



Année Universitaire : 2015-2016



Licence Sciences et Techniques : Géosciences et Environnement

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES
Pour l'obtention du Diplôme de Licence Sciences et Techniques

**Les phosphates de Khouribga : Chaine cinématique,
traitements et valorisation à Jorf Lasfar**

Présenté par:

Fatima ezzahrae L'KADIDA
Zineb KEMMOUNE

Encadré par:

Pr. Driss EL AZZAB, FST-Fès
Ing. DARRAS Rim, OCP jorf lasfar

Soutenu Le 9Juin 2016, devant le jury composé de:

Pr. EL AZZAB Driss
Pr. CHARROUD Mohammed
Pr. HINAJE Said

Stage effectué à :

Office cherifiens des phosphates (OCP) jorf lasfar EL-jadida .



Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme de Licence Sciences et Techniques

Fatima ezzahrae L'KADIDA
Zineb KEMMOUNE

Année Universitaire : 2015/2016

Titre : Les phosphates de Khouribga : Chaine cinématique, traitements et valorisation à Jorf Lasfa

Résumé

En matière de phosphate, le Maroc renferme les trois-quarts des réserves connues sur la planète. Il est le premier exportateur et le troisième producteur de phosphates bruts à l'échelle mondiale.

Les phosphates des Maroc ont été déposés pendant une très longue période allant de la fin du crétacé (étage de Maestrichtien, environ 80 Millions d'années), jusqu'au début de l'Eocène (étage du Lutétien basal ou Lutétien inférieur 40 Millions d'années).

Son exploitation se fait dans des conditions avantageuses, extraction facile à ciel ouvert et teneur forte qui permettent un traitement consistant simplement en un séchage et un épierrage.

Par souci de modernisation et de protection de l'environnement mais aussi de réduction du prix de revient, l'OCP a installé un pipeline pour transporter la pulpe de khouribga jusqu'à Jorf Lasfar. Dans ce méga-installation se déroule l'essentiel des traitements des phosphates à son arrivée pour produire acide phosphorique et les engrais en plus de d'autres dérivées de phosphates.

Pour valoriser les phosphates, les quantifier et de prévoir la durée de leur exploitation. Nous avons utilisé les données de la couche C2 de Gantour. La profondeur de la couche est variable de 30m à 63m. Son épaisseur est plus importante au milieu du panneau (6m) qu'à la périphérie (1 m) alors que la teneur BPL est meilleure au Nord et au Sud qu'au milieu du panneau. Le calcul de volume donne 24 464 562 m³ et sachant sa densité de 1.62, alors le THC est de 39 632 590 T. La consommation en phosphates de la C2 étant de 350 429 T/an, un calcul simple donne une durée avant épuisement de 113 ans.

Mots clés : phosphate ,extraction,traitement ,valorisation,slurry pipeline,THC .

Remerciement

Au terme de ce travail, je tiens à présentes mes sincères remerciements à la direction d'OCP et plus précisément l'entité HSE pour ces sensibilisations vis-à-vis des stagiaires, en leurs accordants des stages.

*Nos vifs remerciements à **Ing. DARRAS Rim** et parrain de stage pour leur encadrement, leur accueil, Leur précieux conseil, et leur fructueuse orientation.*

*Nos profond remerciement et immense respect à **Monsieur EL AZZAB Driss** (Professeur à la faculté de sciences et techniques Fès) d'avoir dirigé ce travail avec beaucoup d'intérêt et de patience.*

*Nous remercions ainsi tout particulièrement à **Monsieur ELYEBADRI Jamal** pour la sympathie qu'il nous adressé au cours de cette période de stage, ainsi que l'ensemble du personnel d'entité HSE qui nous avons pris contact pendant la durée de notre stage.*

*En fin nos remerciement vont aussi à l'ensemble des enseignants de **la Faculté des Sciences et Techniques Fès** pour leurs connaissances qu'ils nous ont permis d'acquérir.*

Merci à toutes et à tous.

Dédicace

Nos dédions ce modeste travail à :

Nos parents, Qui nous ont encouragés tout au long de nos études. Aucune gentillesse, aucun mot ne pourrait exprimer l'affection que nous avons pour vous.

Nos frères et sœurs pour leur soutien et leur respect.

Nos familles pour leur persévérance et leur encouragement.

Tous nos collègues, nos amis et ceux qui nous aime.

Liste des figures

Figure 1 : image satellitaire du jorf lasfar

Figure 2 : organigramme HSE

Figure3 : les gisements des phosphates au Maroc

Figure 4 : les gisements des phosphates de khouribga et des différentes zones

Figure 5 : opération de forage

Figure 6 : opération de sautage

Figure 7 : opération de décapage

Figure 8 : opération de défruitage

Figure 9 : chargement et transport

Figure 10 : opération d'épierage

Figure 11 : schéma comparatif des deux moyens de transport de phosphate de khouribga

Figure 12: ligne de projet pilpine de khouribga vers jorf lasfar

Figure 13 : la ligne Khouribga jorf lasfar

Photo 14 : le transport de la pulpe

Figure 15 : les phases de traitement des phosphates

Photo 16 : débourbeur tournant

Photo 17 : machine vibrante

Photo 18 : Présentation d'un conditionneur.

Photo 19 :décanteur

Figure 20 : broyeur

Figure21 : granulateur et sécheur

Figure 22 : Cartes montrant la profondeur du toit (m), épaisseur (m) et teneur BPL (%) de la couche C2.

Tableaux

Tableau 1 : paramètres d'attaque et composants du phosphate

Tableau 2 : Indicateur de la qualité des phosphates

Abréviation

AFD : agence française & développement

BPL : bonne phosphate of lime

THC : tonnage humide criblé

CA : consommation annuelle

MAP : Mono Ammonium Phosphate

DAP : Di Ammonium Phosphate

TSP : Triple Super Phosphate

NPK : Ammonium phosphate de potassium

OCP : Office Chérifien des Phosphates

IMACID : indo Maroc Phosphate

JFC V : Jorf Fertiliser Company V

PAKPHS : Pakistan Pakistan Phosphate

EMAPHOS : Euro Maroc Phosphore S.A

Sommaire

Table des matières

Introduction :	9
Part 1. Présentation du groupe Office Chérifien des Phosphates	10
I. Le groupe Office Chérifien des Phosphates :	12
1. Introduction :.....	12
1) Missions du groupe OCP :.....	13
2. Présentation des unités de jorf lasfar.....	14
2) Les ateliers d'OCP SA à JORF LASFAR ; Ex-Maroc Phosphore.....	15
3) Joint-Ventures :	15
a) Euro Maroc Phosphore S.A : EMAPHOS :	15
b) Indo Maroc Phosphore S.A (IMACID):	16
c) Jorf Fertilizers Company V (JFC V):	16
d) Pakistan Maroc Phosphore S.A (PAKPHOS) :	16
II. Présentation de HSE :	17
1. Organigramme :.....	17
2. Missions de l'entité HSE Site :	17
I. Présentation générale du phosphate au Maroc :	20
1. Définition.....	20
2. Origine:	20
3. La Phosphatogénèse :.....	20
a) La théorie biolithique :	20
b) La théorie abiolithique:.....	20
4. Principaux Bassins Phosphatés du Maroc :	21
a) Bassin d'Oulad Abdoun :	22
b) Bassin de Gantour :	24
c) Bassin d'Oued Eddahab :	24
I. Chapitre I : les étapes de l'exploitation du phosphate :	26
1) Foration :	26
2) Sautage :.....	26



3) Décapage :	27
4) Défruitage :	28
5) Chargement et Transport:	28
6) Epierrage :	28
7) Criblage :	29
8) Chargement et transport :	29
II. Présentation Nouvelle méthode de transport des phosphates: le minéroduct ou (Slurry Pipeline)	
Khouribga – Jorf Lasfar :	30
1) Introduction :	30
2) Objectif du projet slurry pipeline	30
3) Le système slurry pipeline :	30
III. Chapitre II : Traitement et valorisation du phosphate	32
1. Traitement des phosphates:	32
1. Procédé de lavage :	33
1) Définition:	33
2) Principales phases de lavage :	33
a) Débourage :	33
b) Le criblage :	34
c) Système d'hydro-classification :	35
2. La Flottation :	35
a) Phase de préparation :	35
b) Phase de conditionnement :	36
c) Phase de flottation :	36
3. Décantation :	37
IV. Valorisation de phosphate :	37
1. Fabrication de l'acide sulfurique :	38
2. Production de l'acide phosphorique	38
1) Les étapes de Production de l'acide phosphorique :	38
a) Epaissement :	38
b) Le broyage :	39
c) L'attaque de filtration :	39



d) Stockage de l'acide dilué :	40
e) La Concentration :	40
f) Stockage de l'acide concentré :	40
3. La formation des engrais :	42
a) Réaction :	43
b) Granulation :	43
c) Séchage :	43
d) Refroidissement et conditionnement :	44
e) Lavage des gaz et assainissement des équipements :	44
V. Chapitre III. Modélisation des couches phosphatés et calcul des réserves.....	45
1. Un peu de calcul :	48

Introduction :

Le secteur des mines occupe une place de choix dans l'économie marocaine, il représente près de 21 % des recettes d'exportation et emploie 40 000 personnes environ. Des le début du XXème siècle, des gisements importants de phosphates, de plomb, de zinc, de fer, de manganèse etc., ont été découverts. En matière de phosphate, le Maroc renferme les trois-quarts des réserves connues sur la planète. Il est le premier exportateur et le troisième producteur de phosphates bruts a l'échelle mondiale. L'exploitation des phosphates constitue un monopole de l'Etat représenté par l'Office Chérifien des Phosphates (OCP) créée en 1920. Cette exploitation se fait dans des conditions avantageuses, extraction facile à ciel ouvert et teneur forte qui permettent un traitement consistant simplement en un séchage et un épierrage. Actuellement ils existent quatre grands gisements phosphatés parmi lesquels le gisement de Khouribga occupe le premier rang en ce qui concerne la capacité de production. Il englobe trois sites : Sidi Daoui, Merah Lahrech et Sidi Chennane. Les phosphates sont acheminés après divers traitements par voie ferrée vers les ports de Casablanca et de Jorf Lasfar (au sud d'El Jadida) où se trouve un complexe chimique pour la fabrication de SUPER-PHOSPHATES et d'acide sulfurique. En 2013, un pipeline convoyant un mélange de phosphate et d'eau (MINERODUC) entrera en service pour le transport vers JORF LASFAR.

L'objet de notre PFE est d'exposer les différentes étapes de production de phosphates de Khouribga et ses traitements au niveau de JORF LASFAR. Le mémoire sera organisé de la façon suivante : Après avoir exposé la mission de l'organisme d'accueil et ses diverses unités, on exposera l'origine des phosphates, leur exploitation en rappelant la chaîne cinématique. Une seconde partie sera DEDIDIE à son acheminement par le MINERODUC vers JORF LASFAR pour y subir un nouveau traitement et la méthode poursuivie pour en extraire l'acide phosphorique et les fertilisants.

Une série d'exercices sera effectués concernant la détermination de la qualité des phosphates et l'estimation des réserves en prenant des exemples sur notre zone d'étude.

Partie I:



*Présentation du groupe
Office Chérifien des
Phosphates*

I. Le groupe Office Chérifien des Phosphates :

1. Introduction :

Vers l'année 1917, la présence des phosphates « la première richesse minière nationale » a été confirmée dans la région d'Oued-Zem zone de Khouribga.

Le dahir du 27/01/1920 réserve à l'état marocain le droit exclusif de la recherche de l'exploitation de phosphate dans l'ensemble des territoires.

Le Dahir 07/08/1920 porte sur la création de l'OCP, établissement public qui doit fonctionner dans les mêmes conditions qu'une entreprise privée à caractère industriel et commercial et par conséquent aux mêmes obligations telles aux impôts, droits et douanes.

Ce statut avantage par rapport aux autres établissements publics devra permettre à l'office d'agir de la même dynamique et de la même souplesse que des entreprises privées.

Le groupe OCP offre une large sélection de roche de phosphates de différentes qualités, destinée à divers usages. OCP est le premier exportateur de roche de phosphates et acide phosphorique dans le monde, et un des principaux exportateurs d'engrais phosphatés, avec un portefeuille composé de 130 clients et une présence sur les cinq continents.

En tant que première entreprise du Maroc avec un chiffre d'affaires de 43,513 milliards MAD, le groupe OCP est l'un des moteurs clé de l'économie du pays. Les phosphates et ses dérivés représentent en 2010, en valeur, approximativement 3,5% du PIB. La valeur des exportations d'OCP sont de près de 35,63 milliards MAD en 2010 soit 24% du total des exportations nationales. Ainsi que l'OCP emploie directement près de 20000 salariés

Le groupe OCP a développé des relations durables avec plusieurs de ses clients qui vont au-delà de stricts arrangements commerciaux. Le groupe a, au fil des ans, mis en place plusieurs joint-ventures de transformation avec des usines au Maroc et à l'étranger avec des partenaires de premier plan venant du Brésil, de Belgique, d'Allemagne, d'Inde et du Pakistan.

OCP prévoit d'augmenter sa capacité de production de 30 à 50 millions de tonnes, ainsi que d'augmenter sa production d'engrais en aval à travers des partenariats stratégiques, spécialement à Jorf Phosphate Hub (JPH) où des infrastructures sont en train d'être développées pour accueillir 10 unités supplémentaires. Cette plateforme Plug and Play offrira des infrastructures communes à bas coût, et sera connectée par un slurry pipeline au plus grand

gisement de phosphates au monde situé à Khouribga, ce qui assurera un approvisionnement sécurisé.

1) Missions du groupe OCP :

L'OCP maîtrise toute la chaîne de création de valeur de l'industrie phosphatée : extraction et traitement du minerai, transformation de cette matière première en un produit liquide intermédiaire, l'acide phosphorique, et fabrication des produits finis par concentration et granulation de cet acide ou par purification : engrais, acide phosphorique purifié.

- ✚ Le phosphate brut : Le phosphate brut est exploité pour son contenu en phosphore. La teneur du phosphate en phosphore, mesurée en pourcentage de P₂O₅ (pentoxyde de phosphore), détermine sa qualité. Elle varie de 5 % à 45 %. A moins de 30 %, le plus gros de la production, le minerai subit un premier traitement sous forme de lavage, séchage ou enrichissement à sec.
- ✚ L'acide phosphorique : Il est obtenu par réaction de l'acide sulfurique avec le calcium de phosphate. La teneur moyenne du produit intermédiaire ainsi obtenu après concentration est de 52 % de P₂O₅. L'acide phosphorique purifié est destiné à des applications alimentaires et industrielles.
- ✚ Les engrais. : OCP produit quatre types d'engrais à partir de l'acide phosphorique : le DAP (qui est l'engrais le plus courant), le TSP (engrais exclusivement phosphaté), le MAP (engrais binaire à deux éléments fertilisants : phosphore et azote) et le NPK (engrais ternaire à base d'azote, de phosphore et de potassium).

Pour ce faire, l'OCP s'est doté de :

- ✓ 2 centres de transformation chimique Safi et Jorf Lasfar.
- ✓ 4 ports d'embarquement Casablanca, Safi, Jorf Lasfar et Laayoune.

Les principales activités de l'OCP sont :

🌀 La prospection :

Elle consiste à faire le forage pour délimiter le gisement, s'informer sur l'épaisseur des couches et leur teneur.

🌀 La production :

✓ L'extraction :

Elle s'effectue de deux manières qui dépendent du site, puisque le phosphate se présente sous forme de couches quasi-horizontales séparés par des intercalaires stériles) soit par voie souterraine.

✓ Le Traitement :

Le phosphate extrait subit un enrichissement de façon à éliminer la gangue et réduire la teneur de certaines impuretés.

☞ La valorisation :

Suivant l'évolution du contenu du marché mondial des phosphates de la matière brut vers l'acide phosphorique et les engrais, le groupe OCP a Concentré ses efforts sur la transformation sur place des phosphates en produit semi-fini (acide phosphorique) ou fini (les engrais).

☞ La commercialisation :

Le phosphate est vendu selon la demande des clients aux cinq continents de La planète soit brut soit après traitement, les exportations représentent 15 à 30% du commerce international du phosphate et de ses dérivés.

2. Présentation des unités de jorf lasfar

Le site de Jorf Lasfar comprend les entités suivantes

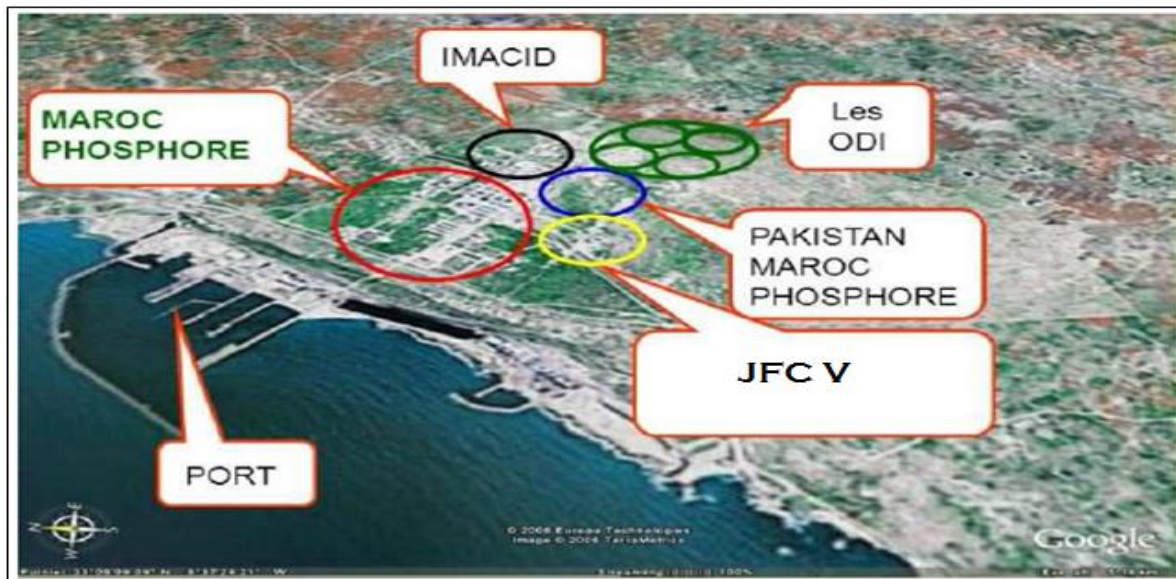


Figure 3 : Une image satellitaire du Jorf Lasfar (Google .MAP.COM)

2) Les ateliers d'OCP SA à JORF LASFAR ; Ex-Maroc Phosphore

Comprennent :

✚ Atelier Sulfurique :

Six (6) unités de production d'acide sulfurique monohydrate de capacité 2.650 t/j chacune, utilisant le procédé à double absorption Monsanto (USA).

✚ Atelier Phosphorique :

- ✓ 8 unités de broyage de phosphate d'une capacité de 130 t/j pour les lignes.
- ✓ 8 unités de production d'acide phosphorique
- ✓ Une nouvelle ligne adaptée à la pulpe de phosphate qui a démarrée le 10/04/2014 avec une capacité de 1500 t/j P₂O₅ (2 filtres).
- ✓ 20 échelons de concentration : 16 échelons d'une capacité de 330 t/j P₂O₅ et 4 échelons d'une capacité de 450 t/j P₂O₅ ;
- ✓ 1 unité de traitement d'acide phosphorique d'une capacité de 300 t/j P₂O₅ ;
- ✓ unité de prétraitement d'acide phosphorique d'une capacité de 550 t/j P₂O₅ ;
- ✓ Des décanteurs, des désursaturateurs et des bacs de stockage intermédiaires.

✚ Atelier Engrais :

- ✓ Sept (7) unités de production d'engrais
- ✓ 4 anciennes lignes produisant du DAP et MAP dont deux peuvent produire du TSP et NPK.
- ✓ nouvelles lignes qui ont démarrées respectivement le 17/04/2006, le 05/04/2013 et le 19/07/2013.

✚ Atelier des Utilités :

- ✓ Une centrale thermoélectrique avec 3 groupes turboalternateurs de 37 MW chacun,
- ✓ Un réservoir d'eau douce et une station de traitement de 2.000 m³/h ;
- ✓ Une station de reprise d'eau de mer de 60.000 m³/h ;
- ✓ Une station de compression d'air.

3) Joint-Ventures :

a) Euro Maroc Phosphore S.A : EMAPHOS :

Avec la construction de l'usine EMAPHOS, le Groupe OCP a inauguré une nouvelle ère dans la diversification de ses produits finis, par la production d'un acide à haute valeur ajoutée : l'acide phosphorique purifié. Ce projet, fruit d'un partenariat Euro Marocain (OCP – Maroc – 33%, PRAYON – Belgique – 33%, CFB – Allemagne – 33%).

L'acide phosphorique purifié est utilisé tel quel ou pour la composition de sels dérivés utilisés dans l'industrie alimentaire (Limonades, levures, fromages, conservation viandes/poissons, traitement d'eau potable, raffinage de sucre, pharmacie...) et d'autres industries (Détergents, alimentation animale, engrais foliaires et solubles eau, traitement des métaux, textile, pigments, poudres extinctrices, ciments ...).

b) Indo Maroc Phosphore S.A (IMACID):

La production à IMACID a démarré en octobre 1999, Ce Complexe moderne, utilisant les meilleures technologies disponibles, a permis au Groupe OCP d'accroître sa capacité de production d'acide phosphorique de 25 % sur le site de Jorf Lasfar.

c) Jorf Fertilizers Company V (JFC V):

Cette JV, créée en 2008 avec un capital s'élevant à 900 millions de dirhams, est spécialisée dans la fabrication et la commercialisation d'acide phosphorique et d'engrais phosphatés et azotés. JFC V possède deux usines :

- Usine de production d'Acide Phosphorique.
- Usine de production d'Engrais.

d) Pakistan Maroc Phosphore S.A (PAKPHOS) :

Cette JV créée en 2008 avec une capacité de production originale de 375 000 tonnes de P₂O₅, affiche une capacité de production annuelle de 403 000 tonnes.

Les ateliers de JV comprennent : Atelier phosphorique, atelier sulfurique, CTE : Centrale thermoélectrique, TED : Traitement des eaux douce.

II. Présentation de HSE :

1. Organigramme :

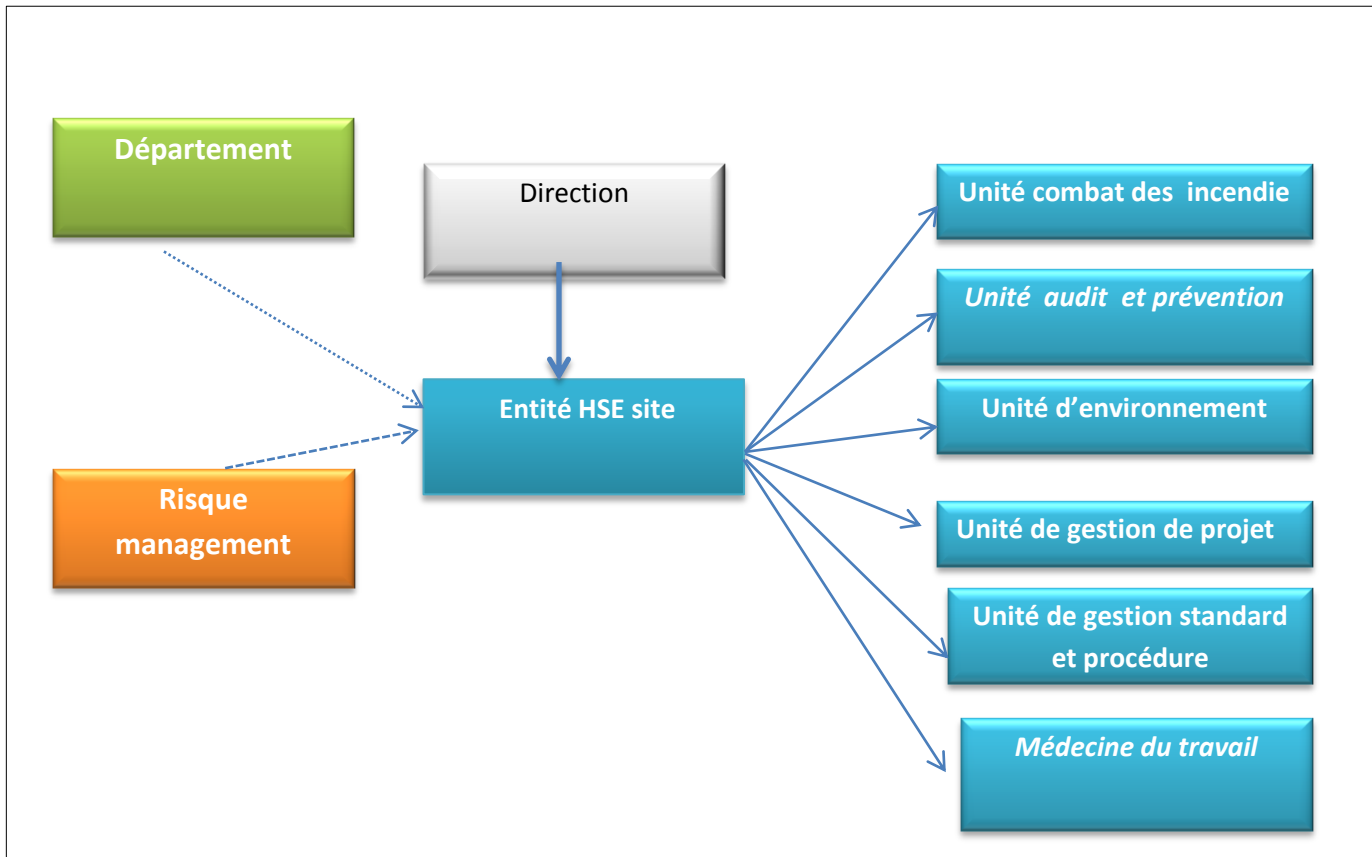


Figure 4 : organigramme entité HSE site, JORF

2. Missions de l'entité HSE Site :


Les missions de l'entité HSE Site s'articulent autour des points suivants :

- Développer une culture HSE basée sur l'anticipation et la prévention,
- Intégrer les exigences HSE dans l'élaboration de nouveaux procédés de fabrication, la conception de nouvelles installations, la distribution et l'utilisation des produits
- Développer des standards et pratiques HSE de classe mondiale,



- Identifier et maîtriser les risques HSE liés aux activités du site,
- Mener un suivi de la performance HSE avec des objectifs de moyens et de résultats, indicateurs prédictifs cohérents à travers toute l'organisation
- Fixer des objectifs et plans annuels HSE dans toutes les entités permettant l'amélioration continue, visant la cible du zéro accident,
- Reporter immédiatement tous les incidents HSE avec la transparence et la fiabilité requise, pour éviter leur reproduction,
- Assister et participer aux analyse des incidents et accidents
- Participer à la formation et au développement des compétences HSE, à tous les niveaux de l'organisation,
- Communiquer et partager en permanence les bonnes pratiques afin de s'améliorer à partir des retours d'expérience,
- Définir des standards et des exigences pour la protection de l'environnement, et s'assurer en permanence de leurs mises en œuvre,
- Préserver la protection de l'environnement par des programmes de maîtrise des risques, de sensibilisation, formation et qualifications du personnel
- Préserver la santé physique et morale des salariés,
- Mener un suivi de performance de la santé au travail, avec des objectifs de moyens et de résultats,

Partie II :



Les gisements phosphatés du Maroc

I. Présentation générale du phosphate au Maroc :

1. Définition

Le phosphate est la forme sous laquelle le phosphore peut être assimilé par les êtres vivants, en particulier les algues. Chimiquement, le phosphate (PO_4) est une combinaison d'atomes de phosphore (P) et d'oxygène (O). Le phosphate remplit différentes fonctions dans la formulation des détergents, en particulier anti-calcaire et anti-redéposition.

Une roche sédimentaire dite roche exogène : elle se forme par concentration lorsque des ions phosphate précipitent dans une roche en diagenèse formée par décomposition des organismes peuplant les mers (poissons et reptiles).

2. Origine:

L'existence d'un gisement phosphaté dépend de :

- ✓ Une source de phosphore.
- ✓ Conditions favorables à la formation de l'Apatite dans le sédiment.
- ✓ Conditions favorables à la concentration et l'accumulation des minéraux qui constituent les phosphates.

3. La Phosphatogénèse :

a) La théorie biolithique :

Au début on considérait que le gisement provenait de l'accumulation des poissons et des reptiles, qu'on a trouvés en effet en assez grande abondance de certains phosphates sédimentaires (L. Daubree, 1950).

b) La théorie abiolithique:

La teneur globale en acide phosphorique H_3PO_4 des eaux océaniques est constante, mais elle varie suivant les tranches de profondeur (Kazakov, 1933).

Dans la zone euphotique (0-50m), le plancton utilise presque tout le stock de phosphore, et la teneur résiduelle est faible.

Plus bas, les matières organiques sont oxydées, le phosphore est libéré dans un milieu qui devient de plus en plus acide par dégagement de CO_2 , la teneur en P augmente ainsi jusqu'à vers 500m de profondeur (1000m d'après certains océanographes) où elle atteint son maximum en même temps.

CaCO_3 se dissocie libérant des ions Ca^{++} et de CO_2 , contribuant à la diminution de Ph.

Si des courants ascendants (upwelling) ramènent de la profondeur ces eaux riches en P et Ca^{++} vers le plateau continental il y a combinaison et précipitation d'Apatite, sauf dans la zone emphatique où le phosphore entre de nouveau dans le cycle biologique.

En gros les dépôts de phosphates se faisaient donc entre 50 et 200m de profondeur.

Ces phénomènes peuvent avoir une grande extension si les conditions paléogéographiques convenables existent pendant une durée suffisante.

- Mer ouverte vers le large.
- Sédimentation faible et irrégulière.
- Apport fluvial correspondant à une période de biostasie et/ou dominant les éléments en solutions et les détritiques fins (argiles).

Apport océanique d'éléments en solution grâce aux courants ascendants ; ces éléments peuvent provenir en partie du volcanisme sous-marin

4. Principaux Bassins Phosphatés du Maroc :

Le phosphate des bassins marocains est un phosphate sédimentaire qui provient de la décomposition des animaux de mer, car les mers et les océans ont été recouverts une grande partie de continents depuis presque 75 millions d'années.

La phosphatogénèse s'est déroulée durant la période géologique comprise entre le Maastrichtien (Crétacé terminal) et le Lutétien (Eocène moyen), (Boujo, 1972).

Une série phosphatée s'y est déposée décrivant une séquence positive, comprise entre:

Au sommet : des formations carbonatées.

A la base : des détritiques fins (sables et argiles).

Tant sur le plan spatial que temporel, les faciès de la série phosphatée sont caractérisés par une grande diversité.

Les principaux domaines phosphatés au Maroc sont : Quatre grands Bassins :

- ✚ Bassin d'Oulad Abdoun, à Khouribga.
- ✚ Bassin de Gantour, à Youssoufia.
- ✚ Bassin de Meskala, à Chichaoua, s'étendant du Jbilet jusqu'à le Haut Atlas Occidental.
- ✚ Bassin Oued Eddahab au domaine Saharien. Gisement Boucraa

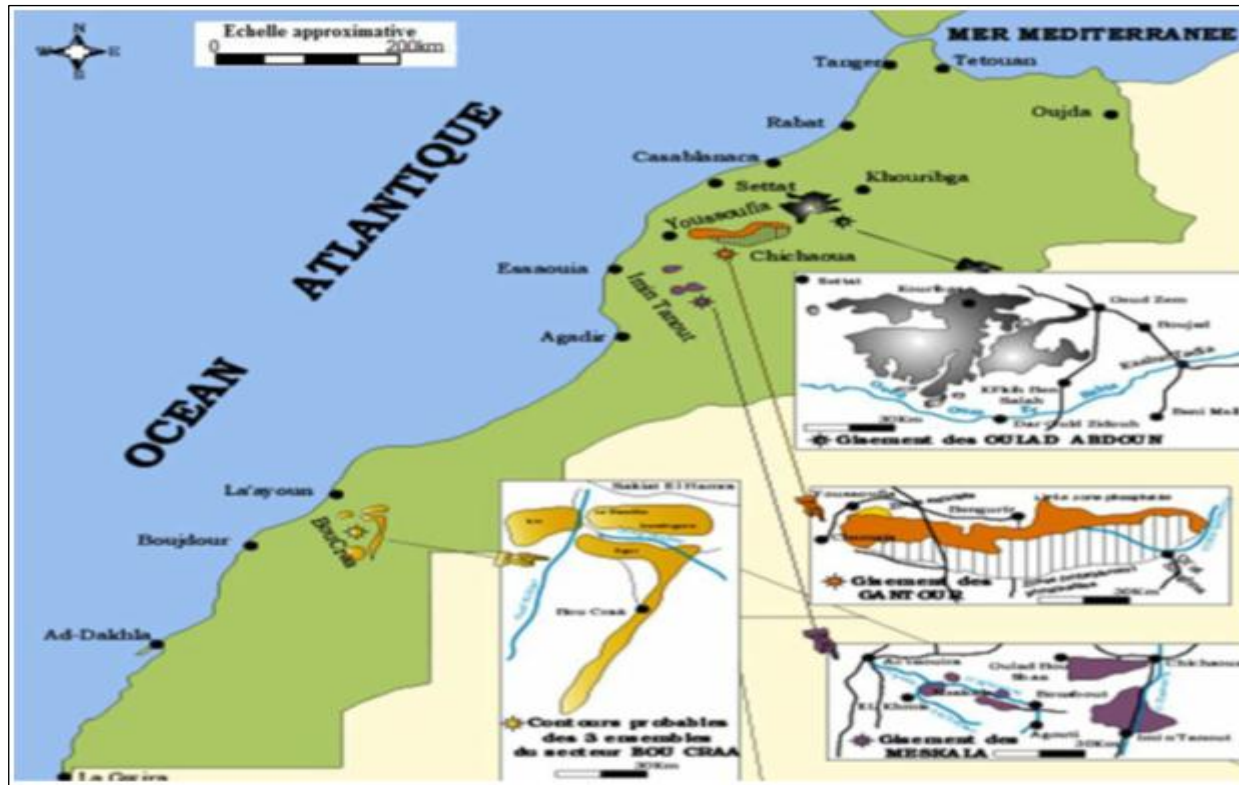


Figure3 : Les gisements de phosphates au Maroc

a) 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 silexites.

Il est subdivisé en plusieurs gisements :

La zone de khouribga contient les gisements de :

- Oued-Zem,
- Merah El Ahrech,
- Sidi Chennane et
- Sidi Daoui.

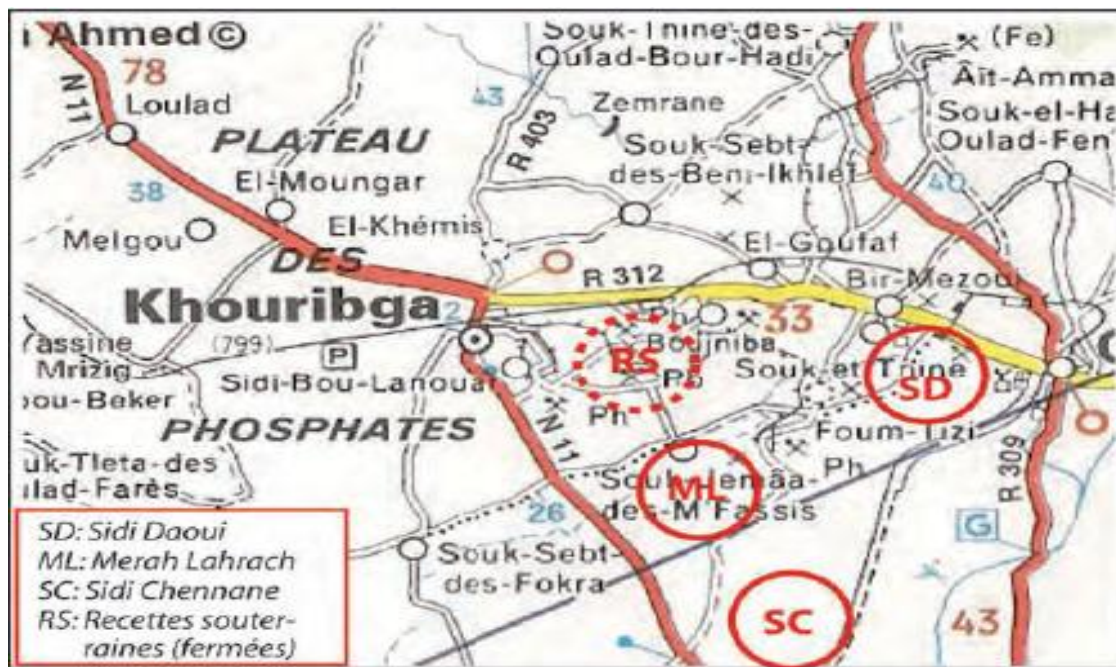


Figure4 : Le gisement des phosphates De Khouribga et des différentes zones

b) 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 Tassaout, affluent de l'Oued Oum-Er-Rbia.
- ✚ A l'Ouest, les collines jurassique de Mouissat

Bassin de Meskala :

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

- ✚ 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.

c) Bassin d'Oued Eddahab :

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

Il est limité par :

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

Partie III

***Extraction, traitement et valorisation du
phosphate
Khouribga vers jorf lasfar***

I. Chapitre I : les étapes de l'exploitation du phosphate :

L'exploitation des phosphates au gisement de Ben guérir passe par les étapes suivantes :

1) Foration :

Consiste à creuser des trous jusqu'à atteindre le toit de la couche phosphatée cherchée.



Photo5 : opération de foration.

2) Sautage :

Cette opération consiste à mettre l'explosif dans les trous de foration et procéder au tir. L'explosif utilisé dans les mines à ciel ouvert de K HOURIBGA est l'Amonix composé de nitrate d'ammonium 94% et de fuel 6%.



Photo 6 : opération de sautage.

3) Décapage :

Consiste à enlever les débris d'explosion et par la suite exposer la couche phosphatée. A l'aide de bulldozer.



Photo 7: opération de Décapage. Décapage par poussage (bulldozer D11)

4) Défruitage :

Opération de gerbage du phosphate sous forme de tas à l'aide des machines Pelle ou Chargeuse.



Photo 8: opération de défruitage.

5) Chargement et Transport:

les phosphates bruts sont chargés et transportés vers le centre de traitement (Camions Lectra Hall, Unit-Rig et Haul-Pak).



Photo 9: chargement et transport.

6) Epierrage :

Etape qui consiste à enlever les pierres selon des tamis à maille carrée 90 mm. Le phosphate épierré est acheminé par l'un des convoyeurs B1 ou B2 puis stocké, chaque couche, dans son parc approprié.



Photo 10: opération d'Épierrage.

7) Criblage :

le phosphate épierré est repris par une Roue pelle est transporté par les convoyeurs B7 et T1 à l'installation du criblage qui renferme 5 trémies (A, B, C, D et E) de maille carrée de 10mm.



Photo 11: opération de criblage.

8) Chargement et transport :

Vers Jorf Lasfar ou Safi du phosphate. Concernant Khouribga, cette étape qui se faisait avant 2013 à l'aide du transport ferroviaire est remplacée par un minéroduct vers Jorf Lasfar.

II. Présentation Nouvelle méthode de transport des phosphates: le minéroduct ou (Slurry Pipeline) Khouribga – Jorf Lasfar :

1) Introduction :

Depuis 2006, OCP s'est doté d'une nouvelle stratégie de développement qui vise à faire passer la production de phosphate brut de 28 à 47 millions de tonnes à l'horizon 2020, dont environ 80 % (34 millions de tonnes contre 13 actuellement) sera transformé localement. Le transport du phosphates joue un rôle important pour cette ambition. C'est bien que l'OCP accompagné par l'agence française de développement ont convenu à installer une nouvelle méthode de transport du phosphate de Khouribga vers Jorf Lasfar.

2) Objectif du projet slurry pipeline

Dans le but de consolider sa position de leader mondial en matière de phosphate et dérivées ; et de porter le système actuel de production à un système de classe mondiale.

Pour traduire sur le terrain les ambitions de cette stratégie ; l'OCP a commencé la réalisation de plusieurs projets de haute envergure dont le plus important est celui du Slurry Pipeline.

La réalisation du pipeline permettra de :

- Réduire le coût de transport du phosphate de 90%.
- Améliorer la flexibilité en matière d'alimentation en phosphate.
- Protéger l'environnement par réduction de dégagement du CO2 (930 millions tonne/an).
- Réduire à 0% la pollution atmosphérique par dégagement de la poussière.

La pulpe de phosphate acheminée depuis la station de tête située à Khouribga arrive à la station terminale de Jorf via le slurry pipeline.

La pulpe est distribuée vers les différents demandeurs au niveau de toute la plateforme de jorf.

3) Le système slurry pipeline :

Le système de transport par minéroduct aura une capacité de 38 millions de tonnes par an et sera composé :

- d'un pipeline principal de 187 km de long pour le transport de la pulpe, de la station de tête à Khouribga jusqu'à la station terminale à Jorf Lasfar ; une station de pompage sera installée pour vaincre la pente sur les 30 premiers kilomètres, puis l'écoulement se fera par voie gravitaire jusqu'à la station terminale de Jorf Lasfar (passant ainsi d'une altitude de 775 m à 66 m) ;

- de pipelines secondaires de 48 km de long pour le transport de la pulpe entre les laveries et la station de tête du pipeline principal à Khouribga.

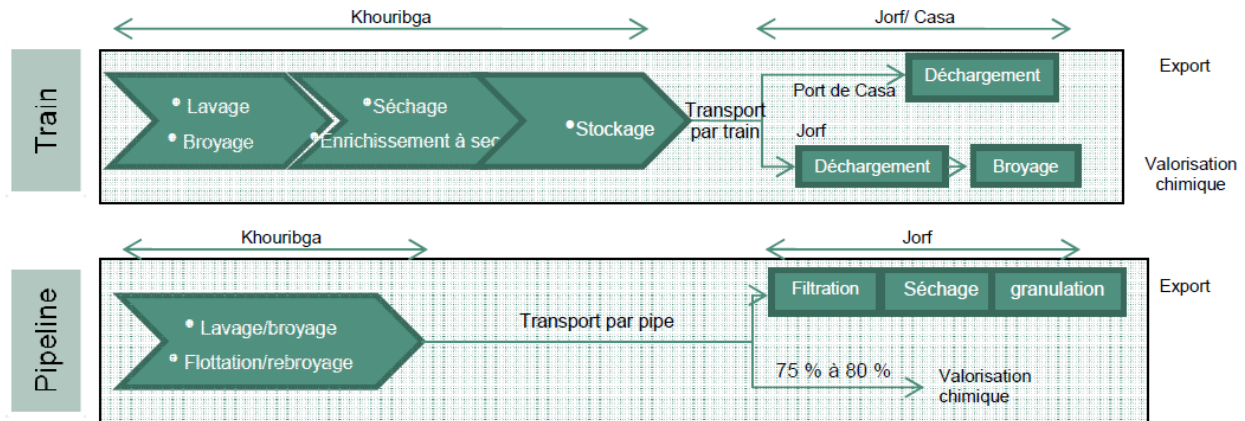


Figure 12 : Schéma comparatif des deux moyens de transport des phosphates de Khouribga

La construction d'un second minéroduct est envisagée entre les sites miniers de Ben Guérir & Youssoufia et le port de Safi (AFD 2013).

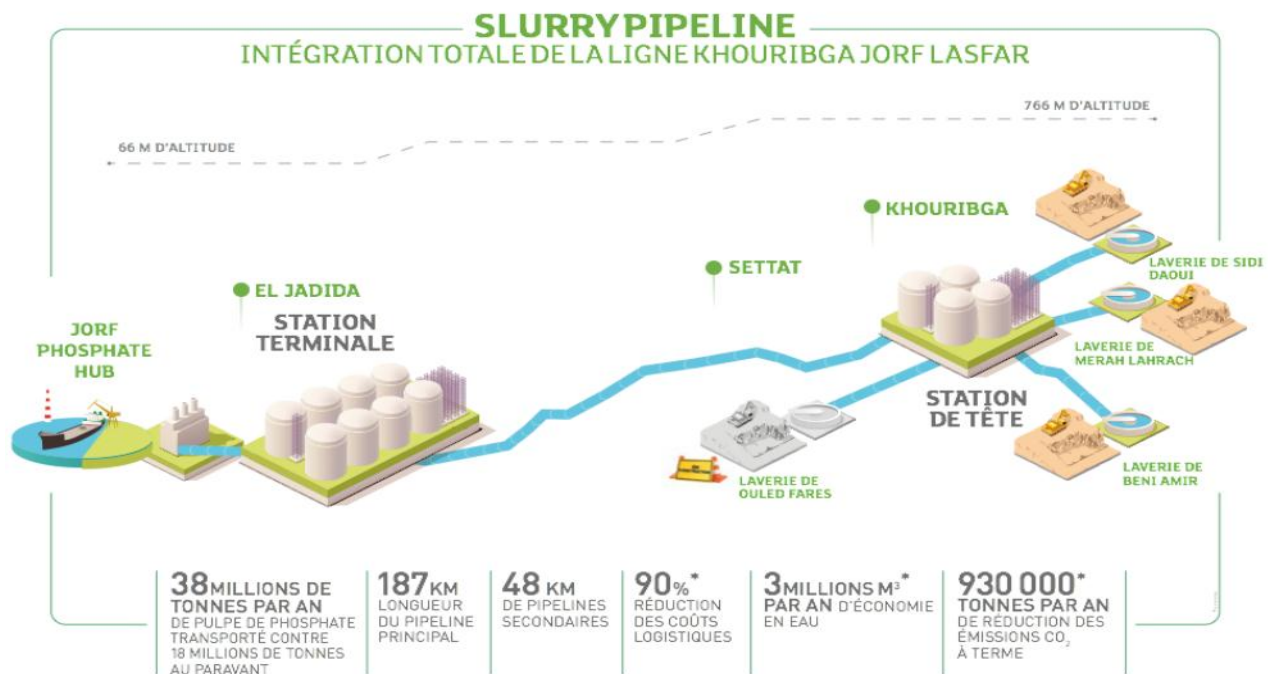


Figure 13 : la ligne Khouribga jorf lasfar



Photo 14 : le transport de la pulpe

III. Chapitre II : Traitement et valorisation du phosphate

1. Traitement des phosphates:

Le traitement et l'enrichissement des phosphates: Consistent à diminuer la partie stérile. Ceci regroupe toutes les opérations simples ou complexes que peut subir le phosphate pour éliminer les éléments stériles (silice, calcaire, argile) et augmenter la valeur marchandes du minerai.

Fonctionnement du procédé de traitement de phosphate :

L'enchaînement des phases de traitement des phosphates.

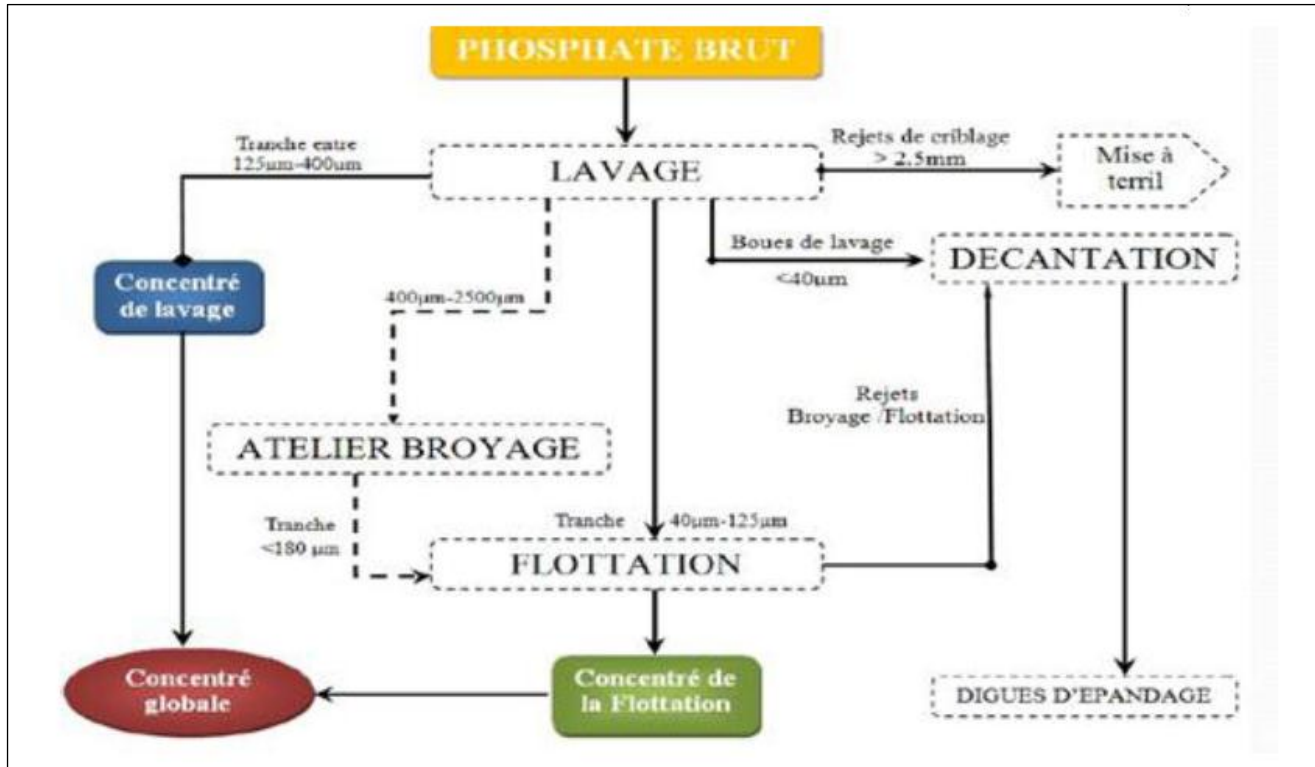


Figure 15 : les phases de traitement des phosphates

1. Procédé de lavage :

1) Définition:

Le lavage est un traitement physique par voie humide qui consiste à éliminer les tranches granulométriques :

- La tranche haute supérieure à 2.5mm par criblage humide.
- La tranche basse inférieure à 40 µm par classification hydraulique.

2) Principales phases de lavage :

a) Débourage :

Une opération qui consiste à malaxer le minerai de phosphate mis en pulpe dans un appareil cylindrique appelé débourbeur tournant, afin de libérer par attrition les grains phosphatés de leurs gangues argilo-calcaires.



Photo 16 : débourbeur tournant

b) Le criblage :

Une opération qui consiste à éliminer les particules de dimensions supérieures à 2.5 mm. Il est réalisé au moyen d'une machine vibrante à débit continu équipé d'une ou deux grilles comportant des ouvertures de dimensions bien calibrées qui permettent de séparer les minerais des stériles volumineux qui risquent de perturber les traitements ultérieurs du phosphate.



Photo 17 : machine vibrante

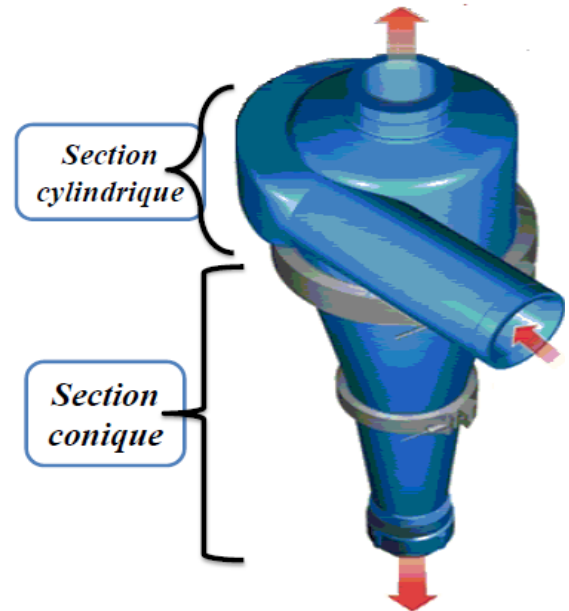
c) Système d'hydro-classification :

Elle est réalisée par un appareil appelé hydro cyclone qui est basé sur le principe de la force centrifuge pour une séparation entre les fines particules et les grosses particules. C'est donc une séparation par équivalence de densité et de granulométrie

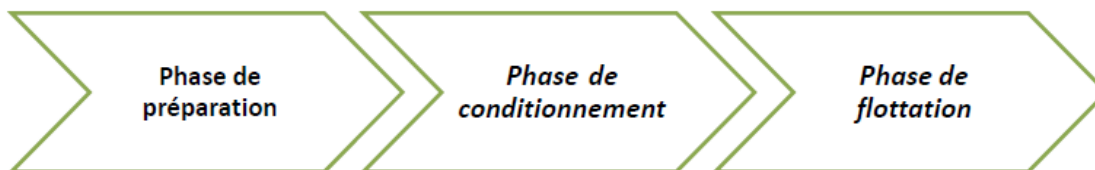
Une partie cylindrique ou se fait une alimentation tangentielle en pulpe ; présentant une cheminée au centre par laquelle se fait l'évacuation des particules.

Une partie conique terminée par une buse de sortie ou se fait l'évacuation des fines particules vers

la sur verse.



Elle consiste à enrichir les tranches fines de phosphates (40-150 μ m) c'est de faire flotter les éléments indésirables et déprimer le minerai à valeur c'est le phosphate. le processus de flottation se fait en trois étapes:



a) Phase de préparation :

- ✚ **Premier Deschlammage** : Elimination de la tranche inférieure à 40 μ m par hydro cyclonages qui est envoyé vers le décanteur.
- ✚ **Attrition** : Dans des attritionneurs octogonale chacun est équipé d'un agitateur , le chemin parcouru par le produit favorisent le frottement des grains (grains entre eux, grains avec parois des attritionneurs).

- ✚ **Deuxième Deschlammage** : L'attrition génère de nouveau la création des schlamms, A l'aide de deux batteries d'hydro cyclones de coupures de 40 μm disposés en cascades, on arrive à éliminer au maximum ces schlamms avant d'introduire les grains dans les conditionneurs.

b) Phase de conditionnement :

Le conditionneur est un appareil conçu pour conditionner la pulpe de phosphate, il consiste à

- ✚ Déprimer l'apatite par l'ajout d'acide phosphorique H_3PO_4 .
- ✚ Collecter les carbonates par l'ajout d'ester.
- ✚ Collecter les silicates par l'ajout d'amine.

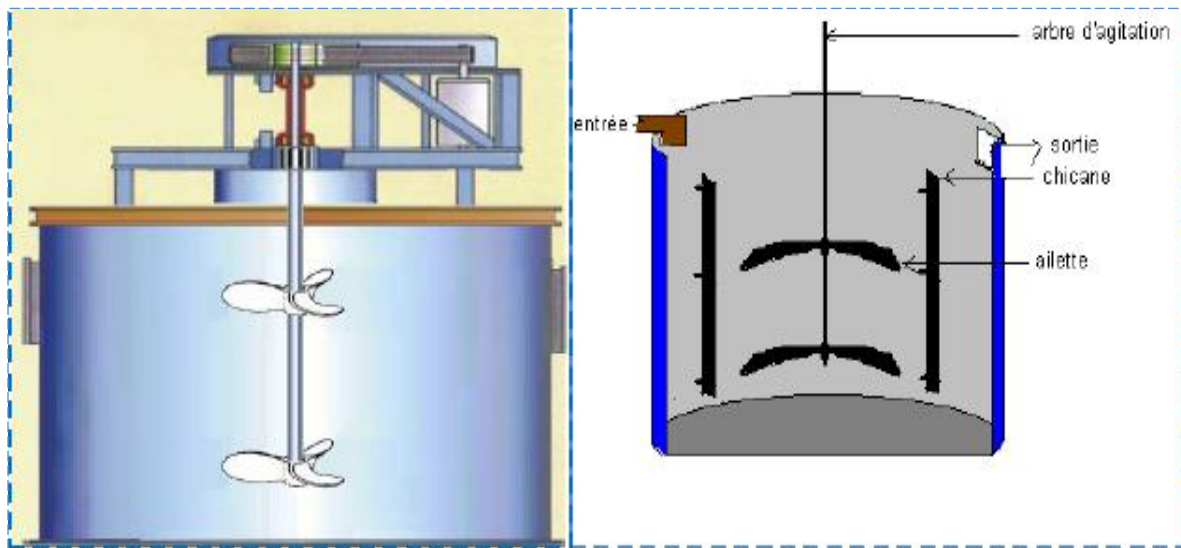


Photo 18 : Présentation d'un conditionneur.

c) Phase de flottation :

C'est dans cette phase où se fait la séparation entre les silicates et les carbonates qui seront éliminées par flottation, et l'apatite que l'on désire récupérer comme produit enrichi, Cette opération s'effectue dans des cellules en acier inoxydable ayant la forme géométrique d'un cylindre, chaque cellule est équipée d'un agitateur.

3. Décantation :

- ✚ Le traitement du minerai du phosphate par lavage, flottation et broyage consomme une grande quantité en eau. l'importance est de plus en plus donnée au recyclage des eaux par le procédé de décantation.
- ✚ C'est une technique de séparation liquide-solide basée sur le phénomène de sédimentation, qui consiste à séparer d'un liquide les particules en suspension en utilisant les forces gravitaires

Le décanteur est un appareil principalement utilisé dans l'industrie chimique et dans le traitement des minerais, son action principale consiste à épaissir les rejets des opérations d'enrichissement, c'est à dire la tranche inférieure à $40 \mu\text{m}$ qui provient soit du lavage soit de la flottation, pour récupérer des eaux clarifiées dans un bassin.



Photo 19 : décanteur

IV. Valorisation de phosphate :

Introduction

L'ensemble industriel MAROC PHOSPHORE D'EL JADIDA est un complexe dont l'activité principale est la production des engrais et de l'acide phosphorique. Les matières premières utilisées sont :

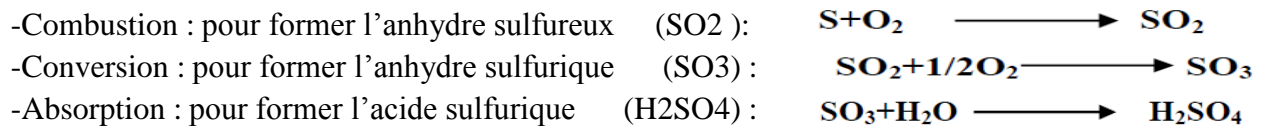
- les phosphates provenant de KHOURIBGA.
- Le soufre importé de l'étranger.
- L'ammoniac qu'est importé également de l'étranger.

Le complexe comprend 3 unités de production principales :

- Unité de production d'acide sulfurique
- unité de production de l'acide phosphorique
- unité de production d'engrais En plus des autres unités : comme unité de traitement d'eau, les unités de stockage.

1. Fabrication de l'acide sulfurique :

L'atelier sulfurique produit l'acide sulfurique pour la production de l'acide phosphorique servant à la fabrication d'engrais granulaires, l'atelier sulfurique est divisé en trois **étapes principales** :



Le soufre liquide est alimenté au four de combustion ou la combustion du soufre a lieu pour produire du SO₂ ces gaz sont par la suite alimentés au convertisseur et le SO₂ est converti en SO₃ .finalement, le SO₃ est absorbé dans les tours d'absorption pour produire de l'acide sulfurique. L'acide est ainsi stocké dans des bacs de stockage et envoyé à l'atelier phosphorique selon les besoins.

2. Production de l'acide phosphorique

La fonction essentielle de cet atelier est la production d'acide phosphorique à partir de la Réaction du phosphate broyé avec l'acide sulfurique.

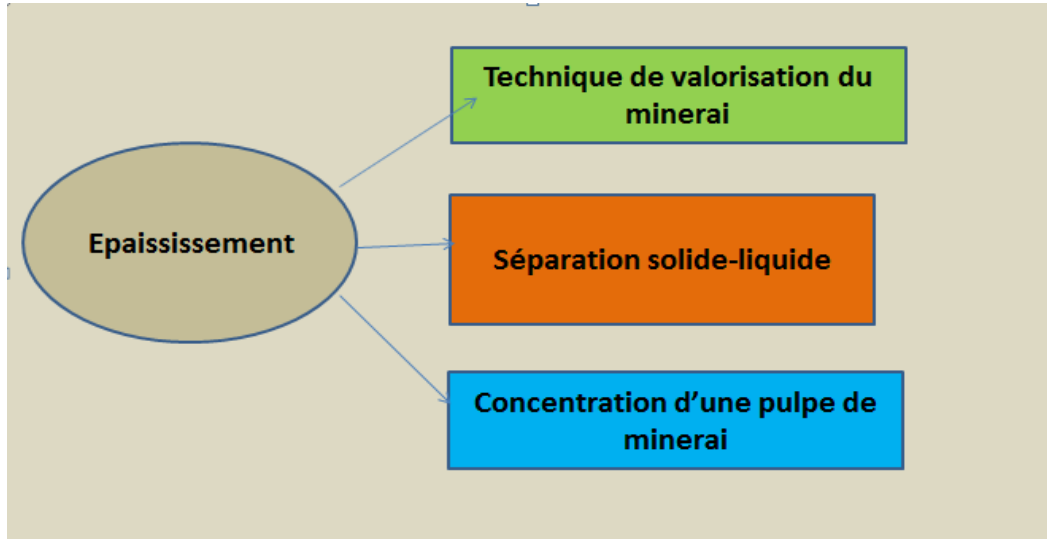
Le phosphore se trouve sous forme Ca₃(PO₄)₂; le minéral primaire, à l'origine de tous ces Gisements, serait l'apatite Ca₅(PO₄)₃X, où X peut être le fluor F, le chlore Cl, le brome Br, L'hydroxyle OH où un demi-groupe carbonate CO₃ et où le calcium peut être remplacé Par du plomb.

1) Les étapes de Production de l'acide phosphorique :

a) Epaississement :

A l'entrée des réacteurs ; la pulpe doit avoir un taux de solide de 65% ,avant son alimentation à l'étape de l'attaque et de la filtration ; ce qui nécessite une opération d'épaississement.

L'épaississement est une phase critique dans le procédé de fabrication d'acide phosphorique; Donc il est très important de le maîtriser et l'optimiser au maximum.



b) Le broyage :

Le broyage de phosphate brute a pour but d'augmenter la surface d'attaque du minerai par l'acide sulfurique.

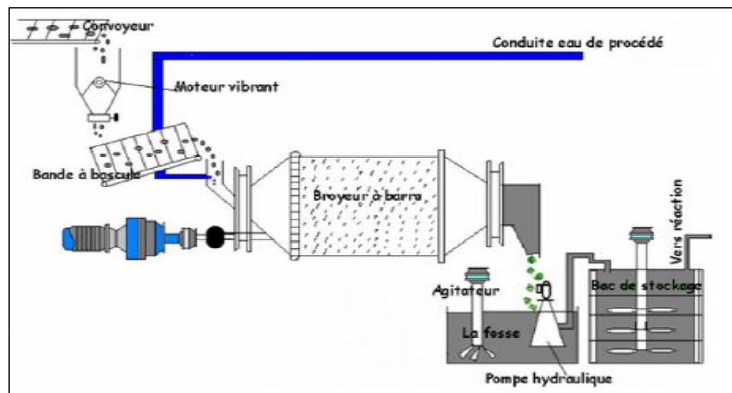
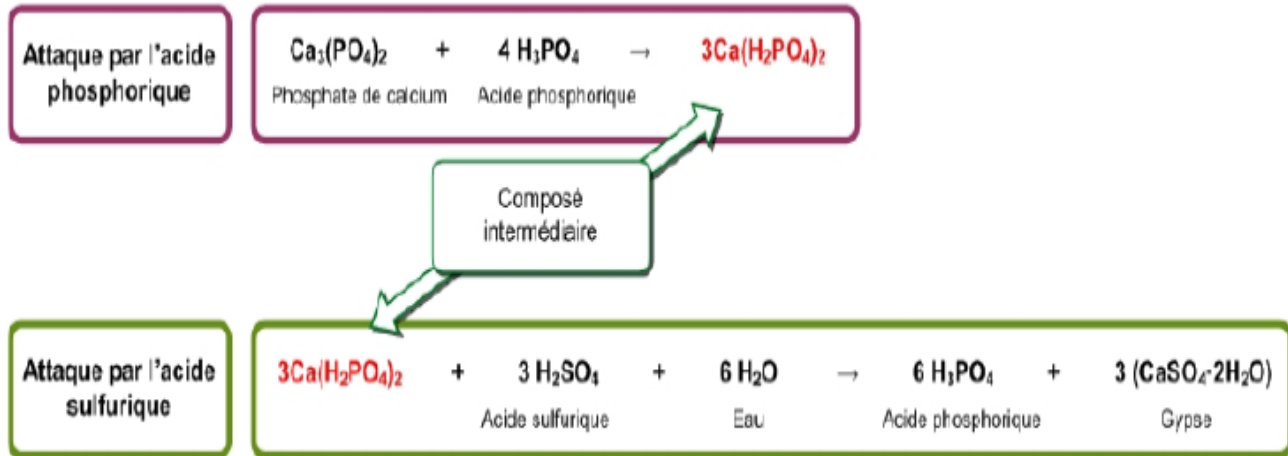


Figure 20 : broyeur

c) L'attaque de filtration :

Le phosphate broyé est attaqué par l'acide sulfurique concentré à 98% et l'acide phosphorique moyen (18 à 21% de P₂O₅) en milieu aqueux. L'attaque permet de produire une bouillie contenant l'acide phosphorique, mais aussi des cristaux de gypse. Ces cristaux sont séparés de la bouillie lors de la filtration.

Les principales réactions d'attaque sont les suivantes:



d) Stockage de l'acide dilué :

L'étape du stockage de l'acide phosphorique dilué permet de réduire la concentration en impuretés de l'acide phosphorique dilué provenant de l'attaque-filtration, avant son alimentation à l'échelon de concentration ou à l'atelier d'engrais.

e) La Concentration :

La fonction de la concentration de l'acide phosphorique est de permettre l'évaporation d'eau pour obtenir un acide tirant 54% de P₂O₅.

f) Stockage de l'acide concentré :

L'étape du stockage de l'acide phosphorique concentré permet de réduire davantage la concentration en impuretés de l'acide phosphorique concentré provenant des échelons de concentration. Cet acide concentré clarifié, dont le taux de solides a été réduit à moins de 1% , est ensuite stocké.

Tableau récapitulatif :

Le tableau suivant, regroupe l'influence des principaux paramètres d'attaque et composants du phosphate, sur la marche de la fabrication d'acide phosphorique et la qualité d'acide produit.

Paramètres	Impacts
Température élevée	Meilleur attaque Bonne filtration Baisse P ₂ O ₅ syncristallisé Risque de formation d'hémihydraté
Température basse	P ₂ O ₅ syncristallisé élevée Filtration moyenne Evite la formation de mousses stables
Teneur en P ₂ O ₅ élevée	Réduction du taux d'attaque P ₂ O ₅ inattaqué et soluble eau élevés
Teneur en P ₂ O ₅ basse	Bonne filtration Meilleur rendement global Frais de concentration élevé
Sulfate élevée	Excellente filtration P ₂ O ₅ inattaqué élevée
Sulfate bas	Mauvaise filtration P ₂ O ₅ syncristallisé élevé
Taux de solide élevé	Temps de séjour élevé Bonne filtration
Taux de solide bas	Mauvaise cristallisation Réduction de la cadence
Granulométrie fine	P ₂ O ₅ syncristallisé élevé P ₂ O ₅ inattaqué bas Dissolution rapide du phosphate
Granulométrie grossière	P ₂ O ₅ inattaqué élevé P ₂ O ₅ syncristallisé basse
CaCO ₃	Consommation de H ₂ SO ₄ élevé Limitation du volume utile des cuves Formation des mousses Blocage de la croissance des cristaux
CaF ₂	Consommation de H ₂ SO ₄ élevée Corrosion importante




	Blocage du processus de cristallisation
SiO ₂	Formation de l'acide fluosilicique Amélioration de la cristallisation
M ₂ O ₃ M=Fe ou AL	Baisse du rendement Amélioration de la cristallisation
MgO	Viscosité élevée
SO ₃	Diminution de la consommation de H ₂ SO ₄

Tableau 1 : paramètres d'attaque et composants du phosphate

3. La formation des engrais :

Les éléments fertilisant majeurs sont l'azote, le phosphore et le potassium. Ils se trouvent à l'état naturel mais ne sont pas directement utilisable comme engrais, c'est la raison pour laquelle l'industrie prépare une gamme des engrais chimique dont la consommation est en pleine croissance. Les engrais se trouvent sous plusieurs formes mais les engrais granulés sont de plus en plus utilisés à l'échelle internationale notamment les engrais composés MAP/DAP.

Unité de production d'engrais c'est l'unité qui est conçue pour la production de engrais à partir de :

-  phosphate
-  acide phosphorique et sulfurique
-  Ammoniac

La matière première de base des fertilisants minéraux phosphatés est le phosphate naturel de calcium extrait de gisement de phosphates.

Une seconde matière première est le soufre utilisé pour la fabrication d'acide sulfurique qui permet de rendre le phosphate plus soluble.

Le principe de fabrication des engrais est basé sur l'attaque du phosphate par de l'acide sulfurique ou phosphorique et sur la réaction entre l'acide phosphorique et l'ammoniac.

Le procédé utilisé comporte **six étapes** :

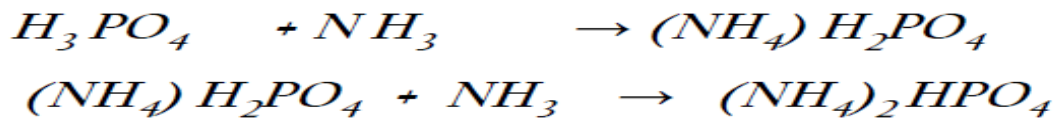
- Réaction ;
- Granulation ;
- Séchage ;
- Classification granulométrique ;
- Conditionnement de produit ;
- Lavage des gaz et assainissement des équipements

a) Réaction :

Le procédé de fabrication du DAP et MAP utilise la combinaison d'un préneutraliseur. Ce dernier est alimenté par :

- ✚ L'acide phosphorique 54% ;
- ✚ Liquide de lavage, c'est l'acide phosphorique partiellement Neutralisé dans la section de lavage par les gaz refoulé à Partir du granulateur ;
- ✚ L'ammoniac à l'état de gaz ;
- ✚ L'acide sulfurique (rarement utilisé).

Les réactions qui se produisent au sien de préneutraliseur sont les suivantes



Les chaleurs de réaction dégagé élevé la température de la bouillie jusqu'au point d'ébullition, environ 120°C ce qui permet d'évaporer une certaine quantité d'eau.

b) Granulation :

L'opération de granulation consiste à transformer la bouillie en un produit granulé de dimensions bien déterminées, le mouvement de rotation du granulateur permet une distribution uniformément sur la surface des granulés et produit une couche de granulés durs et bien arrondis.

Le produit granulé humide sort du granulateur à travers une grille située à la sortie de la virole. Le produit s'achemine directement vers le sécheur par l'intermédiaire d'une goulotte spécialement conçu pour minimiser le bouchage et éviter les dommages causés par le contact des conduites des gaz provenant de la chambre à combustion.

c) Séchage :

C'est une opération qui consiste à enlever par évaporation l'excès d'humidité qui contient le produit.

Dans la fabrication des engrais cette opération est nécessaire pour réduire l'humidité de l'engrais aux limites imposées par la spécification commerciale et minimise ainsile coût de transports et les risques de prise en masse.

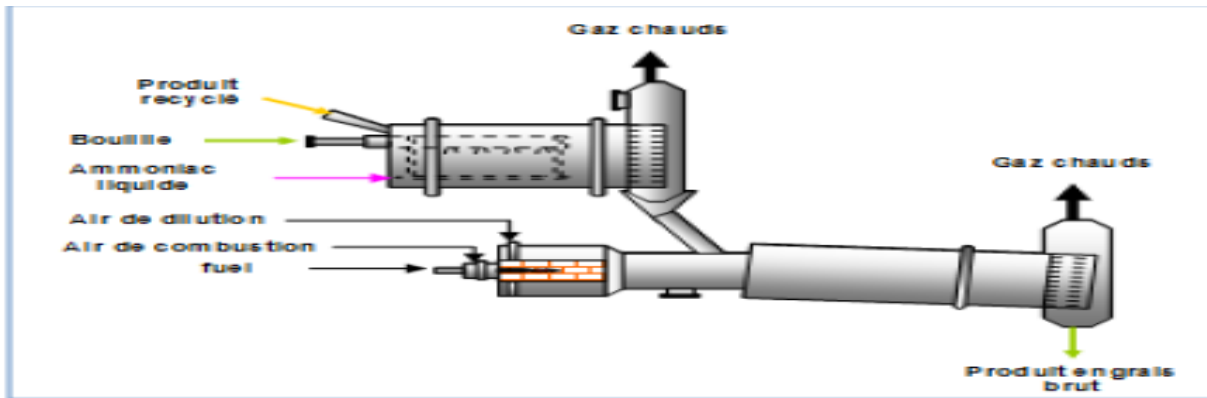


Schéma 21 : du granulateur et sécheur

d) Refroidissement et conditionnement :

Le produit marchant venant des cribles finisseurs est acheminé vers un refroidisseur pour subir un refroidissement conditionnement, cette opération est réalisée par un refroidisseur à lit fluidisé.

- Classification :

La séparation granulométrique de l'engrais permet de fabriquer un produit marchant à la granulométrie requise entre 2 et 4 mm et d'extraire le produit de recyclage qui alimente le granulateur.

e) Lavage des gaz et assainissement des équipements :

Les gaz contenant de l'ammoniac, des poussières et de la vapeur d'eau sortant de tous les équipements de la ligne (granulateur, sécheur,...) sont lavés par l'eau brute et l'acide phosphorique 29 %.

V. Chapitre III. Modélisation des couches phosphatés et calcul des réserves

1. Introduction :

Pour une meilleur gestion des phosphates, il est judicieux de calculer le volume des couches exploitées et sachant la consommation annuelle et la densité moyenne, il est possible de calculer la duré d'exploitation avant épuisement. Nous avons pris l'exemple de la couche 2 du gisement Gantour.

La méthodologie suivie pour cette tache (les manipulations concerne toujours la couche 2) :

- Création de la carte des positions des puits avec leurs numéros, afin de s'assurer la bonne distribution de ces derniers.
- Création de la carte de la profondeur du toit
- Création de la carte de l'épaisseur et calcul de volume directement
- Création de la carte du BPL

Le logiciel utilisé est le WinSurf. C'est une « open source » très efficace pour la cartographie rapide et les divers calculs sur les grilles qui sont les supports des cartes.

2. Carte de topographie du toit de la couche C2 :

Les données, qui sont sous formes de tableau (voir annexe), sont chargées sur WinSurf ensuite la grille correspondante à la profondeur du toit de la couche C2 a été calculée.

L'espacement retenu est 20m en x et en y. Le résultat est une grille de 236 lignes et 83 colonnes avec un nombre total de nœuds 19588.

La carte tramé qui en résulté (figure 19) montre que le toit de C2 a une profondeur qui varie entre 30 m et 63 m. On observe que, généralement la profondeur augmente de l'Ouest vers l'Est du panneau

3. Carte de l'épaisseur de la couche C2 :

Le même procédé a été conduit pour calculer la carte de l'épaisseur (voir figure 19). On constate que la couche C2 est plus épaisse au centre du panneau que vers ses extrémités Nord et Sud. L'épaisseur varie entre 1m et 6m.

4. Carte de teneur BPL de la couche C2 :

La teneur BPL est variable de 36 à 76%. En dehors d'une petite zone centrale où le BPL est inférieur à 50%, le reste de la couche est très riche en bon phosphates.

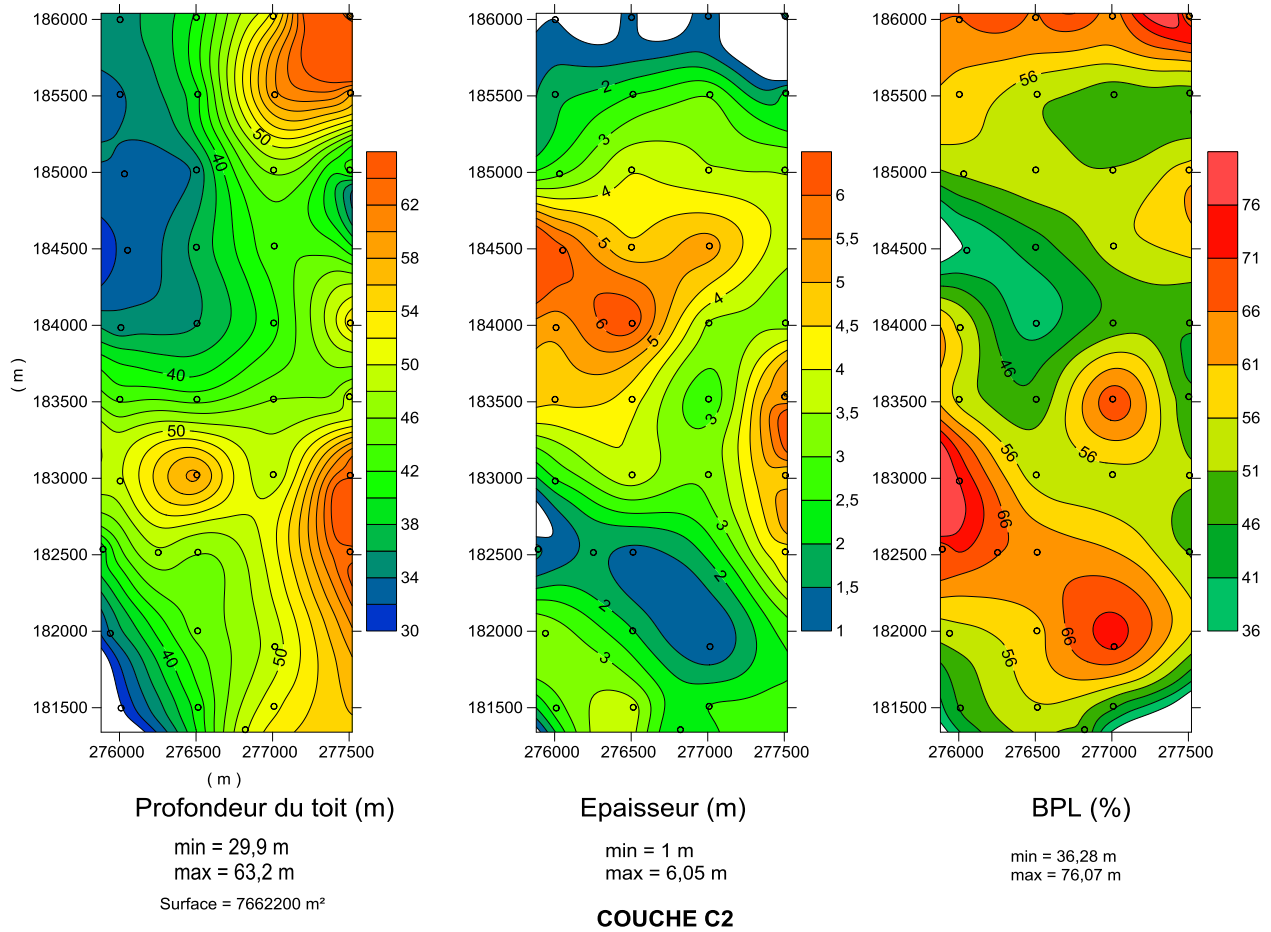


Figure 22. Cartes montrant la profondeur du toit (m), épaisseur (m) et teneur BPL (%) de la couche C2

5. Calcul des réserves de la couche C2 :

Nous avons repris la carte de l'épaisseur de la couche C2 (épaisseur totale) sur WinSurf. Nous y avons calculé la surface et le volume via :

- WinSurf : Grid < volume : - Cutt and Fill Volumes (pour le volume) (Vol)
- Surface areas (pour la surface)

➤ Sachant que la densité moyenne du phosphate de la couche C2 = 1.62 (d)

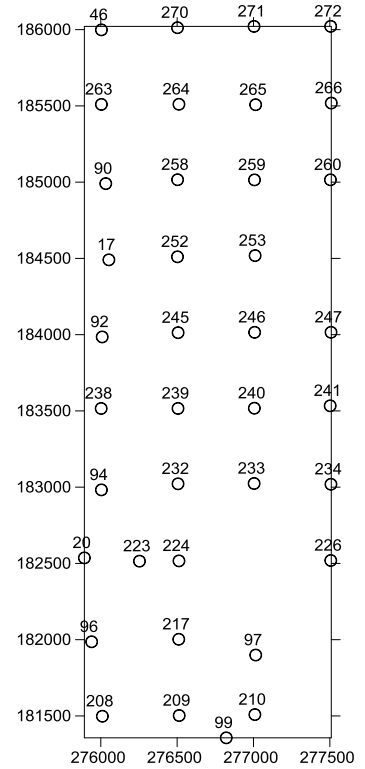
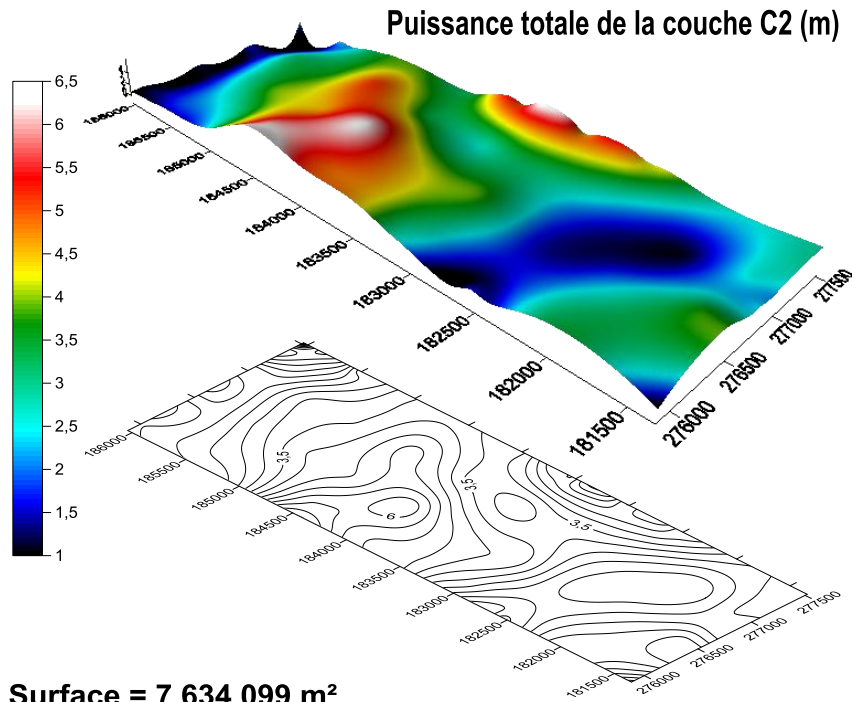
On peut calculer la masse totale du phosphate de la couche C2 (Mt)

$$Mt \text{ (kg)} = Vol \text{ (m}^3\text{)} \times d \text{ (kg/m}^3\text{)} = \text{THC}$$

Sachant que la consommation annuelle du phosphate de la couche C2 est $CA = 350\,429\text{ T}$,

On peut calculer la durée d'exploitation avant épuisement, $tex = THC/CA$

(voir figure 20)



Surface = 7 634 099 m²
Volume = 24 464 562 m³

THC=tonnage humide criblé=
 $= (\text{Vol} * \text{densité } 1.62\text{T/m}^3) = 39\,632\,590\text{ T}$

Consommation annuelle de C2 : 350 429 T/an
 Epuisement dans 113 an

	min	max
X :	275892	277520
Y :	181340	186040
Z :	1	6.25

1. Un peu de calcul :

Indicateur de la qualité des phosphates le « Bone Phosphate of Line » BPL :

La qualité du phosphate est exprimée en pourcentage de P₂O₅ ou en terme de tricalcium de phosphate Ca₃(PO₄)₂ connue par « Bone Phosphate of lime ou BPL » :

“Bone Phosphate of Lime”: **BPL = 2.1852 x P₂O₅**

Mine d'origine	Qualite	% P ₂ O ₅	BPL
Khouribga	K02	29.75	65
Khouribga	K09	31.12	68
Khouribga	K10	32.04	70
Khouribga	K12**	32.04	70
Khouribga	K20	32.95	72
Gantour	YCC	34.32	75
Gantour	Y1	31.12	68

Tableau 2 :Indicateur de la qualité des phosphates

Conclusion :

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

Le groupe OCP joue un rôle important sur le plan économique des activités phosphatique.

Le travail mené dans le cadre de notre étude porte sur une synthèse des diverses étapes d'extraction du phosphates, son acheminement via des moyen plus moderne, moins couteuses et non nuisibles. C'est le cas du pipeline ou mineroduc Kouribga-Jorf Lasfar. Nous avons également détaillé les différents traitements et la valorisation des phosphates conduisant à la production de l'acide phosphorique qui est employé dans de différents domaines ainsi que les engrais.

Nous avons consacré un chapitre pour l'estimation des réserves. Une fois le volume de la couche C2 calculé et connaissant la densité de C2 nous avons calculé la masse totale. Si le rythme d'exploitation de 350429 T/an est maintenu, la durée d'exploitation de C2 est d'environ 113 ans.

Annexe1

Positions des puits

N° puits	X(m)	Y(m)	Z(m)	Toit C2	Mur C2	PT (m)	BPL	Co2	int 1/2	Z au toit (m)
17	276052,85	184490,64	477,3	32,45	38,5	6,05	36,28	3,69	3	444,85
20	275892,46	182536,26	470,11	39,6	41,2	1,6	68,07	4,72	3,53	430,51
46	276004	185998,5	488,5	35,3	36,5	1	65,66	4,9	2,95	453,2
90	276032,5	184990,5	482,24	33,8	36,7	2,9	51,97	3,03	3,1	448,44
92	276009,2	183985	478,41	35	40,2	5,2	55,11	4,54	3	443,41
94	276004	182982,2	479,89	49,6	52	2,4	76,07	4,18	3	430,29
96	275940	181986,2	465,87	34	37,3	3,3	53,92	5,2	2,6	431,87
97	277014,7	181899,2	460,73	49,1	50,2	1,1	71,67	3,85	2,6	411,63
99	276821,7	181356,35	458,18	49,6	51,9	2,3	49,9	5,92	4,05	408,58
208	276010,4	181497,8	458,35	29,9	32,7	2,8	46,7	8,14	2,75	428,45
209	276513,5	181502,5	458,33	41	44,65	3,65	55,47	7,76	2,5	417,33
210	277009,1	181508,8	459,32	51,4	53,9	2,5	46,95	5,3	2,3	407,92
217	276510,5	182002,5	463,35	44,7	46,7	2	59,66	5,08	1,4	418,65
223	276253,3	182514,8	472,51	47,6	49,2	1,6	66,26	5,28	1,4	424,91
224	276512	182516,6	467,16	46,1	47,5	1,4	64,4	3,24	2,5	421,06
226	277506	182519,2	471,56	62,8	67	4,2	50,83	4,25	2,6	408,76
232	276505,8	183022	480,76	58,4	62,2	3,8	54,12	3,8	0,6	422,36
233	277004,22	183024,11	466,43	48,55	51,7	3,15	54,27	4,07	3,15	417,88
234	277507,3	183019	472,61	63,2	67,75	4,55	52,36	5,06	2,25	409,41
238	276002,5	183516	480	43,65	48,25	4,6	54,85	4,58	3,75	436,35
239	276505,7	183516,3	470,78	43,3	47,5	4,2	47,81	3,75	2,65	427,48
240	277005,7	183517,6	468,67	46	48,7	2,7	69,07	4,45	3,2	422,67
241	277502,4	183533,5	469,43	49,25	54,25	5	49,08	4,05	3,55	420,18
245	276506,3	184013	473,45	35,95	42,2	6,25	38,45	3,09	3	437,5
246	277007,5	184015,2	473,51	41,5	45	3,5	48,14	4,49	3,35	432,01
247	277507,8	184015,5	481,01	53,1	56,4	3,3	48,48	4,85	3,2	427,91
252	276502,3	184510,5	478,52	36,7	46	4,6	43,33	2,7	3,1	441,82
253	277010,7	184518,4	480,76	43,35	48,5	5,15	54,04	5,05	3,7	437,41
258	276503	185016	482,23	34,65	38,6	3,95	54,49	4,27	3,55	447,58
259	277006,6	185014,8	493,56	46,6	50,15	3,55	51,19	5,64	3,75	446,96
260	277504	185015,4	485,61	42,9	46,3	3,4	57	4,52	3,65	442,71
263	276004	185509,7	486,5	33,85	35,7	1,85	58,8	3,81	3,05	452,65
264	276511,8	185510,7	487,59	39,9	42,35	2,45	52,3	4,1	3,35	447,69
265	277014	185507,8	502,35	59,35	62,3	2,95	47,97	4,94	2,8	443
266	277509,5	185518,5	501,95	58,95	61	2,05	49,35	5,25	3,1	443
270	276502,32	186012,85	490,62	40,46	41,6	1,15	65,38	3,42	3,45	450,16
271	277003,65	186021,23	500,05	53	54,45	1,45	63,73	5,08	2,8	447,05
272	277505,58	186021,37	507,36	61,1	62,4	1,3	64,34	3,94	7,3	446,26

Référence bibliographique

A. Mouttaqi, E.C. Rjimati, L. Maacha, A. Michard, A. Soulaïmani & H. Ibouh In

A. Michard, O. Saddiqi, A. Chalouan, C. Rjimati & A. Mouttaqi (Eds.)

NOUVEAUX GUIDES GÉOLOGIQUES ET MINIERS DU MAROC

NEW GEOLOGICAL AND MINING GUIDEBOOKS OF MOROCCO Vol 9. NOTES ET MÉMOIRES DU SERVICE GÉOLOGIQUE N° 564 ; 2011

Webographie :

AFD 2013

http://www.afd.fr/webdav/shared/PORTAILS/PAYS/MAROC/Fiches%20projets_%20Fiches%20sectorielles/CMA1144%20-%20OCP%20Min%C3%A9rologie.pdf

AFD 2015

http://www.afd.fr/jahia/webdav/site/afd/shared/PORTAILS/PAYS/MAROC/Fiches%20projets_%20Fiches%20sectorielles/CMA%201154%20-%20OCP%20STRATEGIE%20EAU.pdf

Groupe OCP

http://www.ocpgroup.ma/sites/default/files/alldocs/01-roche_fr.pdf