

Le salissement des niveaux phosphatés durant la chaîne cinématique d'exploitation minière à Benguérir (MAROC)

Réalisé par : ZGUAID Maryem et HALOUL Youssef

Soutenu : Le 23 juin 2018

Devant le jury composé de :

Brahim IGMOULLAN : (FST-Marrakech), Encadrant

Essaid ZEROUALI : (OCP Benguérir), Encadrant

Samia BERRADA : (FST-Marrakech), Examineur

Table des Matières

| | |
|---|-----------|
| Liste de figures..... | 4 |
| Liste de tableaux..... | 5 |
| Dédicace..... | 6 |
| Remerciements | 7 |
| Introduction | 8 |
| Présentation de l'organisme et l'entité d'accueil | 9 |
| Chapitre 1 :Synthèse bibliographique | 10 |
| 1- La géologie des phosphates | 10 |
| 1-1 Généralités..... | 10 |
| 1-2 Contexte paléogéographique au crétacé supérieur..... | 11 |
| 1-3 Exploration..... | 11 |
| 1-4 Les bassins phosphatés marocains | 11 |
| 2- Présentation du site d'exploitation minière des Gantour..... | 13 |
| 2-1 Situation géographique et géologique du bassin des Gantour | 13 |
| 2-2 Le découpage lithologique La série phosphatée de Benguéir..... | 14 |
| 2-3 Découpage chrono-stratigraphique | 18 |
| Chapitre 2 :L'exploitation minière des phosphates adoptée à Benguéir | 19 |
| 1- L'exploitation à ciel ouvert | 19 |
| 2- Le découpage en panneaux d'extraction..... | 20 |
| 3- La chaine cinématique d'exploitation minière | 21 |
| 3-1 Aménagement..... | 21 |
| 3-2 La foration..... | 21 |
| 3-3 Le sautage..... | 22 |
| 3-4 Le décapage..... | 23 |
| 3-5 Le défruitage | 23 |
| 3-6 Le transport | 23 |
| 3-7 L'épierrage | 23 |
| 3-8 Criblage | 24 |
| 3-9 Chargement | 24 |

| | |
|--|-----------|
| 4- Les méthodes d'exploitation minière | 24 |
| 5- Etude de la conformité des niveaux phosphatés..... | 24 |
| Chapitre 3 :L'effet de salissement sur la qualité des phosphates..... | 26 |
| 1- Définitions..... | 26 |
| 2- Travaux de terrains et méthodes | 27 |
| 3- Résultats..... | 28 |
| 3-1 Les résultats d'analyses in situ | 28 |
| 3-2 Les résultats d'échantillonneur automatique après épierrage | 28 |
| 3-3 Le taux de récupération | 29 |
| 3-4 Les résultats de défruitage T64 | 30 |
| 3-5 Les résultats des méthodes d'exploitations | 31 |
| 4- Discussions et interprétations | 32 |
| 4-1 Interprétations des données | 32 |
| 4-2 Salissement lié aux étapes d'exploitation..... | 32 |
| 4-2-1 Salissement lié à la foration / Sautage..... | 32 |
| a- La variation latérale de la couche | 32 |
| b- Causes liées à l'explosif..... | 33 |
| 4-2-2 Salissement lié au Décapage/ nettoyage | 33 |
| a- Le stérile laissé sur la couche..... | 33 |
| b- Le dressage de la berme | 34 |
| c- La variabilité des couches | 34 |
| d- La sélectivité | 35 |
| e- Décapage par poussage | 35 |
| f- Décapage par transport..... | 35 |
| g- Décapage par dragline | 35 |
| 4-2-3 Salissement lié au défruitage | 36 |
| 4-2-4 Salissement dans le point bascule..... | 37 |
| a- Assemblage de produits de différentes qualités dans une même place | 37 |
| 5- Causes liées au climat | 38 |
| Conclusion..... | 40 |
| Bibliographie..... | 41 |

Liste de figures

| | |
|--|----|
| Figure 1 : Répartition des phosphates dans le sous-sol marocain..... | 11 |
| Figure 2 : localisation des bassins phosphatés au Maroc..... | 12 |
| Figure 3 : les différents gisements de bassins des Gantour..... | 13 |
| Figure 4 : Carte géologique de bassin de Gantour extraire de la carte géologique de Maroc 1/500000 (SAADI, 1991)..... | 14 |
| Figure 5 : Couches phosphatées d'âge crétacé de la région de Benguéirir..... | 15 |
| Figure 6 : Log stratigraphie synthétique moyenne de la série phosphatée du gisement de Benguéirir. | 17 |
| Figure 7 : Schéma montrant le principe de l'exploitation à ciel ouvert..... | 19 |
| Figure 8 : Schéma de découpage de la mine de Benguéirir. | 20 |
| Figure 9 : Schéma de découpage de panneaux en tranchées et cases. | 21 |
| Figure 10 : Principe de la foration au tricône..... | 22 |
| Figure 11 : Coupe géologique N-S de tranchée S4 panneau 8..... | 33 |
| Figure 12 : Marne laissée intacte lors d'un mauvais nettoyage, mine nord Benguéirir..... | 34 |
| Figure 13 : Photo illustrant la berme, mine nord, Benguéirir. | 34 |
| Figure 14 : photo illustrant l'éboulement à côté du parement mine nord de Benguéirir. | 35 |

Liste de tableaux

| | |
|--|----|
| Tableau 1 :La charte qualité du gisement de Benguérir. | 25 |
| Tableau 2 : les résultats d’analyses des échantillons In situ mine nord Benguérir, Mai 2018 | 28 |
| Tableau 3 : Les résultats d’échantillonneur automatique | 28 |
| Tableau 4 : taux de récupération des phosphates dans le panneau 1, Mine sud de Benguérir, Avril 2018..... | 29 |
| Tableau 5 : taux de récupération des phosphates dans le panneau 5, | 29 |
| Tableau 6 : Taux de récupération des phosphates | 29 |
| Tableau 7 : Les résultats de défruitage de la T64 | 31 |
| Tableau 8 : Le taux de salissement de la tranchée TB15, Benguérir (Doc OCP)..... | 31 |
| Tableau 9 : Le taux de salissement pendant chaque mois de 2013 (Doc OCP) | 38 |

Dédicace

A

Nos parents

Nos frères et sœurs

Nos familles

Nos amis.

Remerciements

Nos premiers remerciements s'adressent à notre encadrant, le Professeur **Brahim IGMOULLAN**. Tout au long de ce travail, il a su nous apporter un soutien constant, une disponibilité, une écoute, une confiance, des conseils précieux et constructifs et des critiques qui nous ont guidés en toute étape de la réalisation de ce travail. On est très chanceux de l'avoir comme Encadrant avec la belle ambiance de travail qu'il crée.

Nos vifs remerciements s'adressent à la direction de la géologie du groupe OCP qui a accepté notre demande de stage auprès du service géologique de Benguérir. On remercie particulièrement **Mr. Essaid ZEROUALI**, Notre encadrant de stage de nous avoir accordé sa confiance dans ce projet.

On adresse nos précieux remerciements aux personnels du service géologie à l'OCP Benguérir spécialement **Mr. Youssef BOUNOUANI**, **Mme. Najat AMINE** et **Mr. Mohamed KOKODIL** et **Mr. Abdelbasset**. Qui nous ont accordés, de bon gré, leur collaboration et toutes les explications concernant notre sujet, de leur aide et de leur gentillesse.

On renouvelle toute notre amitié et notre sympathie à celui qui nous a accordé du temps. Par son soutien, son aide, son accueil à n'importe quel moment, Merci à **Mr. Abdellah EL BIRAT**, n'oubliant pas **Mr. Hakim ELAZIZI** qui nous a aidés par les discussions qu'on a eu la chance d'avoir avec lui, ses suggestions et ses contributions.

Avec une grande émotion, on adresse nos remerciements à nos parents et nos familles qui nous ont permis d'effectuer nos études en toute sérénité et ont toujours porté un fort intérêt au travail qu'on effectue, leur soutien et leur sollicitude ont largement contribué à l'aboutissement de ce travail, on leur exprime ici toute nos gratitude.

Enfin on adresse nos remerciements au professeur **Samira BERRADA** d'avoir accepté d'évaluer notre travail et d'être présente à cette soutenance.

Introduction

Notre projet de fin d'étude rentre dans le cadre des études menées par l'OCP dans le Service Géologie du Pôle Mine de Benguerir, qui s'occupe du contrôle de la qualité et la quantité de la couche à extraire de la zone en cours d'exploitation. Vu que l'entreprise se trouve aujourd'hui, dans un marché qui exige des contraintes de qualité rigoureuse.

Certe les résultats d'échantillonnage « In Situ » se diffère des résultats d'échantillonneur automatique donné après épierrage, le produit subit généralement une diminution de la teneur en BPL ce qui influence directement la qualité du phosphate extraite.

Le présent travail est réalisé dans des zones en cours d'exploitation pour recenser les différentes causes engendrant le salissement des phosphates durant les différentes étapes de la chaîne cinématique d'exploitation minière, en se basant sur des données d'échantillonnage et d'observation sur terrain.

Après la présentation des objectifs recherchés, des outils utilisés et de la méthodologie, la suite de ce mémoire est organisé en trois principaux chapitres : Le premier traite respectivement des généralités sur les phosphates et sur le bassin de Gantour, Le deuxième chapitre comprend la chaîne cinématique d'exploitation minière, on parlera aussi de la conformité des couches phosphatées. Dans le troisième chapitre on abordera une discussion et une interprétation des résultats obtenus sur l'effet du salissement sur la qualité des phosphates dont on définira les causes de de cette perte de qualité. Vers la fin on proposera des solutions pour diminuer le taux de salissement.

Présentation de l'organisme et l'entité d'accueil

OCP Benguérir

La direction des exploitations minières des Gantour opérée par l'office chérifien des phosphates (OCP SA) au Maroc, exploite les phosphates des deux centres miniers : *Youssefia et Benguérir*. Notre stage de fin d'étude a été effectué au sein de ce dernier. Situé à 70 km au nord de Marrakech, d'une productivité de 24h sur 24h assurée par plus de 775 employés. La mine de Benguérir a été le sujet des recherches depuis 1965 mais il n'est entrée en production qu'a 1980, Durant la première phase d'exploitation (1980-1994), 3,1 millions de tonnes de phosphate par an ont été extraites. Durant la seconde phase d'exploitation (1994-2018), 4,5 millions de tonnes de phosphate sont extraites par an. La production de Benguérir est acheminée par camions et par trains jusqu'aux industries chimiques de Safi ou à l'usine de traitement de Youssoufia. Une partie de la production destinée à l'exportation est expédiée via le port minéralier de Safi. (1)

Service méthodes et Planning

Notre stage a été effectué au sein du service des méthodes et planning qui a pour mission principale de contribuer dans la réalisation du programme de la production et ce en collaborant avec les services d'exploitation et matériel, en veillant à minimiser le coût des différentes tâches et à assurer de bonnes conditions de sécurité du personnel, des équipements et du produit (veiller à ce que la qualité du produit soit conservée). Le service se charge également de l'anticipation des besoins clients et de la mise en place des démarches qualité et gère le centre de la documentation du site.

Section de Géologie

Ce service comporte plusieurs entités dont la Section géologie qui s'occupe des études de reconnaissance à partir des puits locaux d'abord et des puits de recherche en suite. Le prospecteur remonte chaque puits en inscrivant les caractéristiques de chaque couche et en relevant les échantillons pour les analyses, ainsi, il établit un certain nombre de cartes pour chaque couche : Carte structurale du toit , Carte de recouvrement au-dessous du toit ,Cartes des iso-teneurs BPL (Bone phosphate of line) pour le suivi de la qualité , Cartes des iso-paches pour le suivi de la puissance totale et de la qualité du phosphate Elle s'occupe également du contrôle de la qualité et la quantité de la case à extraire de la zone en cours d'exploitation. Elle contrôle des niveaux inexploitable du point de vue puissance ou teneurs et le contrôle des niveaux parasites au stade de défruitage.

Chapitre 1 :

Synthèse bibliographique

1- La géologie des phosphates

1-1 Généralités

Les phosphates sont des roches sédimentaires exogènes contenant des minéraux phosphatés sous différentes formes (Amorphe, cryptocristalline, finement cristalline), ces phosphates dérivent de l'apatite des roches magmatique, les phosphates sont formés par la combinaison du phosphore et de l'oxygène, c'est la matière principale de l'extraction des phosphates, assimilé par les êtres vivants qui est indispensable à leurs vies. Les phosphates exploités actuellement sont principalement ceux du Permien de l'Amérique du Nord, et ceux du Crétacé sup.- Éocène de l'Afrique du Nord. (2)

Les phosphates jouent plusieurs rôles :

- La fabrication des engrais qui sont Indispensables à la croissance des plantes, qui sont devenus un enjeu stratégique face à l'augmentation des besoins alimentaire lié à la croissance démographique, dont ses principaux composants en macronutriments sont l'azote : (N), le phosphore (P) et le potassium (K).

- L'extraction de l'uranium à partir des dérivés de phosphates.

- Pour les dérivés chacun est consacré à une ou plusieurs utilisations :

Acide phosphorique : Acide acheté pour être transformé dans des usines, principalement en engrais phosphatés

Acide phosphorique purifié et produits phosphatés pour l'alimentation des animaux : Produits destinés à être transformés ou utilisés directement dans les industries agro- alimentaires ou pour l'alimentation d'animaux d'élevage.

- Conservation alimentaire et de produits cosmétiques.

- Le traitement de l'eau.

- Fabrication des détergents ou de batteries de lithium-ions utilisés dans les véhicules électriques ou des téléphones portable, etc...

1-2 Contexte paléogéographique au crétacé supérieur

La transgression marine du Crétacé supérieur, responsable du dépôt de la série phosphatée, a envahi une grande partie de la meseta occidentale et des confins atlasiques et a préservé les reliefs en hauteur tel que : les Rehamna centraux et les Jbilets, le Rif et l'Anti Atlas.

A la limite Crétacé-Éocène se sont déposés également formations phosphatées plus réduites dans les golfes atlantiques du Sousse, d'Essaouira-Ouarzazate et des Gantour-Oulad Abdoun

L'étude de la série d'Ouled Abdoun montre que ce bassin a évolué au sein d'un golfe marin ouvert sur l'Atlantique et aux courants ascendants (les upwellings) engendrant une intense activité biologique, une importante sédimentation organique et une concentration en phosphore et en silicium.

L'inversion tectonique issue de la convergence de l'Afrique et de l'Europe entraîne le soulèvement progressif de la chaîne atlasique au Cénozoïque. Le Paléogène est une période de calme relatif et s'individualise par le retrait de la mer et la régression importante de l'Eocène moyen (PIQUE, 1996). Dans l'Atlas marocain, s'installe une plate-forme carbonatée lutétienne qui est à son tour disloquée lors d'une baisse eustatique généralisée.

1-3 Exploration

Les premières découvertes du phosphate au Maroc remonte à 1912. Notre pays détient la plus grande réserve en phosphate dans le monde (75 % des réserves mondiales) et une capacité d'extraction qui arrive à 57.8 millions de Tonnes chaque année. Il est considéré comme étant le 1^{er} exportateur mondiale du phosphate brut et le 3^{ème} producteur derrière la chine et les états unis. Ces gisements sont de type sédimentaire avec une valeur économique importante grâce à leur grande teneur en P2O5.

1-4 Les bassins phosphatés marocains

Les plus importants centres d'exploitation des phosphates au Maroc se répartissent en quatre bassins d'extraction (Figure 1et 2): *Khouribga* (Ouled Abdoun), *Youssefia* et *Benguériir* (Gantour), *Bou-Craa* (Oued Eddahab) et *Meskala*. Ce dernier n'est pas encore exploité.

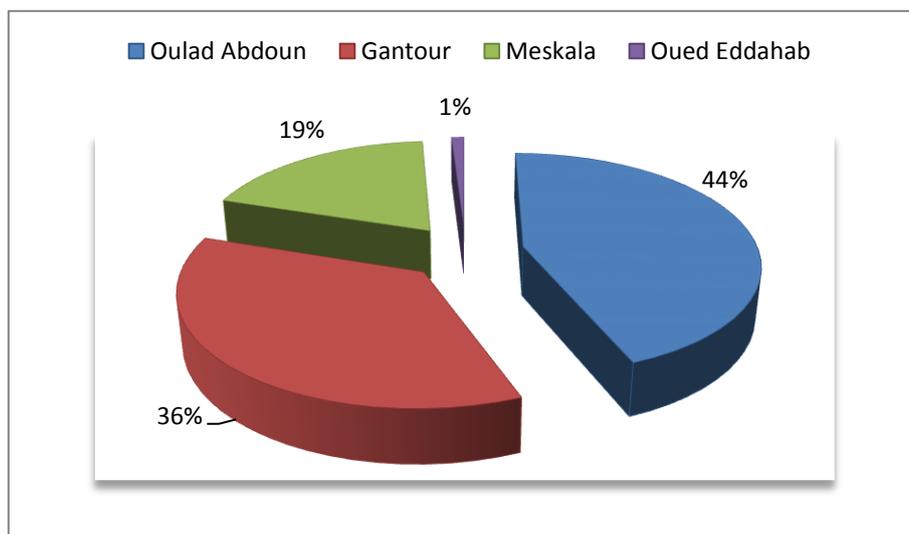


Figure 1 : Répartition des phosphates dans le sous-sol marocain.

Ces gisements, tous déposés à la fin du Mésozoïque et au début du cénozoïque, se diffèrent les uns des autres par leurs superficies et par leurs teneurs en BPL (Bone Phosphate of Lime). Ils comprennent plusieurs couches phosphatées séparés par des dépôts stériles (calcaire, magnésium marneux ou siliceux d'une épaisseur variable sans valeur exploitable.)

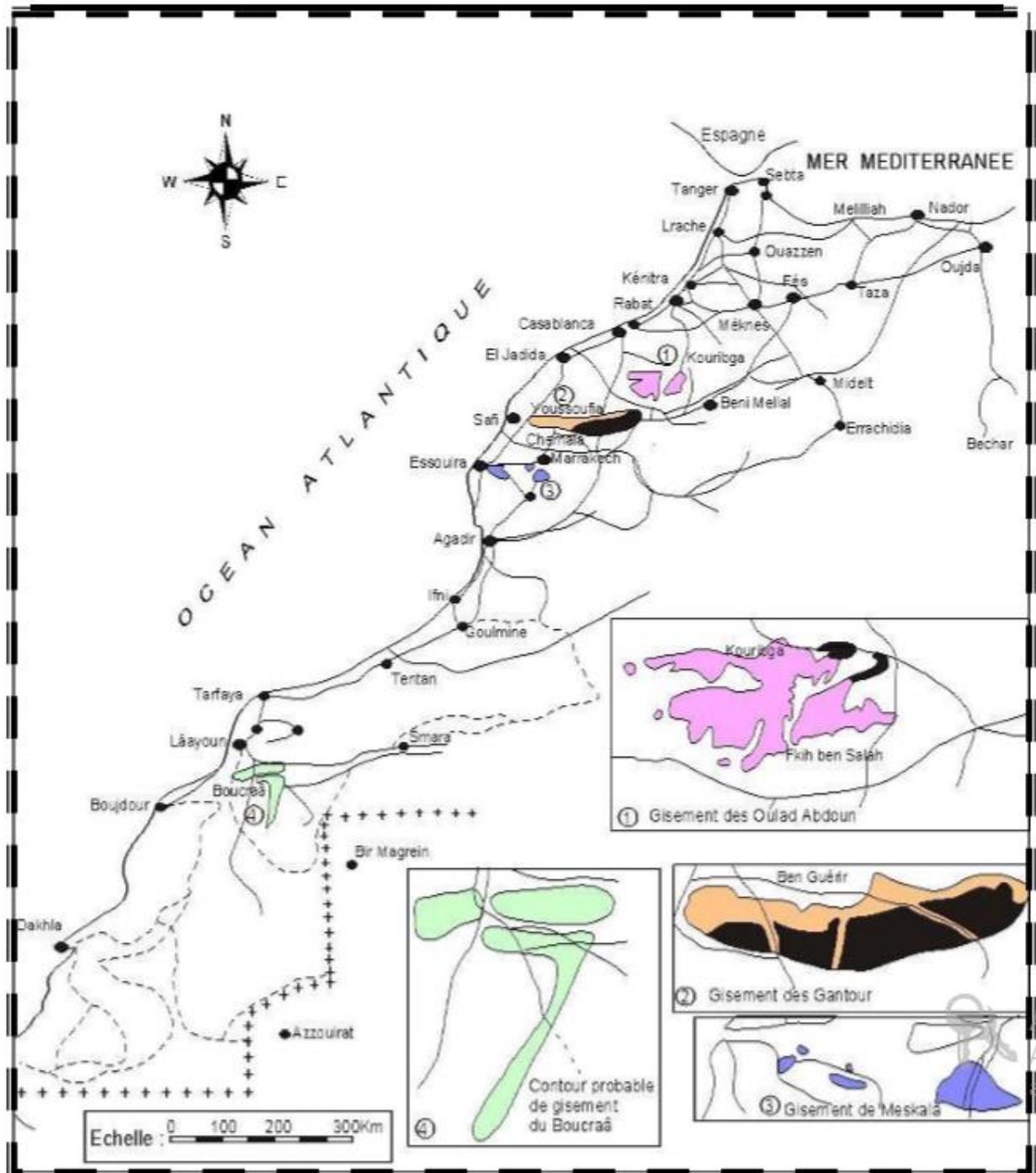


Figure 2 : Localisation des bassins phosphatés au Maroc. (D'après le groupe OCP, rapport inédit)

2- Présentation du site d'exploitation minière des Gantour

2-1 Situation géographique et géologique du bassin des Gantour

Le bassin des Gantour, situé à 140 km à l'est Safi, s'étend sur une superficie de 2 500 km² et renferme 31,09 milliard de m³ de phosphate avec une capacité de production de 8,6 millions de tonnes par an.

Du point de vue géologique il est situé dans la meseta occidentale sous forme d'un plateau allongé Est-Ouest, entre le massif paléozoïque des Rhamna au Nord et le massif paléozoïque de Jbilet au Sud. A l'Ouest il est limité par les collines jurassique de Mouissat et se prolonge à l'Est jusqu'aux rives de l'Oued Tessaout. Ce bassin comporte deux centres d'exploitation miniers : Youssoufia et Benguérir.

Dans ce bassin on distingue 6 zones (Figure 3) qui sont de l'Est à l'Ouest :

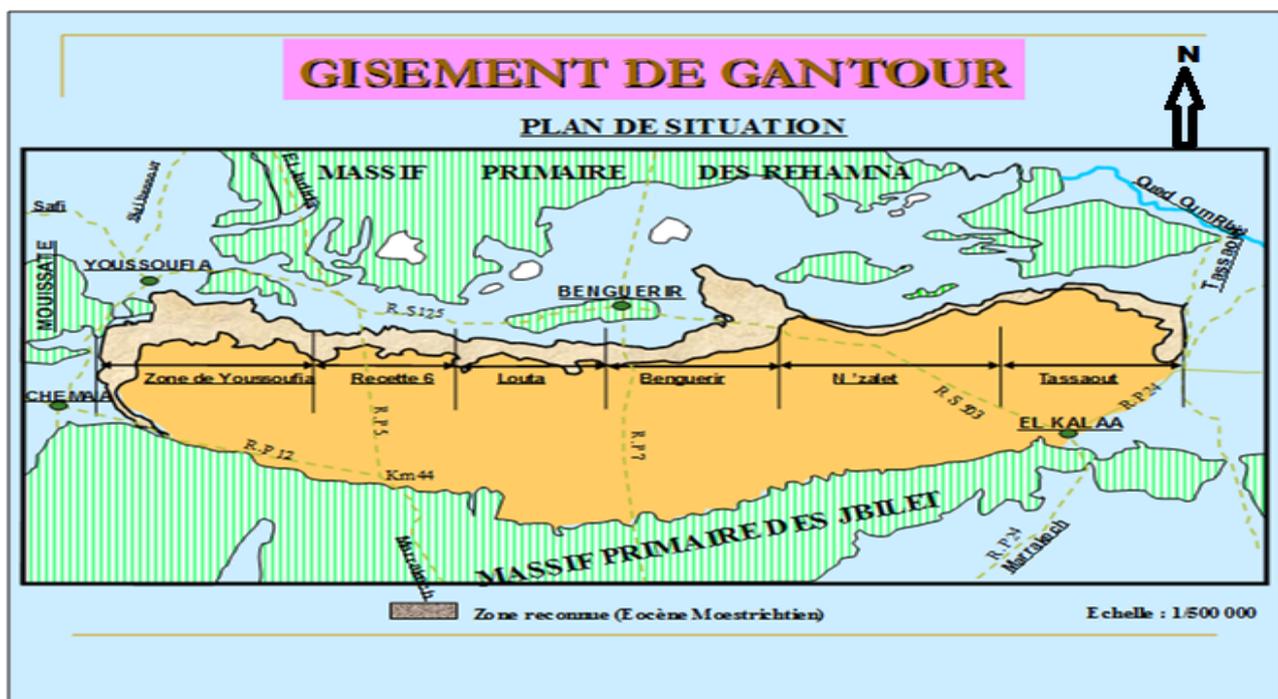


Figure 3: les différents gisements de bassins des Gantour.

- Tassaout Est Ouest
- N'Zalet EL Hararcha
- Benguérir Sud
- Louta
- Youssoufia
- Benguérir Nord

Notre présente étude concerne le centre de Benguérir(3) qui est implanté dans la partie centrale du gisement de Gantour à 17 km à l'Est de Benguérir. C'est une mine à ciel ouvert qui a démarré en 1980. Elle renferme d'importante réserves estimées à 1 741 751 000 m³, et réparties comme suit : Ben guérir nord : 982 770 000 m³, Ben guérir sud : 758 981 000 m³.

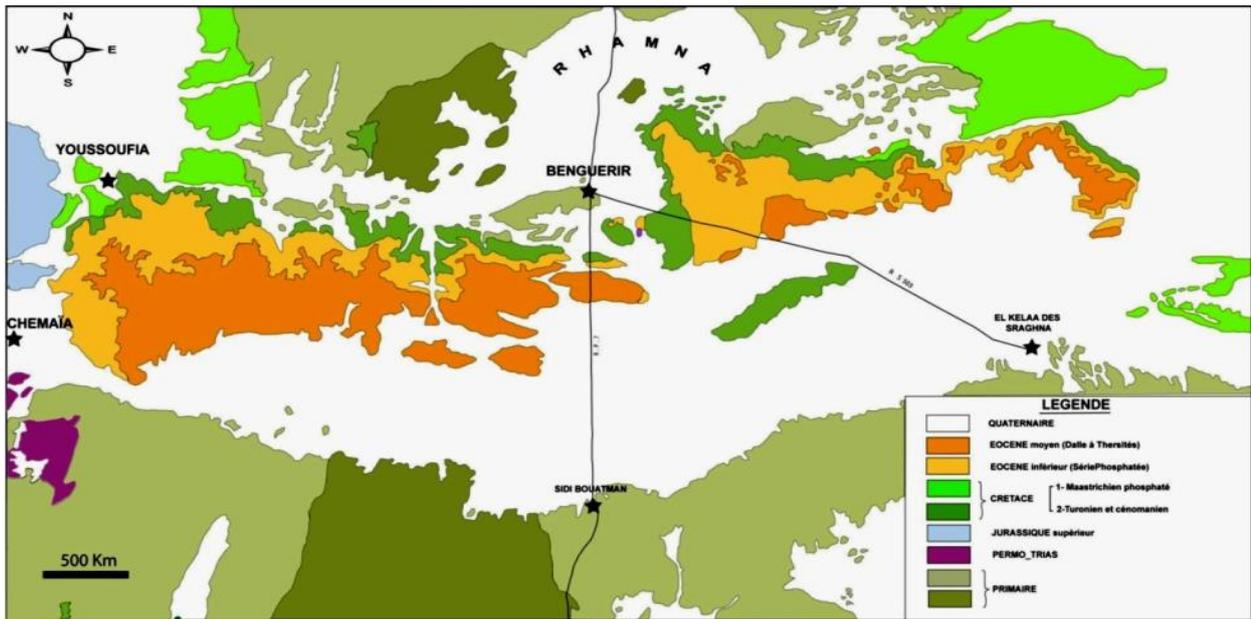


Figure 4 : Carte géologique de bassin de Gantour extraire de la carte géologique de Maroc 1/500000 (SAADI, 1991) (6)

2-2 Le découpage lithologique La série phosphatée de Benguerir

Cette série est formée d'une alternance de couches phosphatées intercalées par des niveaux stériles (Figure 6) qui sont de nature lithologique varié :

La couche 6 : correspond à la base de la série. Elle est formée de phosphate meuble gris beige, organo-détritique qui font suite à des marnes jaunes. Cette couche n'est pas exploitable que dans la mine sud en raison de sa faible puissance et sa richesse en silice.

L'intercalaire 5/6 correspond à des marnes à silex en rognons. Sa base est soulignée par un niveau argileux centimétrique le séparant de la couche 6. Son toit est, parfois, marqué par une dalle de calcaire moucheté de silex

La couche 5 est constituée d'un phosphate meuble plus ou moins marneux, organo- détritique contenant des barres de calcaire. Elle est formée de trois niveaux qui sont séparés par des intercalaires de silex. Ces trois niveaux sont :

- Un niveau supérieur à faible teneur en BPL.
- Un niveau médian à teneur moyenne en BPL.
- Un niveau inférieur à forte teneur en BPL.

L'Intercalaire 4/5 est un mélange de marne siliceuse et de rognons de silex avec quelques blocs de calcaires. Les silex semblent se concentrer au sommet et à la base de l'intercalaire.

La couche 4 est constituée de phosphate meuble avec des rognons de silex. Elle repose sur une discontinuité qui la sépare de la couche 5 et elle est subdivisée en deux niveaux dont la base montre une teneur importante en BPL.

L'Intercalaire 3\4 est une marne siliceuse contenant, dans son ensemble, des rognons de silex. C'est le stérile le plus puissant.

La couche 3 comporte généralement deux niveaux :

Un niveau supérieur de faible teneur en BPL, formé de phosphates meubles beiges plus ou moins marneux.

Un niveau inférieur formé aussi de phosphates meubles mais qui contiennent souvent du calcaire siliceux. Sa teneur en BPL est, en revanche, importante.

L'Intercalaire 2/3 est composé d'argile jaune ou rouge de 2m d'épaisseur (Figure 5). C'est un niveau repère qui permet de différencier la couche 2 de la couche 3.

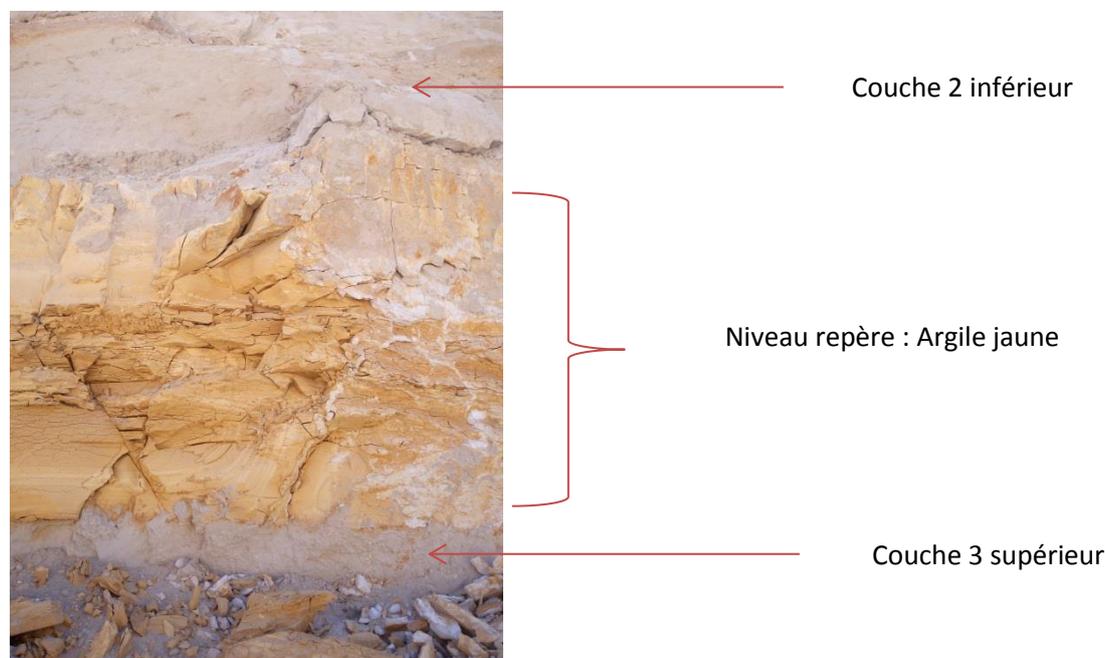


Figure 5: Couches phosphatées d'âge crétacé de la région de Benguérir

La couche 2 est formée de deux niveaux, C2 inférieur et C2 supérieur, séparés par un niveau repère appelé un bone-bed composé de lit d'os :

- Le niveau C2 supérieur, de teneur en BPL importante, formé de phosphates meubles coiffé par un banc calcaire siliceux.
- Le niveau C2 inférieur, de faible teneur en BPL, formé de phosphates marneux et siliceux, de texture meuble et de couleur jaune - grise.

Le sillon X est un niveau de phosphate meuble, discontinu, plus ou moins calcifié.

La couche 1-0 correspond en fait à deux couches phosphatées indifférenciées en raison de leurs compositions lithologiques semblables.

L'Intercalaire 0/1 est un phosphate gris calcifié plus au moins dur passant à un calcaire gris phosphaté.

Le Sillon A correspond à trois niveaux dont deux inexploitable :

Le Sillon A3, constitué d'un phosphate meuble calcifié à faible teneur en BPL.

Le Sillon A2, fossilifère et à une forte teneur en BPL, donc exploitable.

Le Sillon A1, constituée d'un phosphate calcifié et marneux.

Sillon B : Il est constitué d'un phosphate sableux grossier avec rognons de silex. Sa teneur en BPL est importante. Elle est exploitable.

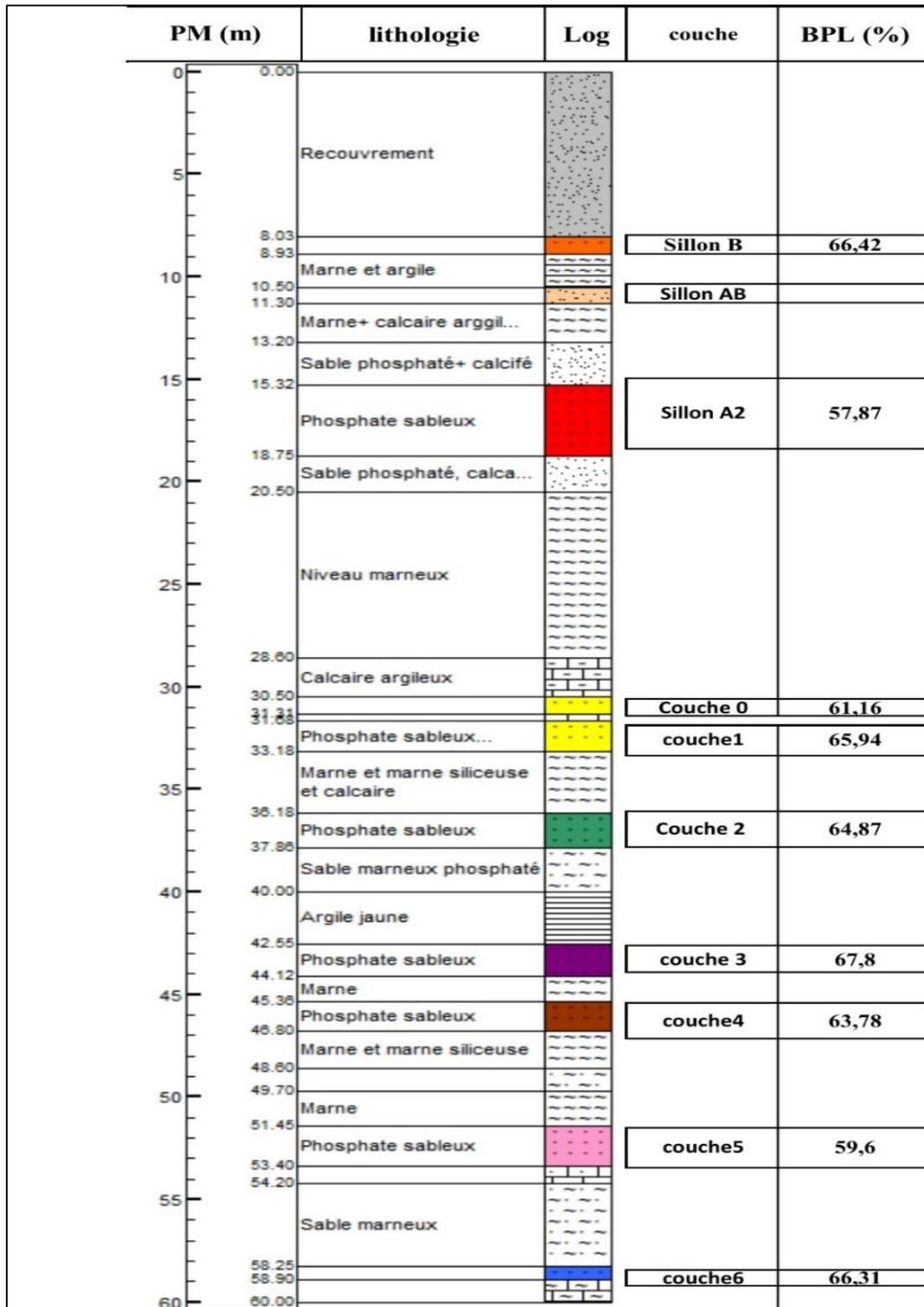


Figure 6: Log stratigraphie synthétique moyenne de la série phosphatée du gisement de Benguézir.

2-3 Découpage chrono-stratigraphique

Nous rappelons que cette série comprend des phosphates qui s'étalent du Maastrichtien au Lutétien, (Boujo, 1972), qui est constituée d'une alternance de niveaux de roches phosphatées, et de niveaux stériles de nature lithologique différents. L'ensemble est coiffé par une dalle carbonatée appelée dalle à Thersite.

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

Il est constitué par des phosphates marneux et des marnes phosphatées. Il débute Localement par du calcaire très fossilifère à bone-bed (lit d'os).

Dès le Maastrichtien la phosphatogenèse fait brusquement son apparition et se poursuit jusqu'au Lutétien.

Le Danien : (*Couche 0/1*).

Il est constitué par des phosphates grossiers riches en (BPL) intercalés entre deux niveaux calcaires phosphatés dépourvus de fossiles.

Le Thanétien : (*Sillon A2*).

Il est formé par des phosphates moyens à fin vers le sommet et du calcaire phosphaté marneux.

L'Yprésien : (*Sillon B*).

Il est formé d'une succession de niveaux phosphatés intercalés avec des calcaires phosphatés coprolithiques, des argiles et de silex ou marnes siliceuses. La phosphatogenèse y atteint son apogée

Le Lutétien

Il est représenté dans sa partie inférieure par un complexe constitué principalement par des calcaires phosphatés, des calcaires marneux, des marnes peu ou pas phosphaté et des marnes siliceuses.

Chapitre 2 :

L'exploitation minière des phosphates adoptée à Benguérir

1- L'exploitation à ciel ouvert

On utilise cette méthode dans le cas d'un affleurement direct du gisement ou si l'enlèvement des roches qui le recouvre est économiquement plus rentable que le creusement de galeries. (Figure7)

A Benguérir où le minerai n'est pas assez profond, l'exploitation à ciel ouvert a été lancée en 1980(4).

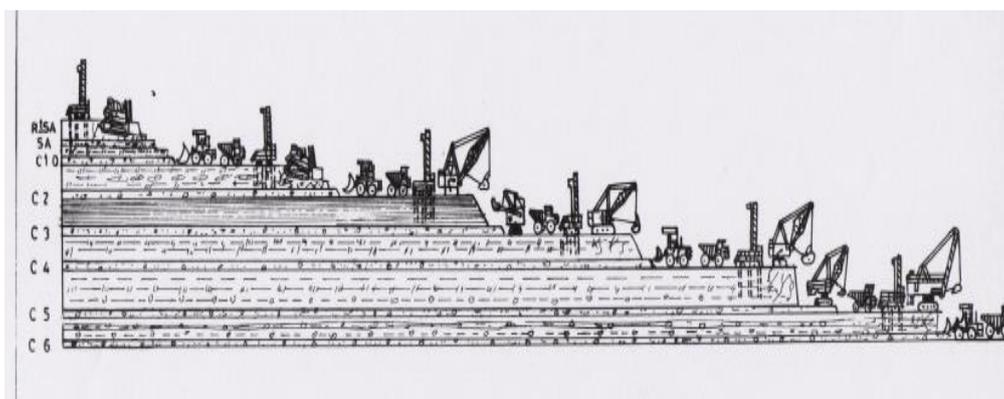


Figure 7 : Schéma montrant le principe de l'exploitation à ciel ouvert

1. Pourquoi cette méthode :

Cette méthode convient avec les caractéristiques de nos gisements qui se caractérisent par Leur:

- Planéité
- Ratio d'exploitation important et rentable (plusieurs couches à exploiter)
- Réserves très importantes.

2. Avantages :

- Plus sécurisée et Plus productive
- Possibilité d'exploiter plusieurs niveaux
- Taux de récupération très important
- Bonne ambiance de travail

3. Exploitation des affleurements :

L'exploitation à ciel ouvert commence toujours par les affleurements, à la limite du gisement et qui sont généralement caractérisés par des fortes pentes, une hauteur de recouvrement très variable et moins de couches de minerai.

Le décapage de ces affleurements se fait par des bulldozers qui assurent la récupération de phosphate et la préparation de l'exploitation des zones centrales.

2- Le découpage en panneaux d'extraction

La série phosphatée de Benguézir est caractérisée par une alternance de niveaux phosphatés et des niveaux stériles nécessitant son enlèvement, son déplacement et transport par des moyens modernes et des équipements lourds ainsi que des machines spécialisées. La recherche a été faite à partir des puits de reconnaissance qui sont implantés d'une manière régulière selon une maille carrée de 250 m de sorte couvrent tout le gisement, afin dessiner un log qui montre la description, le découpage lithologique et la qualité des phosphates. Les études sont appuyées sur les caractéristiques du gisement pour préciser toutes les étapes d'exploitation du phosphate.

Le site minier de Benguézir est devisé en 7 panneaux dans la mine nord, et 2 panneaux dans la mine sud. Ces panneaux sont découpés en tranchées parallèles d'une largeur de 40 m orientés Nord Sud eux même subdivisés en cases de 100 m la longueur. (Figure 8 et 9).

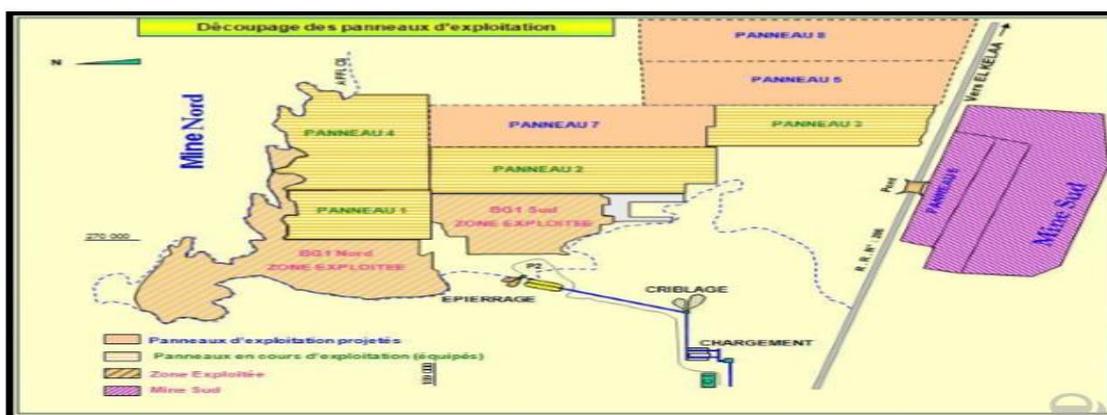


Figure 8: Schéma de découpage de la mine de Benguézir.

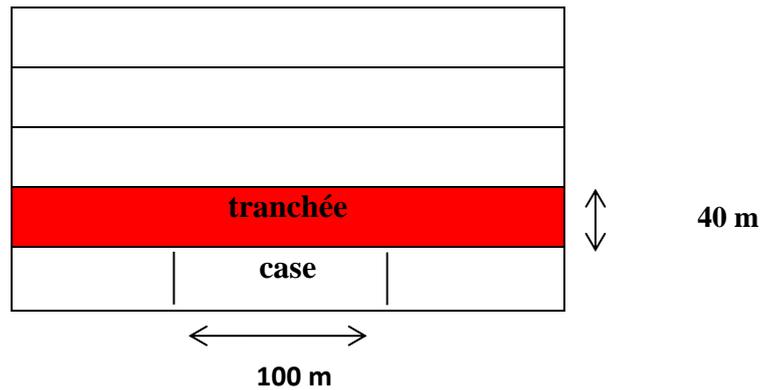


Figure 9 : Schéma de découpage de panneaux en tranchées et cases.

3- La chaîne cinématique d'exploitation minière

La chaîne cinématique d'extraction est l'ensemble des opérations successives nécessaires pour l'exploitation des phosphates à ciel ouvert. Les différentes étapes que subit le phosphate avant d'arriver aux expéditeurs sont :

3-1 Aménagement

C'est l'ensemble des opérations (surfaçage de la zone, abattage d'arbres ...) qui consistent à faciliter le passage de la sondeuse lors du stade forage. Pour cette phase, les engins utilisés sont des bulldozers D9.

3-2 La foration

Après la détermination de la zone à exploiter et pour arriver à la couche phosphatée riche qui nous intéresse, il faut fragmenter la partie supérieure du sol qui est consolidé et stérile. Cette étape consiste l'exécution des trous, il s'agit d'enfoncer une tige dans le sol et de la retirer lorsqu'on atteint le niveau voulu à l'aide d'une machine appelée sondeuse, avec une longueur de tige de 12 m. Ces trous sont exécutés pour loger les explosifs selon des mailles bien déterminés.

Principe de foration :

Chaque sondeuse est équipée d'un support qui tient le matériel, d'un compresseur qui fournit de l'air comprimé (figure 10) et d'une ligne à outil composée des 3 éléments suivants :

- Tige : Elle sert pour la transmission de l'énergie, développée par les moteurs de rotation et de fonçage, vers le tricône. Elles assurent également le passage de l'air vers le fond du trou.
- Drill Collard : est constitué d'une tige de faible longueur sur laquelle sont soudés 3 ou 4 fers plats (aléseurs). Son rôle essentiel consiste à protéger la tige contre l'usure prématurée. Il permet également de créer un espace annulaire pour l'évacuation des débris de foration. Il a aussi le rôle de stabilisateur pour les grandes profondeurs.
- Tricône : Le tricône à molette de 9 pouces de diamètre est l'outil principal de foration. Il permet d'écraser la formation rocheuse et se compose d'un corps, de 3 molettes et de 3 diffuseurs de l'air comprimé.

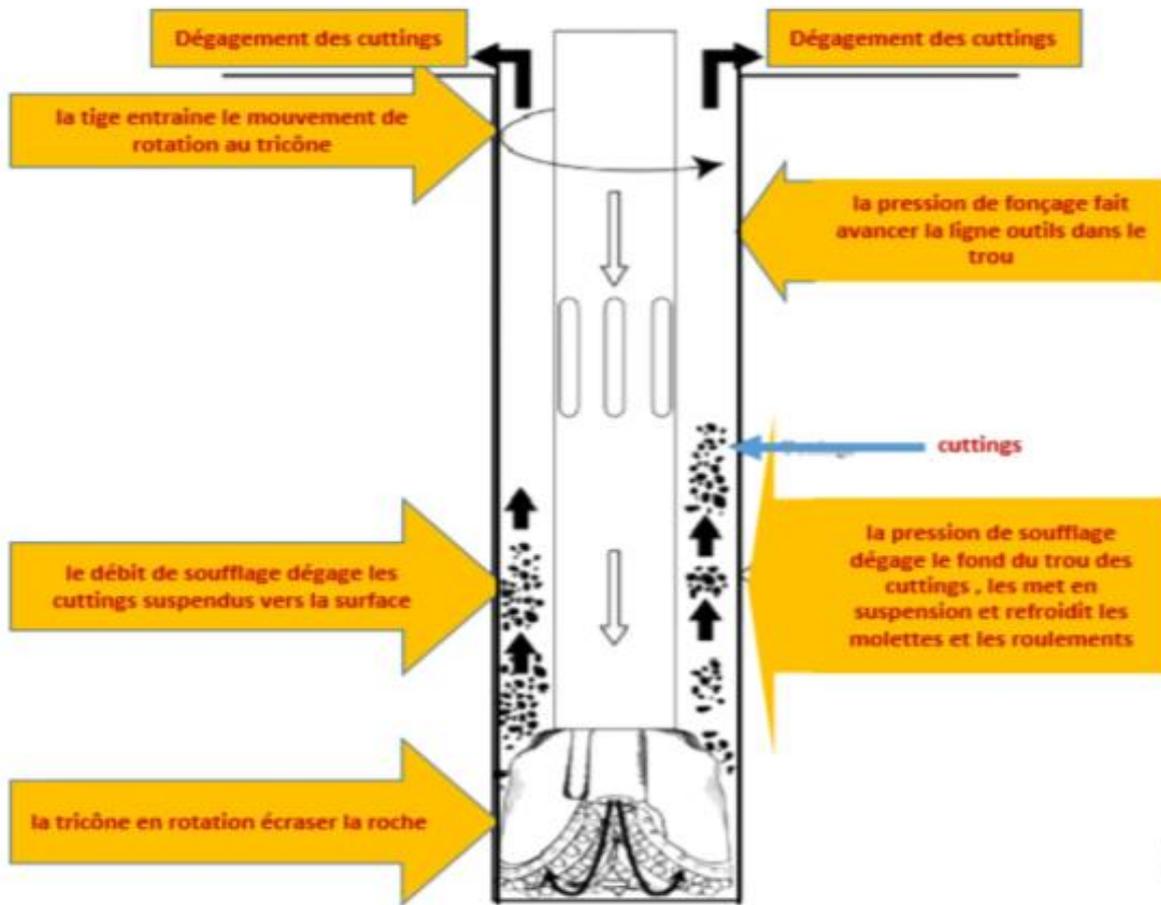


Figure 10 : Principe de la foration au tricône

La maille de foration :

C'est la surface susceptible d'être sautée en tenant compte de la charge explosive qu'on va placer dans chaque trou. En général la maille de foration est la surface représentant Le produit de la banquette et de l'espacement (*la largeur × la longueur*), elle diffère d'une couche à l'autre suivant la nature du terrain, la machine ou l'engin de décapage.

3-3 Le sautage

Les terrains morts en surface se fragmente et devient meuble, après le branchement des charges explosifs et leurs mises en feu. L'explosif utilisé c'est L'Amonix ce dernier convient à tous types de terrains, il est formé de 90% de nitrates d'ammonium et 6% de gasoil. La quantité de l'explosif varie selon des critères par exemple :

Plus Le volume du stérile en place est grand plus on fait augmenter la quantité de l'explosif, la nature du terrain , plus la dureté augmente plus l'opération nécessite une grande quantité d'Amonix , Même le diamètre de la maille choisie dans l'étape de la foration, Le niveau à sauter pour les recouvrements par exemple plus on met de l'explosif dans les trous plus cela facilite la tâche dans l'étape suivante du décapage puisque une partie est automatiquement poussée dans la tranchée précédemment épuisée et le stérile alors est moins rigide, ce qui facilite la tâche des

Bulldozers qui vont assurer le décapage par poussage. Ainsi la quantité d'explosif à mettre dans chaque trou doit être minutieusement choisie pour tenir compte des deux conséquences.

3-4 Le décapage

Cette étape consiste à éliminer les terrains morts fragmentés auparavant, par les draglines et les bulldozers, pour mettre en évidence la couche désirée du phosphate. Cette opération se réalise en deux étapes la première pour enlever une grande partie du stérile fragmenté par les draglines, et la deuxième nommée le nettoyage pour éliminer la petite partie qui reste et qui se trouve près de la couche phosphatée à l'aide des bulldozers, on n'utilise pas des draglines pendant l'étape de nettoyage parce qu'on risque d'arriver à la couche phosphatée donc dégrader la qualité de notre produit. L'opération du décapage se fait par 3 voix différentes :

- **Poussage** : Pousse les stériles par les bulldozers vers les anciennes tranchées, Le décapage par bulls se fait dans les zones d'affleurements, de recouvrement inférieur à 12m. Son rôle consiste à pousser le volume d'une tranchée de largeur déterminée dans la tranchée épuisée, ou à l'extérieur. Ils peuvent pousser soit à l'horizontal, soit en pente en fonction du volume à caser et du vide disponible.
- **Casement** : caser le stérile à l'aide des draglines d'un endroit à un autre.
- **Transport** : il n'est utilisé que lorsqu'on ne peut pas utiliser les autres types de décapage, c'est-à-dire qu'on ne dispose plus de surfaces pour pousser le stérile ou le caser ce qui est généralement le cas pour les Box-Cut ou les niveaux inférieurs dans quelques zones. On utilise des camions de capacités de 170 tonnes ou bien des bondes transporteuses vers des zones déjà exploitées c'est l'opération la plus coûteuse car elle présente des grands risques d'accidents.

3-5 Le défruitage

Après avoir décapé et nettoyé le stérile on procède à la récupération du produit « le phosphate » à l'aide des chargeuses, puis on le remet sur des camions de poids, afin de l'exporter vers les stations des installations fixes. Il y a trois types d'engins pour le chargement du minerai :

- **Les pelles hydrauliques** : elles travaillent en butte (elles se mettent devant le niveau à charger).
- **Les draglines** : elles se mettent sur le niveau à charger.
- **Chargeuses sur pneus** : Ce sont des engins diesel destinés essentiellement au défruitage des niveaux minces après gerbage (formation de tas) par bulldozers.

3-6 Le transport

Le phosphate est alors chargé dans des camions UNIT RIG ou HAUL PAK de 136T de charge utile qui assure son acheminement vers la trémie de déversement là où il va subir des traitements mécaniques de granulométrie visant à réduire la quantité du stérile.

3-7 L'épierrage

Après le transport du phosphate vers les stations des installations fixes, il est versé dans deux trémies qui alimentent deux cribles de maille 90*90 mm destinés à l'élimination des grossiers.

3-8 Criblage

C'est le 2ème épierrage des phosphates, à l'aide des cribles de mailles de 15*15 mm, ensuite on opte pour un criblage de maille 10*10 pour éliminer le maximum de stérile. Le phosphate criblé est stocké dans un parc secondaire appelé parc d'homogénéisation ou le point de bascule ou on effectue le mélange des phosphates selon la qualité. Le transport du parc primaire au parc secondaire est assuré par un convoyeur.

3-9 Chargement

Cette opération consiste à charger des wagons dans une station de chargement à double voie alimentée par une roue pelle via une trémie de réception et une cascade de convoyeurs. Le positionnement des wagons est commandé par deux locotracteurs.

4- Les méthodes d'exploitation minière

La méthode globale : C'est une méthode qui consiste à prendre globalement les couches phosphatées et les intercalaires dont l'utilisation dépend des exigences des clients qui sont en relation avec diverses qualités des niveaux phosphatés. Elle tend à améliorer le taux de récupération et le rendement des machines et à réduire le nombre d'opérations. En revanche en utilisant cette méthode, nous risquons de mélanger le stérile avec le minerai pendant le sautage ce qui va diminuer impérativement la teneur.

La méthode sélective : C'est une méthode qui consiste à exploiter les différents sillons et couches avec l'élimination des intercalaires. Elle a l'intérêt de préserver les teneurs des couches riches ; mais d'un autre côté on note une difficulté d'organisation et un faible rendement des machines du à leur faible taux d'utilisation.

Cette dernière méthode d'exploitation est actuellement celle qui est adoptée pour la quasi-totalité des niveaux phosphatés puisqu'elle permet de prendre chaque niveau à part, sans qu'il soit salé par le stérile ou par les qualités inférieures, et cela pour de préserver les qualités du phosphate.

5- Etude de la conformité des niveaux phosphatés

La conformité est la réponse des produits phosphatés à certaines conditions imposées par les clients. Ces conditions concernent la qualité de produits et le taux de pénalisant qu'il contient.

Le gisement du Benguérir montre, en plus du phosphate à différentes teneurs en BPL, d'autres éléments chimiques qui peuvent ne pas être toléré par le client tels que le cadmium (Cd) (très toxique), l'oxyde de magnésium (MgO) et la silice (SiO₂) dont la mousse peut oxyder les matériaux et bloquer les machines. Le minerai est exporté après vers les usines de traitements de Safi ou EL Youssoufia ou directement à l'export selon la qualité demandé par les clients. L'OCP a d'ailleurs élaboré une charte de qualité (Tableau 1) qui suit des procédures bien définies afin de conserver ses produits dans conditions optimales.

Le BPL (Bone phosphate of lime) est le produit "noble". Sa forme naturelle est le phosphate tricalcique ou l'apatite $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ qui cristallise dans le système hexagonal. Il est obtenu par la formule :

$$\text{BPL} = \text{P}_2\text{O}_5 \times 2,1853$$

BPL (Bonne Phosphate of Lime) - Cd : Cadmium - SiO₂ : dioxyde de silicium - MgO : oxyde de magnésium – CO₂ : dioxyde de carbone

| | CHARTRE QUALITE | | | | |
|---------------|--------------------------|---------|---------------------|----------------------|-------------|
| Client | Profil | BPL (%) | CO ₂ (%) | SiO ₂ (%) | Cadmium (%) |
| Safi | Tessengerlo | 58,5 | 5,6_7 | 1,4 | 12 |
| | Standard | 58,5 | 7_9 | 1,4 | 12 |
| El Youssoufia | Lavé (TBT) | 54 | 7_9 | 1 | 14,5 |
| | Export (MT) | 65 | 5_7 | 0,5 | 8,5 |
| | Standard calciné (BT) | 57 | 6_8 | 1,5 | 5,5 |
| | AD (application directe) | 65 | <5 | 0,5 | 5,5 |

Tableau 1 : La charte qualité du gisement de Benguérir.

Chapitre 3 :

L'effet de salissement sur la qualité des phosphates

1- Définitions

Le salissement du phosphate est une perte de la qualité des phosphates. Il correspond à la variation de la teneur d'un ou de plusieurs éléments des phosphates dû à son mélange avec le stérile suite à plusieurs facteurs qui dépend de l'activité pratiquée au cours des étapes cinématique d'exploitation. Il y a deux types de salissement :

- Salissement par les stériles des intercalaires séparant les couches phosphatées, et qui sont constitués de calcaire, d'argile, de marnes, du silex ou encore un mélange de ces derniers.
- Salissement par contamination par toute sorte d'élément étranger aux couches phosphatées.

Ce salissement peut avoir lieu au niveau du chantier : de la tranché jusqu'au transport ou au niveau des installations fixes : l'épierrage, criblage et le point de bascule avec :

$$\textit{Taux de salissement} = \textit{Teneur BPL (signé/parement)} - \textit{Teneur BPL (gerbage/stock)}$$

Le taux de récupération correspond au rapport du tonnage réellement pris (estimé par les géomètres à partir de la forme géométrique du tas du produit gerbé) sur le produit du tonnage prévu (calculé à partir de la puissance de la couche phosphatée supposée continue), de la surface de la zone exploitée (généralement par case) et du coefficient du profil (5)

$$\textit{Taux de récupération} = \frac{\textit{Tonnage réellement pris}}{\textit{Tonnage prévu}}$$

ou

$$\textit{Taux de récupération} = \frac{\textit{Puissancee récupéré}}{\textit{puissance géologique mesuré}}$$

2- Travaux de terrains et méthodes

Afin de poursuivre la qualité d'une couche phosphatée, nous avons procédé à faire des échantillonnages dans le terrain à différentes cases.

L'échantillonnage doit être fait dans les normes de qualité, en utilisant des outils propres et adéquats (marteau, un godet et des petits sacs pour y remplir par les échantillons). L'intérêt est de préciser la teneur de chacun des niveaux phosphatés.

Trois types d'échantillonnages ont été effectués :

- Échantillonnage d'une couche déjà défruitée sur un parement d'une tranchée ;
- Prélèvement des saignées creusées par bulle avant le défruitage du niveau à exploiter ;
- Échantillonnage sur stock (par grappillage).

Pratiquement, pour prendre un bon échantillon sur un parement ou un saigné, on a suivi les opérations suivantes :

- Nettoyage du mur du niveau phosphaté à échantillonner.
- Grattage sur toute sa puissance avant échantillonnage.
- Mesure de la puissance à échantillonner.
- Prélèvement de l'échantillon sur la totalité de la puissance du niveau à échantillonner.
- Quartage de l'échantillon prélevé.

Les sacs d'échantillonnage doivent porter les informations suivantes :

- Le numéro du panneau et tranchée et case où on a échantillonné ;
- L'épaisseur de la couche à échantillonner ;
- Les coordonnées X, Y et Z.

3- Résultats

3-1 Les résultats d'analyses in situ

13 échantillons ont été prélevés et analysés dans différentes tranchées au site minier de Benguerir. Le tableau 2 résume les teneurs en BPL, en CO₂, en MgO, en Cd et en SiO₂.

| Tranchée | Cases | Couche | Puissance | BPL | CO ₂ | MgO | SiO ₂ | Cd |
|----------|-------|--------|-----------|--------------|-----------------|------|------------------|-------|
| T48 | 40 | C6 | 0,6 | 68.83 | 4.39 | 0.48 | 6,06 | 6.06 |
| T48 | 44 | C6 | 0,9 | 67.95 | 4.23 | 0.53 | 7,05 | 7.05 |
| T48 | 43 | C6 | 0,8 | 56.15 | 4.23 | 2.19 | 6,65 | 6.65 |
| T48 | 42 | C5M | 0,65 | 67.95 | 8.11 | 0.58 | 9,9 | 9.9 |
| T48 | 33 | C5M | 0,75 | 41.95 | 14.03 | 2.83 | 11,12 | 11.12 |
| TC13 | 56 | C0 | 0.8 | 50,26 | 13,52 | 3,05 | 4,99 | 4,99 |
| TC13 | 50 | C0-1 | 0,9 | 63,8 | 5,24 | 1,19 | 4,6 | 4,6 |
| TC13 | 51 | C0-1 | 1 | 68,17 | 4,9 | 0,78 | 4,78 | 4,78 |
| TC13 | 54 | C0-1 | 1,1 | 66,42 | 6,06 | 1,35 | 3,34 | 3,34 |
| TC13 | 55 | C0-1 | 1,2 | 66,68 | 6,4 | 1,45 | 3,27 | 3,27 |
| TC13 | 57 | C0-1 | 0,45 | 68,17 | 6,06 | 0,58 | 4,27 | 7,27 |
| T64 | 10 | C3 INF | 0,55 | 63,37 | 4,9 | 1,02 | 10,69 | 10,69 |
| T64 | 10 | C3 SUP | 0,75 | 42,17 | 3,21 | 0,75 | 37,35 | 37,35 |

Tableau 2 : Les résultats d'analyses des échantillons In situ (mine nord Benguerir, Mai 2018)

3-2 Les résultats d'échantillonneur automatique après épierrage

Lorsque la couche est défruitée, elle est véhiculée vers les installations fixes du chantier où un échantillon est prélevé automatiquement pour chaque tonne de roche. Quelques résultats d'analyses sont présentés dans le tableau 3.

| Tranchée | Case | Couche | BPL | CO ₂ | MgO | SiO ₂ | Cd |
|----------|------|--------|--------------|-----------------|------|------------------|----|
| T48 | 40 | C6 | 68.39 | 3.7 | 0.4 | 7.19 | 4 |
| T48 | 42 | C5M | 64.80 | 5.22 | 1.63 | 10.22 | 6 |
| TC13 | 51 | C0-1 | 66.96 | 5.88 | 0.88 | 6.12 | 8 |
| TC13 | 54 | C0-1 | 65.11 | 6.87 | 1.2 | 5.52 | 10 |
| TC13 | 55 | C0-1 | 63.58 | 6.25 | 1.88 | 5.81 | 14 |
| TC13 | 57 | C0-1 | 67.08 | 5.41 | 1.92 | 4.05 | 18 |
| T64 | 10 | C3INF | 62.27 | 5.39 | 0.49 | 12.25 | 4 |
| T64 | 10 | C3 SUP | 41.16 | 3.2 | 0.53 | 34.28 | 4 |

Tableau 3: Les résultats d'échantillonneur automatique

Après épierrage, mine nord Benguerir, Mai 2018.

3-3 Le taux de récupération

Les tableaux (4,5, 6 et 7) représentent le calcul du taux de récupération des différentes cases exploitées pendant le mois d'avril 2018 :

(Pce : puissance récupérée, Pce Géo = Puissance géologique mesurée)

| Panneau | Tranchée | Case | Couche | Surface | Pce | Volume | Pce Géo | Volume Géo | Taux de récup |
|----------|----------|------|--------|---------|------|--------|---------|------------|---------------|
| P1.M.SUD | TJ3 | 18 | C3G | 2 636 | 0,67 | 1 758 | 1,4 | 3 690 | 48% |
| P1.M.SUD | TJ3 | 19 | C3G | 736 | 0,6 | 443 | 1 | 736 | 60% |
| P1.M.SUD | TJ3 | 18 | C4 | 2 769 | 1,32 | 3 657 | 1,45 | 4 015 | 91% |
| P1.M.SUD | TJ3 | 19 | C4 | 480 | 1,32 | 634 | 1,61 | 773 | 82% |
| P1.M.SUD | TJ3 | 1 | C5S | 2 364 | 0,96 | 2 273 | 0,75 | 1 773 | 128% |
| P1.M.SUD | TJ3 | 2 | C5S | 4 017 | 0,72 | 2 893 | 0,8 | 3 214 | 90% |
| P1.M.SUD | TJ3 | 3 | C5S | 4 381 | 0,79 | 3 444 | 1,46 | 6 418 | 54% |
| P1.M.SUD | TJ3 | 4 | C5S | 4 244 | 0,83 | 3 538 | 0,8 | 3 395 | 104% |
| P1.M.SUD | TJ3 | 5 | C5S | 3 793 | 0,83 | 3 156 | 0,7 | 2 655 | 119% |
| P1.M.SUD | TJ3 | 6 | C5S | 3 501 | 0,5 | 1 742 | 0,8 | 2 801 | 62% |
| P1.M.SUD | TJ3 | 7 | C5S | 1 203 | 0,79 | 952 | 0,9 | 1 083 | 88% |
| P1.M.SUD | TJ2 | 20 | C4 | 4 190 | 1,6 | 6 684 | 1,8 | 7 542 | 89% |
| P1.M.SUD | TJ2 | 21 | C4 | 3 733 | 1,75 | 6 540 | 1,85 | 6 906 | 95% |
| P1.M.SUD | TJ2 | 22 | C4 | 3 458 | 1,74 | 6 004 | 1,75 | 6 052 | 99% |
| P1.M.SUD | TJ2 | 23 | C4 | 3 732 | 1,82 | 6 800 | 1,67 | 6 232 | 109% |
| P1.M.SUD | TJ2 | 24 | C4 | 3 567 | 1,83 | 6 528 | 1,78 | 6 349 | 103% |
| P1.M.SUD | BCI-1 | 40 | C2 | 2 452 | 0,87 | 2 134 | 1,36 | 3 335 | 64% |
| P1.M.SUD | BCI-1 | 41 | C2 | 4 120 | 0,96 | 3 954 | 1,3 | 5 356 | 74% |
| P1.M.SUD | BCI-1 | 45 | C2 | 3 385 | 0,75 | 2 535 | 1,11 | 3 757 | 67% |

Tableau 4: taux de récupération des phosphates dans le panneau 1, Mine sud de Benguéir, Avril 2018.

| Panneau | Tranchée | Case | Couche | Surface | Pce | Volume | Pce Géo | Volume Géo | Taux de récup |
|---------|----------|------|--------|---------|------|--------|---------|------------|---------------|
| P5 | TE2 | 24 | C3G | 2 299 | 1,05 | 2 702 | 1,77 | 4 069 | 66% |
| P5 | TE4 | 17 | C3G | 4 225 | 1,47 | 6 230 | 1,71 | 7 225 | 86% |
| P5 | TE4 | 18 | C3G | 4 131 | 1,74 | 7 194 | 1,84 | 7 601 | 95% |
| P5 | TE4 | 19 | C3G | 4 003 | 2,14 | 8 582 | 1,9 | 7 606 | 113% |
| P5 | TE4 | 20 | C3G | 1 615 | 2,22 | 3 577 | 1,98 | 3 198 | 112% |

Tableau 5 : taux de récupération des phosphates dans le panneau 5,

Mine nord de Benguéir, Avril 2018.

| Panneau | Tranchée | Case | Couche | Surface | Pce | Volume | Pce Géo | Volume Géo | Taux de récup |
|---------|----------|------|--------|---------|------|--------|---------|------------|---------------|
| P4 | TK21 | 5 | C1 | 1304 | 0,88 | 1142 | 0,65 | 847,6 | 135% |
| P4 | TK21 | 6 | C1 | 56 | 1,04 | 58 | 0,69 | 38,64 | 150% |
| P4 | TK21 | 4 | C2 | 3510 | 0,76 | 2656 | 0,74 | 2589,12693 | 103% |
| P4 | TK21 | 5 | C2 | 5168 | 0,78 | 4026 | 0,75 | 3872,42374 | 104% |
| P4 | TK21 | 6 | C2 | 5402 | 0,85 | 4588 | 0,82 | 4452,69573 | 103% |
| P4 | TK21 | 7 | C2 | 150 | 0,81 | 121 | 0,89 | 133,09545 | 91% |
| P4 | TK21 | 0 | C3 | 1768 | 0,66 | 1175 | 0,69 | 1219,92 | 96% |
| P4 | TK21 | 1 | C3 | 4711 | 1,08 | 5068 | 0,71 | 3344,81 | 152% |
| P4 | TK21 | 2 | C3 | 4679 | 1,11 | 5205 | 1,33 | 6223,07 | 84% |
| P4 | TK21 | 3 | C3 | 4451 | 1,28 | 5704 | 1,27 | 5652,77 | 101% |
| P4 | TK21 | 4 | C3 | 4675 | 1,22 | 5726 | 1,28 | 5984 | 96% |
| P4 | TK21 | 5 | C3 | 5318 | 1,5 | 7955 | 1,32 | 7019,76 | 113% |
| P4 | TK21 | 6 | C3 | 5661 | 1,59 | 9003 | 1,37 | 7755,57 | 116% |
| P4 | TK21 | 7 | C3 | 4271 | 1,06 | 4541 | 1,46 | 6235,66 | 73% |
| P4 | TK21 | 8 | C3 | 686 | 1 | 684 | 1,49 | 1022,14 | 67% |
| P4 | TK20 | 7 | C6 | 500 | 1,07 | 535 | 1,31 | 656,7145 | 81% |
| P4 | TK20 | 8 | C6 | 400 | 1,16 | 465 | 1,32 | 526,6792 | 88% |
| P4 | TC12 | 49 | C4 | 426 | 0,69 | 293 | 0,83 | 353,58 | 83% |
| P4 | TC12 | 50 | C4 | 3923 | 0,93 | 3652 | 0,83 | 3256,09 | 112% |
| P4 | TC12 | 51 | C4 | 3782 | 0,99 | 3752 | 0,84 | 3176,88 | 118% |
| P4 | TC12 | 52 | C4 | 3591 | 0,81 | 2912 | 0,88 | 3160,08 | 92% |
| P4 | TC12 | 53 | C4 | 3818 | 0,83 | 3159 | 0,87 | 3321,66 | 95% |
| P4 | TC12 | 54 | C4 | 3878 | 1,44 | 5595 | 0,87 | 3373,86 | 166% |
| P4 | TC12 | 55 | C4 | 919 | 2,34 | 2147 | 0,84 | 771,96 | 278% |
| P4 | TC12 | 56 | C4 | 534 | 0,78 | 415 | 0,83 | 443,22 | 94% |
| P4 | TC12 | 57 | C4 | 4282 | 0,81 | 3478 | 0,86 | 3682,52 | 94% |
| P4 | TC12 | 58 | C4 | 2948 | 1,03 | 3027 | 0,98 | 2889,04 | 105% |
| P4 | TC12 | 50 | C3 | 1569 | 0,83 | 1300 | 0,78 | 1230,64515 | 106% |
| P4 | TC12 | 51 | C3 | 2561 | 0,74 | 1900 | 0,98 | 2510,04634 | 76% |
| P4 | TS2 | 13 | C6 | 1695 | 1,1 | 1864 | 1,49 | 2525,32965 | 74% |
| P4 | TS2 | 14 | C6 | 3942 | 1,11 | 4366 | 1,35 | 5340,03818 | 82% |
| P4 | TS2 | 15 | C6 | 3812 | 1,1 | 4193 | 1,49 | 5695,13181 | 74% |
| P4 | TS2 | 16 | C6 | 4181 | 1,12 | 4670 | 1,49 | 6246,41818 | 75% |
| P4 | TS2 | 17 | C6 | 3768 | 1,08 | 4070 | 1,7 | 6392,76242 | 64% |
| P4 | TS2 | 18 | C6 | 4404 | 1,15 | 5056 | 1,83 | 8053,99556 | 63% |
| P4 | TS2 | 19 | C6 | 3798 | 1,14 | 4340 | 1,8 | 6834,16677 | 64% |

Tableau 6: Taux de récupération des phosphates

Dans le panneau 4, (mine nord de Benguéir, Avril 2018)

Le tableau 7 représente le taux de récupération des résultats de défruitage de la tranchée 64

Tableau 7: Les résultats de défruitage de la T64

| Défruitage T64 | | | | | | |
|-----------------------|--------------|-------------|--------------|------------|------------|--------------|
| CASE | Surface | Puissance | Volume | Pce Géo | V en place | Taux de rec. |
| 24 | 1674 | 1,09 | 1830 | 1,2 | 2008,8 | 90,83 |
| 25 | 3826 | 0,93 | 3542 | 0,8 | 3060,8 | 116,25 |
| 27 | 3235 | 0,87 | 2811 | 0,8 | 2588 | 108,75 |
| 28 | 3853 | 1,01 | 3901 | 1,2 | 4623,6 | 84,17 |
| 29 | 4289 | 0,46 | 1987 | 0,4 | 1715,6 | 115,00 |
| 30 | 4240 | 0,63 | 2686 | 0,7 | 2968 | 90,00 |
| 31 | 4486 | 1,07 | 4806 | 0,9 | 4037,4 | 118,89 |
| 32 | 2228 | 0,94 | 2088 | 0,9 | 2005,2 | 104,44 |
| Total | 27831 | 0,85 | 23651 | 6,9 | | |

3-4 Les résultats des méthodes d'exploitations

Pendant la chaîne cinématique d'exploitation minière on procède à deux méthodes (Tableau8) :

La méthode sélective et la méthode globale.

Tableau 8: Le taux de salissement de la tranchée TB15, Benguérir (Doc OCP)

| Tranchée | Méthode d'exploitation | Couche | Puissance (m) | BPL (%) | CO2 | MgO | SiO | Cd | Qualité |
|----------|------------------------|----------------|---------------|--------------|------|------|------|----|---------------|
| TB15 | sélective | Dalle 0/1 | 0.20 à 0.50 | - | - | - | - | - | Export |
| | | C1 | 0.9 | 64.45 | 5.83 | 1.05 | 7.76 | 11 | |
| | globale | Dalle 0/1 + C1 | 1.1 à 1.4 | 56.59 | 6.1 | 1.77 | 1.77 | 10 | Safi |

4- Discussions et interprétations

4-1 Interprétations des données

Nous avons noté dans les tableaux (4, 5,6 et 7) que pour certains niveaux phosphatés le taux de récupération est supérieur à 100 %. Ça veut dire que dans la phase de l'exploitation, une partie du stérile est enlevée accidentellement et mélangé avec la couche phosphatée.

Le Tableau 8 montre bien l'influence des méthodes d'exploitation sur la qualité du produit. Rappelons que la méthode globale consiste à enlever la couche phosphatée et le stérile. En revanche avec la méthode sélective on procède à éliminer d'abord le stérile. Comme le tableau 8 l'indique, on a utilisé les deux méthodes d'exploitation dans la même tranchée et on a eu des valeurs différentes de BPL. Avec la méthode sélective on peut avoir des phosphates directement exportable dite (qualité export) alors que le phosphate enlevé par la méthode globale appelé qualité Safi puisque il est au préalable acheminé vers les usines de traitement de Safi avant son exportation.

Donc l'utilisation de la méthode globale augmente le taux de salissement. Son utilisation est dictée par le besoin qui l'emporte parfois plus sur la qualité. Ou encore s'il favorise un rendement net supérieur. Avec l'utilisation de moins de décapage, moins d'engin et donc moins d'énergie.

4-2 Salissement lié aux étapes d'exploitation

Nous avons constaté sur le chantier que le salissement peut avoir lieu durant toutes les étapes d'exploitation depuis la foration jusqu'au point de bascule :

4-2-1 Salissement lié à la foration / Sautage

Le salissement est dû au non-respect par les sondeurs des consignes de sécurité et les mailles préalablement implantées. Les pertes de qualités du produit sont liées entre autres aux éventuelles variations latérales des épaisseurs ou de la géométrie des couches et aux explosifs pendant le sautage.

a- La variation latérale de la couche

Comme le montre la Figure 12, les niveaux de couches peuvent varier latéralement d'un endroit à un autre. Les sondeurs qui ne sont pas obligatoirement qualifiée dans le domaine de la géologie et ne respecte donc pas souvent les précisions des puissances à forer dans la coupe donnée par les géomètres. D'autre part les contraintes d'exploitation les obligent accélérée le travail au dépend de la précision. Deux cas de figures se présentent soit le niveau est dépassé ou non atteint.

Le « niveau dépassé » où l'opérateur dépasse le toit de la couche à cause de la non-pertinence des conditions du travail comme par exemple le problème de vision notamment pour le travail de nuit.

Le « niveau non atteint » quand les opérateurs arrêtent de forer à des niveaux parasites d'apparence phosphatée avant d'atteindre la couche ciblée et par conséquent un manque d'accès au toit de ces couches exploitables, ce qui implique un mauvais décapage et nettoyage.

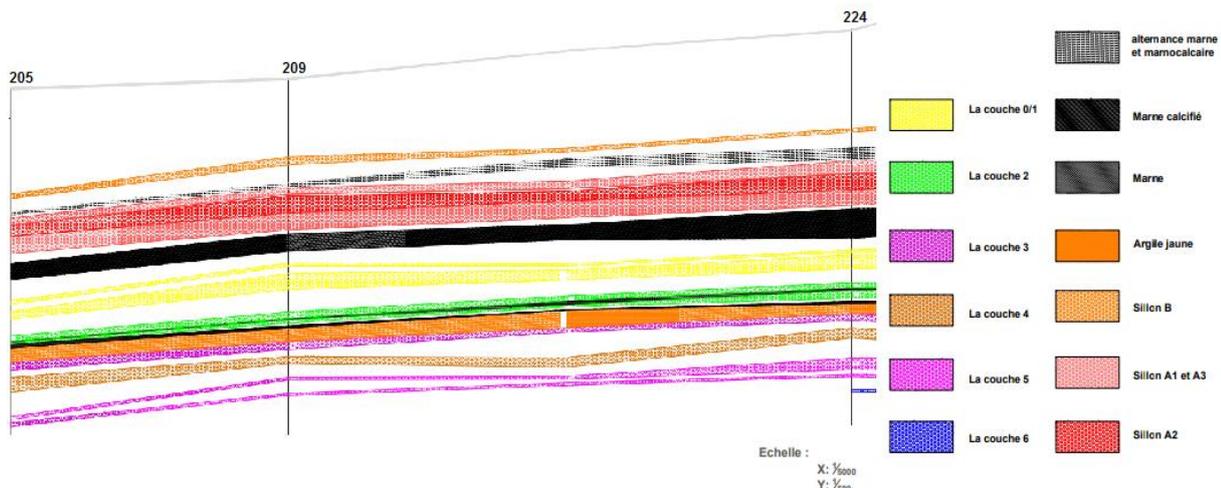


Figure 11: Coupe géologique N-S de tranchée S4 panneau 8

Sur la figure 11 la couche 4 l'opérateur va forer des trous de la même épaisseur dans toute la surface entre les puits 205 et 224, et donc le toit de la couche non atteint. Donc lors du sautage, une partie du stérile reste intacte entre les 2 puits et cause un problème lors du décapage et automatiquement un salissement.

b- Causes liées à l'explosif

On augmente parfois la quantité de l'explosif pour éliminer le maximum de stérile et de le pousser par l'explosion dans les tranchées déjà exploitées. Cette opération est risquée car elle peut souffler la couche phosphatée ou à la limite rendre la granulométrie du stérile plus fine ce qui peut causer des problèmes dans l'étape de décapage.

4-2-2 Salissement lié au Décapage/ nettoyage

Nous rappelons que cette opération consiste à enlever par des draglines, le stérile fragmenté dans l'étape du sautage. Le reste du stérile est enlevé dans la phase du nettoyage assuré par des bulls. Les causes du salissement pendant cette étape sont multiples et sont liés soit aux engins ou au minéral.

a- Le stérile laissé sur la couche

La contamination du produit à ce niveau est principalement causée par un mauvais nettoyage effectué par la machine Bulldozer. Une partie du stérile est laissé involontairement au contact du phosphate. (Figure 12)

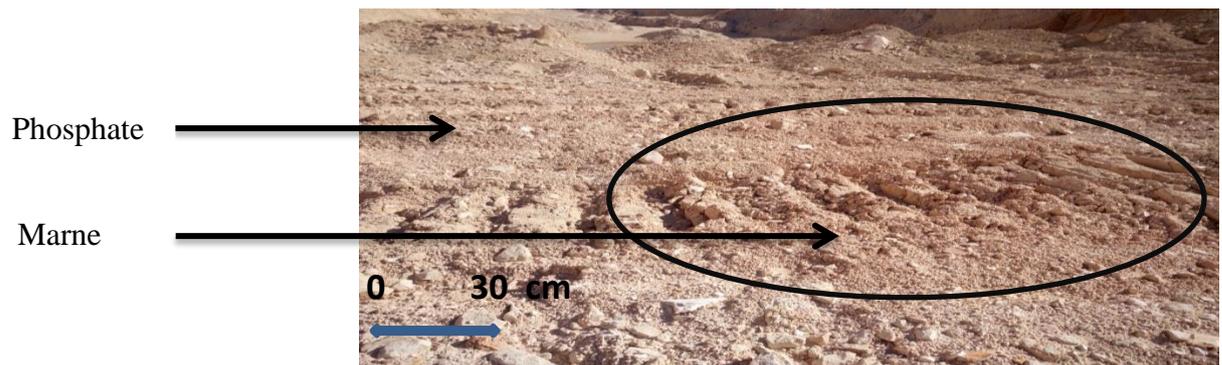


Figure 12: Marne laissée intacte lors d'un mauvais nettoyage, mine nord Benguéirir.

b- Le dressage de la berme

La berme est un vide créé entre le stérile déjà casé et la couche phosphatée en cours d'exploitation pour les séparer. Il se peut que l'espace ne suffise pas pour la dresser dans les niveaux inférieurs et que la stérile colle au phosphate ce qui conduit à sa contamination.

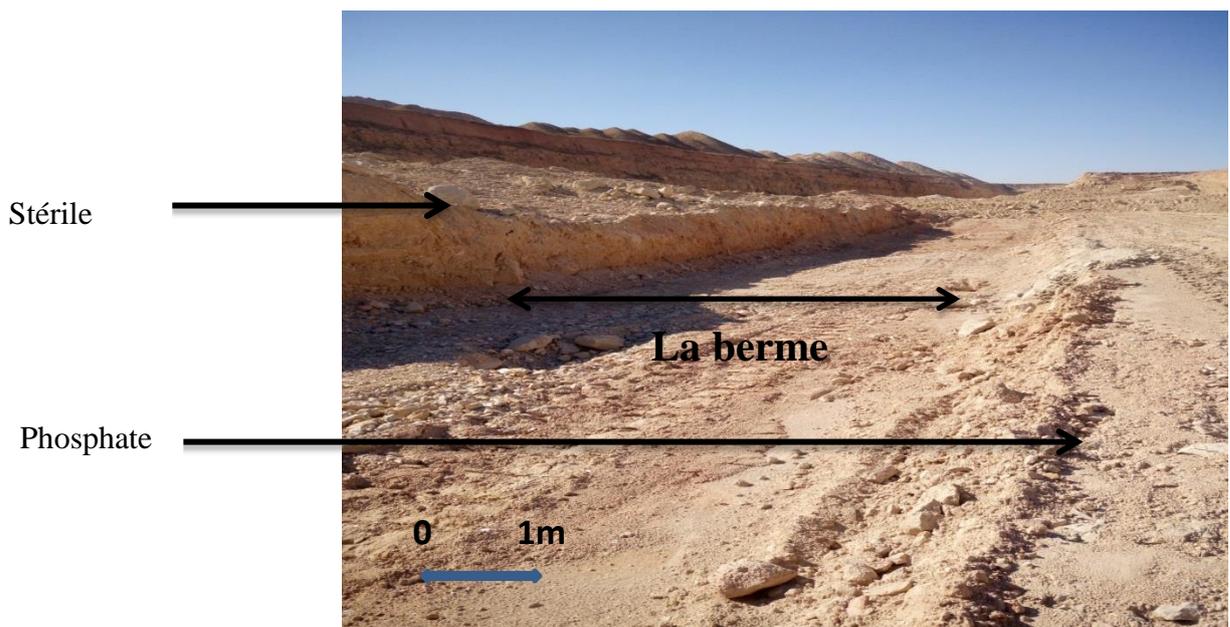


Figure 13 : Photo illustrant la berme, mine nord, Benguéirir.

c- La variabilité des couches

La variabilité latérale de puissance des couches cause toujours un problème pour les opérateurs. En suivant le même niveau dans le décapage, on risque de mélanger le stérile avec le phosphate dans les zones où le toit de la couche est plus élevé.

d- La sélectivité

C'est l'opération de sélectionner, sur une même couche, une partie de forte teneur en BPL et de considérer l'autre partie comme stérile.

C'est le cas par exemple de la couche 3 dans quelques tranchés de la mine de Benguéirir. Cette couche a un niveau supérieur faible en BPL (couche 3 supérieurs) et un niveau inférieur (couche 3 inférieures) riche en BPL. On demande d'abandonner la couche 3 supérieure. Dans ce type de décapage, la différenciation des niveaux est difficile, ce qui fait qu'une partie du niveau à déclasser est mélangé avec le niveau riche d'où le salissement de celui-ci.

e- Décapage par poussage

- Si le parement est mal dressé, des éboulements sont susceptibles de contaminer les niveaux inférieurs.



Figure 14: photo illustrant l'éboulement à côté du parement mine nord de Benguéirir.

f- Décapage par transport

Suite aux contraintes d'exploitation, L'absence du bulls oblige l'exploitant à utiliser des machines non appropriées qui causerait un risque de salissement

g- Décapage par dragline

Le taux de salissement devient plus important avec l'utilisation de cette méthode. Plusieurs sources du risque de contamination sont constatées :

- La forme du godet utilisé peut mélanger une partie du stérile avec le phosphate lorsqu'on atteint le toit de la couche.

- La mauvaise programmation des machines qui assurent le décapage se chargent aussi du défruitage ce qui cause une contamination du produit.
- En l'absence de bulls le nettoyage est assuré par des draglines et à cause des dimensions de son godet, le produit est contaminé par le stérile. Dans le but de réduire les coûts d'exploitation, la récupération des phosphates dans le cas de couches à faible puissance (cas de la couche 4) la dragline assure à la fois le décapage des niveaux stériles directement au-dessus et le gerbage du phosphate. Cette opération dégrade d'une manière catastrophique la qualité du produit.

4-2-3 Salissement lié au défruitage

Le salissement est plus important pendant cette étape de la chaîne cinématique de l'exploitation, Différentes causes peuvent intervenir :

a- La précision

L'importance de la précision apparaît quand on s'approche du mur de la couche (dans les deux phases : gerbage et chargement), si on n'accorde pas une attention particulière à ce niveau de la couche, on risque de toucher le stérile en bas de la couche.

b- Berme mal dressée

Quand on gerbe le produit dans les côtés de la berme, on risque de ramasser une partie du stérile.

c- Dressage du parement

Si le parement est mal dressé des éboulements risquent de se produire à partir des niveaux supérieurs.

d- Altération des couches

C'est un problème qui se présente couramment, pour la mine de Benguérir, dans la zone des affleurements à la limite des panneaux : le niveau de la couche n'étant pas maîtrisé, la machine peut gerber une partie du stérile avec le phosphate.

e- Effet du soleil sur les argiles jaunes

Quand elles sont humides, ces argiles se raccordent en intercalaire entre la deuxième et la troisième couche, mais une fois desséchées, elles se décollent, tombent et salissent le phosphate. Pour remédier à ce problème, une banquette de 8m est construite, à l'étape du sautage, dans l'intercalaire $\frac{3}{4}$. Cette banquette aura pour rôle la protection des couches inférieures contre les éboulements de ces argiles. Encore faut-il que la banquette soit bien dimensionnée sans quoi son rôle de protection n'est pas certain.

f- Gerbage côté parement

Le produit peut être contaminé par le stérile du parement. Il est donc recommandé de ne pas le gerber côté parement.

g- Réalisation de saignées sans nettoyage

Dans ce cas, un volume important du stérile peut être enlevée avec la couche phosphatée.

h- Niveau dépassé par la chargeuse

Dans la phase du chargement, la chargeuse, à cause des dimensions et la forme de son godet, peut dépasser le mur de la couche et charger le stérile avec le phosphate.

i- Déplacements des camions

Les chenilles des camions mélangent le stérile avec le phosphate (cette action a un effet de salissement très faible).

4-2-4 Saliement dans le point bascule

Le stockage du phosphate se fait dans le point de bascule. A ce niveau, la qualité du produit ne se dégrade pas à cause de la contamination par le stérile mais par un autre phosphate de teneur différente déposé à ses côtés. Nous avons noté des différentes causes du salissement

a- Assemblage de produits de différentes qualités dans une même place

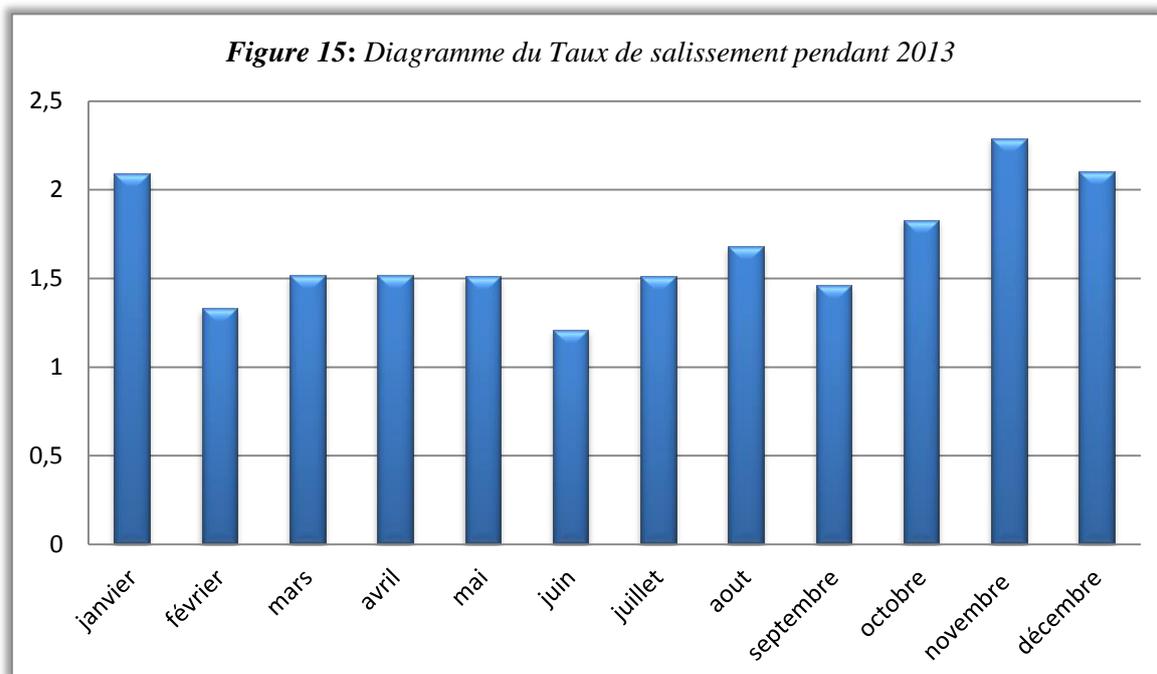
Par la même contrainte du manque d'espace, plusieurs produits peuvent être assemblés dans la même place. Ou dans l'urgence, les tas de phosphates de différentes qualités sont déposés les uns à côté des autres, d'où le risque de contamination.

5- Causes liées au climat

Nous avons étudié l'action du climat de l'année 2013. Le (Tableau 9) représente les teneurs en BPL moyenne de chaque mois.

| Mois | Taux de salissement |
|-----------|---------------------|
| Janvier | 2,09 |
| Février | 1,33 |
| Mars | 1,52 |
| Avril | 1,52 |
| Mai | 1,51 |
| Juin | 1,21 |
| Juillet | 1,51 |
| Aout | 1,68 |
| Septembre | 1,46 |
| Octobre | 1,83 |
| Novembre | 2,29 |
| Décembre | 2,1 |

Tableau 9: Le taux de salissement pendant chaque mois de 2013 (Doc OCP)



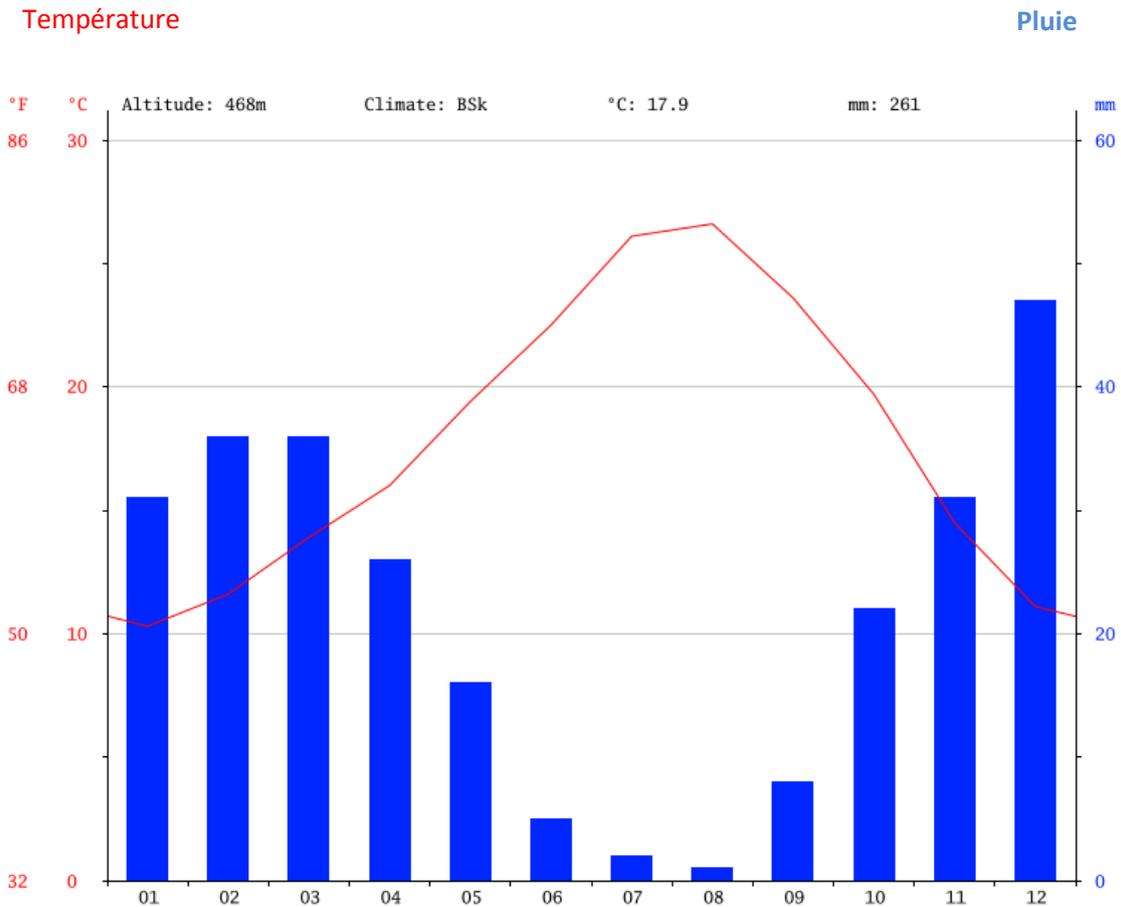


Figure 16 : Diagramme climatique de Benguérir

Interprétation :

Le diagramme du taux de salissement marque son maximum pendant les mois octobre, novembre décembre et janvier. Rappelons que le climat de la zone d'étude est de type semi continental aride, à hiver tempéré avec des températures maximales moyennes mensuelles élevées en novembre, décembre et janvier. Ceci montre qu'il y a bien une relation entre le climat et le salissement des phosphates.

Le taux de salissement s'accroît pendant l'hiver à cause de mauvaises conditions (pluie, vent...). En effet, quand il pleut, la visibilité devient médiocre et il devient difficile de distinguer les repères et les niveaux traversés par la machine du forage. De même, l'éboulement du parement augmente. D'autre part quand le vent est fort, la poussière remplit en partie les trous déjà forés.

Conclusion

Le salissement du phosphate pose un grand problème au site minier de Le salissement du phosphate pose un grand problème au site minier de Benguéir du fait qu'il influence négativement la qualité du produit donc directement sa valeur économique, pour minimiser le taux de salissement .De ce fait, nous citons quelques recommandations pour remédier ce problème à deux niveaux:

Ressources humaines

- Création d'une bonne relation entre le personnel pour assurer la confiance entre eux.
- Formation continue des sondeurs sur les niveaux repères et control journalier de la foration.
- Sensibilisation des conducteurs sur la nécessité de respecter les standards de gerbage.

Chantier

- Installation des nouveaux cribles de petites dimensions par rapport à des cribles déjà installés pour minimiser le taux de stérile dans le phosphate.
- Assurance d'un bon éclairage pour les forages de nuit.
- Nettoyage des marnes par les bulls D9.
- Affichage des coupes moyennes par panneaux dans les sondeuses pour Identifier les niveaux repères
- Lavage du phosphate, les pierres de stériles acheminés vers la mise à terril pour minimiser les pertes de phosphate et les cribles pour éviter le colmatage.
- Réalisation d'une bonne berme à chaque niveau qui dépend de la hauteur du stérile de la série phosphaté.
- Gerbage des couches pendant deux ou trois jours avant le défruitage pour le bon séchage du phosphate.
- Respect de la puissance à décapé précisée par le prospecteur.
- Nettoyage de niveau de la couche pour ne pas contaminer le phosphate par le stérile décapé.
- respect de la coupe lithologique.
- Dressage bien fait du parement.

Bibliographie

1. *OCP SA note d'information préliminaire 286*. 2016. p. 286.

2. <https://fr.wikipedia.org/wiki/Phosphate> . [En ligne]

3. **A. Michard, O. Saddiqi, A. Chalouan, E.C. Rjimati & A. Mouttaqi (Eds.)**. *NOUVEAUX GUIDES GÉOLOGIQUES ET MINIERS DU MAROC NEW GEOLOGICAL AND MINING GUIDEBOOKS OF MOROCCO*. p. 275. Vol. 9.

4. **Missoune, Mouloua**. *Elaboration d'un projet de réhabilitation du panneau III de la mine de Mzida à la Région de Youssefia*. 2012. p. 36.

5. **Abderrahim, Boujida**. *Analyse et amélioration du système de management de la qualité au niveau du site OCP Benguéir*. p. 128.

6. **Saadi**. *Carte géologique du Maroc au 1/500 000*. Ministère de l'énergie et des mines, direction de la géologie. 1982.