

- **OCP** : Office Chérifien des Phosphates
- **MEA** : Merah El Ahrach
- **BPL** : Bone Phosphate Lime
- **TN** : Terrain Naturel
- **SB** : Sillon B
- **SA** : Sillon A
- **C_I** : Couche I
- **C_{II}** : Couche II
- **C_{III}** : Couche III
- **C_{IIG}** : Couche II Globale
- **C_{IIIG}** : Couche III Globale
- **C₀** : Couche 0
- **C_{0'}** : Couche 0'
- **THT** : Très Haute Teneur
- **BT** : Basse Teneur
- **MT** : Moyenne Teneur
- **HTN** : Haute Teneur Normale
- **TBT** : Très Basse Teneur
- **HTM** : Haute Teneur Moyenne
- **EZCS** : Extension Zone Centrale Sud
- **EZCN** : Extension Zone Centrale Nord
- **ZCS** : Zone Centrale Sud
- **ZCN** : Zone Centrale Nord

Sommaire

Avant-propos	1
Chapitre 1 : Introductions générales	2
I- Aperçu général sur la structure du Maroc	2
II- Aperçu géologique de la zone atlaso-mésétienne	3
III- Les bassins phosphatés marocains	4
1- La géologie des zones phosphatées marocaines	4
2- Bassin de Gantour	5
3- Bassin Meskala	6
4- Bassin Oued Eddahab	6
5- Bassin d'Ouled Abdoun	6
IV- Groupe OCP : Organigramme et historique	6
1- Historique	6
2- Organigramme	7
V- Historique sur la recherche et l'exploitation des phosphates au Maroc	7
1- Historique sur la recherche	7
2- Généralités sur les phosphates	8
a- Introduction	8
b- Caractéristiques chimiques et moléculaires	8
c- Phosphatogenèse	9
d- Teneurs des phosphates	10
e- Types de gisements	11
Chapitre 2 : Suivi d'exploitation des couches phosphatées au niveau de la mine MEA	12
I- Enoncé du sujet	12
II- Gisement d'Ouled Abdoun	12
1- Cadre géographique	12
2- Cadre géologique	12
3- Tectonique d'Ouled Abdoun	14
III- La mine de Merah El Ahrech	16
1- Situation géographique	16

2- Zones en activités	17
-----------------------------	----

IV- Etude géologiques et minière des couches phosphatées et des intercalaires 17

1- Découpage chrono-stratigraphique	17
2- Découpage minier	18
3- Les coupes moyennes par zone MEA	21

V- Contexte paléogéographique et paléontologique des zones phosphatées 23

1- Paléogéographie	23
2- Paléontologie	23

Chapitre 3 : Méthodes de prospection et d'exploitation 24

I- Méthodes de prospection 24

II- Méthodes d'exploitation..... 25

1- Méthodes sélective	25
2- Méthodes globale	25

III- Chaîne cinématique d'exploitation 26

1- Implantation des limites	26
2- Foration	27
3- Sautage	29
4- Décapage	31
5- Défruitage	34
6- Transport	35
7- Epierrage, criblage et mise en stock	36

IV- Plan d'action d'exploitation des couches phosphatées 37

V- Rôle du prospecteur dans les phases d'exploitation 40

1- Suivi de foration	40
2- Suivi de sautage	41
3- Suivi de décapage	41
4- Suivi de défruitage	42

Conclusion 43

AVANT-PROPOS

Les connaissances acquises lors des trois années de notre formation à la faculté des sciences et techniques de Fès, bien que diversifiées, ne peuvent être suffisantes pour nous faciliter l'insertion dans la vie active. C'est pourquoi, cette période de stage est très utile pour compléter l'aspect théorique de notre formation surtout si ce stage est effectué dans un organisme de grande ampleur et rayonnement national et international tel que le Groupe OCP.

C'était pour nous une occasion exceptionnelle d'étudier le rôle des prospecteurs dans les phases d'exploitation du phosphate. La présence des prospecteurs géologue au niveau de la mine est obligatoire dans le but d'assurer la récupération totale de minerai et la conservation de sa qualité.

Plus largement ce stage a été aussi pour nous l'opportunité de faire des visites quotidiennes des différentes zones d'exploitation minière, des suivies par des études de cas d'échantillonnages, une comparaison entre les méthodes d'exploitations (globale et sélective) et leur impact sur la préservation de la qualité et de la quantité extraite du produit..

Nous avons saisi donc cette opportunité pour enrichir nos acquisitions et travailler sur terrain selon une approche de collaboration et de travail d'équipe.

« Chapitre 1 : Introductions générales »

I- APERÇU GÉNÉRAL SUR LA STRUCTURE DU MAROC :

Le Maroc se situe au coin nord-ouest de la plateforme saharienne, il est entouré par les plaques mobiles de la mer méditerranée au Nord et l'océan atlantique à l'Ouest.

En effet, au cours de sa longue histoire géologique conditionnée par cette position de charnière, entre les continents africains, européen et américain... Plusieurs cycles orogéniques se sont succédés, contribuant chacun, par son contexte géodynamique et son ampleur, à façonner les grands domaines structuraux du Maroc.

C'est ainsi que l'on en distingue quatre, définis en fonction de la localisation et de l'importance des effets des orogénèses les plus récentes. Du sud au Nord, le domaine anti-atlasique et son prolongement saharien, le domaine atlasique et mésetien et le domaine rifain séparés les un des autres par l'accident sud-atlasique d'une part et la limite des charriages tertiaires venus du Nord, d'autre part (Michard, 1976 ; Piqué, 2002).

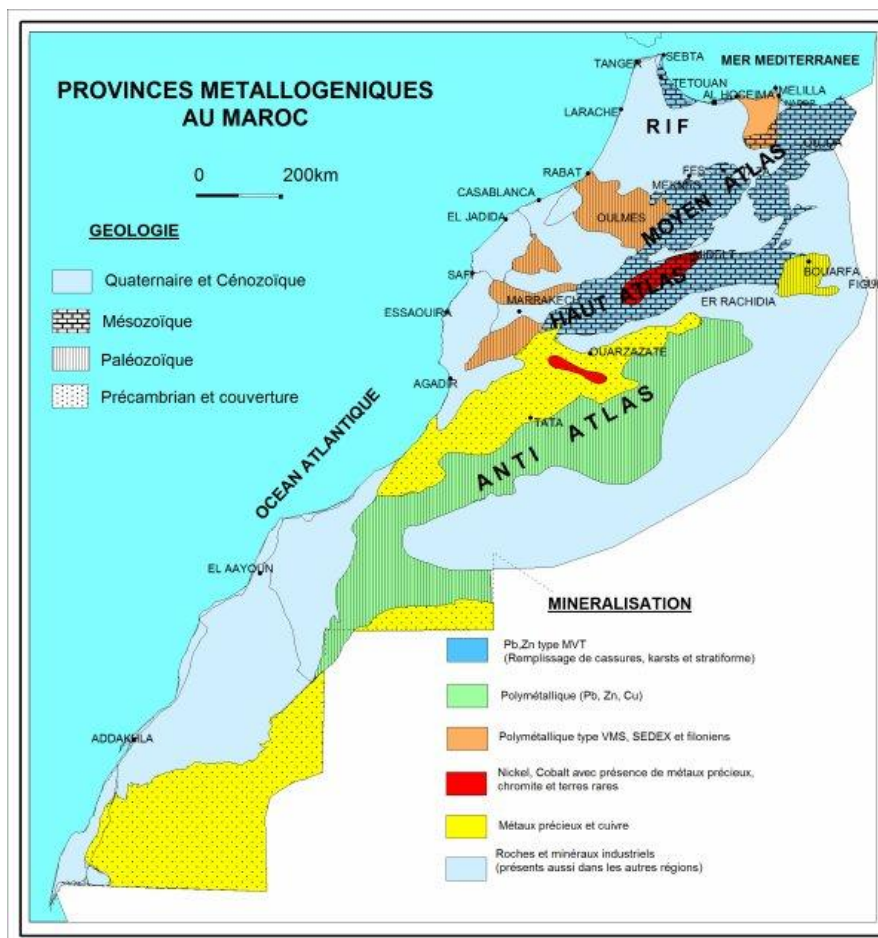


Figure 1 : Carte géologique générale du Maroc (adaptée de l'ONHYM)

- **Le Rif :** C'est une chaîne de montagne récente, formée au Tertiaire. Elle fait partie des chaînes alpines qui résultent de la collision Afrique-Eurasie et plus précisément à la *chaîne rifo-tellienne* d'Afrique du Nord. Cette chaîne est constituée d'unités allochtones charriées sur la marge de la plaque Afrique.
- **Les Atlas : Moyen Atlas et Haut Atlas.** Font partie de la *chaîne atlasique*, formée au Tertiaire. C'est une chaîne intracontinentale, située dans le continent africain. Elle s'étend du Maroc à la Tunisie et constitue l'avant-pays déformé de la chaîne rifo-tellienne. Les sédiments méso-cénozoïques, autochtones, sont faillés et plissés.
- **Les Meseta :** régions de plaines, plateaux, collines. Terrains méso-cénozoïques tabulaires constituent la couverture d'un socle paléozoïque plissé, métamorphisé, granitisé pendant la formation de la *chaîne hercynienne*. Ce socle hercynien apparaît dans des « boutonnières ». On distingue la **Meseta occidentale** et la **Meseta orientale** séparées par le Moyen Atlas.
- **Le Sud marocain :** C'est le domaine saharien dont la limite correspond à la faille Sud Atlasique. On distingue l'**Anti Atlas**, région montagneuse au sud du Haut Atlas résultant d'un vaste plissement anticlinal récent et, au-delà, le **Sahara** proprement dit, région de vastes plaines et plateaux désertiques. Ce domaine est caractérisé par un *socle précambrien* (Archéen et Protérozoïque) déformé par les orogénèses éburnéenne et panafricaine et recouvert par une couverture paléozoïque faiblement déformée pendant l'orogénèse hercynienne. La couverture méso-cénozoïque, peu épaisse, est tabulaire (hamadas). (Michard, 1976 ; Piqué, 1994)

II- APERÇU GÉOLOGIQUE DE LA ZONE ATLASO-MÉSETIENNE :

C'est un domaine bordé par le domaine Rifain au Nord, et par le domaine anti-atlasique au Sud; il comprend trois unités structurales :

- **Les chaînes atlasiques (Moyen et Haut Atlas) :**
Elles représentent un exemple de chaînes intracontinentales structurées par l'orogénèse alpine. Elles sont limitées par l'Accident Sud Atlasique (ASA) et le Rif, ce domaine est constitué par :
 - a) Substratum Paléozoïque : C'est un socle d'âge allant du Cambrien jusqu'au Carbonifère représenté essentiellement par des terrains sédimentaires avec une intense activité volcanique bimodale au Viséen. Ce socle a été structuré par l'orogénèse hercynienne responsable aussi de la mise en place de nombreuses intrusions de granitoïdes.
 - b) Couverture : formée de terrains essentiellement carbonatés et détritiques, mésozoïques et cénozoïques comportant deux unités structurales :
 - 1- Une zone à couverture plissée comprenant le Haut Atlas et le Moyen Atlas plissé, ayant subi une tectonique alpine précoce ;

2- une zone à couverture tabulaire : comprenant le Causse moyen atlasique, les Hauts Plateaux et le Pays des Horsts dans le Maroc oriental.

- **Les structures tabulaires :**

Sont des surfaces géographiques tabulaires s'étendant entre les chaînes ; ils montrent une couverture alpine tabulaire surmontant un socle primaire tectoniquement actif. Ces plateaux sont subdivisés en deux catégories :

a) Plateau Central (Meseta Occidentale) : Il laisse apparaître une partie du substratum hercynien sous forme des boutonnières lors des mouvements récents tertiaires et quaternaires. Elles sont, en allant du SW vers le NE ; Le massif de Jbilet, Rhamna, Maroc central (massif central) et Tazzeka.

b) Hauts Plateaux (Meseta Orientale) : Se trouvent entre le Moyen Atlas et le Haut Atlas, ils montrent un substratum hercynien qui est moins visible comparé à la meseta occidentale.

- **Les Basses plaines ou Sillon Sud atlasiques :**

Ils correspondent à des bassins tectoniquement effondrés du domaine mésétien et atlasique :

1- Bassin d'Essaoura-Haouz qui sépare les Jbilet du Haut Atlas.

2- Bassin Bahira-Tadla qui sépare les Jebilet des Rhamna.

3- Sillon sud Rifain. (Colo, 1961 ; Michard, 1976 ; Fedan, 1987 ; Charrière, 1992 ; Charroud, 1992 ; Sabaoui, 1998 ; Hinaje, 2004).

III- LES BASSINS PHOSPHATÉS MAROCAINS :

Les réserves marocaines en phosphate, constituent l'une des principales ressources minières du Maroc, elles représentent près de 75% des réserves mondiales identifiées, et se distinguent, en plus, par leur richesse exceptionnelle en phosphore et par leur proximité relative par rapport aux ports d'embarquement.

1- La géologie des zones phosphatées marocaines :

Après la transgression généralisée du cénomanien (marno-calcaire), et du turonien (calcaire), plateau de Settât, le Sénonien débute par des faciès régressifs (marne, calcaire, Marne). A la partie supérieure du sénonien, apparaît un nouveau cycle sédimentaire, caractérisé par une sédimentation phosphatée indiquant une nouvelle phase transgressive, dans des golfes qui représentaient, les derniers bassins atlantiques dans les régions du Maroc-central (domaine atlasique).

La série phosphatée est particulièrement bien connue dans les bassins phosphatés des ouled abdoun et des Gantour grâce aux nombreux ouvrages d'exploitation et de prospection Elle est bien localisée au sein des divisions des temps géologiques entre le maastrichtien et le lutétien.

Cette série présente des changements dans les deux sens vertical et horizontal, c'est ainsi qu'on remarque une variation latérale de faciès et une migration de la phosphatogénèse. (Rapport inédit OCP, 2013)

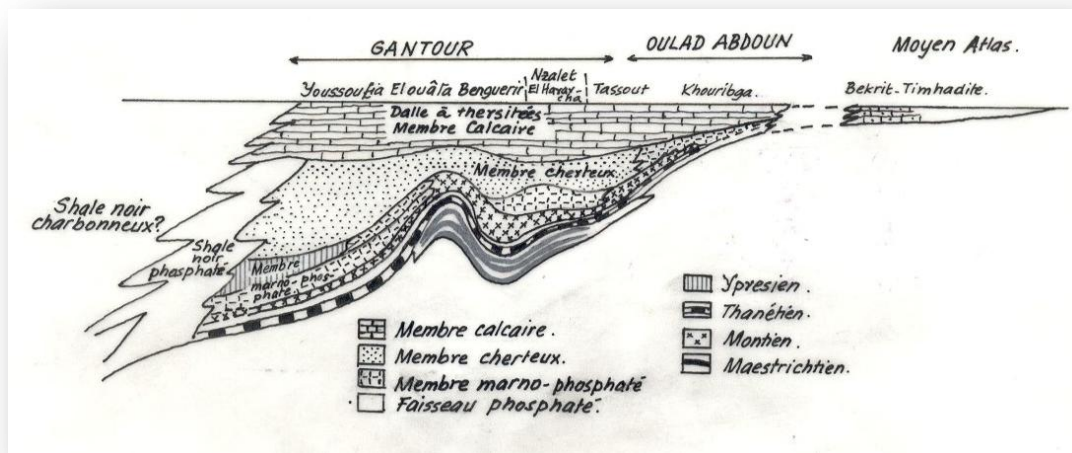


Figure 2 : la série phosphatée dans le golfe septentrional du Maroc Nord : changements latéraux et verticaux des faciès et migration de la phosphatogenèse (D'après Boujo, 1972)

Les 4 principaux bassins phosphatés marocains sont : Oulad Abdoun, Meskala, Gantour, dans la meseta marocaine et Oued Eddahab dans le sud. Parmi ces bassins, trois (Oulad Abdoun, Gantour et Oued Eddahab) sont en cours d'exploitation.

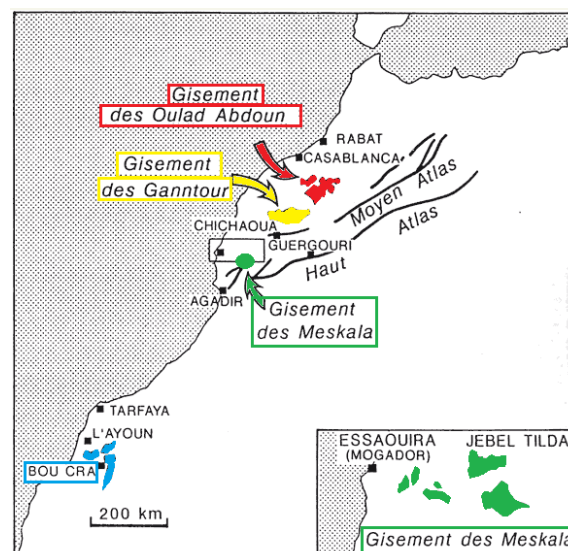


Figure 3 : Carte des bassins phosphatés marocains (D'après Rungs et Salvan ; 1850)

2- Bassin de Gantour :

Le bassin de Gantour, s'inscrit dans un rectangle orienté Est-ouest de longueur 120 Km et de largeur de 20 à 30 Km, est situé entre les méridiens 7°10' et 8°35' et les parallèles 32°10' et 32°20', ses limites sont :

- Au Nord, le massif paléozoïque des Rehamna.
- Au Sud, le massif paléozoïque des Jbilet.
- A l'Est, l'Oued Tessaout, affluent de l'Oued Oum-Er-Rbia.

- A l'Ouest, les collines jurassiques de Mouissat.

3- Bassin de Meskala :

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

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

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

4- Bassin d'Oued Eddahab :

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

Il est limité par :

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

5- Bassin d'Oulad Abdoun :

Le bassin d'Oulad Abdoun est le premier bassin reconnu et exploité au Maroc. Il est situé au Nord de la meseta, limité au Sud par la plaine BENI AMIR. Il occupe la moyenne partie du plateau des phosphates.

La série phosphatée d'Oulad Abdoun débute du Maastrichtien par des dépôts phosphatés très marneux et se termine au lutétien par une dalle à thérstités, en passant par le Paléocène caractérisé par le calcaire phosphaté et le calcaire marneux, puis l'Yprésien, qui contient des niveaux phosphatés intercalés par des calcaires phosphatés cuprolithiques, des argiles et des silex.

Il est subdivisé en plusieurs gisements :

- La zone de Khouribga qui contient les gisements d'Oued-Zem, de Merah El Ahrech, Sidi Chennane et Sidi Daoui.
- La zone d'El Brouj.
- La zone de Kasbat Tadla, de la bordure atlasique.

(Rapport inédit OCP, 2012)

IV- GROUPE OCP : ORGANIGRAMME ET HISTORIQUE :

1- Historique :

L'Office Chérifien des Phosphates démarra son activité d'extraction et de traitement d'expédition du phosphate le 1^{er} mars 1921, avec l'ouverture de la première mine à Boujniba, dans le gisement de Khouribga, le gisement de phosphate le plus riche du monde. L'acheminement du phosphate jusqu'au port de Casablanca débute la même année, ce qui permet la première exportation de phosphate le 27 juillet 1921. (Mohamed Ksiked, 2015).

2- Organigramme du groupe :

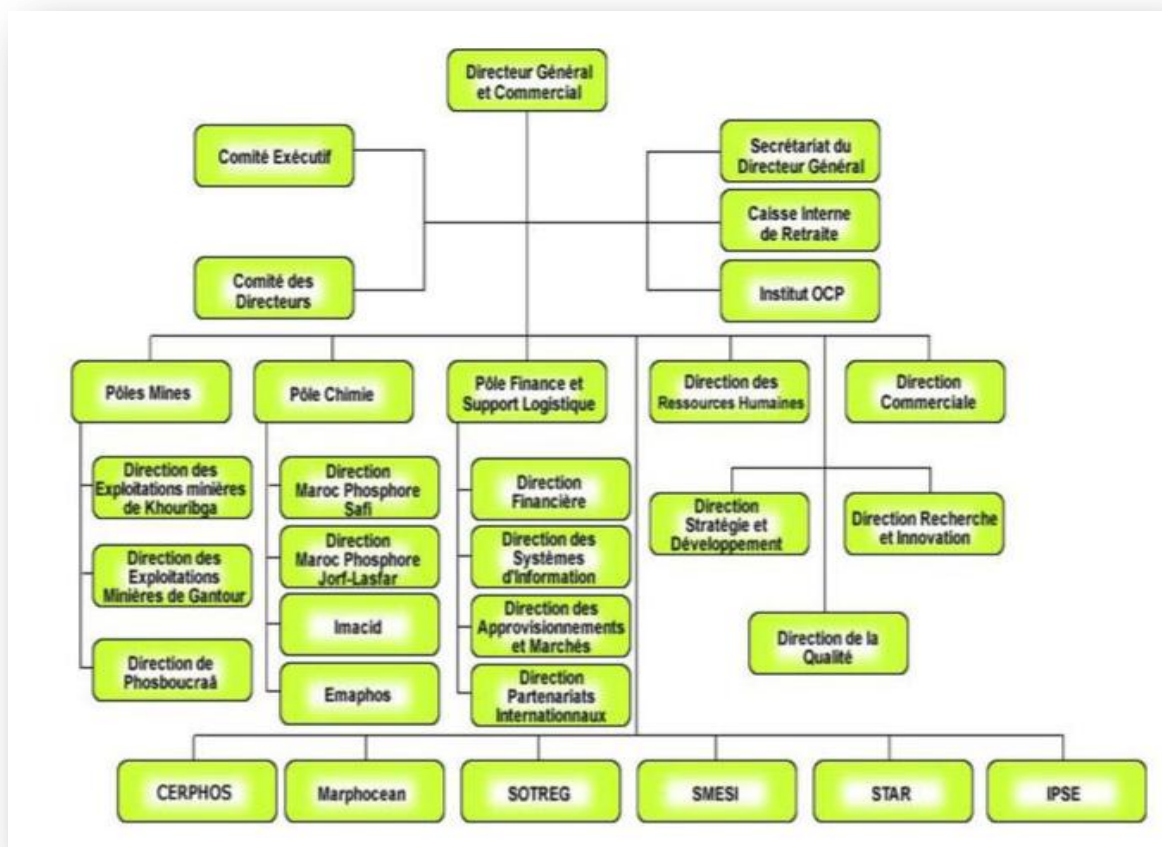


Figure 4 : Organigramme du groupe OCP (D'après rapport annuel OCP, 2010)

V- HISTORIQUE SUR LA RECHERCHE ET L'EXPLOITATION DES PHOSPHATES AU MAROC :

1- Aperçu historique:

1920	Création de l'Office Chérifien des phosphates
1921	Début d'exploitation du 1 ^{er} site d'extraction à Khouribga
1931	Début d'exploitation du gisement des Gantour et Yousseoufia
1965	Démarrage de la valorisation des Phosphates à Safi par la mise en service de Maroc-Chimie
1975	Prise en charge des exploitations des phosphates à Boucraâ
1976	Augmentation des capacités de valorisation à Safi par la mise en service de Maroc Phosphore I
1979	Début d'exploitation de la zone minière à Benguerir
1981	Démarrage à Safi des installations de Maroc Phosphore II
1986	Démarrage à Jorf Lasfar des installations de Maroc Phosphore III-IV
1994	Exploitation en découverte Sidi Chennane
2000	Usine flottation à Khouribga
2005	Usine lavage flottation à Yousseoufia

**Tableau 1 : Historique de la recherche et exploitation du phosphate au Maroc
(D'après rapport annuel OCP, 2010)**

2- Généralités sur les phosphates :

a- Introduction :

Le phosphate est recherché pour le phosphore qu'il contient. Désigné en chimie par la lettre P, il constitue un élément essentiel de toutes les cellules vivantes dans lesquelles il se présente sous forme minérale ou organique. Dans sa forme minérale il est surtout présent dans le tissu osseux sous forme de phosphate calcique (apatite $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH}, \text{Cl}, \text{F})$). Chez les animaux, il apparaît dans les os et les dents. Chez les végétaux, c'est lui qui véhicule l'énergie produite par photosynthèse et contribue à développer les racines de la plante, à faciliter son alimentation et la rendre plus résistance face aux maladies. Le phosphate joue par la suite un rôle dans la productivité agricole, et du même coup dans l'alimentation de l'homme.

⇒ Quels sont donc les caractéristiques chimiques du phosphate ?

b- Caractéristiques chimiques et moléculaires :

L'ion (ou *orthophosphate*) phosphate est un anion poly-atomique de formule chimique brute PO_4^{3-} et de masse moléculaire de 94,97 (g/mol). Il se présente sous la forme d'un tétraèdre dont les sommets sont formés par les quatres atomes d'oxygène encadrant un atome de phosphore.

Cet ion, qui comporte trois charges négatives, est la base conjuguée de l'ion hydrogénophosphate HPO_4^{2-} (ou *phosphate inorganique*) qui est lui-même la base conjuguée de l'ion dihydrogénophosphate H_2PO_4^- qui est lui-même la base conjuguée de l'acide phosphorique H_3PO_4 . (*Biologie moléculaire de la cellule*, P.301)

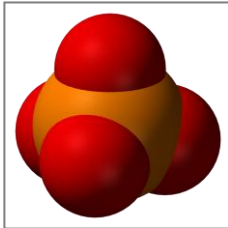


Figure 5 : Structure tridimensionnelle d'un ion phosphate

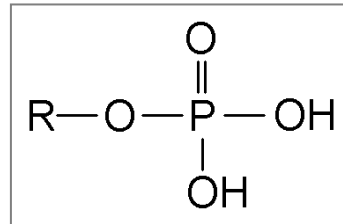


Figure 6 : Structure d'un groupe phosphate lié à un radical R

c- Phosphatogénèse :

On distingue trois théories principales (*D'après OCP rapports inédits*). :

- **Théorie biolitique :**

Elle se limite à l'intervention des organismes qui se fossilisent lorsque les conditions deviennent insupportables.

- **Théorie abiolitique :**

Renvoie la formation des phosphates au lessivage de l'apatite.

- **Théorie de Kazakov :**

Cette théorie apparait plus logique et constate que la teneur en P_2O_5 de l'eau de mer croit avec la profondeur à partir du bas de la zone d'oxydation ainsi que le pourcentage du gaz carbonique. 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. (*Rapport inédit, OCP 2012*)

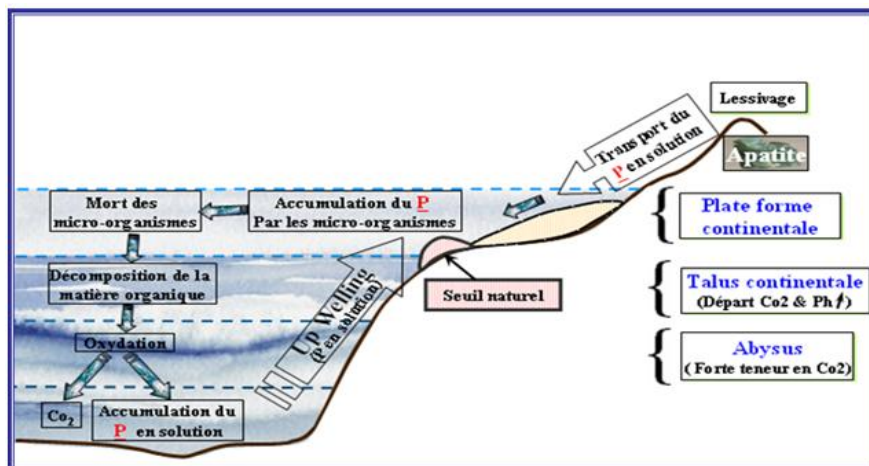


Figure 7 : Image illustrant les théories de phosphatogénèse

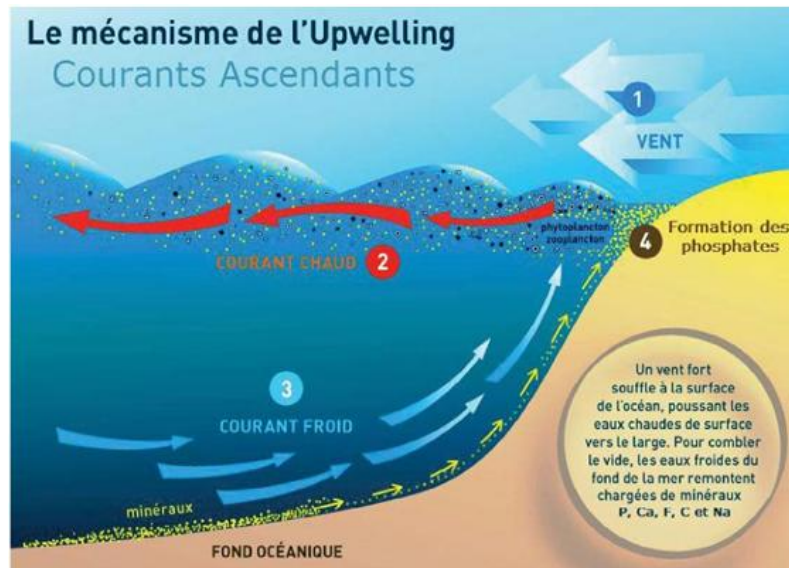


Figure 8 : Mécanisme des courants ascendants Upwelling (D'après Kazakov, 1937)

d- Teneurs des phosphates :

C'est la teneur de la roche en phosphore, mesurée en pourcentage de pentaoxyde de phosphore (P_2O_5) qui détermine sa qualité. Celle-ci varie de 5 à 45 % ; à moins de 30 %, le plus gros de la production, le minerai subit un premier traitement, sous forme de lavage, séchage ou enrichissement à sec.

Le phosphate est classé en fonction de %BPL (**Bone Phosphate Lime**) selon le tableau suivant :

Qualités	Teneurs en % (BPL)
SHT: Super Haute Teneur	BPL >75%
THT: Très Haute Teneur	73< BPL <75%
HTN: Haute Teneur Normale	71,5< BPL <73%
HTM: Haute Teneur Moyenne	69,5< BPL <71,5%
MT: Moyenne Teneur	68< BPL <69,5%
BTR: Basse Teneur Riche	64,5< BPL <68%
BTN: Basse Teneur Normale	61< BPL <64,5%
TBT: Très Basse Teneur	58< BPL <61%
NC: Non Conforme	BPL <58%

Tableau 2 : Teneurs des phosphates en %BPL (D'après le site officiel du groupe OCP)

e- Types de gisements :

Il existe trois types de gisements exploités actuellement à travers le monde:

- ⇒ Les gisements sédimentaires sont les plus importants en nombre et volume, cas des gisements d'Oulad Abdoun, de Gantour et de Boucraâ au Maroc où les teneurs en phosphore peuvent dépasser 35%.
- ⇒ Les gisements d'origine ignée sont associés à des complexes intrusifs alcalins, cas de Khibiny (en Russie), lié à un complexe à syénite néphélinique, qui contient 1600 millions de tonnes de minerai à 18% de phosphore.
- ⇒ Les guanos présentent des réserves plus faibles. Ils se trouvent dans l'île Christina, dans l'océan indien, qui contient 200 millions de tonnes, les réserves du minerai à 23-27% de phosphore. La forte productivité de 'guano' par les excréments des oiseaux et la considérable quantité de poissons seraient à l'origine de gisements concentrés mais peu étalés.

(Kazakov, 1937)

« Chapitre 2 : Suivi d'exploitation des couches phosphatées au niveau de la mine MEA »

I- BUT DU TRAVAIL (ÉNONCÉ DU SUJET) :

L'exploitation au niveau de la mine MEA concerne sept niveaux phosphatés, chaque niveau diffère de l'autre par ses caractéristiques géologiques et minières. Le géologue fait le suivi d'exploitation pour assurer la récupération totale du phosphate et la conservation de sa qualité, dans cette perspective, nous allons traiter les notions suivantes :

- ❖ *Etude géologique et minière des couches phosphatées et des intercalaires.*
- ❖ *Etablissement des coupes synthétiques par zone.*
- ❖ *Le rôle du prospecteur dans chacune des phases d'exploitation.*
- ❖ *Elaboration d'un plan d'action d'exploitation des couches phosphatées.*
- ❖ *Etude de l'impact économique des actions engagées.*

II- GISEMENT D'OULAD ABDOUN :

1- Cadre géographique :

Le bassin du Oulad Abdoun s'étend sur plus de 10000km², il se situe au Nord du pays et s'inscrit grossièrement dans rectangle limité par **les méridiens 6°30`** et **parallèles 32°30` 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 Rhamna et au Sud par la chaîne du moyen Atlas de Béni mellal dont le quadripôle ayant pour sommet les villes de Settat, Oued-Zem, Béni mellal et El brouj, et qui s'étend sur envi rende **95 Km de longueurs** de direction « Est-ouest », et sur plus de **458 Km de largeur** de direction « Nord-sud ». (D'après le bureau des prospecteurs).

2- Cadre géologique :

- La série phosphatée d'Ouled Abdoun constitue le terme final d'une couverture sédimentaire s'étalant de l'infra-cénomanién au lutétien supérieur.
- Le substratum mésétien, qui support cette série est formé de terrain paléozoïque plissés et faillés qui affleurent dans le massif central au Nord et les Rhamna au Sud.
- L'infra-cénomanién rouge est composé de conglomérats, de grès, ou d'argiles.
- Le cénomanién-Turonien est formé essentiellement de marne-calcaireux.

- Le Sénonien (Maestrichtien exclu) est constitué principalement des marnes et des marnes-calcareux. 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 granoclassement positif (de grossier vers le fin). (*D'après OCP rapports inédits*).

Cet âge est caractérisé par une sédimentation phosphatée et bitumineuse dans des golfes orientés en gros NW-SE, de provenance atlantique, tels que celui d'Essaouira-Ouarzazate et de Gantour-Oulad Abdoun (Khouribga-Kasba Tadla) (Michard, 1976). La mer progresse dans ce dernier puis suit la zone effondrée moyen atlasique de direction NE-SW, héritée de la tectonique d'âge Albo-Cénomano-Turonien – Sénonien inférieur. (Figure 9)

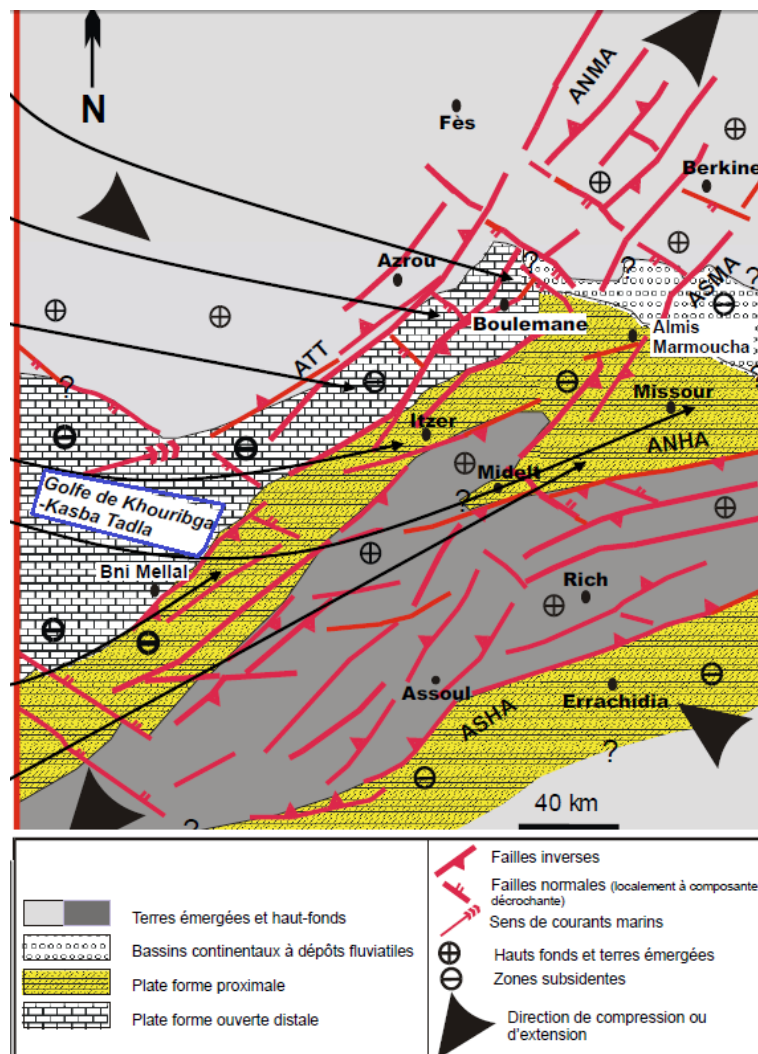


Figure 9 : Carte paléotectonique et paléogéographique du domaine atlasique au Sénonien (D'après HINAJE, CHARROUD et al., 2015)

3- Aperçu tectonique du bassin d'Oulad abdoun :

La série phosphatée des OULAD ABDOUN s'est déposée sur un socle hercynien fortement plissée et faillé. Une étude tectonique et microtectonique détaillée de la série méso-cénozoïque du bassin phosphaté de Khouribga, n'est pas encore réalisée. De ce fait l'analyse de la fracturation qui affecte les strates crétacées et tertiaires, qui peut aboutir à la chronologie des paléochamps de contraintes, reste le seul outil pour expliquer les zones de « dérangement » signalées par les géologues de l'OCP. A notre avis, ces zones correspondent à des zones de failles synsédimentaires et postsédimentaires probablement polyphasées, amplifiées par la karstification.

Ainsi, des phénomènes post-sédimentaires se présentent le plus souvent sous forme de failles (normal ou inverse) que nous n'avons pas pu mesurées et que les techniciens et les ingénieurs de l'OCP ne mesurent pas aussi, associées à des zones de « dérangements » orientés en général NE-SW. Ces zones correspondent probablement à des structures d'effondrement (collapse structures) liées à des failles affectant les calcaires et les marnes. Le jeu tectonique des failles est amplifié par la dissolution et la karstification. Ainsi ces structures sont des structures d'origine tectono-karstique (Hinaje, com. oral).

❖ Les failles :

Ce sont des surfaces de rupture qui séparent deux volumes rocheux qui se déplacent l'un par rapport à l'autre. Les plans de faille sont caractérisés par leur direction, leur sens de pendage, le pitch des stries et les rejets.



Figure 10 : Une faille normale qui affecte la série phosphatée



Figure 11 : Deux failles inverses qui affectent la série phosphatée

Ces cassures qui affectent la série phosphatée conduisent à la rupture de continuité des niveaux pouvant entraîner des complications lors de l'exploitation. Malheureusement elles ne sont pas étudiées.



Figure 12 : Bulldozer qui creuse en profondeur suivant la continuité des couches affectées par la faille.

On note que ces cassures sont souvent le lien de circulation de fluides. Ces infiltrations contribuent au salissement du minéral.

❖ Structures d'effondrement (Les dérangements) :

On appelle « dérangement » toute perturbation de la succession habituelle des litho-faciès de la série phosphatée qui rend la délimitation des différentes entités impossible. L'exploitation qualifie de « dérangement », toute structure stérile, généralement très dure, qui perturbe l'évolution de la chaîne cinématique. Ce sont des structures qui sont accompagnés par des altérations et accidentations qui influencent la qualité du niveau phosphaté, on peut avoir la dominance du (marne, silex, calcaire ou le phosphate), dans le cas où le dérangement est dominé par le phosphate on le classe dans la qualité basse teneur. (R. Beneddi chef des prospecteurs dans la mine MEA OCP)

⇒ Les dérangements ont en général une forme subcirculaire, sub-conique ou quelconque. Ils sont constitués de matériaux formés d'éléments de la série (marnes, calcaires, phosphate et silex). Ils présentent, en général, une couleur jaunâtre à blanchâtre.

⇒ Leur classification est basée selon (Kchikach et al.1990) sur les aspects suivants :

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



Photo 1 : Structure en collapse « dérangement » qui affecte la série phosphatée

III- LA MINE DE MERAH EL AHRECH

1- Situation géographique :



Le gisement 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.

2- Zones en activités :

La mine MEA est subdivisée en 4 zones principales, dont trois sont en cours d'exploitation :

- Zone centrale nord (ZCN) → en arrêt ;
- Zone centrale sud (ZCS) → en cours d'exploitation ;
- Extension zone centrale nord (EZCN) → en cours d'exploitation ;
- Extension zone centrale sud (EZCS) → en cours d'exploitation. (D'après le bureau des géomètres)

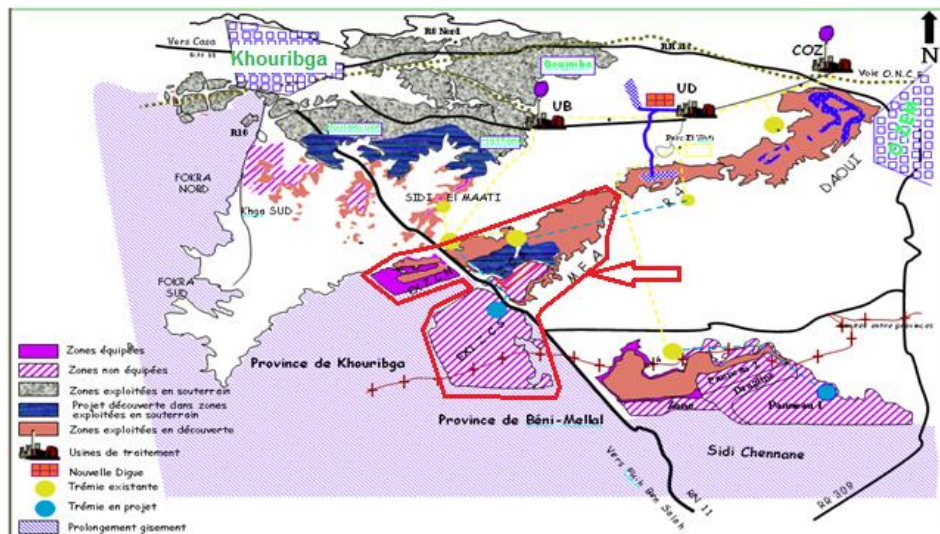


Figure 13 : Situation géographique de la mine MEA dans le bassin d'Oulad Abdoun

IV- ETUDE GEOLOGIQUES ET MINIERE DES COUCHES PHOSPHATEES ET DES INTERCALAIRES :

1- Découpage chrono-stratigraphique :

C'est le découpage de la série phosphatée qui se base sur la succession des couches (strates) durant le temps géologiques, ce découpage se fait suivant une échelle chronostratigraphique divisé en unités chronologiques dont la plus petite est l'étage. La réalisation de ce découpage a été principalement fondée sur la paléontologie animale.

Sur toute la série phosphatée on trouve du bas en haut :

• Maestrichtien phosphaté

Il est formé d'une alternance de phosphate plus au moins marneux et de marnes. Dans la partie Nord du bassin les niveaux phosphatés grossiers reposent sur des calcaires phosphatés à bone-bed.

• Paléocène :

Le paléocène débute en générale par un calcaire phosphaté dépourvu de débris liogènes, et se termine par un calcaire marneux ou phosphate marneux à calcifiés.

- ⇒ La dalle calcaire à cardita coquandi serait la limite supérieure du Danien (selon la nouvelle échelle des temps géologiques datée de 1990).
- ⇒ Le thanitien est constitué sur l'ensemble du bassin par des phosphates meubles, et se termine par des phosphates marneux à calcifiés à bancs de calcaire phosphaté.

- **Yprésien :**

Il débute dans la majorité des cas par un calcaire phosphaté coprolithiques. La phosphatogénèse y atteint son apogée, il est formé d'une succession de niveaux phosphatés intercalés avec des calcaires phosphatés coprolithiques, des marnes siliceuses et des silexites.

- **Lutétien :**

Le lutétien inférieur est représenté par un complexe formé de calcaire phosphaté bioclastique, calcaire lithographique calcaire marneux et marnes, l'ensemble à subir une silicification à degrés variables. Il se continue par une puissante dalle carbonatée renfermant de nombreux gastéropodes (Thersite a pondérosa), d'où le nom de la dalle à thersités.

2- Découpage minier :

C'est la division de la série phosphatée en plusieurs niveaux phosphatés (couche, sillon) et en intercalaires suivant la qualité des niveaux phosphatés (teneur en BPL).

On distingue du bas en haut:

a- La couche III :

Elle est généralement constituée d'un phosphate à prédominance marneuse, calcifié, compact à dur, renferment une faune très diversifiée et assez abondante. Elle est subdivisée en deux sous entités : la Couche III supérieur et la Couche III inférieur séparées par un banc de calcaire marneux fossilifère qui repose sur des marnes phosphatées. ***Le niveau repère qui permet d'identifier cette couche est le calcaire à bone-bed situé au mur de la couche III.***

b- L'intercalaire couche II / couche III :

Il est formé par un banc de calcaire phosphaté marneux, qui repose sur des marnes phosphatées grémuleuses à géodes de calcite.

c- La couche II :

Il est subdivisé en deux niveaux phosphatés bien distincts : Couche II supérieur, Couche II inférieur, séparés par une banquette continue ou discontinue de calcaire phosphaté à marneux.

- la Couche II est formée en générale par un phosphate à grains grossier à la base et moyen à fin au toit, par endroits calcareux et/ou fossilifères pouvant renfermer des banquettes de calcaire phosphaté dont la puissance et la régularité sont variables ;

- la partie sommitale de la couche est légèrement marneuse tandis que son mur peut être grémuleux avec des blocs de calcaires phosphatés.

⊕ Niveau repère : ***calcaire phosphaté coprolithique et des interlits de calcaire à cardita.***

d- L'intercalaire couche I /couche II :

Il est généralement formé de bas en haut par :

- un niveau de marne bioturbée au sommet et calcaireux au mur;
- un calcaire phosphaté coprolithique légèrement marneux au mur et peut renfermer des poches de phosphates ou blocs de silex.

e- La couche I :

Elle est subdivisée en 3 entités :

- Couche I inférieur : est formée d'un phosphate grossier sableux plus ou moins calcifier, et renferme des blocs de silex phosphatés ;
- Couche I médiane : présente une lithologie marno-phosphatées assez variable, elle va du phosphate marneux à la marne plastique en passant par des termes plus ou moins phosphatés et renfermant rarement des blocs de silex phosphatés ;
- Couche I supérieur : formée d'un phosphate grossier dans la partie supérieure et moyen à fin à la base, elle renferme en général une passée de silex phosphaté vers le toit et des blocs discontinus vers le mur.

⊕ Niveau repère : ***une dalle de calcaire à nodules de silex.***

f- L'intercalaire couche 0'/Couche I :

Il est généralement formé de bas en haut :

- un banc plus ou moins continu de silex phosphaté ;
- une mince passée de calcaire phosphaté ;
- une passée de marne ou de marno-calcaire renferme du silex à ménilites ou nodules de silex.

g- La couche 0' :

Elle se subdivise en 2 parties :

- couche 0' inférieure : constituée par un niveau de phosphate marneux parfois calcifié et pouvant renfermer quelques blocs de silex ;
- couche 0' supérieure : formée par du phosphate souvent calcifié avec des blocs de calcaire.

Les deux parties de la couche 0' sont séparées par une passée de calcaire marneux ou phosphaté pouvant contenir des nodules de silex ou de mélinites.

⊕ Niveau repère : ***la présence de silex de type mélinites au sien des marnes plastiques.***

h- L'intercalaire couche 0 / couche 0' :

Il est formé de bas en haut par :

- un niveau de marne par endroit siliceuse ;
- un niveau de calcaire phosphaté sur lequel repose le phosphate de la couche 0.

i- La couche 0 :

C'est un niveau régulier de phosphate fréquemment marneux au toit et calcifié à la base, par endroit elle se subdivise en 2 niveaux séparés par un liseré marneux soit par une passée de calcaires phosphatés ou marneux, il arrive qu'il soit totalement calcaire.

- ⊕ Niveau repère : *l'alternance des marnes verdâtres, blanchâtres, rougeâtres, et des niveaux de silex (sandwich).*

j- L'intercalaire sillon A/couche O :

C'est l'entité qui renferme le plus de niveau de silex à l'échelle de la série phosphatée, il est formé de bas en haut par :

- marnes phosphatées, passant latéralement aux marnes tendres très légèrement phosphatées, ou marnes argileuse.
- une alternance de marne-calcaire et de marne siliceuse à tendre et des bancs de silex.
- calcaire phosphaté coprolithique à blocs de silex parfois continu à la base.

k- Le sillon A :

C'est un niveau assez régulier formé par du phosphate grossier à moyen pouvant renfermer des blocs de silex surtout dans la partie inférieure, il est subdivisé par endroit par une banquette de calcaire ou par un liseré de marne tendre, et surmonté par des marnes siliceuses à tendre.

- ⊕ Niveau repère : *ce sillon est marqué par des marnes tendres, suivi par des calcaires phosphatés coprolithique.*

l- L'intercalaire sillon B / sillon A :

Il est constitué de bas en haut par :

- marne siliceuse à tendre renferme parfois des blocs de silex.
- calcaire phosphaté à texture grossière.

m- Le sillon B :

C'est un niveau relativement homogène formé de phosphate meuble grossier à moyen, légèrement marneux vers le toit et qui peut renfermer un liseré de marne au milieu.

- ⊕ Niveau repère : *le sillon B est surmonté par une alternance des niveaux hétérogènes des marnes tendres et des calcaires à thersités.*

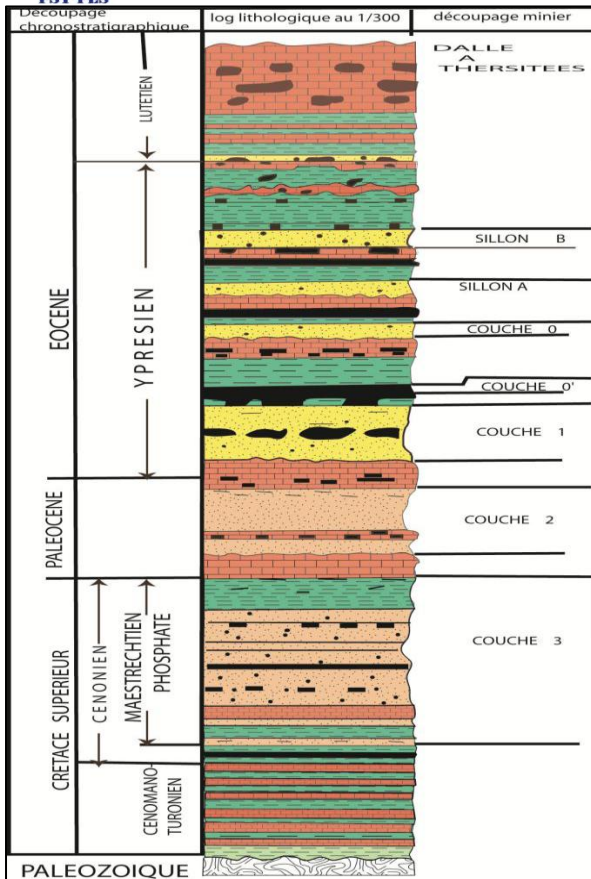


Figure 14 : Colonne stratigraphique synthétique de la série phosphatée (D'après rapport inédit OCP, 2012)

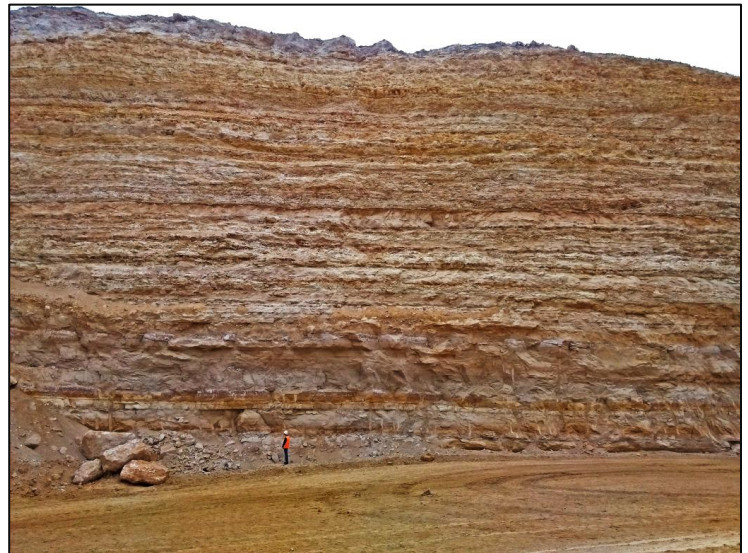


Photo 2 : un parement de la série phosphatée complète

3- Les coupes lithologiques moyennes par zone MEA :

Les figures ci-dessous montrent les différentes coupes des zones en exploitation de la mine MEA en fonction des couches, leur puissance (épaisseur en m) et leur pourcentage en BPL. On note que chaque zone est subdivisée en sous-zones (S), ainsi que la puissance et la teneur varient selon cette subdivision.

Coupe lithologique moyenne - Z.C.S					
Niv.	Log.	S0-S2		S5-S8	
		P. (m)	BPL (%)	P. (m)	BPL (%)
Rc		14,28		13,83	
SB		0,58	75,60	0,66	75,04
B/A		1,60		1,60	
SA		0,49	68,88	0,45	68,30
A/CO'		4,1		3,68	
Couche O'		0,74	66,56	0,79	66,50
D à N					
C1 Sup		0,91	72,25	0,85	71,42
C1 Med		0,16	67,94	0,19	65,92
C1 Inf.		0,68	73,69	0,67	73,00
C1/C2		1,10		0,89	
C2A		2,01	64,69	1,92	63,80
D à C					
C2B		0,81	71,50	0,98	70,70
C2/C3		1,30		1,30	
C3 Sup		1,33	53,41	1,33	53,41
C3s/C3i		0,35	42,80	0,35	42,80
C3 Inf.		2,45	57,96	2,45	57,96

Figure 15 : Coupe lithologique synthétique ZCS
(D'après rapport inédit OCP, 2012)

Coupe lithologique moyenne - E.Z.C.N					
Niv.	Log.	LAHOU		DIYER	
		P. (m)	BPL (%)	P. (m)	BPL (%)
Rc		24,73		23,38	
SB		0,78	73,18	0,80	74,11
B/A		2,00		1,70	
SA		0,85	68,05	0,71	66,15
A/CO'		4,97		4,79	
Couche O'		0,74	61,38	0,72	60,04
D à N					
C1 Sup		0,97	70,97	0,95	64,86
C1 Med		0,54	58,97	0,64	56,77
C1 Inf.		0,89	72,66	1,21	72,82
C1/C2		1,15		1,39	
C2A		2,67	63,88	2,94	62,78
D à C					
C2B		1,14	69,15	0,90	69,05
C2/C3		1,55			
C3 Sup		1,41	51,38	1,30	50,36
C3 sup/C3 inf.		0,44	41,82	0,43	38,98
C3 Inf.		2,48	54,19	2,33	53,77

Figure 16 : Coupe lithologique synthétique EZCN
(D'après rapport inédit OCP, 2012)

Coupe lithologique moyenne - E.Z.C.S -							
Niv.	Log.	Zone A		Zone B		Zone C	
		P. (m)	BPL (%)	P. (m)	BPL (%)	P. (m)	BPL (%)
Rc		9,90		5,10		8,00	
SB		0,75	74,18	0,90	74,25	0,72	74,74
B/A		1,93		1,79		1,40	
SA		0,43	67,05	0,65	66,12	0,58	68,38
A/CO'		4,85		5,08		4,53	
CO'		0,70	64,83	-	0,70	65,63	-
D à N							
C1 Sup		1,02	71,87	0,98	70,67	1,04	72,12
C1 Med		0,48	58,72	0,52	62,09	0,50	61,11
C1 Inf.		0,72	73,53	1,07	73,28	0,96	73,38
C1/C2		1,15		1,23		1,06	
C2A		2,15	63,11	1,87	62,36	2,13	63,79
D à C							
C2B		1,00	69,17	0,92	69,91	1,20	69,40
C2/C3		1,10		1,24		1,49	
C3 Sup		1,30	53,75	1,38	54,31	1,20	52,26
C3s/C3i		0,40	46,84	0,32	48,65	0,25	47,70
C3 Inf.		2,00	58,84	2,22	59,15	2,51	59,77

Figure 17 : Coupe lithologique synthétique EZCS
(D'après rapport inédit OCP, 2012)

CONTEXTE PALÉOGÉOGRAPHIQUE ET PALÉONTOLOGIQUE DES ZONES PHOSPHATÉES MAROCAINES :

1- Paléogéographie :

Le crétacé terminal et le début du tertiaire, sont marqués par l'existence de plusieurs golfes ouverts en direction de l'atlantique. La sédimentation phosphatée s'est effectuée à l'intérieur de ces golfes, qui se terminaient vers l'Est par des zones étroites, dans lesquelles s'effectuait une sédimentation de fond du golf, avec des marnes bitumineuses et des marnes à gypse (mer isolée, avec un chimisme particulier). L'éocène moyen se caractérise par le développement d'une sédimentation carbonatée néritique, qui marque le dernier épisode marin du domaine atlasique.

2- Paléontologie :

La série phosphatée renferme des restes des poissons cartilagineux (classe des sélaciens) prédominant. On trouve également du reste de crocodiliens, et les derniers reptiles géants des groupes Mosasaure (serpent de mer). D'où dominance des restes de vertèbres marins.

Pour les invertébrés, on trouve de rares Ammonites avec des formes rectilignes et des oursins, mais le groupe dominant est représenté par les bivalves et les gastéropodes.

« Chapitre 3 : Méthodes de prospection et d'exploitation »

I- MÉTHODES DE PROSPECTION :

La prospection minière ou exploration minérale, représente un vaste champ d'application de la géologie à la recherche, la découverte et la mise en valeur des ressources minérales, qu'elles soient métallifère ou non. Les géologues de cette société y procèdent comme suit :

- L'exploration régionale à travers la visite du terrain, et l'échantillonnage.
- La détection des anomalies géochimiques.
- Cartographie géologique sur mailles de « Kerkours » à grande échelle.
- Carottage et recherche des fortes teneurs (en % BPL) afin de localiser le gisement.
- Rétrécissement des mailles pour la réalisation des fonds topographiques des différentes couches par région.
- Réalisation d'ouvrages de prospection ; répartition du gisement en tranchées par les géomètres topographes.
- Fin de l'étude et appel à l'œuvre.

⇒ Exemple : Cartes d'évolution du BPL de la couche 1 au niveau de l'EZCS :

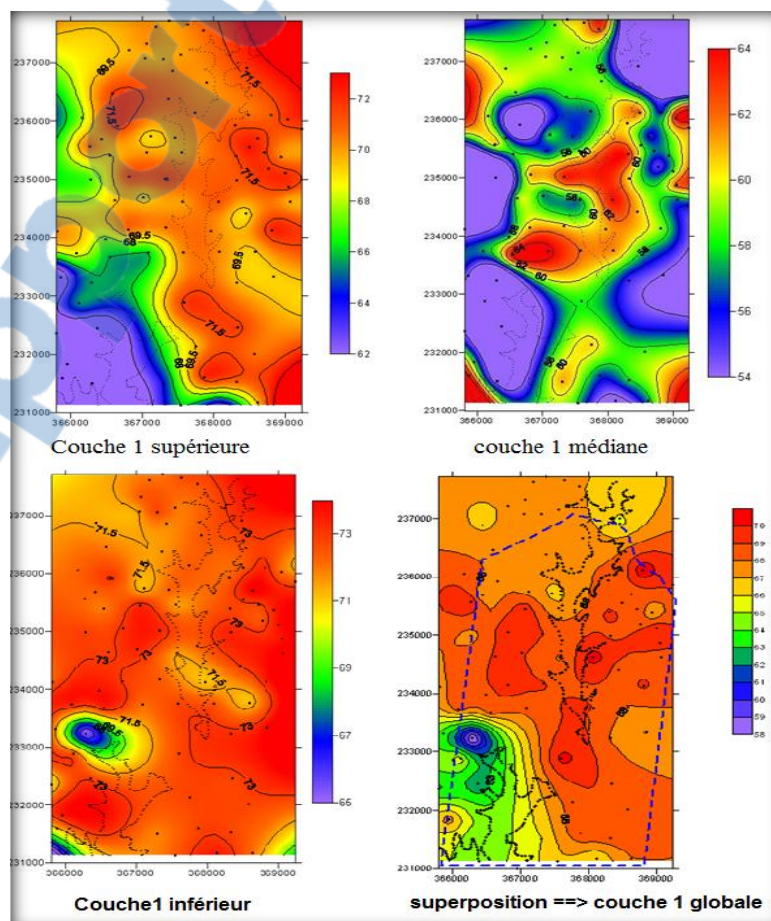


Figure 18 : évolution du BPL de la couche 1 au niveau de l'EZCS (D'après rapport inédit OCP, 2012)

II- MÉTHODES D'EXPLOITATION :

Dans les découvertes de l'OCP, il existe deux méthodes d'exploitation. La méthode dite sélective et la méthode globale. Chacune de ces méthodes a des avantages et des inconvénients.

1- méthode sélective :

C'est une méthode d'exploitation qui consiste à prendre séparément les couches phosphatées et les intercalaires. Dans cette méthode, la foration et le sautage ne concernent que les intercalaires.

⇒ L'avantage de cette méthode est :

- La préservation des teneurs des couches riches.

⇒ Ses inconvénients sont :

- Augmentation de nombre des opérations.
- Difficultés d'organisation.
- Faible taux d'utilisation des machines.
- Le faible rendement des machines.

2- Méthode globale :

C'est une méthode qui consiste à prendre globalement les couches phosphatées et les intercalaires. Dans cette méthode, la foration et le sautage concernent tout le faisceau phosphaté.

⇒ L'avantage de cette méthode est :

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

⇒ Ses inconvénients sont :

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

 **N.B. :**

La méthode d'exploitation adoptée actuellement pour la quasi-totalité des niveaux phosphatés extraits est la méthode sélective. Elle consiste à prendre chaque niveau phosphaté à part, sans qu'il soit salé par le stérile ou les qualités inférieures, et cela à fin de préserver les qualités du phosphate.

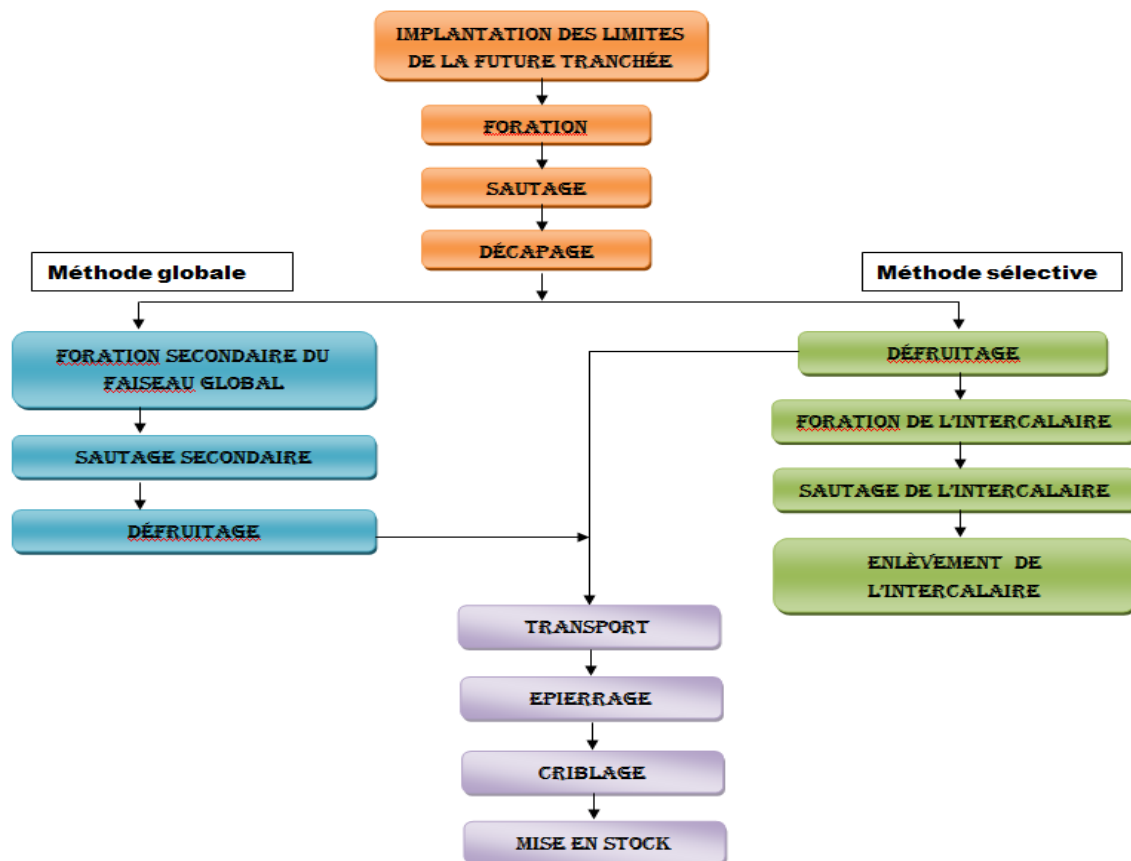


Figure 19 : Schéma des méthodes et phases d'exploitation (D'après rapport inédit OCP, 2010)

III- CHAÎNE CINÉMATIQUE D'EXPLOITATION :

✓ Introduction :

C'est la suite ordonnée des opérations nécessaires pour l'extraction du minerai (phosphates). Elle varie suivant le chantier et suivant la méthode utilisée.

Dans l'exploitation à ciel ouvert, la chaîne cinématique se résume comme suit :

1- **Implantation des limites :**

C'est l'opération préparatoire qui précède la foration et qui consiste à préparer le terrain par son découpage en tranchées parallèles de largeur 40m et de longueur moyenne 400m, afin de faciliter la tâche aux machines. Elle est effectuée par les géomètres qui tiennent à implanter les « kerkours » pour ensuite déterminer les levés topographiques. Ces derniers ont pour but d'évaluer le volume du phosphate remué, c'est d'ailleurs la mission du bureau des plans au service d'exploitation Merah El Ahrach.



Photo 5 : Implantation des limites par les géomètres



Photo 6 : Kerkourage

2- Foration :



Photo 7 : Un terrain foré



Photo 8 : Exemple d'un puits

C'est une opération qui consiste à réaliser des trous ou des puits de diamètre de 9 pouces, et de hauteur connue, à travers une sondeuse/ou foreuse tout au long d'un terrain qui est déjà aménagé et subdivisé en mailles dont lesquelles on fait les forages (photos 9 et 10).



Photo 9 : Sondeuse en cours de foration

But : dans ces trous où on met de l'explosif qui sert à la fragmentation du terrain (stérile) dur pour le rendre friable (étape de sautage), et facile à éliminer (par décapage).

On note que la profondeur des puits est variable d'un terrain à l'autre selon l'épaisseur de(es) la(es) couche(s) qui constitue(ent) le stérile.

La quantité d'explosif utilisée et le nombre de maille varient selon la dureté et l'épaisseur du stérile.

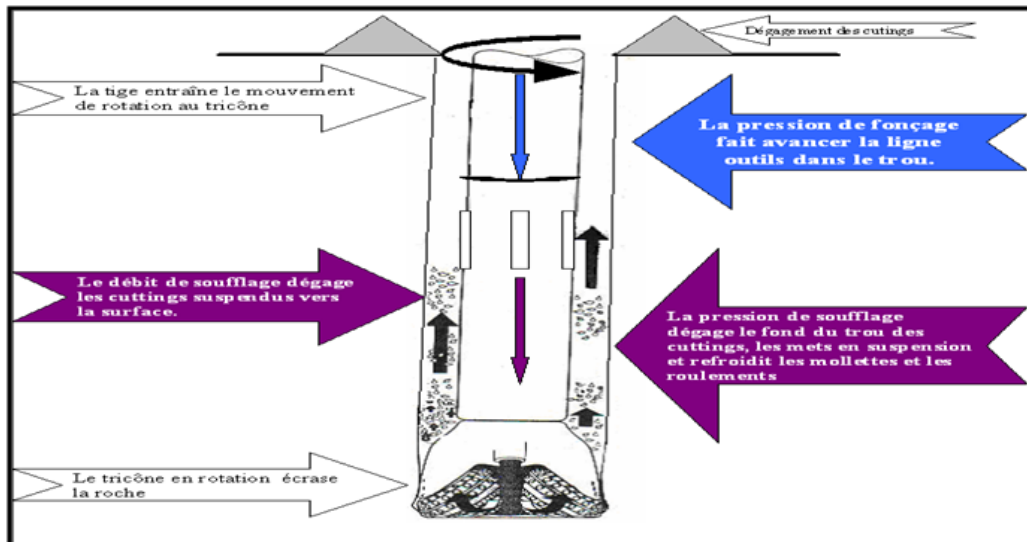


Figure 19 : Schéma du fonctionnement de la sondeuse

L'outil de travail de la foreuse est le tricône. Le rendement de la machine dépend de :

- La vitesse de rotation du tricône ;
- Pression de poussage en profondeur ;
- Pression de soufflage.

Le choix de diamètre de 9 pouces est justifié puisqu'il permet :

- Une avance surfacique importante des opérations foration-sautage ;
- Une réduction du coût de foration puisqu'on fore moins de trou par rapport à un trou de diamètre inférieur à 9 pouces, donc une durée de vie plus importante des pièces d'usures pour le même volume foré ;
- Une amélioration du rendement de l'explosif puisque sa vitesse de détonation augmente avec les grands diamètres.
- Une diminution de temps mort puisque le nombre de trous est moins important (diminution des déplacements).

La maille de foration est variable selon la nature du terrain, elle se présente comme suit :

Les niveaux à forer	La maille
TN.SB	8*8
SB.CI	7*7
TN.SB TN.CI	8*9
B.CI	8*9
CIIG+CI.CII+CI.CIII	6*6
CI.CII	5*6

Tableau 3 : la maille de foration en fonction du terrain à forer

3- Sautage :

Après la foration, vient l'étape du sautage, c'est une opération critique qui consiste à rendre le milieu rigide en milieu tendre facile à éliminer par engins de décapage (cas du stérile), ou facile à exploiter (cas d'une couche phosphatée) par engins de défruitage.

Le principe de cette opération est de mettre de l'explosif (Ammonix) dans les trous forés par les sondeuses et de procéder au tir.

La quantité d'explosif varie selon la profondeur des puits, sachant qu'il faut mettre 12,5Kg d'Ammonix pour chaque 0,7m de profondeur.

- Mode opératoire :

On commence par mettre du bourrage (sol) quelque soit la profondeur initiale du puits jusqu'arriver à 8,80m, on injecte le cordeau détonnant attaché à une pierre pour assurer son arrivée au fond, puis on ajoute 12,5kg d'explosif (1/2 sachet) → 2,8m de bourrage → 1sachet complet d'Ammonix → 1,6m de bourrage → 1sachet complet d'Ammonix → 0,7m de bourrage pour fermer le trou.



Photo 10 : Remplissage des puits par l'Ammonix précédant le tir

De chaque trou sort un fil de cordeau détonnant qui joue un rôle important dans l'excitation d'Ammonix. L'ensemble des cordeaux sont attachés à un détonateur instantané.

- ⇒ Vitesse de détonation du cordeau : 7000 à 8000 m/s
- ⇒ Vitesse d'amorçage de l'Ammonix : 3000 à 4000 m/s



Photo 11 : Le moment du sautage

- L'explosif d'Ammonix :

C'est un explosif stable de 2^{ème} classe qui ne s'excite pas rapidement, il est utilisé pour éviter les interactions avec la température, la pression et les chocs. Sa composition chimique est de 93,3% de Nitrate d'ammonium, 6% de gasoil et 0,7% d'autres ingrédients.

- Les types d'amorçage :

- ⇒ Amorçage latéral : une explosion en profondeur, simple, par le cordeau détonnant, on y procède selon le mode opératoire ci-dessus.
- ⇒ Amorçage séquentiel : basé sur un courant électrique, où on injecte deux cordeaux détonants, l'un est attaché à une pierre, l'autre à une Tovex qui entoure une amorce microretard. Le cordeau nous permet dans ce cas de s'assurer de l'explosion des autres couches où l'amorce microretard est absente, et aussi d'exciter la Tovex en cas de faible résistance dans l'amorce (rôle sécuritaire).

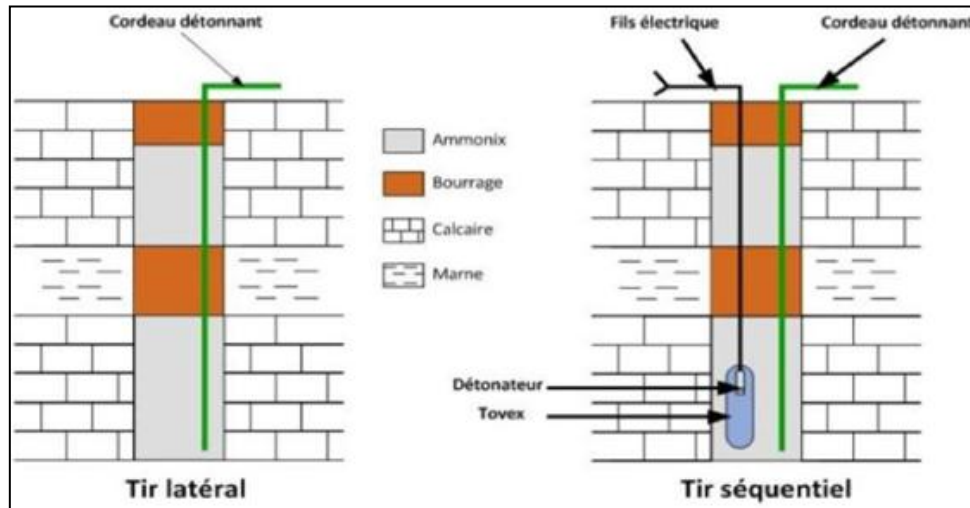


Figure 20 : Types d'amorçage

- La distance de sécurité des machines est : 800m ;
- La distance de sécurité des personnes est : 500m.

4- Décapage :

C'est une opération qui consiste à enlever les morts terrains ou stériles qui sont devenus tendre après sautage. Ces morts terrains peuvent, soit être rejetés dans la tranchée précédente dont on a enlevé le minerai, soit être transportés dans une zone de dépôts.

De ce fait, on a accès à 3 types de décapage :

a- Décapage par « poussage » :

C'est une méthode simple qui consiste à pousser les morts terrains (stériles) de la tranchée en cours d'exploitation vers la tranchée adjacente déjà exploitée (où il y a présence du vide).



Photo 12 : « poussage » du stérile vers le vide

Le principe de cette méthode dépend de la pente. Ce type de décapage s'effectue par les Bulldozers (D11) qui sont des tracteurs sur chenilles équipés à l'avant d'une lame/ou pelle (7m de longueur, 2m de largeur). Le rendement de cet engin dépend de son outil principal du travail (la pelle) et de la pente ; c'est-à-dire que le rendement augmente quand la pente est descendante. Le rendement moyen est de 360 m³/h. La consommation horaire en gasoil des Bulldozers est 100 l/h.



Photos 13 : Engins D11 pendant le décapage

b- Décapage par transport :

Consiste à transporter le stérile (en cas d'absence du vide) par les camions de grande capacité (110T, 170T et 190T) jusqu'aux zones de décharge.



Photo 14 : transport du stérile par les camions de KOMATSU

c- Décapage par casement :

Ce type de décapage s'effectue à l'aide des draglines (195M, 9W, M7900). L'outil principal du travail est le godet qui est dirigé par les câbles de drags. Leur cycle est comme suit : lancement du godet → Drag (remplissage du godet) → le reversement.



Photo 15 : Engin 195M

195M : utilisée pour le décapage de l'intercalaire A/C₁, son godet porte environs 11-12 Tonnes, et son rendement est de 260-300 m³/h. Son fonctionnement se fait en deux positions :

- ⇒ Ouverture et barrière.
- ⇒ Fermeture et casement de tout le reste.



Photo 16 : Machine 9W

9W : La deuxième machine de décapage par casement, utilisée pour le décapage de la couche C₁/C₂ plus grande que la 195M mais son godet est plus petit. Il porte jusqu'à 9,7 m³ de stérile avec un rendement de 180 m³/h.



Photo 17 : Engin M7900

M7900 : C'est la deuxième plus grande machine présente au bassin d'Ouled Abdoun après la 8400 présente à Sidi Chennane. Elle effectue 30% du rendement de la mine d'El Merah. Son rayon de travail est de 50m, son godet porte 34m³ d'intercalaire et son rendement est de 700- 800m³/h

✚ D'une manière générale, le rendement de ces machines varie selon plusieurs critères :

- ⇒ Le cycle
- ⇒ Le remplissage du godet
- ⇒ Qualité du sautage effectué dans le terrain

Il est calculé par la relation suivante :

$$R_h = \frac{3600}{\text{temps du cycle}} * Cg * Rg$$

Avec :

Cg: Capacité du godet (Stable)

Rg: remplissage du godet (Variable 96% max)

5- Défruitage :

Le défruitage est considéré comme la récolte d'un fruit, c'est la dernière étape dans le cycle de la production minière du phosphate, et aussi l'étape où on transporte le phosphate brut -après son nettoyage- par chargement et transport par camions de sous-traitance vers les trémies d'épierrage et de criblage.

Le défruitage sur terrain se fait à l'aide de plusieurs engins :



Photo 18 : Pelle hydraulique (Pouclin)

Les pelles hydrauliques (Pouclin) : la capacité du godet est d'environ 1 tonne, elles travaillent en bute (elles se mettent devant le niveau à charger). Leur cycle se compose des mouvements suivants : cavage, levage et orientation.



Photo 20 : Défruitage par dragline 200B

Les draglines (200B) : la capacité de son godet est d'environ 7 tonnes, elles se mettent sur le niveau à charger. Ce type de machine à un rayon d'action important et pouvant creuser les stériles aux bords de la tranchée si la largeur le permet.



Photo 21 : Chargeuse sur pneus

Chargeuses sur pneus : Ce sont des engins diesel destinés essentiellement au défruitage des niveaux minces et meubles après gerbage par bulldozers (D9+D11) ou paydozers tels que le sillon B, le sillon A la couche 0 et la couche 2B.

6- Le transport des phosphates :

Après défruitage, le phosphate est chargé et transporté dans les camions de sous-traitance qui vont être pesés dans les balances afin de savoir le tonnage de la matière exploitée puis le phosphate est déversé dans la zone de stockage à basse teneur.



Photo 22 : Camion de sous-traitance sur balance

Après son classement selon sa qualité (Basse, moyenne ou grande teneur), le phosphate est transporté par les grands camions de KOMATSU (210 tonnes) ou de LECTRA-HAUL (170 tonnes). Le phosphate déversé sur les trémies pour son épierrage et criblage.



Photo 22 & 23 : Transport de phosphate par camion de KOMATSU

Dans la zone de décharge, existent deux trémies t_1 et t_2 , qui peuvent accepter le même produit ou deux produits de qualités différentes.



Photo 24 : Le versement du phosphate dans les trémies par les KOMATSU

✚ **N.B :** Cycle machine camion : La machine travaille en continuation, elle doit avoir un nombre de camions suffisants afin d'éviter l'arrêt de l'opération due au manque de ces derniers.

7- Epierrage, criblage et mise en stock :

Le phosphate déversé sur les trémies subit les opérations suivantes :

- ✚ Épierrage sur un crible de maille 90x90 mm.
- ✚ Le refus de ce crible est concassé afin de réduire sa dimension à moins de 200mm, avant de l'acheminer vers les mises à terrils.
- ✚ Le passant du crible est envoyé vers les stations de criblage de maille 30x50 mm, puis d'un crible de maille 15x30 mm, puis acheminé vers le parc de stockage.
- ✚ Le refus rejoint le circuit des stériles après recriblage.
- ✚ La mise en stock du phosphate criblé se fait par "qualité source" (fonction de ses teneurs en BPL et en éléments traces) suivant des repères réservés pour chaque qualité.

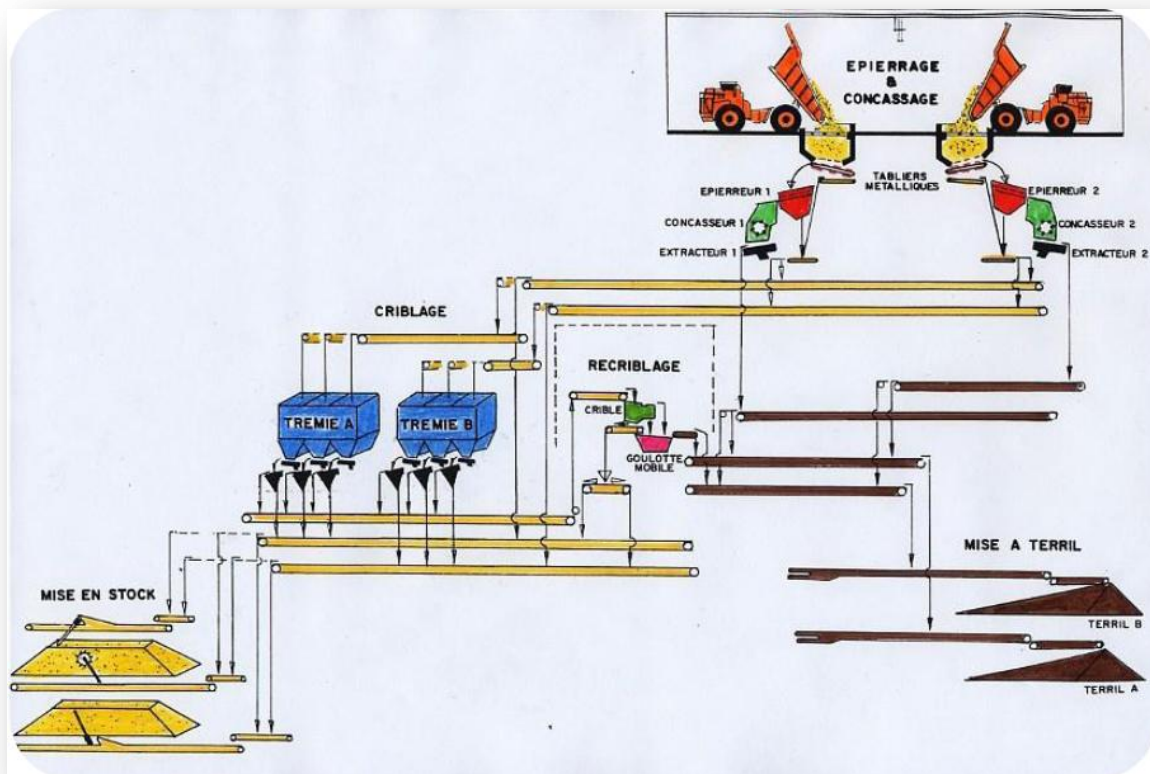


Figure 22 : Schéma de fonctionnement d'une trémie

IV- PLAN D'ACTION D'EXPLOITATION DES COUCHES PHOSPHATÉES :

Le tableau suivant nous informe sur les qualités des teneurs des couches phosphatées au niveau de la mine MEA, on peut donc élaborer un plan d'exploitation de ces couches dans les différentes zones (E.Z.C.N, E.Z.C.S, Z.C.S).

	E.Z.C.N		Z.C.S		E.Z.C.S		
SB	THT		THT		THT		
SA	BT		BT	MT	BT	MT	
CO'+ D & N	BT	BT	HTM		BT	MT	
CI Sup	MT				HTM		MT
C1 Med							
C1 Inf							
C2 A	BT		BT			BT	
C2 B	MT		HTM	MT	HTM	MT	
C3 gl	TBT						

Tableau 4 : les qualités des teneurs des couches phosphatés dans la mine MEA (D'après rapport inédit OCP, 2010))

Comme cité avant, il existe deux méthodes d'exploitation :

- Méthode sélective qui consiste à prendre séparément les couches phosphatées.
- Méthode globale qui consiste à prendre globalement les couches avec leurs intercalaires.

→ Analyse du tableau :

Le sillon B « S_B » se prend toujours séparément des autres couches par méthode sélective puisqu'il est de très haute teneur (THT).

Le Sillon A « S_A » même s'il est de basse teneur à moyenne teneur, se prend par méthode sélective dans toutes les zones vu la grande puissance (épaisseur) de l'intercalaire « S_A/C₀' + Dalle à Nodules » qui est de 5m.

La Couche 3 se prend globalement dans toutes les zones (Couche3 sup+ Couche3 Inf), mais elle se prend avec la Couche 2 dans l'E.Z.C.S « Mlikat »

➤ E.Z.C.N :

- Région « Lahou » :

Proposition : On prend par méthode globale C₀' + dalle à nodules + C₁ et C₂ globale.

Nous devons calculer la teneur pondérale :

$$T_p = \frac{\sum \text{Epaisseurs} \times \text{BPL de chaque couche}}{\sum \text{Epaisseurs}}$$

$$= \frac{(0,74 \times 61,38) + [(0,97 + 0,54 + 0,89) \times 68,9] + [(1,15 + 2,67) \times 63,88] + (1,14 \times 69,15)}{0,74 + 0,97 + 0,54 + 0,89 + 1,15 + 2,67 + 1,14}$$

$$= 65,88 \%$$

Et 64,5 < 65,88 < 68% → Basse teneur riche.

Conclusion : Nous aurons un gain dans le tonnage mais une perte au niveau de la qualité de la couche 1 globale et la Couche 2B, qui sont de moyenne teneur, aussi, le traitement de la Basse teneur coûte plus cher.

- Région « Dayer »:

Proposition 1 : On prend par méthode globale la C₀' + dalle à nodule jusqu'à la C_{2B}

Nous devons calculer la teneur pondérale :

$$T_p = \frac{[(0,72 + 0,95 + 0,64) \times 61,12] + (1,21 \times 72,82) + [(1,39 + 2,94) \times 62,78] + (0,9 \times 69,06)}{0,72 + 0,95 + 0,64 + 1,21 + 1,39 + 0,9}$$

$$= 64,86 \%$$

Et 64,5 < 64,86 < 68% → Basse teneur riche.

Conclusion : Nous aurons un gain dans le tonnage mais une perte au niveau de la qualité de la couche 1 inférieur qui est de haute teneur normale.

Proposition 2 : On prend seulement la couche 1 globale + C₀' + Dalle à nodules.

$$T_p = \frac{[(0,72+0,95+0,64)*61,12] + (1,21*72,82)}{0,72+0,95+0,64+1,21}$$

$$= 61,64 \%$$

Et 61<61,64<65% → basse teneur normale

Conclusion : Nous aurons un gain dans le tonnage, mais une perte dans la qualité.

Ceci dépend selon le besoin du client, si ce dernier commande une haute teneur normale, nous aurons exploité la couche 1 inférieure par méthode sélective. Sinon on a accès à l'exploitation par méthode globale avec la couche 2.

➤ Z.C.S :

- S₀-S₂ :

Proposition : On prend par méthode globale depuis la C₀' jusqu'à la C_{2B}.

$$T_p = \frac{[(0,74+0,91+0,16+0,68)*70,68] + [(1,1+2,01)*64,69] + (0,81*71,5)}{0,74+0,91+0,16+0,68+1,1+2,01+0,81}$$

$$= 67,87 \%$$

64,5<67,87<68% → Basse teneur riche.

Conclusion : Si on exploite la couche 1 seule par méthode sélective selon le besoin du client on aura une Haute teneur moyenne. Mais si ce dernier commande une basse teneur, nous aurons exploité la couche 1 + la couche 2 par méthode globale.

- S₅-S₈ :

Proposition : On prend par méthode globale la C₀' + Dalle à nodule + C₁ + C₂

$$T_p = \frac{[(0,79+0,85+0,19+0,67)*69,87] + [(0,89+1,92)*63,8] + (0,98*70,7)}{0,79+0,85+0,19+0,67+0,89+1,92+0,98}$$

$$= 67,28 \%$$

64,5<67,28<68% → Basse teneur riche.

Conclusion : Si on exploite la couche 1 seule par méthode sélective selon le besoin du client on aura une Haute teneur moyenne. Mais si ce dernier commande une basse teneur, nous aurons exploité la couche 1 + la couche 2 par méthode globale.

Dans les deux régions, nous avons un gain dans le tonnage mais une perte de teneur.

➤ E.Z.C.S (Mlikat) :

- Les teneurs de la couche 2 globale sont : Zone A (65,4 %), Zone B (64,85 %), Zone C (66,03 %) → Basse teneur riche.
- Les teneurs de la couche 3 globale sont : Zone A (55,75 %), Zone B (56,6 %), Zone C (56,48 %) → Non Conforme.

En exploitant ces deux couches par méthode globale, nous aurons un gain de teneur (Très basse teneur) et de tonnage, car la couche 3 est de teneur non conforme.

Alors la couche 1 sera exploitée par méthode sélective.

✚ N.B : Ces calculs sont basés sur les résultats donnés dans les coupes moyennes par zones (page 35).

V- RÔLE DU PROSPECTEUR DANS LES PHASES D'EXPLOITATION

Le prospecteur joue un rôle important dans le chantier pour le bon déroulement des phases d'exploitation du phosphate.

Son objectif est :

- ➡ Assurer la conservation de la qualité.
- ➡ Faire la récupération totale du phosphate.

1- Suivi de Foration :

Il se fait dans le but de contrôler la profondeur forée. On se base sur l'observation des cuttings (cutines) et sur la profondeur déduite de la coupe du parement. Le prospecteur réalise par la suite une coupe approximative, dont elle délimite la profondeur et la puissance des niveaux durs (les dalles) et les niveaux tendres.

Dans le cas de la présence des dérangements, il demande de forer des trous intermédiaires ; pour délimiter le dérangement et augmenter la force des explosifs.



Photo 25: Trou de foration



Photo 26 : Image de cutting

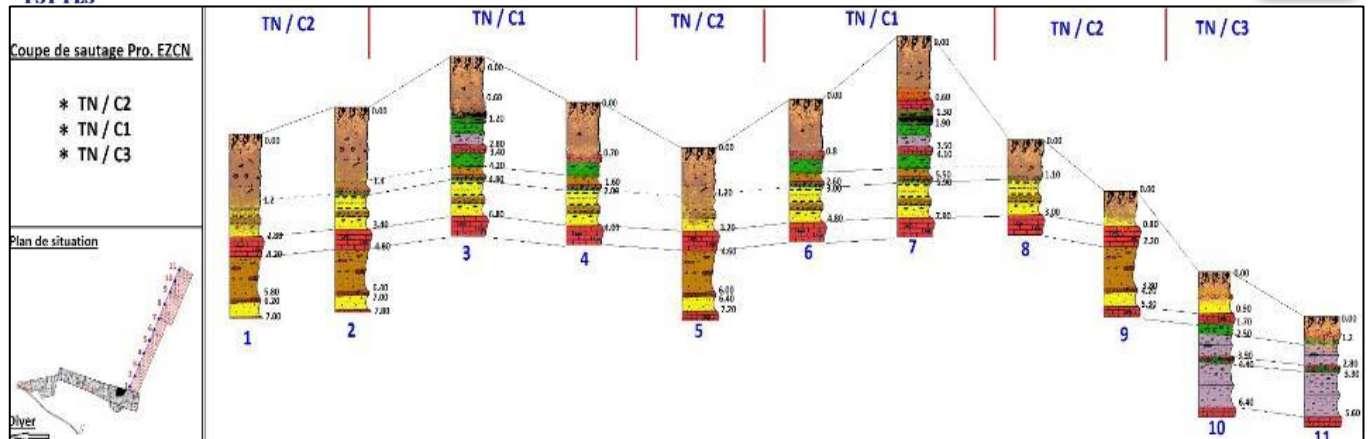


Figure 23 : Exemple de profil lithologique réalisé pour la foration et le sautage (D'après rapport inédit OCP, 2010)

2- Suivi de Sautage :

- ➡ Le prospecteur doit se servir de la première coupe réalisée pendant la foration, pour permettre aux responsables du sautage de placer les explosifs en face des dalles et des bourrages en face des niveaux tendres.
- ➡ Signaler les anomalies géologiques (dérangements, failles.)

3- Suivi de décapage :

Ce suivi consiste à contrôler et identifier les niveaux repères ainsi que le nettoyage des marnes du toit ; pour la préservation de la teneur, et veiller sur l'exécution d'une bonne berme pour éviter les pertes sous cavalier. Une berme est un espace entre le pied du cavalier (stérile) et le pied du faisceau phosphate. Pour mener à bien cette opération, une bonne connaissance des niveaux repères de chaque couche, s'avère nécessaire.

Grandeur de berme par niveau :

Sillon B : 12 à 14m

Sillon A : 8 à 10m

Couche O' : 4 à 6m

Couche 2 : 2 à 4m

Couche 3 : 1m

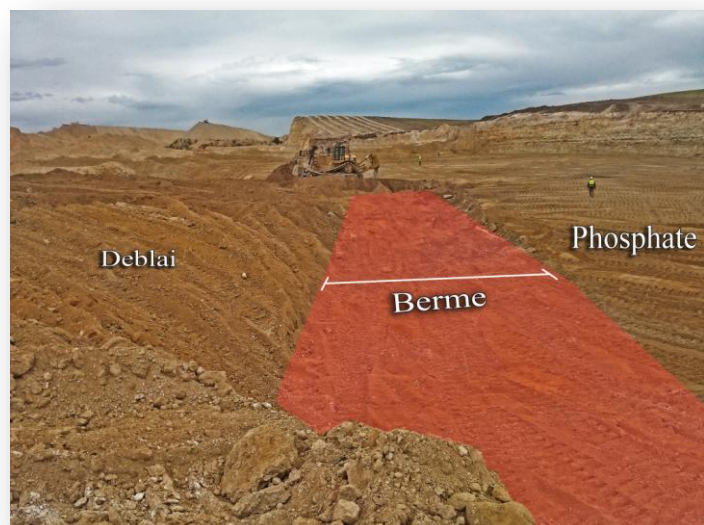


Figure 24 : Exemple d'une Berme

4- Suivi de Défruitage :

Le rôle de prospecteur dans cette phase est d'assurer une bonne récupération du gisement. Pour se faire, on veille à l'exécution d'une bonne berme, assistance au nettoyage du mur, la réalisation des fronts et le contrôle de l'homogénéité du chargement du phosphate.

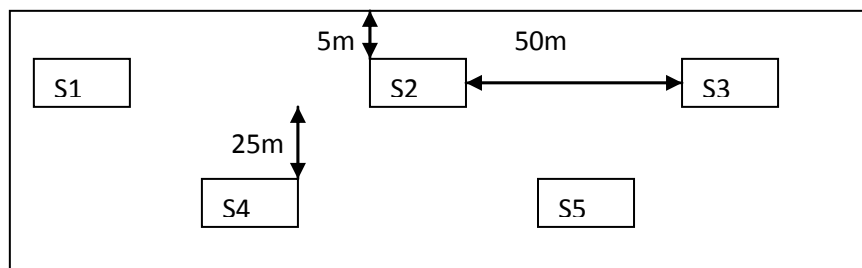
Au sein de cette opération, le prospecteur est mené à faire des saignés le long de la surface décapée, selon une maille précise, souvent de 50m; pour faire l'échantillonnage.

→ Echantillonnage des niveaux phosphatés :

Pour effectuer le contrôle de qualité c'est-à-dire la mesure des caractéristiques du minerai (teneur), il faut disposer d'un échantillon qui permet d'apprécier le lot dont il provient.

L'échantillonnage permet de représenter un lot, par une fraction infime de qualité réelle (inconnue) du lot et celle de l'échantillon soit le plus réduit possible.

L'échantillonnage se fait le plus souvent sur des saignés exécutées par bulls selon une maille bien déterminée et en quinconce.



**Figure 25: Schéma de la disposition des saignés au niveau d'une tranchée
(D'après rapport inédit OCP, 2015)**

Le prélèvement se fait après avoir exécuté une rainure sur le parement pour éviter toute source de salissement.

La rainure a la même largeur et la même profondeur le long du niveau. Cette manière permet de tenir compte de la puissance de chaque entité, et la teneur qu'on obtient est une teneur moyenne pondérée par la puissance (de chaque entité). Pour chaque saigné on prélève un échantillon de 1 Kg environ. La maille d'échantillonnage, pour une zone donnée, est la même pour tous les niveaux.

A MEA ils adoptent une maille entre saignées et pour l'échantillonnage sur parement, il est fait tous les 50m. L'analyse vise essentiellement le BPL, le CO₂, la silice SiO₂ et les éléments traces.

CONCLUSION

.....

On conclusion du travail que nous avons effectué durant notre stage dans le gisement phosphaté d'Oulad Abdoun en mine Mrah Lahrach au sein du groupe OCP, nous avons pu conclure les points suivants :

- ❖ La lithostratigraphie de la série phosphatée et son découpage minier et chronostratigraphique.
- ❖ L'étude de l'ensemble des théories qui ont abouti à la formation des phosphates (Phosphatogenèse).
- ❖ Aperçu géologique et tectonique en étudiant les failles et les structures en collapses (les dérangements).
- ❖ Les normes et variations des teneurs des phosphates par zones.
- ❖ Méthodes et chaîne cinématique de l'exploitation utilisée dans la mine, ainsi que le rôle de prospecteur dans chaque phases.

Bibliographie

- ☞ CHARRIERE A. (1990). – Héritage hercynien et évolution géodynamique alpine d'une chaîne intracontinentale: le Moyen Atlas au SE de Fès (Maroc). Thèse Doct. Etat, Toulouse, 589 p
- ☞ CHARROUD M. (1990). – Evolution géodynamique de la partie Sud-Ouest du Moyen-Atlas durant le passage Jurassique – Crétacé, le Crétacé et le Paléogène : un exemple d'évolution intraplaque. Thèse 3^{ème} cycle, Rabat, 234 p.
- ☞ COLO G. (1961-64). – Contribution à l'étude du Jurassique du Moyen Atlas septentrional. Notes et Mém. serv. Géol. Maroc, n° 139, 226 p., 2 vol.
- ☞ FEDAN B. (1988). – Evolution géodynamique d'un bassin intraplaque sur décrochements : (Moyen-Atlas, Maroc) durant le Méso- Cénozoïque. Thèse Doct. d'Etat. Univ. Mohammed V, Rabat, 338 p.
- ☞ Harvey Lodish, Arnold Berk, Paul Matsudaira, Chris A. Kaiser, Monty Krieger, Matthew P. Scott, S. Laurence Zipursky et James Darnell (trad. Pierre L. Masson et Chrystelle Sanlaville), *Biologie moléculaire de la cellule* [« Molecular Cell Biology »], Bruxelles, De Boeck Université, 2005, 3^e éd., 1096 p
- ☞ HINAJE S. (2004). Tectonique cassante et paléochamps de contraintes dans le Moyen Atlas et le Haut Atlas central (Midelt-Errachidia) depuis le Trias jusqu'à l'actuel. Thèse Doc. Etat, Univ. Rabat, 363p.
- ☞ Ksikes M. (2006).- 50 ans de développement de l'industrie phosphatière au Maroc et évolutions possibles à l'horizon 2025.
- ☞ MICHARD A. (1976). – Elément de géologie marocaine. Notes et mém. serv. Géol. Maroc, 252, 408 p.
- ☞ Rapport d'activité 2013 du groupe OCP
- ☞ Rapport annuel 2012 du groupe OCP
- ☞ SABAOU A. (1998). – Rôles des inversions dans l'évolution méso-cénozoïque du Moyen Atlas Septentrional (Maroc). L'exemple de la transversale El Menzel – Ribat Al Khayr – Bou Iblane. Thèse Doct. Etat, Rabat, 410 p.

❖ **Webo-graphie :**

- ☞ <https://gisements-phosphates-maroc.wikispaces.com/Les+phosphates+Marocains>
- ☞ <http://www.onhym.com/component/content/article/26-cartes-des-domaines-petroliers-et-miniers/contenu/54-geologie-du-maroc-domaines-structuraux.html>
- ☞ <https://fr.wikipedia.org/wiki/Phosphate>