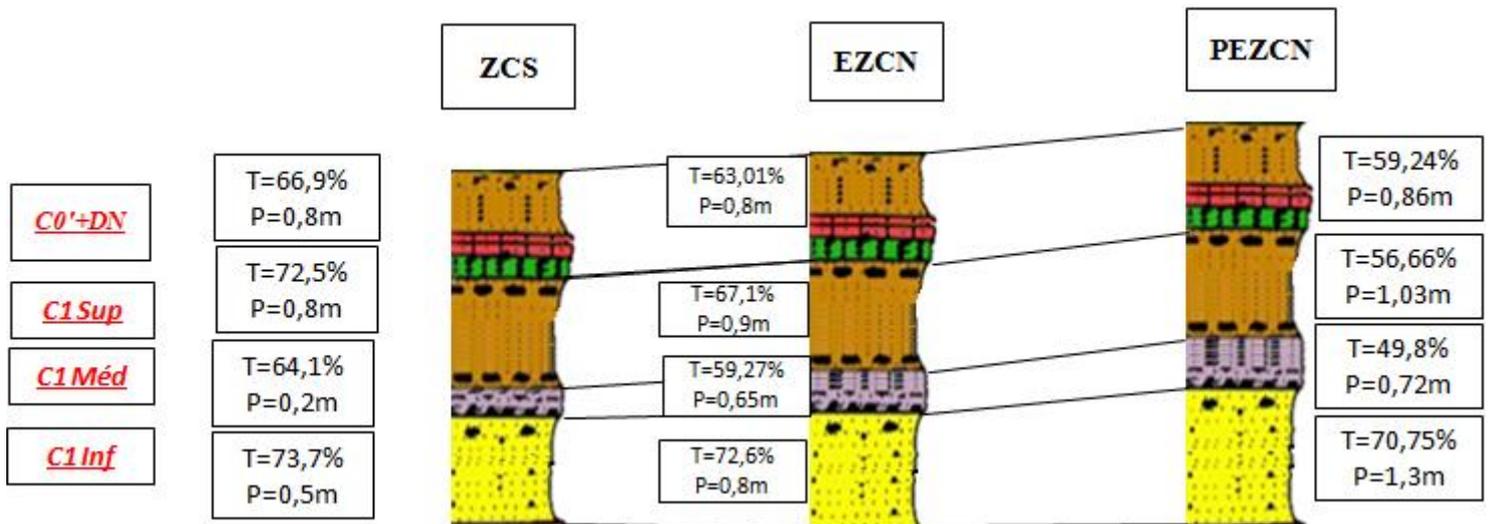


Figure 24: Corrélation E-W des niveaux phosphatés C0'+DN et de C1.

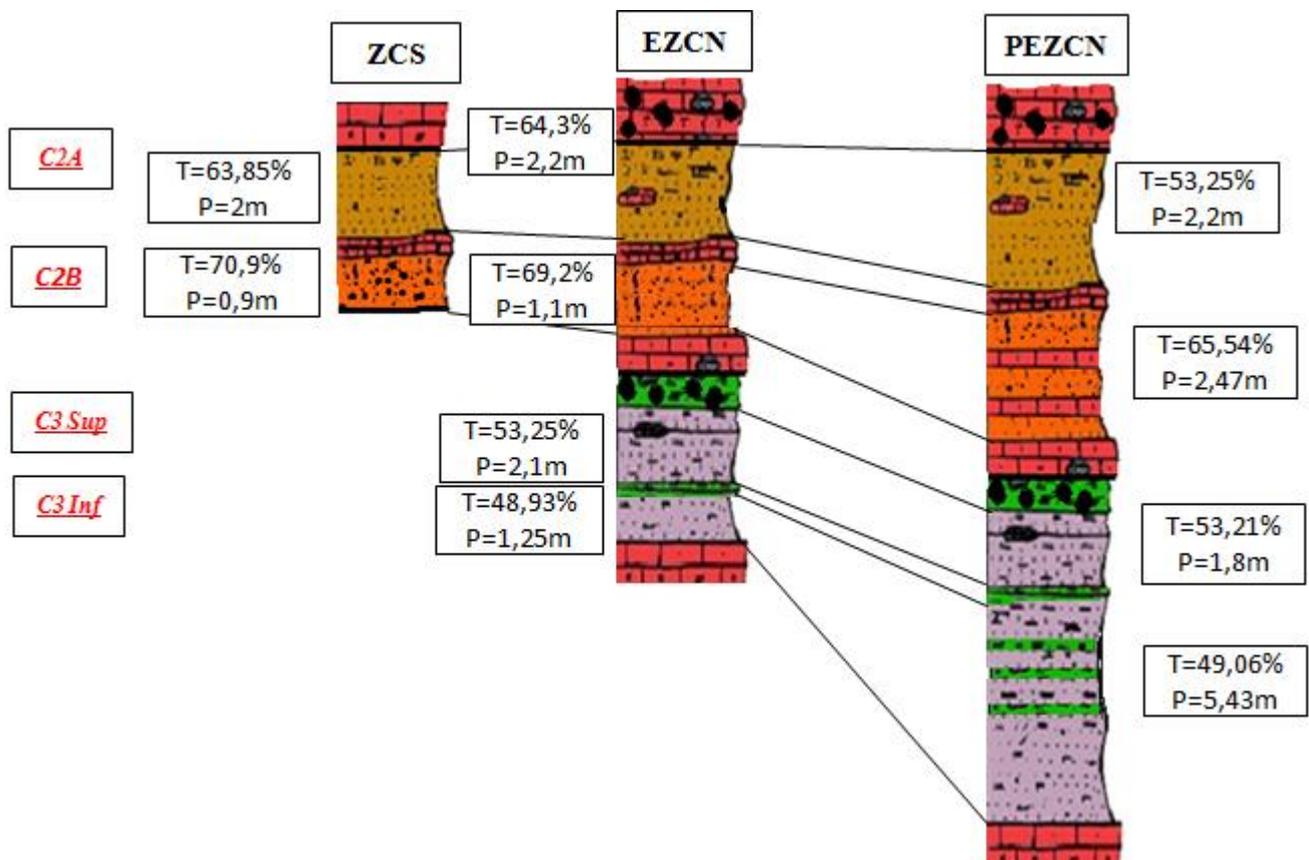


Figure 25: Corrélation E-W des niveaux phosphatés C2 et C3.

⇒ **Interprétation :**

En allant de l'Est vers l'ouest (W), on remarque que les niveaux phosphatés SB et SA, C1, C2, C3 deviennent de plus en plus épais sauf la couche 0 qui s'amincit vers le W. Cette variation des puissances peut être due probablement à la pente, ou bien à la présence des failles synchrones à la sédimentation (SynSédimentaires).

Suivant la même direction (de E vers W) on remarque l'apparition des blocs locaux de calcaires dans les niveaux phosphatés C2, C3 dans EZCN, puis des liserées de marnes et des blocs continus de calcaires dans le PEZCN.

En plus de la variation latérale de faciès les niveaux phosphatés s'enrichissent en BPL du **Prolongement Extension Zone Centrale Nord** vers la **Zone Centrale sud**, ces variations de faciès peuvent être dues aux variations eustatiques (Transgression-Régression). On remarque aussi que la granulométrie du phosphate augmente de W (PEZCN) vers l'E (ZCS), qui témoigne d'une phase transgressive progradante (Les grains plus fins à la base, les plus grossiers au sommet).

En générale les niveaux phosphatés sont limités par les calcaires à la base qui se déposent dans des milieux peu profonds et agités et couverts par les marnes qui se déposent dans les milieux profonds et calmes de point de vue hydrodynamique. **C'est une sédimentation cyclique.**

B. Corrélation N-S : allant de ZCS vers EZCS :

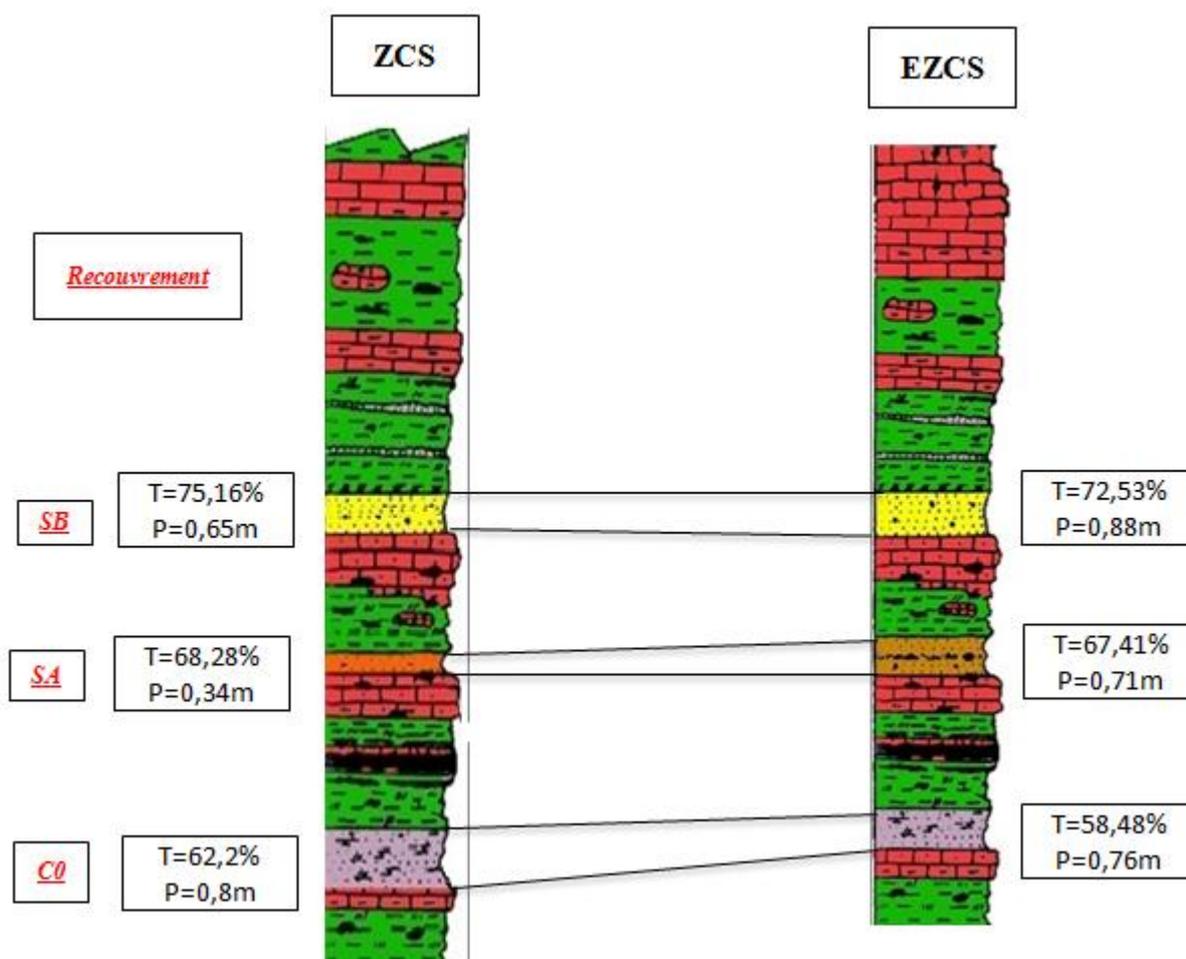


Figure 26: Corrélation N-S des niveaux phosphatés SB, SA, C0.

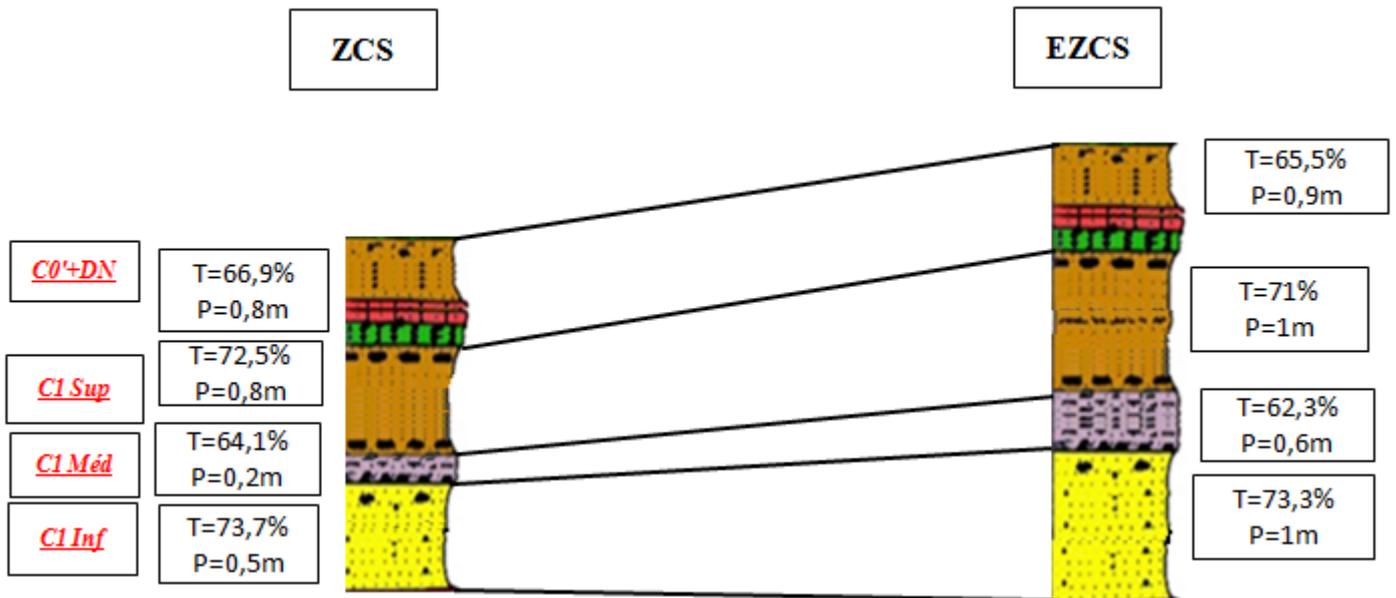


Figure 27: Corrélation N-S des niveaux phosphatés C0'+DN et la C1.

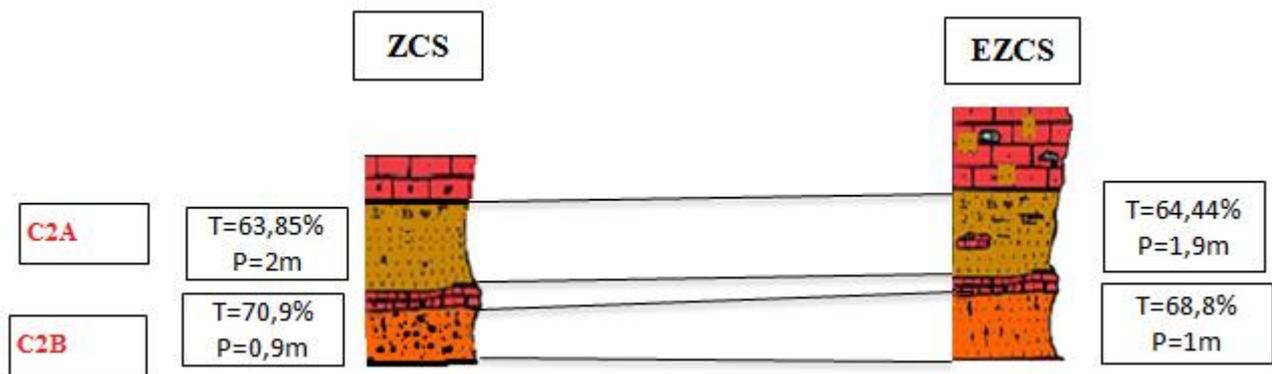


Figure 28: Corrélation N-S de la Couche 2.

⇒ **Interprétation :**

La deuxième corrélation suivant la direction N-S on remarque que tous les niveaux phosphatés SB, SA, CO', C1, C2 et C3 deviennent puissant vers le sud (EZCS) sauf la couche 0 qui devient puissante. Ainsi que la granulométrie du phosphate diminue suivant la même direction, par exemple : la C3 Inf dans la ZCS composée de phosphate grossier par contre à l'EZCS les phosphates de la C3Inf deviennent de plus en plus marneux.

➡ De manière générale plus le niveau phosphaté est puissant plus sa teneur est faible.

Chapitre 4 : Prospection

I. Introduction :

Pour la détermination des faciès, le prospecteur se base sur plusieurs critères :

- Selon le degré d'induration : faciès meubles, faciès indurés, consolidés ou silicifiés.
- Selon la nature des éléments figurés : granulaires, bioclastiques.
- Selon la couleur : claire, noire, rouge...

II. Méthodes de reconnaissance :

A partir des puits des sondages et des tranchées, on peut avoir des informations pour la reconnaissance et la définition du gisement.

* Puits de reconnaissance:

Ce sont des ouvrages creusés à une maille bien déterminée allant de 6000 (m) à 250 (m), et régulière jusqu'à ce qu'elle atteigne une profondeur bien définie par le prospecteur lui-même. Ce dernier doit également se servir des puits locaux déjà creusés auparavant.

* Sondages :

Ces ouvrages sont creusés dans les exceptions suivantes :

- Si le premier niveau phosphaté est profond d'une centaine de mètres.
- Lorsque la reconnaissance par puits s'avère difficile à exécuter surtout dans les zones noyées.

III. Etapes de caractérisation des gisements de phosphate :

La reconnaissance des gisements phosphatés passe par les étapes suivantes :

* Exploration, prospection et reconnaissance géologique :

- Collecte des indices sur le gisement.
- Exploration à la maille lâche.
- Resserrement des mailles de reconnaissance jusqu'à 500m.

* Reconnaissance topographique :

- Elaboration d'une couverture topographique à une grande échelle.

* Etude géologique globale :

- Préparation du dossier (fond topographique, plan de base...).
- Identification des niveaux.
- Calcul des paramètres moyens physiques et chimiques au niveau de l'ouvrage par pondération.
- Etablissements des tableaux de données.
- Délimitation de la zone à étudier (traçage d'affleurements...).

- Etablissements des cartes des différents paramètres : cartes iso-teneurs, iso-puissances....
- Calcul des réserves par tranches de recouvrements au niveau du gisement.

* Etude géologique spécifique :

- Etude par panneau ou par lot selon le découpage de l'exploitant.
- Etude géologique en tenant compte des critères de l'exploitant (par tranches de recouvrement, par faciès...).
- Limites des zones des différentes qualités de phosphate.
- Calcul des réserves.

* Etude minière :

- Etude d'une unité minière (panneau, lot, mine...).
- Limite des zones (à exploiter, faible puissance, faible teneurs...).
- Matérialisation des affleurements.
- Traçage des tranchées d'exploitation.
- Elaboration du projet d'exploitation.

Chapitre 5 : Les phases d'exploitation et le rôle du prospecteur dans chaque phase :

1. Exploitation :

L'extraction d'une couche phosphatée se fait par tranchée de 40m de largeur et d'une longueur du circuit bien déterminée (plus que 5 km).

Dans le secteur MEA l'exploitation se fait à ciel ouvert et la chaîne cinématique se résume comme suit :

A. Foration :

- **Définition :**

Cette opération consiste à déterminer dans un premier temps la maille de foration qui dépend de la dureté du terrain à forer, la puissance de l'explosif ainsi que la granulométrie désirée (**Tableau 2**), ensuite le diamètre du forage (9 pouces), puis la profondeur, et parfois l'inclinaison des forages pour orienter le sautage et faciliter le décapage. (**Photo 5**).

Niveau foré	Maille utilisée
Terrain naturel/sillon B	8x8 pour Bulldozers 9x9 pour dragline
TN/SA TN/CI	5x5 coté parement ou 7x7
Intercalaire A/CI	
Intercalaire CI/CII	
Intercalaire CIII/CII	

Tableau 2: Mailles utilisées à M.E.A



Photo 5: Sondeuse à foration inclinée 30 à 40°, série phosphatées renversée (Cuttings)

B. Sautage :

- **Définition :**

Dans un chantier de terrassement, les terrains nécessitent souvent une certaine fragmentation plus ou moins importante suivant les caractéristiques des différents engins et machines de terrassement. Pour cela on procède à l'opération de sautage par l'explosif « Ammonix » de composition chimique : 93,3% de nitrate d'ammonium, 6% de fuel d'oil, 0,7% d'anti- massant (contre l'humidité).

On met en face de la partie dure l'explosif, et on remplit la partie fragile par les Cuttings (**Figure 29**).

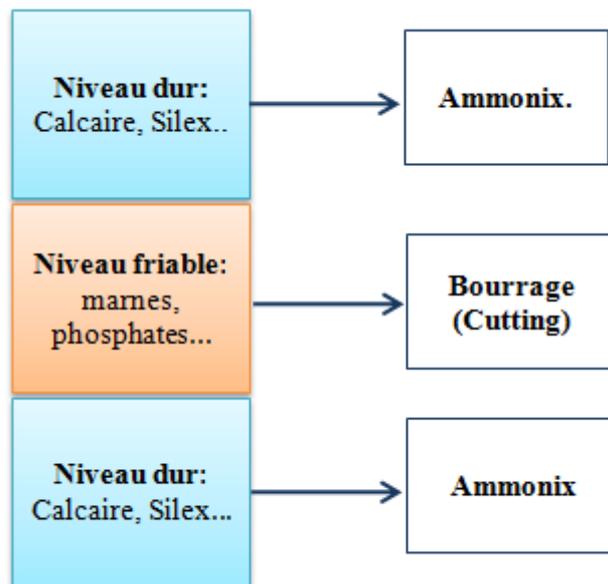


Figure 29: Schéma explicatif du remplissage des trous de foration.

C. Décapage :

- **Définition :**

C'est l'enlèvement des morts terrains ou stériles qui recouvrent une ou plusieurs couches de minerai (phosphate). Ces morts terrains peuvent, soit être rejetés dans la tranchée précédente (n-1) dont on a enlevé le minerai, soit être transportés dans une zone de dépôts.

Le décapage se fait selon trois méthodes :

- ✓ **Décapage par poussage :**

Cette méthode consiste à pousser les morts terrains (stériles) sautés, de la tranchée en cours d'exploitation (n) vers la tranchée adjacente déjà exploitée (n-1) dans le cas où on a assez d'espace, ou bien à l'extérieur du gisement dans le cas des affleurements à l'aide d'un buteur Bulldozer. (**Photo 6**).



Photo 6: Décapage par poussage vers la tranchée (n-1) déjà exploitée.

✓ **Décapage par Casement :**

A l'aide d'une dragline, qui construit des tas par les morts terrains vers le côté déblais.

On passe pour ce type de décapage dans le cas où on a le niveau sauté est le même que le niveau déblais, (**Photo 7**). En plus de la machine **M7900** qui effectue les 30% du rendement de la mine M.E.A avec un godet qui porte 34 m³ d'intercalaire et son rendement est de 700 800 m³/h.



Photo 7: Décapage par Casement (Engin 195M).

✓ **Décapage par transport :**

Consiste à transporter les terrains morts par des camions de grande capacité (110T, 170T et 190T), dans le cas où la hauteur du déblai dépasse la capacité de la machine de Casement, jusqu'au décharge, où ils jettent ces déblais. (**Photo 8**).



Photo 8: Camion de transport Komatsu 730E (190T).

Le choix des types de décapage est illustré par les schémas suivants : **(Figure 30).**

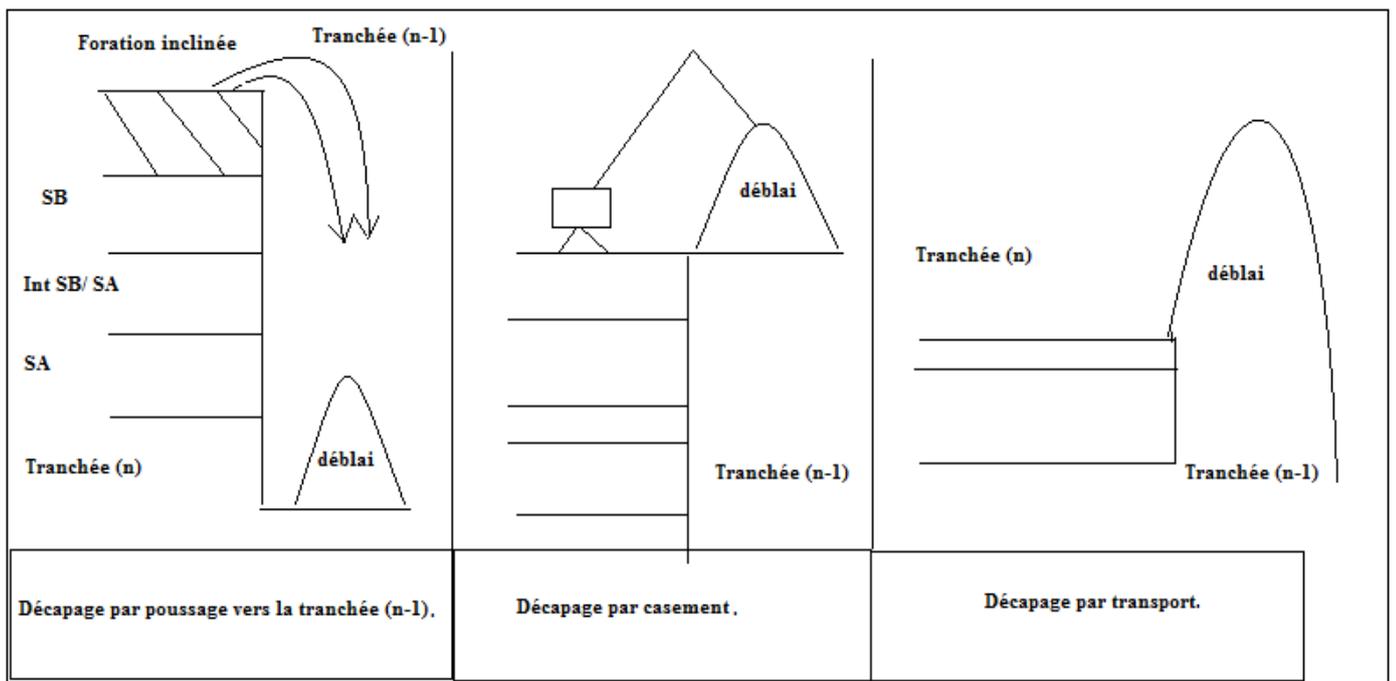


Figure 30:Schéma illustrant le choix des types de décapage.

- ⇒ Le niveau décapé doit être obligatoirement nettoyé avant que la phase de défruitage aura lieu.
- ⇒ On procède directement au décapage par transport dans deux cas :
 - * Le cas où on a une nouvelle zone d'exploitation: pour tracer le BOX-CUT (Chemins de passage des machines).
 - * Dans le cas d'un côté d'affleurement.

D. Défruitage :

Une fois l'opération de décapage ou l'enlèvement du stérile est terminée, on procède au de la couche phosphatée par chargement et transport à l'aide des camions vers les trémies d'épierrage et de criblage. (Voir photos 16 et 17), ou bien vers les stocks dans deux cas :

- ✓ Les trémies non plus disponibles.
- ✓ Changement de teneurs.

Dans le cas où on un niveau phosphaté puissant, la machine chargeuse passe directement au défruitage des phosphates en place, phosphates du côté parement et la récupération des phosphates du côté berme*.

* **La berme est un espace entre le pied du cavalier (stérile) et le pied du faisceau phosphate.**



Photo 9: Phase du défruitage.

Le deuxième cas où on a un niveau phosphaté de faible puissance, on passe par une étape de **Gerbage**, cette étape consiste à pousser les phosphates sous forme d'un tas pour que la machine puisse le charger dans les camions de transport.

E. L'épierrage, criblage et la mise en stock :

Le phosphate déversé sur les trémies subit les opérations suivantes :

- Epierrage sur un crible de maille 90*90. (Voir photo 18).
- Le refus de ce crible est concassé afin de réduire sa dimension à moins de 200 mm avant de l'acheminer vers les terrils (Mise à Terril).
- Le passant du crible est envoyé vers les stations de criblage de maille 30*50 mm, puis d'un crible de maille 15*30 mm, puis acheminé vers le parc de stockage.



Photo 10: Maille du criblage 90*90mm.

3. Le rôle du prospecteur dans les phases d'exploitation :

Le prospecteur joue un rôle primordial dans le chantier pour assurer le suivi des phases d'exploitation afin de garder la qualité et le tonnage du minerai :

A. Suivi de la foration :

Le prospecteur dans cette phase doit contrôler la profondeur forée on se basant sur les cuttings, en plus de la profondeur déduite à partir du côté parement, par la suite il dresse une coupe approximative de foration. Dans le cas où on a des dérangements, il demande de forer des trous intermédiaires (serrer la maille aux alentours de ces derniers) afin de les délimiter et d'augmenter la force de l'explosif Ammonix pour avoir une fragmentation intense.

B. Suivi du sautage :

Au cours de cette phase le prospecteur contrôle le remplissage des trous de foration, en remplissant les niveaux tendres par les cuttings (Bourrage), et les niveaux durs par l'explosif (Ammonix).

C. Suivi de décapage :

Dans cette phase, par identification des niveaux repères, le prospecteur suit le décapage des intercalaires puis le nettoyage du toit des niveaux phosphatés pour éviter toute source de salissement du minerai.

D. Suivi du défruitage :

Le but du prospecteur dans cette étape est de garder la qualité du niveau phosphaté, et veiller sur l'exécution d'une bonne berme afin d'éviter toute perte du minerai sous cavalier (Stérile), et la bonne récupération des phosphates.

E. Gestion et suivi des stocks :

Une fois le minerai phosphate transporté par les camions vers les trémies, ou bien vers les stocks le prospecteur doit contrôler la mise en stock pour garder la même teneur dans chaque stock et éviter tout contact entre eux.

Chapitre 6 : Etude des différents scénarios d'exploitation par zone.

Pour la détermination de la moyenne pondérée de chaque niveau phosphaté, on utilise la formule suivante :

$$\text{Moyenne Pondérée (\%)} = \frac{\sum (\text{Puissance (m)} * \text{Teneur (\%BPL)})}{\sum (\text{Puissances})}$$

I. Méthodes d'exploitation:

On peut élaborer un plan d'exploitation des couches phosphatées dans différentes zones **E.Z.C.N**, **E.Z.C.S**, **Z.C.S** par deux méthodes :

1. Méthode sélective :

Consiste à défruire chaque niveau phosphaté indépendamment de l'autre avec l'élimination des intercalaires, par exemple, la C1 supérieure, C1 Médiane et C1 Inférieure.

⇒ **Les avantages de la méthode sélective :**

- La préservation des teneurs des couches riches.
- Diminution des coûts de traitement.

⇒ **Les inconvénients de la méthode sélective :**

- Augmentation du nombre des opérations.
- Faible taux d'utilisation des machines.
- Le faible rendement des machines.

2. Méthode globale :

Consiste à défruire la couche 1 toute entière (C1 Inf+ C1 Méd+ C1 Sup).

La sélectivité de ces scénarios est due principalement à la variation de la qualité du phosphate que les couches recèlent, ainsi qu'au besoin de l'exploitant.

⇒ **Les avantages de la méthode globale :**

- L'amélioration du taux de récupération.
- L'amélioration du rendement des machines.
- La réduction du nombre d'opération.

⇒ **Les inconvénients de la méthode globale :**

- Mélange du stérile avec le minerai pendant le sautage.
- Salissement du phosphate : c'est-à-dire diminution de sa teneur.

II. Extension Zone Centrale Sud (EZCS) :

Saignée	Puissance (m)	BPL(%)	Moyenne Pondérée (%)	Saignée	Puissance (m)	BPL(%)	Moyenne Pondérée %
E1	0,7	67,6	67,33 (BTR)	E1	0,8	74,1	73,45 (THT)
E2	0,7	65,6		E2	0,8	71,3	
E3	0,8	68,5		E3	0,9	72,8	
E4	0,8	67		E4	0,9	74,6	
E5	0,6	69		E5	0,9	73,5	
E6	0,6	66,3		E6	1,0	74,2	

Tableau 3: Scénario d'exploitation du Sillon B et Sillon A.

⇒ Les sillons B et A s'exploitent par la méthode sélective vue leurs faibles puissances et qu'ils sont isolés chacun de l'autre par l'intercalaire SB/SA (1,81m de puissance), donc si on veut exploiter les deux sillons par la méthode globale, l'intercalaire (calcaire Coprolithique+ marnes) va diminuer la teneur des deux sillons.

NB : le sillon B est toujours riche en BPL par rapport au sillon A.

Niveau phosphaté	Puissance (m)	BPL(%)	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3
C0'+DAN	0,8	65,5	67,0 (BTR)	65,5 (BTR)	68,87 (MT)
C1 Sup	1,0	71,1		69,91 (HTM)	
C1 Méd	0,6	62,3	73,3 (THT)		
C1 Inf	1,0	73,3			

Tableau 4: Scénarios d'exploitation de la DN+C1.

⇒ D'après l'échantillonnage que nous avons réalisé on remarque que la C1 Supérieure et la C1 Inférieure sont riches en BPL, elles titrent respectivement une moyenne de 71,1(HTN) % et 73,3% (HTN) par contre, la partie médiane ne titre que 62,3% (BTP), et que la C 1 globale titre une teneur moyenne de 68,87% BPL (MT).

⇒ L'analyse de ces données nous a permis d'effectuer une comparaison entre les deux méthodes d'exploitation globale et sélective et conclure que la première est la plus rentable en termes de quantité (tonnage) et qualité (scénario 3).

⇒ Parfois on procède au deuxième scénario, si on a besoin d'un important volume de l'HTM, et au premier scénario si on a un besoin de la BTR.

Niveau phosphaté		Puissance (m)	BPL(%)	Scénario 1	Scénario 2
C2A	N3	0,6	62,4	64,45 (BTN)	65,94 (BTR)
	N2	0,6	64,1		
	N1	0,7	66,5		
C2B		1,0	68,8	68,8 (MT)	

Tableau 5: Scénarios d'exploitation de la couche 2.

- ⇒ On passe à la méthode sélective lorsque l'apport de la méthode globale est toujours pauvre de point de vue BPL, ce qui est le cas.
- ⇒ La méthode globale (C2A+2B) a une moyenne pondérée de 65,94% (BTR) alors que la méthode sélective :
- (C2A) a une moyenne de : 64,45 % (BTN) avec 1.9m de puissance.
 - (C2B) a une moyenne de : 68,8 % (MT) avec 1m de puissance.
- ⇒ Donc d'après le tableau, le scénario 1 on aura un gain de qualité (MT) mais une perte de tonnage.

Niveau phosphaté		Puissance (m)	BPL(%)	Scénarios d'exploitation
C2	C2A	N3	0,6	62,4
		N2	0,6	64,6
		N1	0,7	62,2
	C2B	1,0	69,5	56,59 (TBT)
Inter C2/C3		0,9	32,8	
C3 Sup		1,2	53,7	
Inter C3 Sup/C3 Inf		0,4	43,0	
C3Inf		2,9	58,4	

Tableau 6: scénario d'exploitation de la C2+C3 globale.

- ⇒ L'ensemble C2+C3 s'exploite globalement avec une moyenne de 56,51 % avec une teneur TBT.

Niveau phosphaté		Puissance (m)	BPL(%)	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3
InterC2/C3		0,9	32,8	32,8 (NC)	32,8 (NC)	51,9 (NC)
C3 Sup		1,2	53,7	53,7 (NC)	55,8 (TBT)	
InterC2 Sup/C3 Inf		0,4	43,0	43,0 (NC)		
C3 Inf	Supérieur	1,4	55,9	58,4 (TBT)		
	Inférieur	1,5	60,7			

Tableau 7: Scénarios d'exploitation de la C3.

⇒ D'après les trois scénarios proposés : le scénario le plus rentable est celui dans lequel on élimine intercalaire C2/C3, pour avoir la couche 3 globale (TBT) (Scénario 2), dans le but de garder le niveau à qualité élevée, le maximum de tonnage, et le minimum d'opérations.

III. Extension Zone Centrale Nord (EZCN):

Saignée	Puissance (m)	BPL (%)	Moyenne pondérée %
E1	0,7	66,0	66,8 (BTR)
E2	0,75	67,2	
E3	0,8	66,8	
E4	0,9	68,1	
E5	0,85	65,6	
E6	0,8	67,3	

Saignée	Puissance (m)	BPL(%)	Moyenne Pondérée %
E1	0,8	72,74	72,4 (HTN)
E2	0,7	72,3	
E3	0,7	72,1	
E4	0,8	72,5	
E5	0,8	72,8	
E6	0,9	71,8	

Tableau 8: Scénarios d'exploitation du Sillon B et du Sillon A.

⇒ Les sillons B et A sont toujours exploités par la méthode sélective.

Niveau phosphaté	Puissance(m)	BPL(%)	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3
C0'+DAN	0,8	63,01	63,5 (BTN)	63,01 (BTN)	65,84 (BTR)
C1 Sup	0,9	67,1		66,8 (BTR)	
C1 Méd	0,65	59,27			
C1 Inf	0,8	72,6	72,6 (HTN)		

Tableau 9: Scénarios d'exploitation de la DN et de la Couche 1.

- ⇒ Le scénario qu'on propose dans l'EZCN pour exploiter la couche1+ (C0'+DAN) est le scénario 1: la couche1 inférieur titre un BPL= 72,6% (HTN) et le reste titre un BPL= 63,5% (BTN).
- ⇒ Des fois on peut utiliser aussi le deuxième scénario si on a besoin de la BTR on élimine la C0'+DAN sous forme de BTN.

Niveau phosphaté		Puissance (m)	BPL(%)	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3
C2A	N2	1,3	62,4	62,4 (BTP)	67,77 (BT)	65,59 (BTR)
	N1	0,9	66,2	63,95 (BTN)		
C2B		1,0	69,2		69,2 (MT)	

Tableau 10: Scénarios d'exploitation de la couche 2.

- ⇒ Le scénario le plus rentable est le scénario 2 car la C2B donne un BPL de 69,2%MT, on gagne 1m MT, 2,2m BT. Selon le besoin on exploite la couche 2 de plusieurs méthodes : par exemple si on a besoin de la BTR on prend la C2 globale (scénario 3), si on a besoin de la BTN on procède au premier scénario.

NB : La couche 2B est toujours riche par rapport à la couche 2A.

Niveau phosphaté			Puissance (m)	BPL (%)	Scénario 1
C2	C2A	N2	1,3	62,4	54,95 (TBT)
		N1	0,9	66,2	
	C2B		1,0	69,2	
Inter C2/C3			0,4	25,7	
C3 Sup			2,1	53,25	
Inter C3 Sup/C3 Inf			0,2	36,3	
C3 Inf	N2	1,2	47,6		
	N1	1,3	50,16		

Tableau 11: Scénarios d'exploitation de la Couche 2 et de la Couche 3.

Dans l'EZCN la couche 2 + couche 3 sont exploitées globalement avec deux teneurs différentes : TBT et Non Conforme, cette différenciation de teneur est due principalement à la puissance de l'intercalaire C2/C3 qui est composé de calcaires+ marnes.

- Si on calcule la moyenne pondérée avec 0,9m de l'intercalaire C2/C3 : (0,5m calcaires+0,4m marnes) elle nous donne une teneur non conforme NC, (Scénario 2).
- Si on calcule la teneur de C2+C3 avec seulement 0,4m des marnes de l'intercalaire (pendant la phase du criblage, les calcaires puisqu'ils sont sous forme de blocs durs, ils se séparent des phosphates, juste les marnes tendres passent dans le crible de maille (90*90) on va avoir (C2+C3) TBT.

Niveau phosphaté	Puissance (m)	BPL(%)	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3
InterC2/C3	0,4	25,7	25,7 (NC)	25,7 (NC)	45,52 (NC)
C3 Sup	2,1	53,25	53,25 (NC)	50,29 (TBT)	
InterC2 Sup/C3 Inf	0,2	36,3	36,3 (NC)		
C3 Inf	N2	1,2	47,6		
	N1	1,3	50,16		

Tableau 12: Scénarios d'exploitation de la couche 3.

Le scénario proposé pour exploiter de la couche 3 : est le deuxième dans lequel on élimine l'intercalaire C2/C3, c'est le seul scénario qui nous donne la qualité TBT avec moins d'opérations, et plus de tonnage.

La méthode globale (Scénario 3) n'est plus rentable dans ce cas, car il nous donne une teneur non conforme.

IV. Zone Centrale Sud (ZCS) :

Saignée	Puissance (m)	BPL(%)	Moyenne Pondérée (%)	Saignée	Puissance (m)	BPL(%)	Moyenne Pondérée (%)
E1	0,3	66,4	68,38 (MT)	E1	0,6	75	75,15 (SHT)
E2	0,4	67,7		E2	0,6	75,3	
E3	0,4	68,2		E3	0,6	76,1	
E4	0,4	69,7		E4	0,7	76,2	
E5	0,5	68,7		E5	0,7	74,1	
E6	0,4	69,1		E6	0,7	74,3	

Tableau 13: Scénarios d'exploitation du Sillon B et du Sillon A.

- ⇒ Comme cité avant, le sillon B est toujours riche en BPL par rapport au sillon A.
- ⇒ Les sillons sont caractérisés par leur exploitation sélective.

Niveau phosphaté	Puissance (m)	BPL(%)	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3
C0'+DAN	0,8	66,9	67,1 (BTR)	66,9 (BTR)	70,08 (HTM)
C1 Sup	0,8	72,5		71,8 (HTN)	
C1 Méd	0,2	64,1			
C1 Inf	0,5	73,7	73,7 (THT)		

Tableau 14: Scénarios d'exploitation de la DN et de la couche 1.

- ⇒ D'après le tableau, la méthode globale est celle la plus rentable de point de vue qualité et tonnage, mais si on a besoin de la HTN, on procède au deuxième scénario, or si on a un besoin de la BTR, le premier scénario est celui qu'on va prendre en considération.

Niveau phosphaté	Puissance(m)	BPL(%)	Scénario 1	Scénario2
C0'+DAN	0,8	66,9	66,9 (BTR)	67,82 (BTR)
C1 Sup	0,8	72,5	67,99 (MT)	
C1 Méd	0,2	64,1		
C1 Inf	0,5	73,7		
Inter C1/C2	*	*		
C2A	0,6	59,2		
	0,9	65,2		
	0,5	67		
C2B	0,9	70,9		

Tableau 15: Scénario d'exploitation de la Couche 1+ Couche 2.

- ⇒ Le premier scénario nous permet d'avoir deux qualités : MT avec un grand volume et la BTR mais de faible puissance, or le deuxième, il nous donne que la basse teneur riche BTR avec un volume important.
- ⇒ Comme le but du prospecteur est de garder la teneur riche avec un tonnage important, donc la méthode sélective est celle qu'on applique (Scénario1).

Niveau phosphaté		Puissance(m)	BPL(%)	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3
C2A	N3	0,6	59,2	62,8 (BTP)	63,85 (BTN)	66,4 (BTR)
	N2	0,9	65,2			
	N1	0,5	67,0	69,48 (MT)		
C2B		0,9	70,9		70,9 (HTM)	

Tableau 16: Scénario d'exploitation de la couche 2.

- ⇒ La méthode qu'on va utiliser pour exploiter cette couche (C2) est la méthode sélective et plus précisément la sélectivité du scénario2 qui consiste à exploiter la C2A indépendamment de la C2B.

NB : La C2B (HTM) est plus riche que la C2A (BTN).

- ⇒ Parfois, on procède au premier scénario si on a besoin de la MT et la BTP ou bien à la méthode globale si on a besoin de la BTR.

Chapitre 7 : Les plans d'actions pour l'optimisation des scénarios d'exploitation du phosphate et leur impact économique.

Pour choisir un plan d'action pour optimiser les scénarios d'exploitation, il faut tout d'abord choisir le meilleur scénario de telle façon à avoir la qualité riche avec un maximum de tonnage, et un minimum d'opérations, (économiquement rentable).

Comment traiter les différentes qualités du phosphate ?

- ✚ La qualité riche du phosphate passe directement par un lavage simple pour améliorer sa qualité, ou bien sous forme de phosphate brute séché pour être commercialiser par la suite.
- ✚ La qualité pauvre est très couteuse que la qualité riche car elle passe par un lent traitement : lavage simple, lavage + flottation ou bien Lavage+ Broyage+ Flottation (**procédé de séparation solide-liquide**) cette dernière est la plus couteuse. (Plus le nombre des phases de traitement est grand plus la qualité pauvre est améliorée et plus le coût de traitement est important).

I. Extension Zone Centrale Sud (EZCS) :

1. Couche 0'+ DAN+ C1 :

A. Calcul des réserves :

Pour déterminer le volume de chaque niveau de la couche 1, et de la couche 1 globale on utilise la relation suivante :

$$\boxed{V = P * S}$$

Dont :

- V : Volume m³.
- P : moyenne arithmétique de la puissance (%).
- S : Surface m².

On a la surface : $\boxed{S = L * l}$ avec :

$$\begin{cases} L = 300\text{m} \\ l = 100\text{m} \end{cases} \Rightarrow \boxed{S = 300 * 100 = 30000\text{m}^2}$$

a. Calcul de volume sélectif de la couche 1:

Niveau phosphaté		Puissance (m)	Surface (m ²)	Volume(m ³)
C0'+ DN		0,8	30000	24000
C1	Supérieure	1,0		30000
	Médiane	0,6		18000
	Inférieure	1,0		30000

Tableau 17: Volume sélectif de la Couche 1 et de la DN.

b. Calcul de tonnage sélectif de la couche 1 :

Le tonnage de phosphate est calculé en multipliant le volume du niveau par un coefficient $k(t/m^3)$. Ce dernier est donné par des études faites avant par le Groupe OCP ; il varie selon la teneur en BPL et la densité du phosphate, on a :

- K= 1.13 pour une qualité HT.
- K= 0.55 pour une qualité TBT.
- K= 1.25 pour une qualité MT.

$$T (t) = K (t/m^3) * V (m^3).$$

Niveau phosphaté		BPL(%)	Qualité	K (t/m ³)	volume (m ³)	Tonnage (t)
C0'+ DN		65,5	BTR	0,55	24000	13200
C1	Supérieure	71,7	HTM	1,13	30000	33900
	Médiane	62,3	BTP	0,55	18000	9900
	Inférieure	73,3	THT	1,13	30000	33900

Tableau 18: Tonnage sélectif de la couche 1.

Les résultats des deux tableaux montrent une relation entre la qualité et le tonnage, si la qualité d'un niveau de la couche 1 augmente on a une augmentation de tonnage car le coefficient K de la qualité BT est plus petit que celle de la HT.

• Le coût de traitement des qualités du phosphate :

- Coût de traitement de la Haute Teneur : **10DH/t.**
- Coût de traitement de la Moyenne Teneur : **14DH/t.**
- Coût de traitement de la Basse Teneur : **45DH/t.**

Pour la couche 1 sélective :

C0'+ DN (BTR) :

On a : 1 t → 45 DH
13200 t → 594000 DH.

C1 Médiane (BTP) :

1t → 45 DH
9900 t → 445500 DH

C1 Supérieure (HTM) :

1t → 10 DH
33900 t → 339000 DH

C1 Inférieure (THT) :

1 t → 10 DH
33900 t → 339000 DH

Le coût total de traitement de la C1 sélective = 1 717 500 DH

c. Calcul du volume et du tonnage de la C1 globale sans C0'+DAN :

Niveau phosphaté		Puissance moyenne (m)	BPL(%)	Qualité	surface (m ²)	volume (m ³)	Tonnage (t)
C0'+ DN		0,8	65,5	BTR	30000	24000	13200
C1	Supérieure	2,6	69,91	HTM		78000	88140
	Médiane						
	Inférieure						

Tableau 19: Volume et tonnage de la couche 1 globale.

Pour la couche 1 globale :

C0'+ DN (BTR) :

On a : 1 t → 45 DH
13200 t → 594000 DH.

C1 global (HTM) :

1t → 10 DH
88140 t → 881400 DH

Le coût total de traitement de la C1 globale = 1 475 400 DH

Méthode d'exploitation	Coût de traitement	Comparaison
Sélective	1 717 500	d'après les calculs, la méthode d'exploitation sélective est plus couteuse que la méthode globale, la première nécessite plus d'opérations (foration, décapage, transport..)
Globale	1 475 400	

Tableau 20: Récapitulatif des deux méthodes d'exploitation de la couche 1.

La méthode globale est la plus rentable de point de vue tonnage et coût de traitement, même si qu'elle ne marque pas d'importance de point de vue qualité (MT).

2. Couche 2 et couche 3 :

Niveau phosphaté		BPL(%)	Puissance (m)	Surface (m ²)	Volume (m ³)	Tonnage (t)	Coût de traitement (DH)
C2	C2A	65,64 (BTR)	2,9	30000	87000	47850	2153250
	C2B						

Tableau 21: Coût de traitement de la couche 2 globale.

Niveau phosphaté	BPL(%)	Puissance (m)	Surface (m ²)	Volume (m ³)	Tonnage (t)	Coût de traitement (DH)
C2+C3G	65,64 (BTR)	2,9	30000	87000	47850	2153250

Tableau 22: Coût de traitement de la couche 3 globale.

Niveau phosphaté	BPL(%)	Puissance (m)	Surface (m ²)	Volume (m ³)	Tonnage (t)	Coût de traitement (DH)
C2+C3 (Globale)	56,59 (TBT)	8,3	30000	249000	136950	6162750

Tableau 23: Coût de traitement total de la (Couche2+ Couche3) globale.

⇒ Analyse et interprétation :

D'après le calcul des coûts de traitements de la couche 2 et de la couche 3 on en déduit que le plan d'action le plus rentable est celui de l'exploitation de la couche 2 + Couche 3 globale. Si on compare le coût de traitement de la C2 globale + la C3 globale (9504000 DH) et le coût de traitement de (C2+C3) globale (6162750 DH), on constate que l'exploitation la plus rentable est celle de C2+ C3 globale et on aura un gain de 3341250 DH.

Niveau phosphaté	Puissance (m)	BPL (%)	Surface (m ²)	Volume (m ³)	Tonnage (t)	Coût de traitement (DH)
C0' + DAN	0,8	65,5 (BTR)	30 000	24 000	13 200	594000
C1+C2	5,6	68,28 (MT)	30 000	168 000	210 000	2 940 000

Tableau 24: Coût de traitement de la C1+C2 globale sans C0'.

Avec l'élimination de la couche 0'+ DAN (BTR), on obtient C1+C2 globale avec une teneur riche (MT) avec un coût de traitement =2 940 000DH pour 5,6m de puissance.

Niveau phosphaté	Puissance (m)	BPL (%)	Surface (m ²)	Volume (m ³)	Tonnage (t)	Coût de traitement (DH)
(C0'+C1+C2) Globale	6,4	67,93 (BTR)	30 000	192 000	105 600	4 752 000

Tableau 25: Coût de traitement de la C0'+C1+C2 globale.

En comparant les coûts des traitements de C1+C2 sans C0'+ DAN qui valent respectivement 594 000DH, 2 940 000DH et celui de C0'+C1+C2 globale 4 752 000DH on en déduit dans ce cas que la méthode sélective (C1+C2 avec élimination de C0'+DAN) est plus rentable que la méthode globale avec un gain de la qualité riche (MT) et de 1218000DH.

Niveau phosphaté	Puissance (m)	BPL(%)	Surface (m ²)	Volume (m ³)	Tonnage (t)	Coût de traitement (DH)
C0'+DAN +Couche1 +Couche2 +Couche3	11,2	61,56 (BTP)	30 000	336 000	184800	8316000

Tableau 26: Coût de traitement de la DN+C0'+C1+C2+C3 globale.

On a le coût de traitement :

(C0'+C1) MT	→	1475400 DH	}	7638150 DH
(C2+C3) TBT	→	6162750 DH		
(C0'+C1+C2+C3) BTP	→	8316000 DH		

$$8316000 \text{ DH} - 7638150 \text{ DH} = 677850 \text{ DH}$$

⇒ La méthode sélective est économiquement rentable, en plus on aura un gain de la qualité MT.

Conclusion générale

- ✓ La sédimentation des phosphates est cyclique: calcaires, phosphate, marnes...
- ✓ Description de la série phosphatée et interprétations.
- ✓ De manière générale, plus le niveau phosphaté est puissant plus sa qualité (BPL) est faible.
- ✓ La présence des marnes dans le niveau phosphaté provoque la diminution de sa teneur, en plus qu'elles causent des problèmes de décharge du phosphate au niveau de la trémie.
- ✓ Le coût du traitement de la qualité riche du phosphate est moins coûteux que celui des basses teneurs.
- ✓ Le choix des scénarios doit répondre au besoin du client, maximiser la qualité riche et le tonnage avec un minimum d'opérations (forage, sautage, décapage, défruitage).

Références bibliographiques :

- Boujo, A : Contribution à l'étude géologique du gisement de phosphate crétacé-éocène des Ganntour (Maroc occidental) ". Notes & M. Serv. Géol., Maroc, n° 43. (1976).
- CHOUBERT G. & SALVAN H. (1949), Essai sur la paléogéographie du sénonien au Maroc. Notes Serv. Géol. Maroc, P 2, 4, 15-30.
- BELFKIRA, O (1980). Evolutions sédimentologiques et géochimiques de la série phosphatée du Maestrichtien des Ouled Abdoun (Maroc). Thèse spécialité, Nancy, P 3.
- Mohamed BOUABDELLI. Tectonique de l'Est du Massif hercynien central (zone d'Azrou-Khénifra), Bull. Insl. Sei., Rabat, 1994, W 18, pp. 145-168
- KAZAKOV. H, (1937). The Phosphorites faciès and the genesis of Phosphorites, Trans, sci. Inst. Fertile.