



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique Et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
جامعة الشهيد الشيخ العربي التبسي - تبسة  
Université Echahid Cheikh Larbi Tébessi – Tébessa  
معهد المناجم  
Institut des Mines  
قسم المناجم والجيوتكنولوجيا  
Département Mines Et Géotechnologie

## MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master

Filière : Génie minier

Option : Exploitation des mines

**Schémas des réseaux du trafic de transport  
terrestre du minerai de phosphate de Bled el  
Hadba vers le Complexe d'Oued Kberit.**

Présenté par  
BELKHIRI Haythem et HAFRI Farouk

Devant le jury

NOUIOUA Ismail	Président	Pr	Université Echahid Cheikh Larbi Tébessi – Tébessa
DEBBOUZ Mokhtar	Encadreur	MAA	Université Echahid Cheikh Larbi Tébessi – Tébessa
DERBAL Chames-eddine	Examineur	MAA	Université Echahid Cheikh Larbi Tébessi – Tébessa



Année universitaire : 2023/2024

Tébessa le :

### Lettre de soutenabilité

Noms et prénoms des étudiants :

1. *Belkhir* *Raythem*

2. *Harri* *Farouk*

3. Niveau : *Master 2* Option : *Exploitation des Mines*

Thème : *Schémas des réseaux de trafic de transport terrestre  
du minéral de phosphate de Bled el Hadire vers  
le complexe d'Oued Fehrit.*

Nom et prénom de l'encadreur : *Monsieur Delbouz Makhtar*

Chapitres réalisés	Signature de l'encadreur
<i>Tous les chapitres 01, 02, 03, 04, 05</i>	
<i>Conclusion et Recommandation</i>	

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

مؤسسة التعليم العالي : جامعة الشهيد الشيخ العربي التبسي - تبسة

تصريح شرفي  
خاص بالالتزام بقواعد النزاهة العلمية لانجاز بحث

أنا الممضي أدناه،

السيد (ة) جمال علي خادون.....الصفة : طالب، أستاذ باحث، باحث دائم : م.أ.م......

الحامل لبطاقة التعريف الوطنية رقم : 2095.39.4.54..... والصادرة بتاريخ 2023.1.09.1.16.....

المسجل بمعهد المناجم..... قسم الاستغلال المناجمي.....

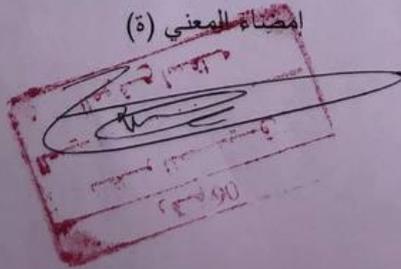
و المكلف بانجاز أعمال بحث (مذكرة التخرج، مذكرة ماستر، مذكرة ماجستير، أطروحة دكتوراه)، عنوانها :

Schimas des réseaux de trafic du Transport terrestre du universai  
de phosphate de B.B.d. Hadjra vers le camp de mes d'Quedkolba

أصرح بشرفي أنني ألتزم بمراعاة المعايير العلمية و المنهجية و معايير الأخلاقيات المهنية و النزاهة الأكاديمية  
المطلوبة في انجاز البحث المذكور أعلاه.

التاريخ: 2024.06.09

امضاء المعني (ة)





من رئيس المجلس العلمي  
و رئيس المجلس  
امضاء المعني  
بسم الله

9 جوان 2024

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

مؤسسة التعليم العالي : جامعة الشهيد الشيخ العربي التبسي - تبسة

تصريح شرفي  
خاص بالالتزام بقواعد النزاهة العلمية لانجاز بحث

أنا الممضي أدناه،

السيد (ة) بلخيسم هيثم ..... الصفة : طالب، أستاذ باحث، باحث دائم : د. بوزنتار .....

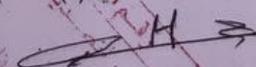
الحامل لبطاقة التعريف الوطنية رقم : 40.8.8.6.8.58.D ..... و الصادرة بتاريخ 1.09.07 ..... 2022 .....  
المسجل بمعهد المناجم ..... قسم استغلال المناجم .....  
و المكلف بانجاز أعمال بحث (مذكرة التخرج، مذكرة ماستر، مذكرة ماجستير، أطروحة دكتوراه)، عنوانها :

Scheimos des réseaux du trafic de transport terrestre du  
mimeraï de phosphate de B.L.E.D. Et I.T.A.D.B.A vers le complexes  
d'Qued Kebeit

أصرح بشرفي أنني التزم بمراعاة المعايير العلمية و المنهجية و معايير الأخلاقيات المهنية و النزاهة الأكاديمية  
المطلوبة في انجاز البحث المذكور أعلاه.

التاريخ: 2024/06/09

91 جوان 2024

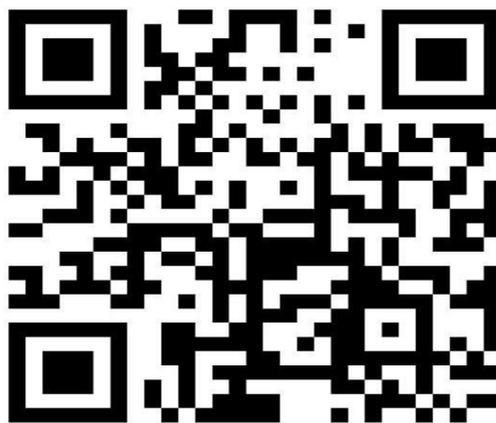
إمضاء المعنى (ة)  
  
المستشار  
الأكاديمي

البلدية  
المسؤول  
و مسؤول  
إمضاء المعنى  
عسوق إدريس

*Dédicace:*

*Je dédie ce modeste travail:*

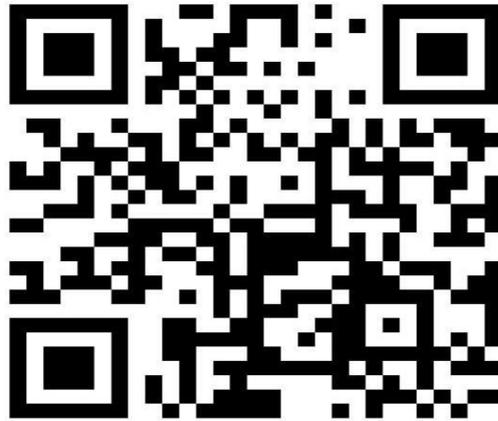
- *Mes parents ;*
- *Mes frères et sœurs: Aymen, Sara et Zineb*
- *-À tous Ces membres de ma famille Belkhiri /Benghanem;*
  - *-À tous mes amis*
  - *Groupe exploitation «Oussama, Zahra, Dhikra, Ikhlas, Soundes, Nizar, Sirine, Achref, Aymen, Abdelbasset et Zineb».*
- *Clan AMONG US: « Abdo, Sifoo, Samad, Dayno, Yassine, Islem et Zino ».*
  - *-À Mon binôme «Farouk ».*
- *Remerciements et appréciation au professeur qui m'a convaincu de ma spécialité : Mr. Debbouz et Mr. Derbal*



*Dédicace:*

*Je dédie ce modeste travail:*

- *Mes parents ;*
  - *Mes frères et sœurs ;*
  - *-À tous mes amis*
  - *-À Mon binôme «Haythem ».*
  - *convaincu de ma spécialité : Mr. Debbouz*
- Remerciements et appréciation au professeur qui m'a*



## Remerciements

Nous tenons à remercier toutes les personnes, nous ayant appuyé, encouragé et conseillé pendant nos études supérieures. Le travail n'aurait pas vu le jour sans le concours et l'aide de plusieurs personnes et organismes.

Nous tenons à remercier tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, par leurs encouragements, leurs conseils et leurs soutiens pour mener à terme notre travail.

Nous tenons tout d'abord à exprimer notre profonde gratitude et toute notre reconnaissance sincère à notre Encadreur et directeur de mémoire Monsieur DEBBOUZ Mokhtar, pour son encadrement, sa patience et sa confiance tout au long de ce travail présenté. Ses précieux conseils, son expérience et son soutien inébranlable ont été de une aide inestimable et ont grandement contribué à l'aboutissement de ce projet. Nous lui sommes infiniment reconnaissants pour nous avoir initié, inculqué le goût de la recherche.

Nous voudrions adresser nos vifs remerciements à Monsieur NOUIOUA Ismail, Professeur à l'institut des Mines, qui en plus d'avoir fait l'honneur d'accepter de présider ce jury de soutenance, a été au vrai sens du terme, un Co-encadrant de l'ombre tout au long de la formation.

Que Monsieur DERBAL Chams Eddine, nous permet de lui exprimer notre gratitude pour avoir accepté d'examiner ce travail, pour le temps consacré à sa lecture, pour les suggestions, les remarques judicieuses et constructives qu'il nous a indiquées. Nos vifs remerciements de nous faire l'honneur de participer au jury de soutenance.

Nos remerciements vont également à l'ensemble des Enseignants du département des Mines et Géo-technologie de l'institut des Mines de l'université de Tébessa, pour leurs enseignements de qualité et leurs connaissances qu'ils nous ont transmises durant nos années d'étude. Nous remercions nos collègues étudiants, avec qui nous avons partagé un cadre commun d'enseignement convivial, ponctué de solidarité et d'entraide mutuelle.

Nos remerciements aussi au personnels et cadre complexe minier de Bir El Ater pour leurs soutien indéfectible en présentant des infos précieuses, pour leur accueil, leur disponibilité et leur ténacité, sans qui l'on n'aurait pas pu mener à bien ce projet.

Enfin, un immense merci à Mr **Mokdad Bouhellal**, pour avoir éclairé l'opacité des systèmes d'exploitation des ressources minières, afin d'en révéler les faisabilités objectives.

---

## Résumé

Le Projet Phosphate intégré (PPI), qui est considéré comme le premier projet intégré en Algérie dans le domaine de l'exploitation minière et de la production d'engrais, qui comprendra le développement et l'exploitation de la mine de phosphate de Bled El Hadba, Djebel Onk, wilaya de Tébessa.

L'Algérie qui dispose d'une réserve de phosphate estimée à plus de deux milliards de tonnes et constitue un des plus importants pays producteurs d'engrais dans le bassin méditerranéen, ambitionne de devenir un pôle mondial d'exportation de phosphate et ses dérivés,

Ce projet stratégique, qui assurera l'extraction de phosphate de la mine de "Bled El-Hadba" dans la région sud de la wilaya, et sa transformation au niveau de plusieurs usines, permettra l'émergence d'une industrie de transformation structurée et génératrice de richesses.

Ce projet a également un impact important dans le secteur des transports et notamment le transport ferroviaire; de Tébessa (Bled el Hadba, Djebel onk) à souk Ahras (Oued Kéberit) pour la transformation chimique du phosphate et de Oued Kéberit à Hadjar Soud (Skikda) pour la fabrication des engrais sans oublier l'exportation.

Dans cette étude, les points considérés concernent trois volets .le premier une approche sur l'exploitation du gisement de phosphate de Bled el Hadba et les emplacements des différents infrastructures. Le deuxième volet, une étude sur le mode de transport discontinu (par camion et par chemin de fer) sur le tronçon Bled el Hadba et la Jonction de Bir el Ater. Le troisième volet un aperçu sur l'usine de transformation et traitement à Oued Keberit.

.....

Mots clés : Gisement Bled el Hadba, Phosphate, Mode de Transport, Exploitation Minière, projet intégré de phosphate, Transformation

---

## Abstract

The Integrated Phosphate Project (PPI), which is considered the first integrated project in Algeria in the field of mining and fertilizer production, which will include the development and operation of the Bled El Hadba phosphate mine, Djebel Onk, wilaya of Tébessa.

Algeria, which has a phosphate reserve estimated at more than two billion tones and is one of the largest fertilizer producing countries in the Mediterranean basin, aims to become a global hub for the export of phosphate and its derivatives.

This strategic project, which will ensure the extraction of phosphate from the "Bled El-Hadba" mine in the southern region of the wilaya, and its transformation at the level of several factories, will allow the emergence of a structured and generator of wealth.

This project also has a significant impact in the transport sector and in particular rail transport; from Tébessa (Bled el Hadba, Djebel onk) to souk Ahras (Oued Kéberit) for the chemical transformation of phosphate and from Oued Kéberit to Hadjar Soud (Skikda) for the manufacture of fertilizers without forgetting export.

In this study, the points considered concern three aspects. The first is an approach to the exploitation of the Bled el Hadba phosphate deposit and the locations of the various infrastructures. The second part, a study on the discontinuous mode of transport (by truck and by rail) on the Bled el Hadba section and the Bir el Ater Junction. The third part an overview of the transformation and treatment plant in Oued Keberit.

.....

Keywords: Bled el Hadba deposit, Phosphate, Mode of Transport, Mining, integrated phosphate project, Transformation

---

## ملخص

المشروع المتكامل للفوسفات (PPI) الذي يعتبر أول مشروع مندمج بالجزائر في مجال استغلال المناجم وإنتاج الأسمدة والذي سيشمل تطوير وتشغيل منجم الفوسفات ببليد الهضبة بجبل عنق ولاية تبسة. وتهدف الجزائر التي تمتلك احتياطيها من الفوسفات يقدر بأكثر من ملياري طن وتعد من أكبر الدول المنتجة للأسمدة في حوض البحر الأبيض المتوسط، إلى أن تصبح مركزا عالميا لتصدير الفوسفات ومشتقاته.

وهذا المشروع الاستراتيجي، الذي سيضمن استخراج الفوسفات من منجم "بليد الهضبة" بالمنطقة الجنوبية للولاية، وتحويله على مستوى عدة مصانع، سيسمح بظهور مجتمع منظم ومولد للثروات. كما أن لهذا المشروع تأثير كبير في قطاع النقل وخاصة النقل بالسكك الحديدية؛ من تبسة (بليد الهضبة، جبل عنق) إلى سوق أهراس (وادي كبيريت) للتحويل الكيميائي للفوسفات، ومن واد كبير إلى حجر سود (سكيكدة) لصناعة الأسمدة دون أن ننسى التصدير.

في هذه الدراسة، تتعلق النقاط التي تم تناولها بثلاثة جوانب: الأول هو مقارنة استغلال فوسفات بلاد الهضبة ومواقع البنى التحتية المختلفة. الجزء الثاني: دراسة طريقة النقل المتقطعة (بالشاحنات والسكك الحديدية) في قسم بليد الهضبة ومفرق بئر العاتر. الجزء الثالث لمحة عامة عن محطة التحويل والمعالجة بوادي الكباريت.

.....  
كلمات مفتاحية: منجم بلاد الهضبة، الفوسفات، وسيلة النقل، التعدين، مشروع الفوسفات المتكامل، التحويل و المعالجة.

A blue scroll graphic with the word 'Sommaire' written on it. The scroll is positioned in the upper half of the page, with a dark blue border around the entire page. The scroll has a light blue background and a dark blue border. The word 'Sommaire' is written in a large, black, sans-serif font in the center of the scroll.

# Sommaire

Liste des tableaux .....	14
Liste des figures .....	16
Introduction générale.....	19
Problématique.....	21

**Chapitre I : Situation sur les travaux de recherche sur les gisements de phosphate De Djebel Onk**

I.1. Introduction.....	24
I.2. Les gisements de phosphate naturel .....	24
I.3. Réserves et ressources mondiales de phosphates naturels .....	25
I.4. Production mondiale de phosphate.....	26
I.5. Statistique de production et réserves mondiale en phosphate.....	26
I.6. Le phosphate en Algérie.....	28
I.7. Le gisement du phosphate de Djebel-Onk .....	28
I.7.1. Historique du complexe de Djebel-Onk.....	28
I.7.2. Organigramme du complexe Djebel-Onk.....	29
I.7.3. Situation géographique de Djebel-Onk.....	30
I.7.4. Géologie du gisement.....	31
I.7.4.1. Stratigraphie.....	31
I.7.4.2. Tectonique régionale.....	34
I.7.4.3. Les réserves géologiques .....	35
I.7.5. L'exploitation du gisement de Djebel-Onk.....	35
I.7.5.1. Travaux préparatoires.....	36
I.7.5.2. Forage .....	36
I.7.5.3. Tir.....	36
I.7.5.4. Chargement et transport.....	37
I.7.6. Objectifs plan d'exploitation 2024 .....	37
I.7.6.1. Masse rocheuse.....	37
I.7.6.2. Phosphate (tout-venant) 3 Millions de Tonnes.....	37
I.7.6.3. Produit marchand .....	37
I.7.7. Traitement du phosphate de Djebel-Onk.....	38
I.7.7.1. Traitement par voie humide.....	38
I.7.7.2. Traitement par voie sèche (Dépoussiérage).....	38
I.8. Conclusion.....	39

## **Chapitre II : Situation géographique et géologique du gisement de phosphate**

### **De Bled el Hadba.**

II.1. Introduction.....	41
II.2. Géologie régionale de Bir-El-Ater.....	41
II.3. Présentation du secteur minier de Bir-El-Ater.....	41
II.3.1. Situation géographique .....	41
II.3.2. Litho stratigraphie de la région de Bir-El-Ater .....	43
II.3.3. Tectonique.....	48
II.4. Géologie locale du gisement de phosphate de Bled El Hadba.....	49
II.4.1. Situation géographique.....	49
II.4.2. Contexte géologique de gisement de Bled El Hadba.....	50
II.4.3. Litho stratigraphie.....	51
II.4.4. Tectonique du gisement.....	54
II.5. Aperçu Hydrologique.....	56
II.6. La climatologie.....	57
II.6.1. Température .....	57
II.6.2. Pluviométrie .....	57
II.6.3. Le vent .....	57
II.7. Conclusion .....	58

## **Chapitre III : Présentation état actuel, perspectives et développement du Secteur.**

### **Influence du processus de transport sur la production.**

III.1. Introduction.....	60
III.2. Le projet de phosphate intégré PPI .....	60
III.3. Exploitation minière du gisement de B.E.H .....	60
III.3.1. Exploitation minière en ciel ouvert.....	60
III.3.2. Exploitation minière en souterraine.....	61
III.4. la méthode d'exploitation proposée.....	61
III.4.1. Production annuelle et régime de travail.....	62
III.4.2. Régime de travail.....	62
III.4.3. Tonnage extrait.....	62
III.4.4. Equipements utilisées.....	62
III.4.5. Réserves exploitables.....	63

III.4.6. Plan minier pour la durée de vie de la mine.....	63
III.5. Variation des quantités de phosphate produite dans le temps .....	64
III.5.1. Variation des quantités de phosphate produite dans le temps.....	64
III.5.2. Variations des quantités calcaires au cours du temps.....	64
III.5.3. Variations des quantités sable au cours du temps .....	64
III.5.4. Variations des quantités totales au cours du temps .....	64
III.5.5. Variations des quantités phosphate, calcaire et sable au cours du temps.....	65
III.5.6. Variations des quantités phosphate traité et teneur de phosphate traité.....	65
III.5.7. Variations de production de la roue pelle 1.....	65
III.5.8. Variations de production de la roue pelle 2.....	65
III.5.9. Variations de nombre des camions pour transport phosphate et de stérile.....	65
III.6. Influence du processus de transport sur la production du phosphate de Bled El Hadba .....	66
III.6.1. Logistique d'approvisionnement.....	66
III.6.2. Évacuation de la production.....	66
III.6.3. Réduction des coûts.....	66
III.6.4. Qualité du produit.....	66
III.6.5. Impact environnemental.....	67
III.6.6. Respect des délais de livraison.....	67
III.7. Conclusion.....	67

**Chapitre IV: Présentation état actuel, perspectives et développement du Complexe pour la fabrication de l'acide phosphorique.**

IV.1. Introduction.....	69
IV.2. Description de la région d'Oued Kberit .....	69
IV.2.1. SITUATION GEOGRAPHIQUE.....	69
IV.2.2. Relief (topographie).....	70
IV.2.3. Formation géologique .....	70
IV.3. Réalisation du complexe de phosphate d'Oued Kberit .....	71
IV.4. Emplacement de complexe de Phosphate D'oued Kberit .....	71
IV.5. Procédés de production de l'acide phosphorique.....	72
IV.6. Les installations utilisées dans complexe d'Oued Kberit pour traiter Phosphate à L'acide Phosphorique .....	72
IV.6.1. Broyage .....	73
IV.6.2. Réaction .....	73
IV.6.3. Filtration .....	73

IV.6.4. Evaporation .....	73
IV.6.5. Clarification .....	73
IV.6.6. Stockage .....	73
IV.6.7. Recristallisation .....	73
IV.6.8. Stockage .....	74
IV.7. Définition de L'acide Sulfurique et L'ammoniac .....	74
IV.7.1. L'acide Sulfurique .....	74
IV.7.2. L'ammoniac.....	74
IV.8. Utilisation .....	74
IV.9. Conclusion .....	74

### **Chapitre V : Présentation des variantes de calcul et choix du mode de transport.**

V.1. Introduction .....	76
V.2. Les modes de transport .....	76
V.2.1. Transport par pipeline .....	77
V.2.1.1. Faisabilité économique .....	77
V.2.2. Transport par téléphérique .....	77
V.2.3. Convoyeurs aériens .....	78
V.2.4. Transport ferroviaire .....	78
V.2.4.1. Eléments d'un système de transport par train .....	78
V.2.4.2. Eléments d'un système de transport par train.....	79
V.2.4.2.1. Chargement et Déchargement .....	79
V.2.5. Transport par camion.....	81
V.2.5.1. Temps de cycle du camion.....	82
V.3. Critères de choix d'un système de transport .....	82
V.3.1. Quantité de réserves exploitables .....	82
V.3.2. Production annuelle désirée .....	82
V.3.3. Durée de vie de la mine .....	83
V.3.4. Type et dimensions du gisement .....	83
V.3.5. Nature et dureté des matériaux à extraire.....	83
V.3.6. Distance de transport et mise en stock .....	83
V.3.7. Nécessité d'un pré-concassage des matériaux .....	83

V.3.8. Méthode d'extraction.....	83
V.3.9.Équipements de chargement.....	84
V.3.10. Critère économique (coût de l'exploitation).....	84
V.4. Réserves Exploitables.....	84
V.5. Production annuelle.....	84
V.6. Durée de vie de la mine.....	85
V.7. Distances de transport du minerai et des stériles.....	85
V.8. Caractéristiques physicomécaniques des matériaux à extraire.....	86
V.9. Données générales.....	86
V.10. Analyse et choix des modes de transport.....	86
V.10.1. Analyse des modes.....	86
V.10.1.1. Transport par pipeline.....	87
V.10.1.2. Transport ferroviaire.....	87
V.10.1.3. Transport par camion .....	87
V.11. Choisissez un moyen de transport.....	87
V.11.1. transport par train .....	87
V.11.2. transport combiné .....	88
V.12. Proposition de l'Emplacement de L'Usine et terril.....	88
V.13. Dimensionnement des engins du transport Régime du travail de la Carrière.....	90
V.13.1. Choix du type de camion.....	90
V.13.2. Exploitation des camions .....	91
V.13.3. Détermination du nombre de godets.....	91
V.13.4. Calcul de rendement de la chargeuse.....	92
V.13.5.Calcul de nombre de chargeuses.....	92
V.13.6.Détermination du temps de cycle de camion.....	92
V.13.7.Détermination du nombre de cycles par poste.....	94
V.13.8.Détermination du rendement du camion par poste .....	94
V.13.9.Détermination du nombre de camions.....	94
V.14. Dimensionnement des engins du transport .....	95
V.14.1. Calcul de la production journalière.....	95
V.14.2.Calcul de la production par poste.....	96
V.14.3. Calcul de la production horaire.....	96
V.15. Dimensionnement des camions de transport du phosphate vers la jonction .....	97

V.15.1. Choix du type de camion.....	97
V.15.2. Calcul nombre de cycle par année.....	98
V.15.3. Calcul le nombre de production par cycle .....	98
V.15.4. Calcul le nombre de production par jours .....	99
V.15.5. Calcul le nombre de camion.....	99
V.16. Dimensionnement de Train de transport du phosphate vers le Complexe d'Oued Kebrit.....	100
V.16.1. Choix du type de wagons.....	100
V.16.2. Calcul nombre de cycle par année .....	102
V.16.3. Calcul le nombre de production par cycle .....	102
V.16.4. Calcul le nombre de production par jours .....	103
V.16.5. Calcul le nombre de wagon.....	103
Conclusions et recommandations générales .....	104
Références bibliographie.....	10



# Liste des Tableaux

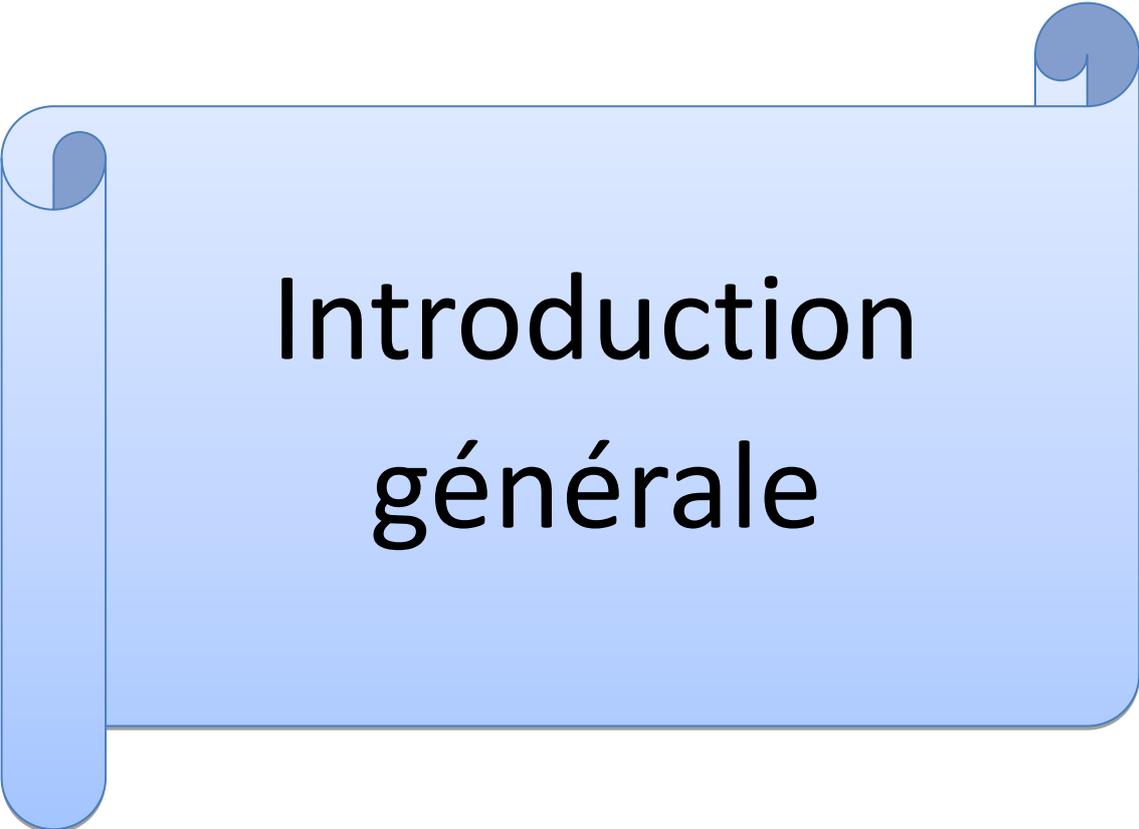
Tableau I.1: production et réserves mondiales par pays de phosphate naturel (2011- 2012) selon « USGS-2013 ».....	27
Tableau I.2: les réserves géologiques du gisement de Djebel-Onk (entonne).....	35
Tableau III.1: Tonnage extrait.[14].....	62
Tableau III.2: Equipements utilisées [14].....	63
Tableau III.3: Réserves exploitables [14].....	64
Tableau III.4: Plan minier pour la durée de vie de la mine [14].....	64
Tableau V.1: Tonnage estimé du phosphate et des stériles de BEH. [32].....	84
Tableau V.2: Distances de transport vers Jonction et Tébessa et Oued Kberit .....	85
Tableau V.3: Densité et dureté des matériaux à extraire. [32, 20] .....	86
Tableau V.4: Résultats du calcul de rapport $V_b/E$ . [35] .....	90
Tableau V.5: Calcul du temps de cycle du camion. ....	94
Tableau V.6: Des Données Générale.....	95
Tableau V.7: Calcul de la production journalière.....	95
Tableau V.8: Calcul de la production par poste.....	95
Tableau V.9: Calcul de la production horaire.....	96
Tableau V.10: les caractéristiques du camion.....	96
Tableau V.11: Calcul de la production par cycle.....	97
Tableau V.12: Calcul de la production par jours.....	99
Tableau V.13: Calcul Nombre de Camion.....	99
Tableau V.14 : les caractéristiques du wagon de ferroviaire.....	101
Tableau V.15: les caractéristiques de Train.....	101
Tableau V.16: Calcul Nombre de production par cycle.....	102
Tableau V.17: Calcul Nombre de production par jours.....	102
Tableau V.18: Calcul Nombre de Wagon.....	103



# Liste des Figures

Figure I.1:Localisation des Gisements potentiellement économiques de phosphates dans le monde.....	25
Figure I.2: les réserves mondiales de phosphate .....	26
Figure I.3:Carte de situation géographique et géologique des gisements De Djebel Onk (D'après Prian et Cortial, 1993).....	31
Figure I.4:Colonne stratigraphique de la région de Djebel Onk–Algérie Orientale.....	33
Figure I.5 : Carte structurale de la région du Djebel Onk à l'intérieur du bassin de Gafsa-Métlaoui- Onk (d'après Aissaoui, 1984 in Chabou-Mostefai, 1987). .....	34
Figure II.1 : Carte de situation géographique de la région de Bir-El-Ater.....	42
Figure II.2:Carte de situation géographique et géologique des gisements de Bir-El-Ater (Prianet Cortiel, 1993).....	43
Figure II.3 : Colonne litho stratigraphique de la région de Bir-El-Ater 3Algérie Orientale- (D'après Cielenskyet al, 1988).....	47
Figure II.4 : Carte structurale de la région du Bir-El-Ater à l'intérieur du bassin de Gafsa-Métlaoui Djebel Onk (Aissaoui, 1984).....	49
Figure II.5: Carte de situation géographique de gisement de Bled El Hadba.....	50
Figure II.6 : Carte géologique du gisement de Bled El Hadba.....	51
Figure II.7: Litho stratigraphie du gisement de Bled El Hadba (Cielenskyet Benchernine, 1987).....	53
Figure II.8 : Coupe géologique représentent le prolongement des couches phosphatées du gisement de Bled El Hadba.....	55
Figure II.9 : Réseau d'écoulement des eaux de surface.....	56
Figure IV.1 : La zone d'Oued Kebrit.....	69
Figure IV.2 : procédés sont utilisés pour La production de l'acide phosphorique .....	72
Figure IV.3 :les étapes de fabrication du phosphate.....	73
Figure V.1: Téléphérique de la Mine de Thio, Calédonie.....	77
Figure V.2 : Convoyeur à câble aérien (RopeCon).....	78
Figure V.3 : Unité de chargement d'un train unitaire.....	80
Figure V.4: culbuteur à dispositif rotatif de déchargement en tandem.....	81
Figure V.6 : wagons à déchargement par le fond.....	81

Figure V.7: Tombereau à châssis rigide (CATERPILLAR). .....	82
Figure V.8 : Schéma d'un cycle de transport par camion.....	82
Figure V.9 : Situation de la ligne par rapport au réseau national.....	86
Figure V.10 : Système de chargement et de transport proposé.....	88
Figure V.11 : Emplacement proposés de transport général.....	89
Figure V.12 : Abaque de détermination de la vitesse de roulage du tombereau 777D.....	93
Figure V.13 : Camion de SCANIA transporté Phosphate.....	98
Figure V.14: Train marchandes qui nous préposé.....	101



# Introduction générale

**Le gisement de phosphate de Bled El Hadba dans le bassin de Djebel Onk. Ce gisement se situe à 14 km au Sud Est de Bir-El-Ater Tébessa. Dans ce gisement, l'horizon phosphaté est une couche sédimentaire d'une épaisseur moyenne de 32 m. L'étude structurale de la couche phosphatée, a montré que cette dernière plonge sous un pendage moyen de 8° et une direction de N 320° W.**

**Cette couche est constituée de la superposition de trois sous-couches sommitale, principale et basale.**

**Le projet prévoit l'extraction de 6 millions de tonnes/an de phosphate de haute qualité de Bled El-Hadba (Tébessa),**

**Le PPI est le premier projet intégré en Algérie dans le domaine de l'exploitation minière et la production d'engrais. Il touchera plusieurs régions de l'est du pays, à savoir le développement et l'exploitation du gisement de phosphates de Bled El Hadba, Djebel Onk, wilaya de Tébessa, la transformation chimique des phosphates à Oued Kéberit, wilaya de Souk Ahras, la fabrication des engrais à Hadjar Soud, wilaya de Skikda, ainsi que des installations portuaires dédiées au niveau du port de Annaba**

**Les réserves du gisement de Bled el Hadba, prouvées et probables, estimée par l'entreprise sont de 841 Mt de minerai de Mt avec une teneur de 22,2 % en P2O5.**

**L'Algérie veut développer son premier projet intégré d'exploitation minière et de production d'engrais, grâce au gisement de phosphates de Bled El Hadba, situé dans la wilaya de Tebessa.**

**Les travaux du projet de doublement, de rénovation, de modernisation et d'électrification de la ligne ferroviaire minière de transport du phosphate de Bled El Hadba (Tébessa) traversant quatre wilayas de l'Est: Tébessa, Souk Ahras, Skikda et Annaba sur 388 km sont en cours de réalisation.**

**L'usine d'Oued Kebrit comprendra trois unités,**

**1/- La première unité, la production de 4 500 tonnes/jour d'acide sulfurique,**

**2/- La seconde unité la production de 1 500 tonnes/jour d'acide phosphorique,**

**3/- La troisième assurera 3000 tonnes/jour d'un produit intermédiaire utilisé dans la production d'ammoniac pour les besoins d'une autre usine prévue à Hadjar Soud (Skikda).**

**Le volume global de l'investissement de ce projet intégré s'élève à près de 6 milliards de dollars, répartie entre :**

**La mine de Bled El Hadba à Tébessa (1,2 milliards de dollars),**

**La plateforme d'Oued Kebrit à Souk Ahras (2,2 milliards de dollars),**

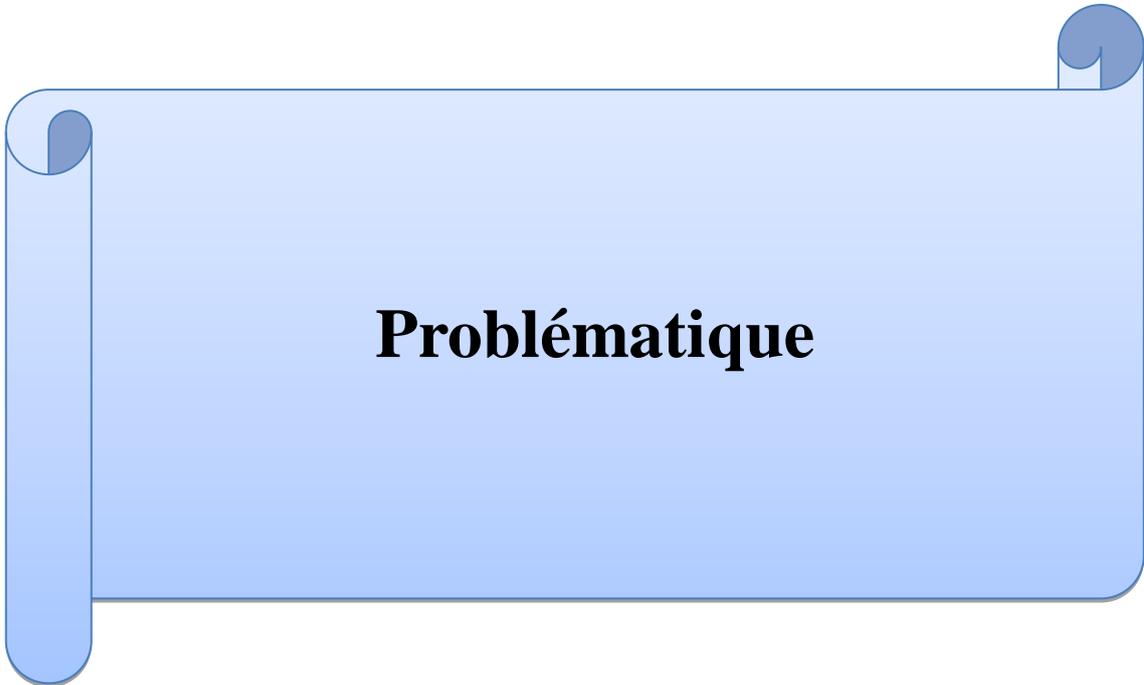
**La plateforme de Hadjar Essoud à Skikda (2,5 milliards de dollars) et le port d'Annaba (0,2 milliards de dollars).**

**Le travail présenté renferme une analyse des schémas de transport et l'état actuel et les perspectives du projet. Il est réparti en trois volets distinctifs :**

**Le premier volet l'exploitation minière du gisement de Bled el Hadba**

**Le deuxième volet propose un schéma de transport de bled el Hadba à la jonction de Bir el Ater . Le projet de la voie ferroviaire devant relier la mine de phosphate de Bled Hadba (extrême-sud de Tébessa) à la ligne de chemin de fer faisant la jonction entre la mine de Djebel Onk (Bir El Ater) et Oued Kebrit (Souk-Ahras).**

**Le troisième volet concerne l'usine de transformation et traitement.**



# **Problématique**

**Le secteur des mines est sous-exploité mais l'Algérie est en train de revoir sa politique en la matière, et le phosphate dont les gisements sont d'une très grande importance, occupe une place de choix dans la démarche future.**

**Nous estimons à peu près à deux milliards de tonnes les réserves connues de phosphate. En explorant davantage, nous découvrirons que les réserves sont beaucoup plus importantes.**

**Nous nous attelons sur le court terme à la réalisation du projet d'exploitation et de la transformation du phosphate en engrais dans la région de Tébessa**

**Cette transformation se réalisera à Oued Kebrit dans la wilaya de Souk-Ahras et que, parallèlement, une usine d'ammoniac sera réalisée à Hadjar Soud, Skikda, d'une capacité d'un million de tonnes de nitrate destinée à la transformation de cet ammoniac**

**Le projet d'exploitation du phosphate de Bled el Hadba se déroulera en deux phases, chaque phase s'étalant sur quatre ans, et en 2032, on aura achevé complètement le projet.**

**Dans un premier temps, cinq (5) millions de tonnes de phosphate seront extraits annuellement, afin d'obtenir trois (3) millions de tonnes de phosphate traité destiné au complexe engrais de Oued Kebrit, dans la wilaya de Souk Ahras, à partir de fin 2027.**

**Dans un deuxième temps, au cours de l'année 2028, cinq (5) millions de tonnes supplémentaires par an seront extraits pour produire trois (3) millions de tonnes de phosphate traité, destiné à la production d'engrais.**

**La réalisation de ce projet demande des études justes concernant l'exploitation minière, le choix du mode de transport rationnel et c'est cela la problématique et la question se pose : quelle est la faisabilité sur ce projet et les moyens à disposer dans le plus court terme.**

**Pour l'exploitation du gisement de Bled El Hadba, le mode combiné sera le mieux adaptés en raison de son plongement sous l'épaisse assise sableuse et les calcaires.**

**Les différents aspects techniques miniers du projet, notamment les réserves du gisement, la méthode d'exploitation et les techniques de traitement, le prix de commercialisation, la production et les équipements doivent être étudiés en présentant les propositions adéquates au programme prédéfini.**

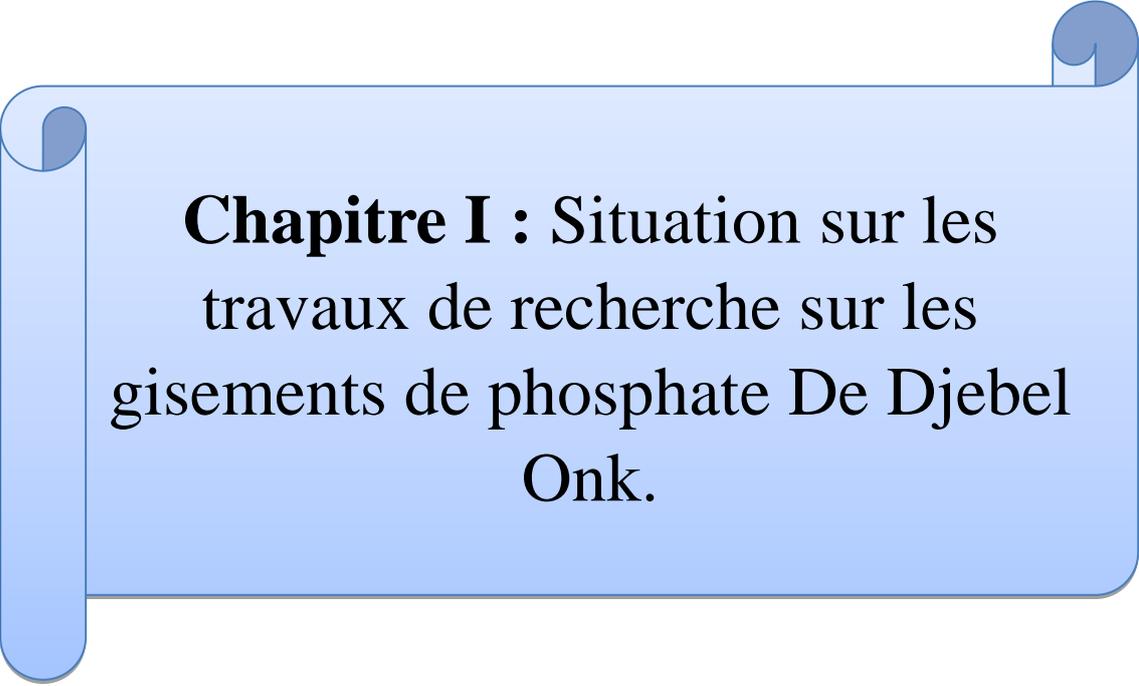
**Le choix d'un système de transport pour le gisement de Bled el Hadba vers l'usine de transformation à Oued Kebrit et dans le complexe minier.**

**Le développement du secteur minier est tributaire du développement du transport car ces deux secteurs sont intimement liés. Il est important de savoir que l'exploitation de ce mégagisement ne peut être dissociée de son acheminement.**

**Le projet de la voie ferroviaire devant relier la mine de phosphate de Bled Hadba à la ligne de chemin de fer faisant la jonction entre la mine de Djebel Onk et Oued Kebrit. Construction de la voie ferrée.**

**Le projet de la voie ferroviaire devant relier la mine de phosphate de Bled Hadba à l'usine de transformation d'Oued Kebrit.**

**La voie ferrée, que la mine de phosphate de Bled Hadba sera reliée à la ligne de chemin de fer, à Djebel Onk, sur une distance de 18 km, pour être ajoutée à la ligne Djebel Onk-Oued Kebrit qui s'étend sur 177 km.**



**Chapitre I : Situation sur les  
travaux de recherche sur les  
gisements de phosphate De Djebel  
Onk.**

## **I.1. Introduction**

Le phosphate est un produit indispensable à la vie végétale et figure parmi les rares matières premières non substituables et dont la récupération ne portera que sur de faibles quantités, il constitue pour certains pays l'une des sources principales de devise.

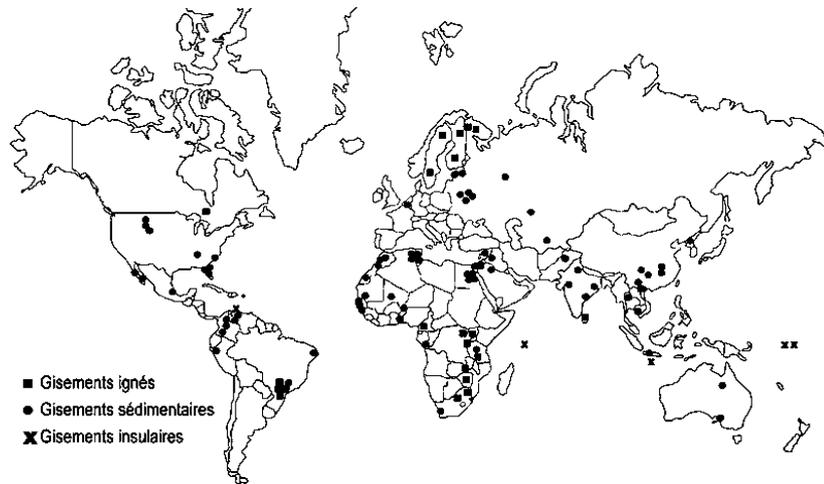
Le phosphate naturel (PN) est un terme général qui décrit les assemblages minéraux naturels contenant une concentration élevée de minéraux phosphatés. Le terme se rapporte aussi bien aux minerais phosphatés non enrichis qu'aux produits concentrés. Le phosphate est le composant de ces roches ayant un intérêt agronomique. Plus le contenu en phosphate ( $P_2O_5$ ) sous forme d'apatite est élevé, plus le potentiel économique du minerai est grand. Les facteurs qui sont importants dans la conversion chimique des PN en engrais (carbonates libres, fer (Fe), aluminium (Al), magnésium (Mg) et chlorure) ne sont souvent pas importants quand la roche doit être employée en application directe [1], [2].

## **I.2. Les gisements de phosphate naturel**

Les gisements sédimentaires ont fourni environ 80 à 90 pour cent de la production mondiale de PN, Ils se trouvent dans des formations d'âge géologique très différent, montrent une gamme très large de compositions chimiques et de formes physiques, se trouvent souvent en couches épaisses relativement horizontales, et peuvent être à la base de terrains de recouvrement peu profonds. Les gisements qui représentent la majeure partie de la production mondiale de PN sont au Maroc, aux Etats-Unis, en Chine et dans d'autres pays africains. La plupart des gisements sédimentaires contiennent de la fluorapatite carbonatée appelée franco lite. Les franco lites ayant une importante substitution carbonate sur phosphate, ce sont les plus fortement réactives et les plus appropriées pour l'application directe comme engrais ou amendement.

Les gisements ignés ont fourni environ 10 à 20 pour cent de la production mondiale des dix dernières années. Ils sont exploités dans la Fédération de Russie, au Canada, en Afrique du Sud, au Brésil, en Finlande et au Zimbabwe mais se trouvent également en Ouganda, au Malawi, au Sri Lanka et en plusieurs autres endroits. Ces gisements contiennent généralement des variétés de fluorapatite qui sont relativement peu réactives et donc moins appropriées pour l'application directe. Les produits de lessivage des apatites ignées et sédimentaires (minerais de phosphate de fer et d'aluminium) ne sont généralement pas utiles pour l'application directe en agriculture dans leur état naturel.

La figure ci-dessous représente la localisation des différents gisements de phosphate (sédimentaires et ignés).



**Figure I.1:** Localisation des Gisements potentiellement économiques de phosphates dans le monde

### I.3. Réserves et ressources mondiales de phosphates naturels

Il n'y a aucun système mondial admis pour classer les réserves et les ressources en PN. Un système développé aux Etats-Unis (US Bureau of mines & US Geological Survey) définit les réserves en tant que **«ressources identifiées fée minerai qui peut être extrait de manière profitable au moyen de la technologie existante et dans les conditions économiques actuelles»**. Les réserves estimées peuvent être décrites comme les quantités totales de PN exploitables dans le gisement ou comme quantité de produit récupérable. Beaucoup d'auteurs ne distinguent pas les réserves et les ressources non économiques quand ils indiquent la taille des gisements. Ainsi, des différences substantielles dans les réserves et/ou les ressources estimées peuvent exister entre les diverses sources. Il est prudent de reconnaître que de telles anomalies existent et que de telles données devraient servir seulement pour les évaluations d'ordre de grandeur.

- La figure ci-a présenté une carte qui montre les importantes réserves de phosphate dans le monde.

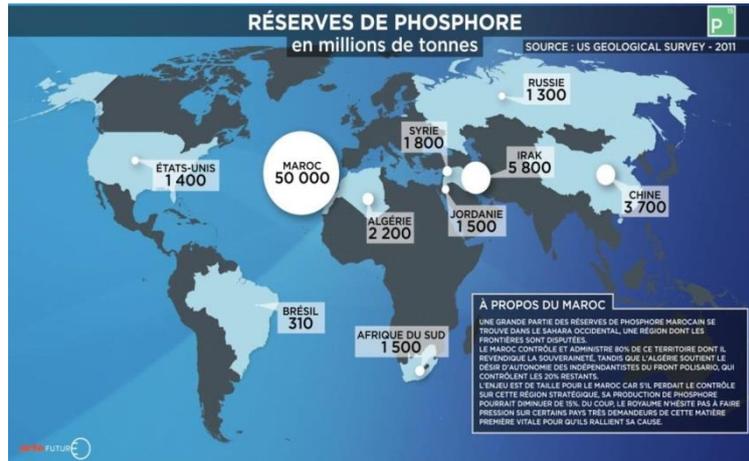


Figure I.2: les réserves mondiales de phosphate [3].

## I.4. Production mondiale de phosphate

La production mondiale du phosphate était de  $145.10^6$  tonnes en 1999 puis de  $147.10^6$  tonnes en 2005, une forte à la germination est enregistrée en 2011 avec  $198.10^6$  tonnes, en 2012 la production atteint les  $210.10^6$  de tonnes de phosphate naturel (**Tableau 1-1**).

Les quatre principaux producteurs de PN (Chine, Etats-Unis, Maroc et Sahara occidental, et Fédération de Russie) produisent environ 75 % du total mondial. Les douze principaux pays producteurs de phosphate assurent 91,36% de la production mondiale.

la production algérienne est restée presque uniforme, pendant les cinq dernières années (environ 1.5 million de tonne).

## I.5. Statistique de production et réserves mondiale en phosphate

Les statistiques effectuées par le bureau USGS des réserves set productions mondiales de phosphate (durant 2011 et 2012) sont représentés dans le tableau ci-dessous :

<b>Pays</b>	<b>Productionen2 011 (10<sup>6</sup>Kg)</b>	<b>Productionen2 012 (10<sup>6</sup>Kg)</b>	<b>Réserve mon diale (10<sup>6</sup> Kg)</b>
<u>Chine</u>	81 000	89 000	3 700 000
<u>États-Unis</u>	28 100	29 200	1 400 000
<u>Maroc et Sahara occidental</u>	28 000	28 000	50 000 000
<u>Russie</u>	11 200	11 300	1 300 000
<u>Jordanie</u>	6 500	6 500	1 500 000
<u>Brésil</u>	6 200	6 300	270 000
<u>Tunisie</u>	5 000	6 000	100 000
<u>Égypte</u>	3 500	3 000	100 000
<u>Syrie</u>	3 100	2 500	1 800 000
<u>Israël</u>	3 100	3 000	180 000
<u>Australie</u>	2 650	2 600	490 000
<u>Pérou</u>	2 540	2 560	820 000
<u>Afrique du Sud</u>	2 500	2 500	1 500 000
<u>Mexique</u>	1 510	1 700	30 000
<u>Algérie</u>	1 500	1 500	2 200 000
<u>Inde</u>	1 250	1 260	6 100
<u>Arabie saoudite</u>	1 000	1 700	6 100
<u>Sénégal</u>	980	980	180 000
<u>Canada</u>	900	900	2 000
<u>Togo</u>	730	865	60 000
<u>Irak</u>	30	150	460 000
Autres pays	6 790	6 000	390 000
<b>Total</b>	<b>198 000</b>	<b>210 000</b>	<b>67 000 000</b>

**Tableau I.1:** production et réserves mondiales par pays de phosphate naturel

(2011- 2012) selon « **USGS-2013** »

## **I.6. Le phosphate en Algérie**

Le phosphate est l'une des plus importantes richesses naturelles du pays, avec plus de deux milliards de tonnes de ressources/réserves principalement localisés dans l'Est du pays. Le grand gisement de Djebel Onk, au Sud de Tébessa, exploité depuis plus de 40 ans, renferme environ la moitié de ces réserves/ressources.

Ces réserves ne constituent qu'une partie de celles que recèlerait le bassin phosphaté. Au rythme actuel de la production, la durée de vie de ces réserves/ressources approcherait deux siècles.

L'importante zone à phosphate de Djebel Onk devra très rapidement constituer un centre de développement économique d'exploitation et de transformation massive de phosphate.

Les principaux gisements de phosphate sont:

- Djebel Onk Sud : 500 Mln tonnes, 24 -30 % en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et 2-3% en MgO
- Djebel Onk Nord : 100 Mln tonnes, 20-26% en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et 3.1% en MgO
- M'Zaita: 29 Mln tonnes, 23% -31% en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>
- Ras El Oued : 0.7 Mln tonnes, 26 % -27% en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>
- El Kouif : 27 Mln tonnes, 25 % -30 % en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>
- Djebel Dyr: 8 Mln tonnes.

Pour la suite, on après enterrent détaille plus grand gisement de phosphate en Algérie qui se classe parmi les gisements importants dans le monde (le gisement de Djebel-Onk).

## **I.7. Le gisement du phosphate de Djebel-Onk**

### **I.7.1. Histories du complexe de Djebel-Onk**

Les phosphates Algériens ont été découverts à BOUGHARI par PH.THOMAS en 1873. Dans la période (1907 -1908) L.JOLEAU a découvert le gisement de Djebel Onk, des informations plus complètes ont été présentées par D.DUSSERT, mais surtout FLANDRIN en 1948 qui contribua à l'apport des nouvelles plus détaillées.

Ce n'est qu'en 1931 que ces phosphates font l'objet d'une première concession par la compagnie des phosphates de CONSTANTINE qui était le principal producteur en Algérie suite à laquelle fût créé la société S.D.O en 1936.

De 1961 à 1963, des essais de prospection radiométrique aéroportée sont effectués au-dessus du gisement de Djebel Onk.

En 1963, les études géologique et minière précédant l'exploitation du gisement de Djami-Djema sont réalisées par la société SERMI, pour la société de DJEBEL- ONK parallèlement, la société française SOFREMINE (1962) rédige un avant-projet d'exploitation du gisement de KEF-ESSENOUN). Ce n'est qu'en mois de Février 1965 que débute l'exploitation de Djemi-Djema

(SOCIÉTÉ DU DJEBEL-ONK) qui aurait dû relayer, en 1963, la fin de l'exploitation de DJEBEL-KOUIF commencée en 1894.

De 1971 à 1974, les travaux de recherche et de prospection sur les phosphates dans l'Est de l'Algérie qui ont été relancés par la SONAREM, sont suivis par une campagne de prospection et d'évaluation du district minier de Djebel Onk. (1977 - 1979) : S-3 - K, S-4 - K, S-5 - K. Tranchées dans les dressants.

De 1985-1987, l'ENFERPHOS a confié à l'EREM des travaux de recherche et d'évaluation des ressources en phosphate de tous les gisements potentiels de la région du Djebel -Onk, notamment le gisement de KEF ESSENOUN a été reconnu en détail par l'EREM au cours de l'année 1986, grâce à 32 sondages carottés notés S-2 à S-46 réalisés à lamaille de 250 x 300m et 22 tranchées réalisées dans les dressants de KEF ESSENOUN, notées Tr 22 à Tr 44.

En Novembre 1989, l'ENFERPHOS fait connaître son cahier des charges pour des études de développement du Complexe minier de Djebel Onk.

En Avril 1992, signature du contrat entre l'ENFERPHOS et le consultant BRGM/SOFREMINE concernant le rassemblement des éléments techniques et économiques permettant d'arrêter un projet de développement de l'exploitation des gisements de phosphate de Djebel Onk.

En 1993, BRGM a fourni un rapport d'expertise géologique de tous les gisements de Djebel Onk.

### **I.7.2. Organigramme du complexe Djebel-Onk**

Le complexe de Djebel Onk est la principale unité stratégique business de FERPHOS pour la production du phosphate. Composé de deux mines à ciel ouvert et une usine de traitement de phosphate.

Afin de gérer tout le complexe, il existe toute une organisation dont chaque partie

s'occupe d'une tâche bien précise. Les différents départements qui existent sont :

**Exploitation** : c'est le département qui s'occupe des travaux d'abattage, chargement et transport.

**Traitement**: c'est le département qui s'occupe de l'enrichissement du tout-venant arrivant de la carrière.

**Maintenance**: c'est le département qui s'occupe de la maintenance de toutes les machines dans l'usine.

**Etudes & développement**: c'est le département qui s'occupe des projets de recherches ainsi que la préparation des plans d'exploitation, il contient un service géologue, un service topographe et un service exploitation.

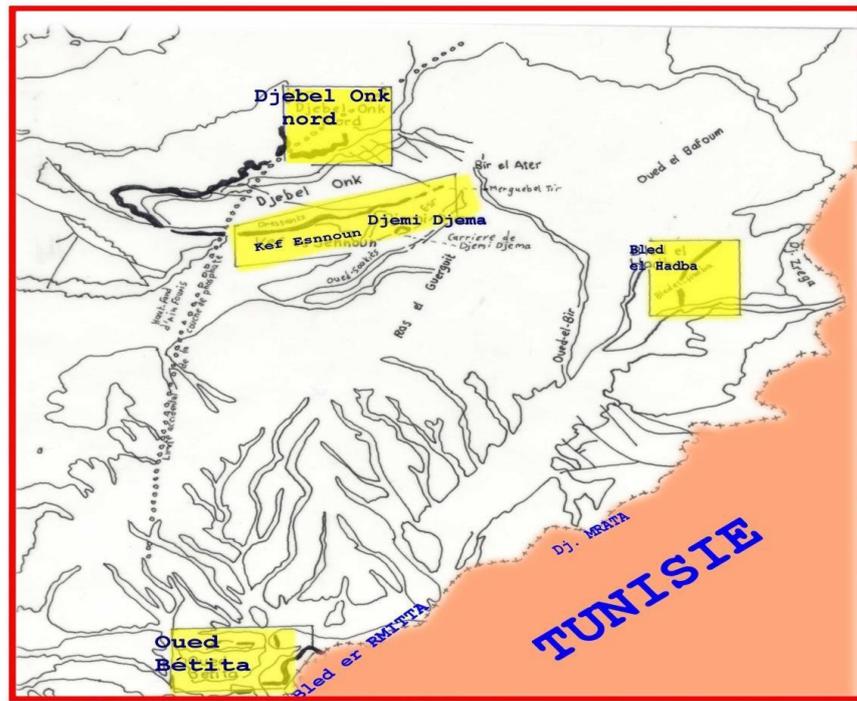
**Sécurité**: qui assure le bon déroulement des travaux et la sécurité du personnel.

### **I.7.3. Situation géographique de Djebel-Onk**

La région de Djebel Onk est située au Sud – Est de l'Algérie, à 100 km de la Wilaya de Tébessa et à 20 km de la frontière Algéro – Tunisienne, sur la route qui relie Tébessa à El Oued (**Fig. I-3**). Cette région constitue la limite géographique naturelle entre les hauts plateaux constantinois et le domaine saharien. Le massif de Djebel Onk forme un ensemble calcaire de 20 km de longueur qui culmine à 1198 m d'altitude au Djebel Tarfaya. Ce massif constitue l'extrémité orientale des monts de Nememcha qui prolonge vers l'Est de massif des Aurès. Les altitudes les plus basses au pied du Djebel Onk sont d'environ 635m.

La région de Djebel Onk est subdivisée en 5 secteurs miniers: (**Figure I-3**)

- Gisement de Djemi-Djema,
- Gisement de Kef Essenoun,
- Gisement de Djebel Onk Nord,
- Gisement d'Oued Betita,
- Gisement de Bled El Hadba



**Figure I.3:** Carte de situation géographique et géologique des gisements de Djebel Onk (D'après Prian et Cortial, 1993)

#### **I.7.4. Géologie du gisement**

Le gisement est situé dans le prolongement de la retombée méridionale de la flexure antiforme du Djebel Onk, dont la structuration majeure est due à la tectonique post-Miocène.

Litho logiquement, le gisement de Kef-Essenoun est constitué de bas en haut, par la série calcaro-dolomitique à silex de l'Yprésien surmonté par les calcaires marneux du Lutétien, puis par les sables du Miocène, et les alluvions du Quaternaire.

La majeure partie du gisement est constituée par une couche unique de phosphates ombre, gris-noir, sans intercalation carbonatée stérile, vers le Nord-Est de gisement apparaît une couche de phosphate claire brun-beige oxydé sus-jacente à la couche de phosphate noir, la proportion des deux types de minerai est de 75% pour la première et 25% pour la deuxième.

##### **I.7.4.1. Stratigraphie**

La stratigraphie de la région de Djebel Onk a été établie par Visse (1952). La série sédimentaire affleurant est exprimée par une succession stratigraphique allant du Crétacé Supérieur (Maestrichtien) à l'Eocène moyen (Lutétien), surmontée par une série sablo-argileuse continentale datée du Miocène et du Quaternaire.

❖ **Crétacé:** Ce sont les sédiments les plus anciens au cœur de l'anticlinal de Djebel Onk tectoniquement très accidentés. Seuls les dépôts du Maestrichtien y affleurent.

➤ **Maestrichtien :** Les sédiments de cet âge, au cœur de Djebel Onk, sont représentés par des calcaires à silex et des intercalations de marnes (de 5 à 10 m). Ils représentent à leur partie supérieure, une surface taraudée, rubéfiée, facilement repérable dans la topographie.

❖ **Paléogène:** Ce sont des sédiments marins représentés par des calcaires, des phosphates et de gypse, dans la région, le Paléogène atteint d'assez grandes épaisseurs d'environ 500 m, les variations lithologiques et les restes des organismes sont permis d'en faire les subdivisions stratigraphiques suivantes :

➤ **Danien:** Il est différent du Crétacé, il est conventionnellement adopté au contact calcaire Maestrichtien série argilo – marneuse. Cette différence lithologique est présentée par une subdivision en deux séries distinctes, où on note la séparation entre le Danien supérieur et le Danien inférieur. L'épaisseur totale du Danien est d'environ 100 m.

➤ **Montien:** Cet étage est marqué par la présence d'une série de calcaire, calcaires détritiques, calcaires à lumachelle avec des intercalations de marne et dolomie. Ces sédiments se caractérisent par une absence ou une faible quantité de silex. Les huîtres sont abondantes, en bancs gris à noire. L'épaisseur totale de Montien est d'environ 100 m.

➤ **Thanétien:** C'est l'horizon porteur de la minéralisation. Il est visible sur le flanc de l'anticlinal de Djebel Onk avec une épaisseur d'environ 80 m. Il se subdivise en deux parties supérieure et inférieure. Le Thanétien supérieur débute par un niveau dolomitique à gastéropodes, sous-jacent à une couche phosphatée de 30 m d'épaisseur en moyenne à Djebel Onk et à Bled El Hadba, et qui diminue jusqu'à la disparition vers le Nord, l'Ouest et le sud de ce gisement se termine généralement par un niveau lumachellique.

➤ **Yprésien:** Il repose directement sur les dépôts du Thanétien et affleure dans la carrière de Djemi-Djema et au Nord du Djebel Onk. Il est constitué par deux étages et a une épaisseur totale de 70 m.

➤ **Lutétien:** Les formations de cet étage recouvrent en concordance les séries Yprésiens, elles sont répandues dans la région de Djebel Onk. On distingue le lutétien supérieur et inférieur, dont les épaisseurs sont de 100 et 40 m respectivement.

❖ **Néogène :** Le Néogène est caractérisé par un faciès sableux – argileuse de type continental d'une puissance avoisinante à 700 m.

➤ **Miocène:** La datation des roches de Miocène a été faite grâce à la découverte des rares fossiles (*Helix Tissiti*). Il est formé essentiellement par des sédiments représentés par des roches terrigènes (conglomérats, grés, sables, argile) et des schistes argilo – gréseux. Tandis que les sédiments de la région de Bled El Hadba sont composés de nombreux fragments silicifiés, le Miocène est subdivisé en trois étages inférieur,

moyen et supérieur, avec des épaisseurs 100m, 250m et 350 m respectivement.

❖ **Quaternaire** : Les formations Quaternaires couvrent de vastes surfaces dans la région ; elle sont essentiellement représentées par des éboulis, de dépôts sableux éoliens, fluviaux et des dépôts alluviaux (**Figure I-4**).

QUATERNAIRE			Eboulis et formations alluvionnaires sableuses
MIOCENE	SUP (350m)		Sables, grès à grains grossiers
	MOY (250m)		Argiles, schistes argileux de couleur marron, bronze avec intercalation de sables blancs
	INF (100m)		Sables fins blancs avec des couches de grès et argiles
LUTETIEN	SUP (100m)		Gypses avec interlits de marnes (évaporites)
	INF (40m)		Calcaires et dolomies avec géodes de quartz
YPRESIEN (70m)	SUP		Calcaires et dolomies avec silex
	INF		Calcaires avec lentilles de silex et calcaire phosphaté
THANETIEN (80m)	SUP		Phosphates pseudolithiques, coprolithiques, gris et noirs
	INF		Marnes sombres schistifiées
MONTIEN (100m)			Minéralisation en Baryto-Célécitine Calcaires avec bancs à Ostrea
DANIEN	SUP (80m)		Alternance de calcaires et de marnes claires
	INF (35m)		Argiles noires avec fibre de gypse
MAESTRICHTIEN SUPERIEUR (200 m)			Calcaires, calcaires noduleux de couleur blanche

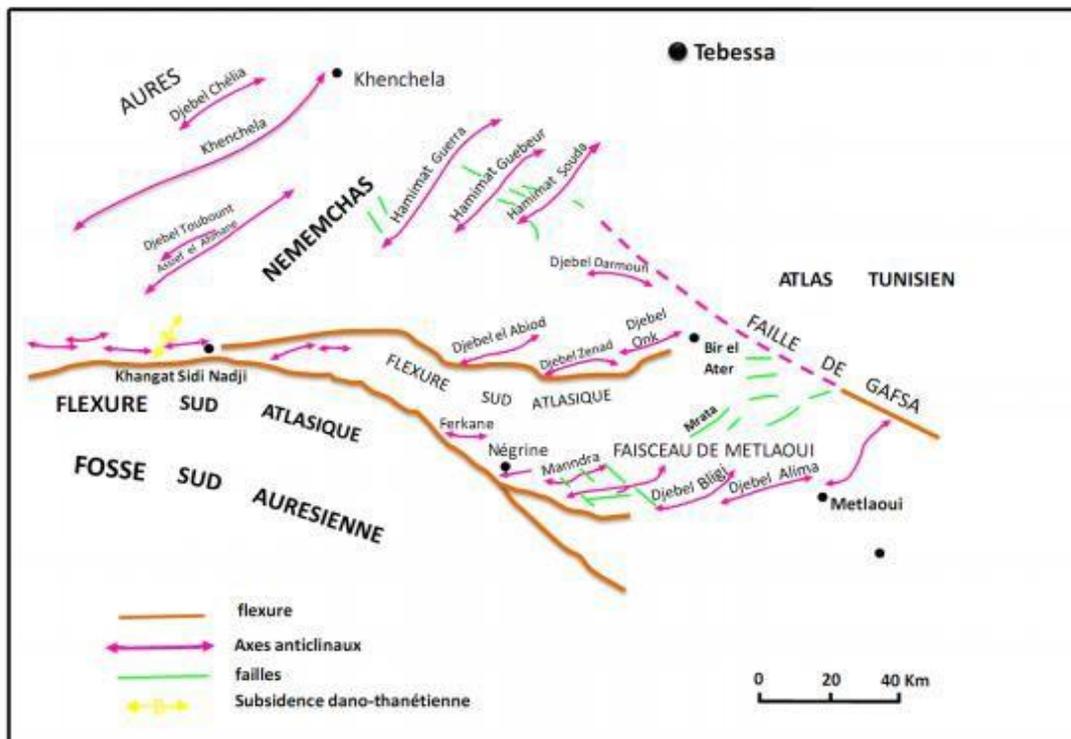
**Figure I.4:** Colonne stratigraphique de la région de Djebel Onk – Algérie Orientale [4].

### I.7.4.2. Tectonique régionale

La région de Djebel Onk appartient à l'extrémité orientale de l'Atlas Saharien (Ranchin, 1963). La série supérieure à l'Eocène du bassin de Djebel Onk – Gafsa - Méthlaoui est structurée en une suite d'anticlinaux et de synclinaux dissymétrique (**Figure I-5**), généralement faillés dans leurs flancs, d'axe le plus souvent SW – NE, et décrochés par des accidents transverses N 120° à N 140° E

Les anticlinaux de Djebel Onk, Djebel Djemi-Djma et Oued Bétita sont localisés à la bordure de la flexure Sud – Atlasique qui correspond à une zone d'affleurement entre le domaine Atlasique mobile et la plate – forme Saharienne stable, ils appartiennent à la branche Nord de la flexure Sud Atlas que de direction E – W.

L'anticlinal de djebel Onk prolonge des monts de Nememcha jusqu'à l'Est en périculinal sous les formations du Miocène d'une direction E – NE, cet anticlinal est asymétrique au flanc méridional avec un pendage de 80° et flanc septentrional de 10°.



**Figure I.5 :** Carte structurale de la région du Djebel Onk à l'intérieur du bassin de Gafsa-Méthlaoui-Onk (d'après Aissaoui, 1984 in Chabou-Mostefaï, 1987). [5]

### **I.7.4.3. Les réserves géologiques**

Le gisement de Djebel Onk, par ces importantes réserves se classe parmi les grands gisements dans le monde.

Avec plus de 2 milliards de tonnes de réserves de phosphate, l'Algérie se trouve dans la troisième place après le Maroc et Sahara-Occidental (50000000 tonnes) et la Chine (3700000 tonnes), ce sont les pays qui possèdent les grandes réserves mondiales de phosphate

<b>gisements</b>	<b>carrière</b>	<b>sous-terrain</b>	<b>total</b>	<b>hypothétiques</b>	<b>total</b>
<b>djemidjema</b>	<b>150.000.000</b>	<b>214.000.000</b>	<b>364.000.000</b>	<b>185.150.000</b>	<b>549.150.000</b>
<b>kefessenoun</b>	<b>196.000.000</b>	<b>13 5.000.000</b>	<b>331.000.000</b>	<b>188.500.000</b>	<b>519.500.000</b>
<b>tarfaya</b>	<b>14.000.000</b>		<b>14.000.000</b>		<b>14.000.000</b>
<b>total onk sud</b>	<b>360.000.000</b>	<b>349.000.000</b>	<b>729.000.000</b>	<b>373.650.000</b>	<b>1.102.650.000</b>
<b>bled elhadba</b>	<b>319.689.850</b>		<b>319.689.850</b>	<b>480.000.000</b>	<b>799.689.850</b>
<b>djebel onk nord</b>	<b>31.000.000</b>	<b>61.000.000</b>	<b>92.000.000</b>		<b>92.000.000</b>
<b>oued betita</b>		<b>125.000.000</b>	<b>125.000.000</b>	<b>50.000.000</b>	<b>175.000.000</b>
<b>total hadba et onk nord</b>	<b>350.689.850</b>	<b>186.000.000</b>	<b>536.689.850</b>	<b>530.000.000</b>	<b>1.066.689.850</b>
<b>total général</b>	<b>710.689.850</b>	<b>535.000.000</b>	<b>1.265.688.850</b>	<b>903.650.000</b>	<b>2.169.338.850</b>

**Tableau I.2:** les réserves géologiques du gisement de Djebel-Onk (en tonne).

### **I.7.5. L'exploitation du gisement de Djebel-Onk: [6]**

Après l'épuisement de la mine de Djema-Djema, les travaux d'exploitation sont réorientés vers le gisement de kef-essenoun. Ce dernier est la seule zone où se déroulent les travaux d'abattage et de tir. Elle présente la source unique de l'alimentation d'unité de traitement de phosphate.

kef-essenoun est une mine à ciel ouvert, constituée de plusieurs gradins formant une fosse. Le facteur de recouvrement est de un pour deux, c'est-à-dire que pour chaque gradin de minerai abattu, il faut abattre deux gradins de stériles. Pour cela, on trouve les gradins de stériles dans la périphérie et les gradins de minerais dans le centre de la fosse.

### **I.7.5.1. Travaux préparatoires**

En premier lieu il faut toujours penser à mettre en place les pistes de circulation et les accès aux gradins. Il faut veiller à ce que les accès soient assez larges afin de permettre aux engins de circuler en toute sécurité tout en assurant une double circulation et en permettant aux conducteurs de manœuvrer leurs engins facilement.

La piste principale doit avoir une pente inférieure à 10 % pour ne pas avoir des descentes trop raides et ne doit pas dépasser les 6 % dans les virages.

Lorsque les accès ne sont pas assez larges il faut renforcer les bordures par de gros blocs et de l'argile qui d'une part servent à éviter tout risque d'inondation des plates-formes et d'une autre part composent une barrière de sécurité pour les engins en cas d'accident (perte de freins, dérapages,... etc.) en les empêchant de tomber dans le vide. Pour réaliser ces travaux il faut faire un terrassement du terrain car au départ on est en présence de terrains vierge formé de gros blocs, d'argile et d'herbe.

### **I.7.5.2. Forage**

Après avoir réalisé les travaux préparatoires c'est au tour de l'équipe de forage de poursuivre les travaux.

Le forage est un procédé qui consiste à réaliser des trous de mines à l'aide d'un équipement spécialisé.

L'ingénieur doit communiquer aux foreurs les paramètres de forage (distances, profondeurs, inclinaisons, nombre de rangers,... etc.) selon des exigences bien déterminées.

Au niveau de la mine de kef-Essnoute, les travaux de forage sont réalisés en utilisant des sondeuses qui sont composé d'un assemblage de tiges de 3 mètres de longueur avec une possibilité de forer des trous de 110 ou de 165 millimètres de diamètre.

Pour réaliser des trous de mine il existe des paramètres à respecter selon la nature de la roche, le type de tir, la longueur du front, la taille désirée du produit à extraire... etc.

### **I.7.5.3. Tir**

Il existe deux types de tirs utilisés à kef-Essnoute: Le tir électrique et le tir pyrotechnique. Le premier est destiné aux gradins des minerais de phosphate, alors que le deuxième est destiné aux gradins de stériles.

La différence entre ces deux types se résume dans la mise à feu dont le premier se déclenche à l'aide d'un fil électrique et un exploseur, alors que le deuxième se déclenche à l'aide d'une mèche lente.

Les explosifs utilisés :

- Explosifs brisants (Marmanite)
- Explosifs déflagrants (Anfoumil)

#### **I.7.5.4. Chargement et transport**

Le chargement est effectué par une pelle hydraulique avec un temps de cycle variable selon l'état du matériau abattu d'où un rendement variable qui dépend aussi de la capacité de la pelle.

Le transport est assuré par des camions à benne d'une capacité de 50 tonnes avec un temps de cycle variable selon la distance entre le niveau de chargement et le lieu de déchargement, l'atelier de concassage pour le phosphate et la décharge pour le stérile, l'état de la plate-forme et des pistes de roulage et la capacité de la pelle, d'où un rendement variable.

Lorsque le matériau abattu est hors gabarits c'est-à-dire de taille très grande (>1000 mm), il est mis de côté où c'est le brise roche qui réduit de sa taille pour pouvoir le faire passer au concasseur lorsqu'il s'agit du phosphate. Par contre lorsqu'il s'agit des stériles, ces roches sont évacuées directement vers la décharge.

#### **I.7.6. Objectifs plan d'exploitation 2024**

##### **I.7.6.1. Masse rocheuse**

13 Million de Tonnes réparties comme suit :

❖ **Stérile : 10 Million de Tonnes dont :**

- **6.9** Millions de Tonnes de découverte pour extraire la quantité du phosphate (tout venant planifiée à partir de la partie Nord-Ouest (Est et Sud Est (bloc A)) de Kef Essenoun et Djemidjema Zone II (Sud et extrême Sud).

- **3.1** Millions de Tonnes de travaux préparatoires pour l'extraction de la couche marneuse, diminution du dôme de calcaire de Danio-montien et la création des accès dans les zones Est (bloc A) et Ouest (bloc B).

Ceci, pour permettre l'achèvement des phases I, II de l'étude d'exploitation et de stabilité de la paroi Nord de Kef Essenoun (Octobre 2022).

##### **I.7.6.2. Phosphate (tout-venant) 3 Millions de Tonnes**

Toute la quantité planifiée sera extraite à partir des blocs A et B mentionnés ci-dessus.

##### **I.7.6.3. Produit marchand**

1.8 Million de Tonnes : répartis comme suit :

❖ **Qualité 66/68%TPL : 1.2 Million de Tonnes**

Cette qualité sera produite à partir de phosphate (tout-venant) provenant de la Zone Est et Sud-Est de la partie Nord - Ouest, de Kef Essenoun.

❖ **Qualité 63/65%TPL** : 0.6 Million de Tonnes

Cette qualité sera produite à partir de phosphate (tout venant) provenant de :

- Djemi-djema Zone II côté Extrême Sud,
- Le phosphate (tout venant) de faible teneur de Kef Essenoun.
- Stocks bruts (Kef Essenoun et Djemi djema Zone II)

**NB**: Le présent plan d'exploitation est élaboré sur la base de la mise à jour topographique du mois d'Octobre 2023. [6]

### **I.7.7. Traitement du phosphate de Djebel-Onk [7]**

L'objet du traitement des phosphates est d'éliminer les composants nuisibles et la gangue, de façon à obtenir une teneur en  $P_2O_5$  aussi élevée possible, de même qu'un rapport  $CaO / P_2O_5$  favorable.

L'unité de traitement de phosphate de Djebel-Onk constitue de voies principales (voie sèche et humide) pour l'obtention du produit marchand pris à être commercialisé

La méthode de traitement adoptée au actuellement au niveau du complexe minier de Djebel-Onk commence par l'opération de préparation mécanique, qui alimente les deux voies de traitement.

#### **I.7.7.1. Traitement par voie humide**

Le but de cette opération est d'éliminer les argiles, les silicates, les matières organiques ainsi que les sels..... Il est constitué des opérations suivantes : une mise en pulpe, criblage humide (grilles courbes), classification, hydro cyclonage et une filtration.

Ce type de traitement permet d'obtenir des produits marchands (super) de qualité 66-68 TPL. Ce sont des qualités très riches en TPL.

#### **I.7.7.2. Traitement par voie sèche (Dépoussiérage)**

Cette opération s'effectue dans les ateliers de dépoussiérage(DK2etDK3), est un procédé physico-mécanique d'enrichissement du minerai phosphate pour l'obtention d'un concentré moyen de 29 à 30 %  $P_2O_5$ , c'est un procédé issu d'une technologie de

traitement à sec basée essentiellement sur la décarbonatation par impacte et aménagement granulométrique.

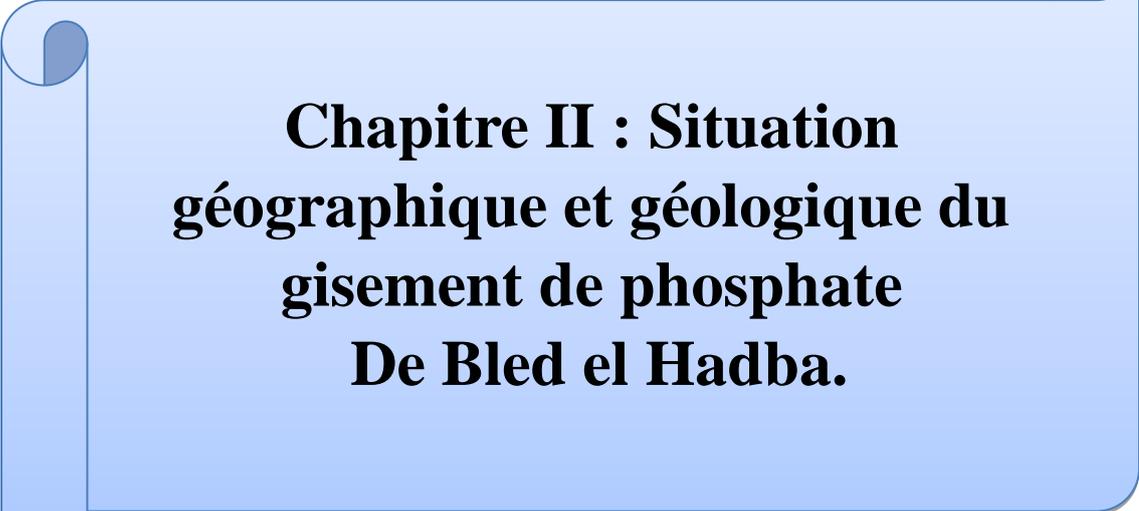
Le but principal de ce type de traitement est d'enrichir à sec un produit provenant de la carrière ayant 54 à 56 % de TPL, broyer et cribler à 15 mm contenant 3 à 7 % d'humidité pour ramener à la qualité commerciale titrant 63 à 65 % de TPL et des granulométries comprise entre 800  $\mu\text{m}$  et 90  $\mu\text{m}$ . Chaque ligne est d'une capacité de 230 T/h à l'alimentation et 137.5 T/h à la sortie d'un rendement poids de 60 à 62 %.

## **I.8. Conclusion**

Le gisement de phosphate de Djebel-Onk est considéré parmi les plus importants gisements au monde, avec ces énormes réserves et sa teneur probablement importante.

Le complexe minier de Djebel-Onk permet de produire de bonnes qualités de phosphate marchand passant par les différentes phases à partir du minerai brut provenant de la carrière jusqu'à l'obtention d'un produit final prêt à être commercialisé.

La méthode d'enrichissement adoptée au niveau du complexe minier de Djebel-Onk basée sur la granulométrie, donne de bons résultats du point de vue de la qualité du phosphate. Par contre, ses rejets présentent le gros inconvénient engendré par cette méthode à cause de la perte d'un pourcentage trop élevé de matière phosphatée.



**Chapitre II : Situation  
géographique et géologique du  
gisement de phosphate  
De Bled el Hadba.**

## **II.1. Introduction**

L'industrie phosphatée algérienne est née à la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle avec la découverte et la mise en exploitation de plusieurs gisements à l'Est du pays (El Kouif, Mzaita, Ras El Oued, Bordj El Ghedir). En 1962 commença l'exploitation du plus grand gisement algérien de phosphate, Le djebel Onk.

Au cours de ce chapitre, nous allons présenter, la géologie régionale de Bir El Ater puis locale du gisement de Bled El Hadba.

## **II.2. Géologie régionale de Bir-El-Ater**

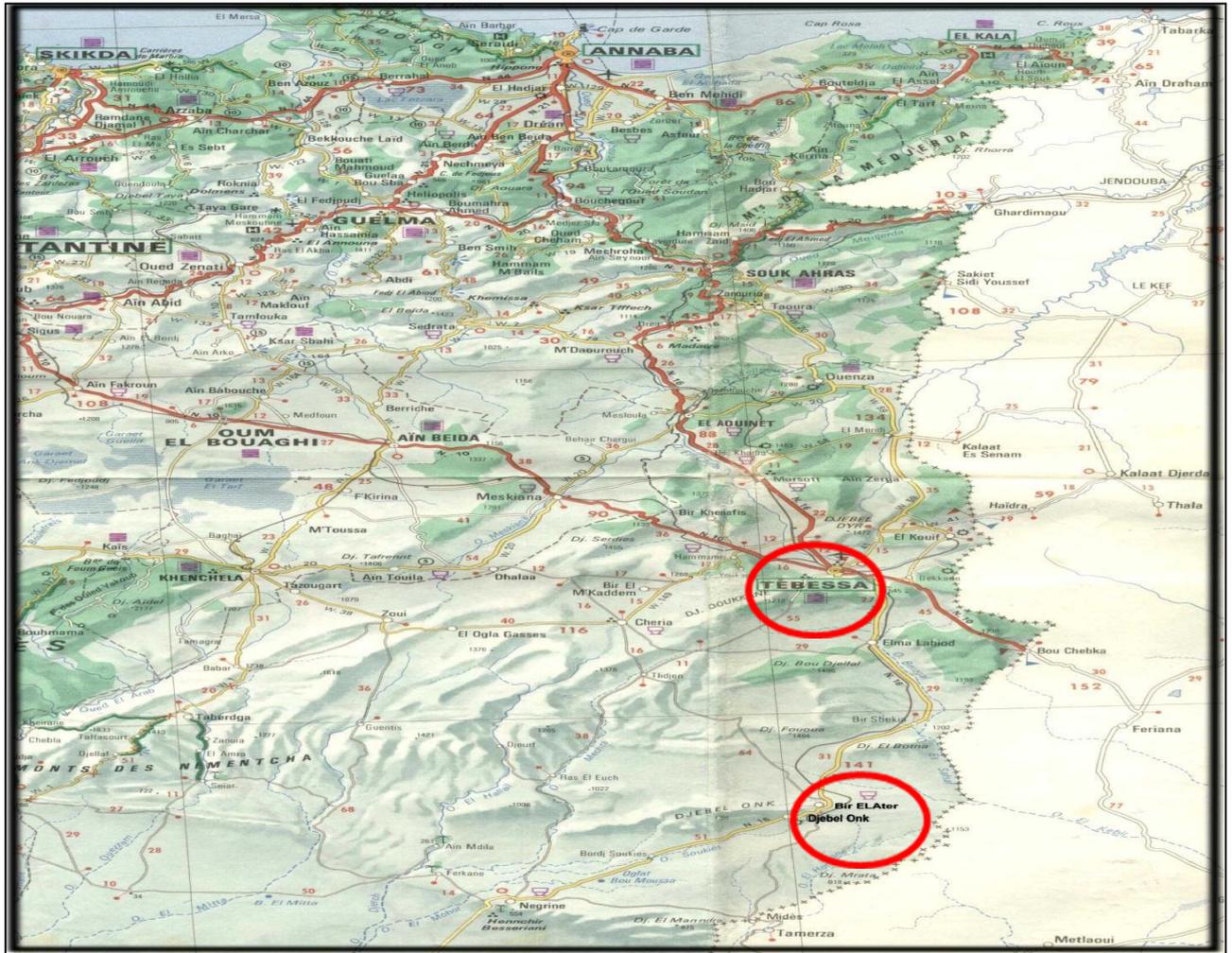
Les phosphates de la région de Bir El Ater font partie d'une succession d'assises sédimentaires, développées dans l'Est et le Sud-Est constantinois (Algérie), et porteuses de concentrations minérales phosphatées. Ces concentrations, d'intérêt économique, appartiennent à un vaste ensemble de gisements phosphatés formés à la période fin Crétacé-Eocène dans tout le Magreb [9].

## **II.3. Présentation du secteur minier de Bir-El-Ater**

### **II.3.1. Situation géographique**

La région de Bir-Al-Ater est située au Sud-Est de l'Algérie à 100 kilomètres au Sud de la wilaya de Tébessa et à 20 km de la frontière Algéro-Tunisienne, sur la route qui relie Tébessa à El Oued. Cette région constitue la limite géographique naturelle entre les hauts-Plateaux constantinois et le domaine saharien. Le massif du Djebel Onk forme un ensemble calcaire de 20 Km de longueur qui culmine à 1198 m d'altitude au Djebel Tarfaya.

Ce massif constitue l'extrémité orientale des monts des Nemencha qui prolongent vers l'Est de massif des Aurès, les altitudes les plus basses au pied du Djebel Onk sont d'environ 635 m.



**Figure II.1** : Carte de situation géographique de la région de Bir-El-Ater [10].

Cinq gisements sont été découverts dans la région de Bir-Al-Ater:

- Gisement de Djemi-Djema;
- Gisement de Kef Essenoun;
- Gisement de Djebel Onk Nord;
- Gisement d'Oued Betita;
- Gisement de Bled El Hadba [8].

Ce dernier fait l'objet de notre étude géologique et géostatistique. Il est situé à 15 Km à l'Est de la mine de Djemi-Djema, à seulement de 5 Km de la frontière Algéro-Tunisienne et sur le flanc Ouest du Djebel Zerga. Ce gisement n'est distant que de 9 Km du gisement du Djebel Mrata en Tunisie.

Le climat est subaride, caractérisé par un régime continental avec deux saisons très nettes ; un hiver froid rigoureux et un été où les températures peuvent dépasser 45°C. Les précipitations sont peu abondantes avec une moyenne de 300 mm/an (climat semi-aride). Le réseau hydrographique de Bir El Ater est composé de 3 principaux bassins versants: celui d'oued Rheznata au Nord-Est de la commune et ceux d'oued Soukiès et d'Oued Horchane, au Sud de Bir El Ater.

La population est peu dense. Sa situation économique s'est améliorée grâce à l'installation du complexe minier de Bir El Ater; ce qui a contribué à l'agrandissement et au développement de la ville[11].

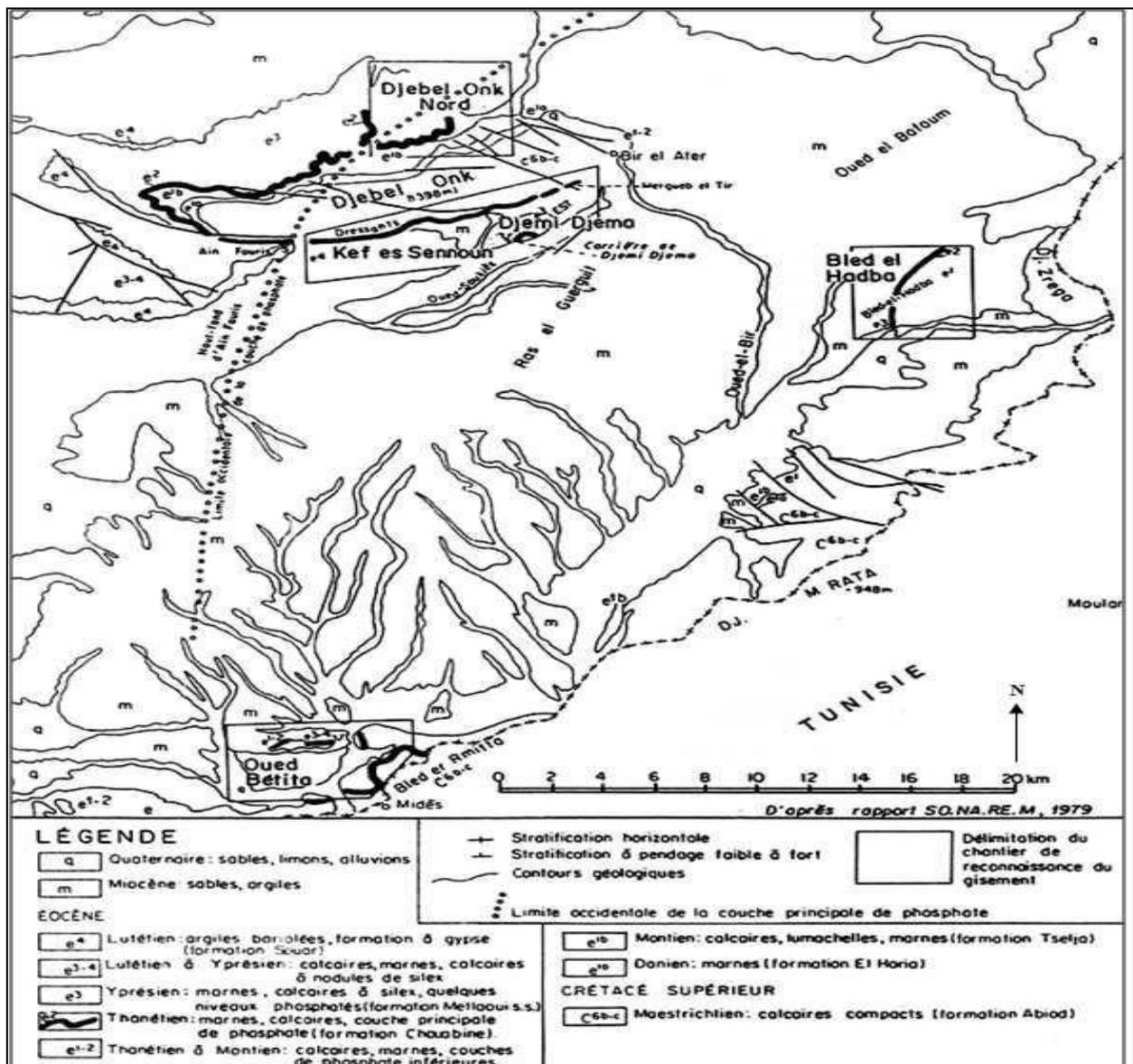


Figure II.2. Carte de situation géographique et géologique des gisements de Bir-El-Ater. (Priant Cortiel, 1993)[8].

### II.3.2. Litho stratigraphie de la région de Bir El Ater[12]

Les travaux les plus importants concernant la stratigraphie de Bir-Al-Ater sont ceux de (Dussert, 1924),(Flandrin,1948),(Visse,1951),(Ranchin,1963),(Villain,1979) et (Chabou-Mostefai, 1987).

La série sédimentaire affleurant est exprimée par une succession stratigraphique allant du crétacé supérieur (Maestrichtien) à l'Eocène moyen (Lutétien), surmonté par une série sablo argileuse continentale datée du Miocène et du Quaternaire.

Les affleurements s'observent de bas en haut de la façon suivante:

a) **Crétacé:** ce sont le ssédiment slesplusanciensauc Sur de l'anticlinal de Djebel Onk tectoniquement très accidentés, seuls les dépôts de Maestrichtien affleurent.

➤ **Maestrichtien:** cesontdescalcairesblancsmassifsavecdesintercalationsmarneuses de silex au c Sur de l'anticlinal de Djebel Onk. Ils représentent à leur partie supérieure, une surface tarudée, rubéfiée, facilement repérable dans la topographie.

b) **Paléogène :** il est représenté par des sédiments marins qui atteignent d'assez grandes épaisseurs (350m). Les variations lithologiques et les restes des organismes permettent d'en faire les subdivisions stratigraphiques suivantes:

➤ **Danien :** il est constitué par un puissant complexe marneux où on note la séparation entre le Danien supérieur et le Danien inférieur :

– **Danien supérieur :** il est représenté par des calcaires et des intercalations de marnes assez épaisses, avec des caractéristiques spécifiques; calcaires dur de couleur crème ou blanc s'intercalant avec des marnes tendres argileuses schisteuses, dont l'épaisseur varie d'une dizaine de centimètres à un mètre.

– **Danien inférieur :** il est représenté par des argiles marneuses schisteuses d'une couleur gris foncé ou brun vert avec des intercalations des marnes très dures en banc sir réguliers. L'épaisseur du Danien inférieur est de 30 à40 m.

➤ **Montien :** cet étage est caractérisé par de puissantes couches calcaires, avec des intercalations de marne .Il a fleurée plusieurs points; Djebel Onk, Djebel Darmoun, Djebel Djemi-Djema, Oued Betita et Bled El Hadba. Son épaisseur est de60 m.

➤ **Thanétien** : c'est l'horizon porteur de la minéralisation. Il est visible sur le flanc de l'anticlinal de Djebel Onk avec une épaisseur de 72 m. Il se subdivise en deux parties:

– **Thanétien inférieur** : représenté par des marnes gris foncé à noir schistifiées. Dans la partie inférieure, on note la présence des conglomérats de minces passées phosphatées, ainsi que deux niveaux de marnes à faune caractéristiques (Thésiteo gracilis). Au sommet apparaissent des intercalations phosphatées atteignant jusqu'à 2 m, surmontées par des calcaires et des marnes à gros Gastéropodes. La puissance varie de 30 à 40 m.

– **Thanétien supérieur**: il débute par un niveau dolomitique à Gastéropodes, sous-jacent à une couche phosphatée d'une épaisseur moyenne de 30 m à Djebel Onk et Bled El Hadba et qui diminue jusqu'à disparition vers le Nord.

*c) Eocène:*

➤ **Yprésien**: il repose directement sur les dépôts de Thanétien et prend une grande extension dans la région de Bir-El-Ater. Il a une épaisseur de 32 m. il est constitué de:

- Calcaire à silex avec une couche phosphatée, intercalée (3m);
- Calcaire marneux avec des lits phosphatés dans la partie supérieure (4,5m);
- Calcaire à nodule de silex noir. Ces nodules représentent une patine

ferrugineuse, noire à brun rouge. son épaisseur est de 26 m.

➤ **Lutéien**: les roches de cet étage couvrent, en outre, dans ces roches Yprésiens. Elles sont répandues dans la région de Djebel Darmoun (270 m d'épaisseur). On distingue de bas en haut:

– **Lutéien inférieur** : il est marqué par des changements de faciès:

• Les calcaires disparaissent et à leur place viennent les marnes blanches, crayeuses, à géodes de quartz et à silex. Son épaisseur est de 30 m;

- Des calcaires massifs, blancs à très nodules de quartz (15 m d'épaisseur);
- Du gypse avec bancs de calcaires (150 m d'épaisseur).

– **Lutéien supérieur** : ce faciès est évaporitique ; il est constitué de gypse et d'argile verdâtre, argile phosphatée verte et bancs de calcaire. A la base, on distingue l'argile verte phosphatée et bancs de calcaire d'une épaisseur de 10 m et au sommet, des argiles vertes avec banc de gypse intercalé. Son épaisseur est de 65 m.

*d) Néocène:*

➤ **Miocène**: il est représenté par un complexe de roches terrigènes composées de Conglomérats, d'argiles, des sables et de schistes. Le Miocène est subdivisé en trois:

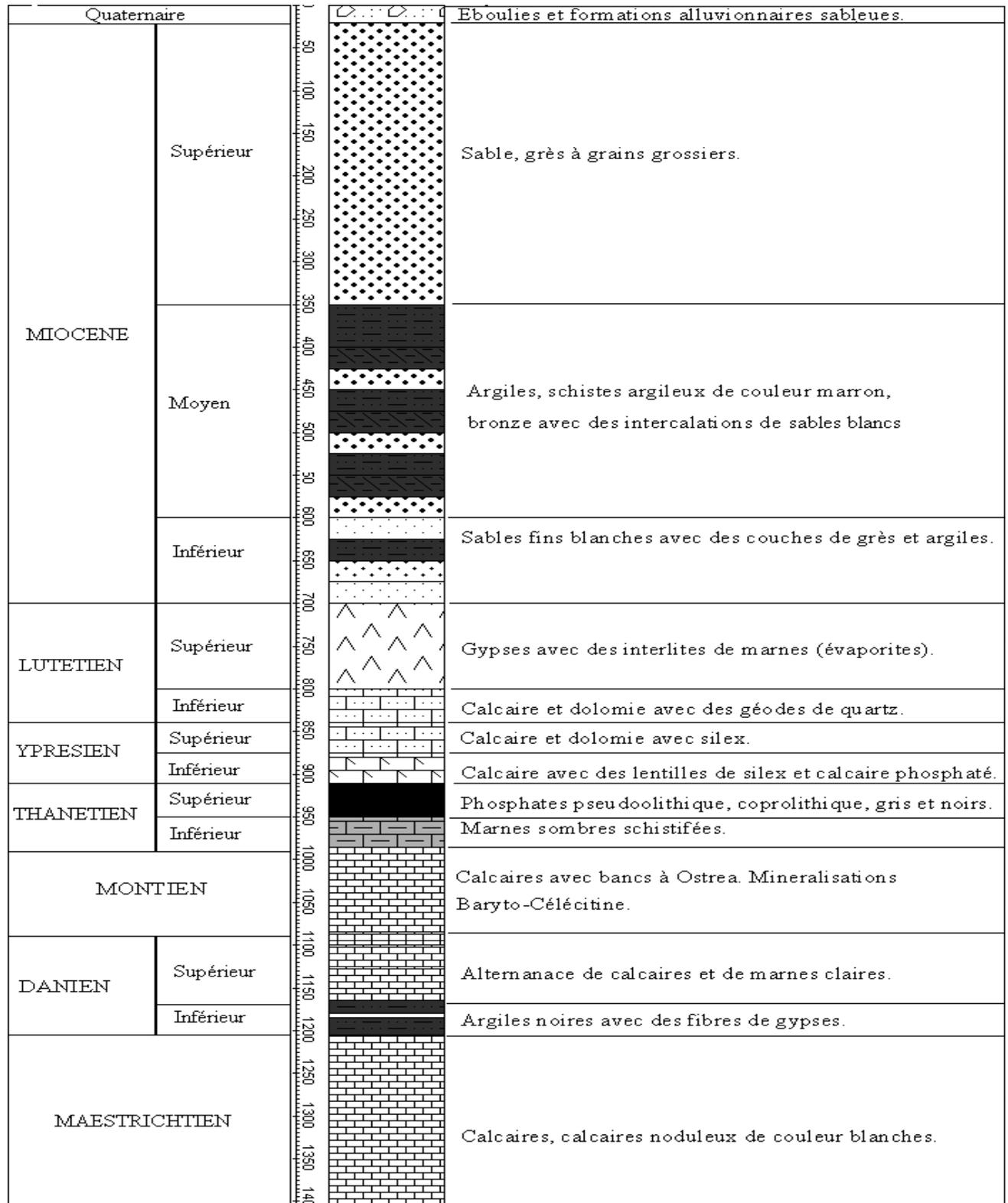
– **Miocène inférieur** : il est formé de conglomérats, de sable à gros grains et sables

blancs à grains moyens avec de minces couches d'argiles silteuses. Sa puissance est de 200 m.

– **Miocène moyen** : il est essentiellement argileux de couleur marron, parfois schisteux, avec des intercalations de sables à grains fins et moyens. Leur épaisseur est de 100 m.

– **Miocène supérieur** : il est constitué de roches sablo-argileuses, grés à bancs de graviers et contenant de gros blocs arrondis.

e) **Quaternaire** : les formations quaternaires couvrent de vastes surfaces dans la région. Elles sont essentiellement représentées par des éboulis de pente, de dépôts sableux, dépôts éoliens, des graviers, des blocs, des dépôts alluvionnaires et fluviaux.



**Figure II.3 :** Colonne litho stratigraphique de la région de Bir-El-Ater 3 Algérie Orientale- (D'après Cielenskyet al, 1988) [8].

### II.3.3. Tectonique [13]

La région de Bir-El-Ater appartient, avec l'Atlas Tunisien, à l'extrémité orientale de l'Atlas Saharien. La série supérieure de l'Eocène du bassin de Djebel Onk-Gafsa-Métloui est structurée en une suite d'anticlinaux et de synclinaux dissymétriques, généralement faillés dans leurs flancs, d'axe le plus souvent SW-NE et décrochés par des accidents transverses N120° à N 140°E.

Les anticlinaux de Djebels Onk, Djemi-Djema, et Oued Betita sont localisés sur la bordure de la flexure Sud Atlasique qui correspond à une zone d'affrontement entre le domaine Atlasique mobile et la Plate-forme Saharienne stable. Plus particulièrement, ils appartiennent à la branche Nord de la flexure, de direction E-W (figure II.4).

L'anticlinal de Djebel Onk prolonge des monts de Nememcha jusqu'à l'Est en périclitait sous les formations du Miocène d'une direction E-NE. Cet anticlinal est asymétrique au flanc méridional avec un pendage de 80° et un flanc septentrional de 10°.

La chronologie des phases de déformations responsables de la structuration actuelle est la suivante:

#### *a) Tectonique syn-sédimentaire*

Une phase compressive NW-SE contemporaine à la sédimentation Paléogène, s'exprime par des ondulations et des failles syn-sédimentaires. Cette tectonique précoce induit des lacunes de sédimentation dans la série Paléocène-Eocène et a conduit à l'édification de dispositifs paléogéographiques en hauts fonds et sillons qui vont contrôler la sédimentation des phosphates. Ces déformations précoces peuvent être liées à la montée diasporique des évaporites triasiques, notamment au Paléocène-Eocène.

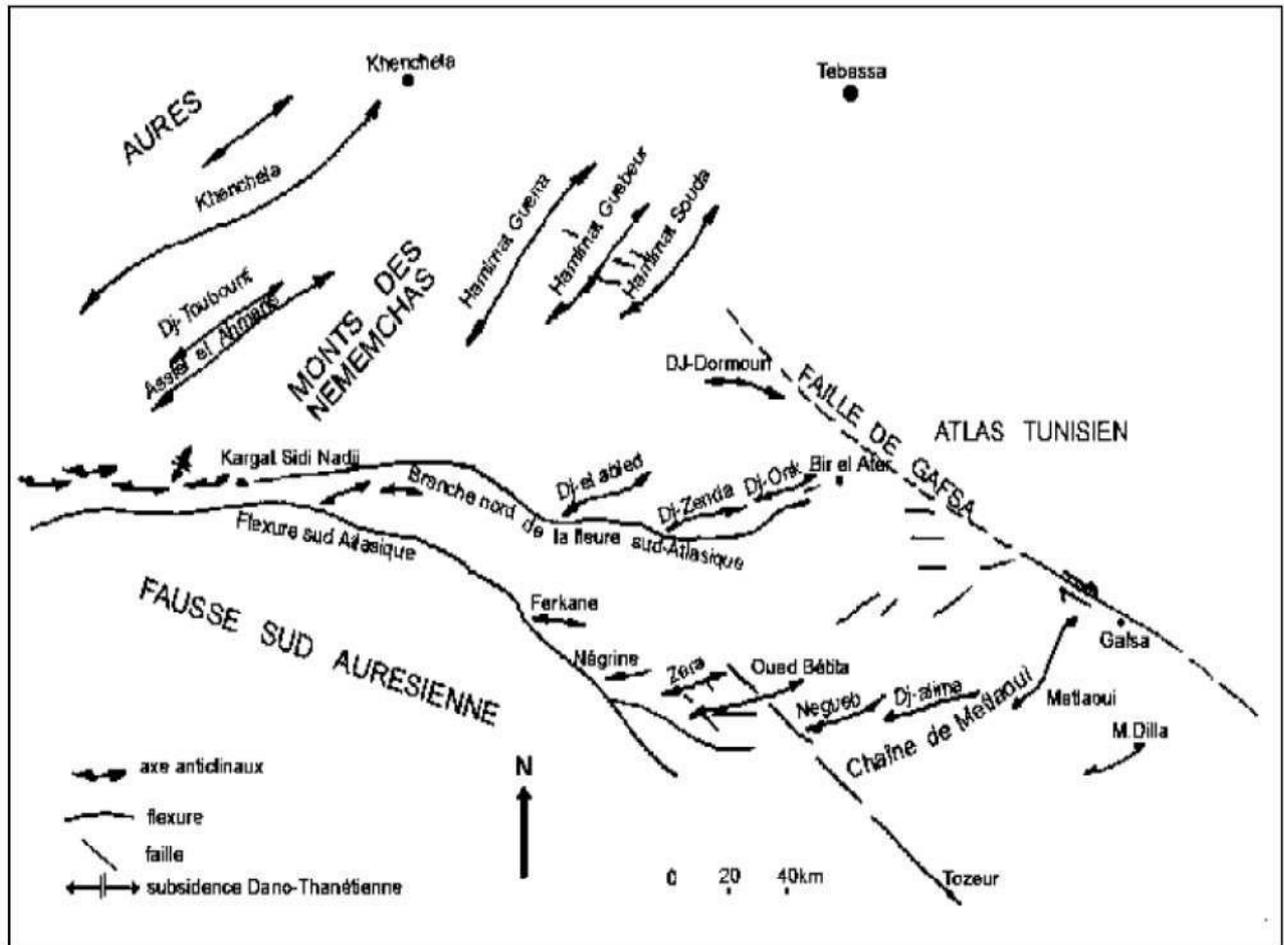
#### *b) Tectonique post-Eocène moyen et anté-Miocène*

Contemporaine à l'émersion de la série au Lutétien supérieur, phase majeure du plissement des Aurès et des déformations d'intensives transverses (N 120° à N 150°) induisant un début de déstructuration de la série crétacée supérieure à Eocène en petits horsts et grabens allongés suivant la direction N 170°E qui vont être affectés par la pénétration et l'érosion différentielle anté-Miocène. Ces plissements sont, en majorité, antérieurs aux dépôts des sables Miocènes. C'est à la faveur de cette phase tectonique qu'apparût l'anticlinal de Djebel Onk.

#### *c) Tectonique tardi-Miocène, post-Burdigalienne, à Pliocène-Pléistocène*

C'est la phase majeure de plissement de l'Atlas Tunisien. Les plissements de la série Crétacée supérieure-Paléocène-Eocène et Miocène, en grandes structures antiformes et

Syn formes rejoignent en horst et grabens dans les structures antérieures ; ils forment vers le Sud et sur le flanc inverse des méga-plis de Djebel Onk et Djemi-Djema. Cette tectogenèse est responsable de la structure actuelle de la région Bir-Al-Ater.



**Figure II.4 :** Carte structurale de la région du Bir-El-Ater à l'intérieur du bassin de Gafsa-Métlaoui-Djebel Onk (Aissaoui, 1984)[8].

## II.4. Géologie locale du gisement de phosphate de Bled El Hadba

### II.4.1. Situation géographique [8]

Le gisement potentiel de Bled El Hadba est situé à environ 14 Km au Sud-Est de Bir El Ater et à 5 Km de la frontière Algéro-Tunisienne (figure II.5). Il est distant, en ligne droite, de 15 Km du complexe minier et de la carrière de Djemi-Djema.

Les altitudes varient entre 730 et 790 m. La superficie de la zone reconnue par les sondages est d'environ 2.9 Km<sup>2</sup>. Géomorphologiquement, le relief est très peu accidenté par rapport aux autres gisements dans la région de Bir El Ater.

Les coordonnées UTM de ce gisement sont les suivantes :

X =421.310 à424.200.

Y =3.833.730à3.837.780.

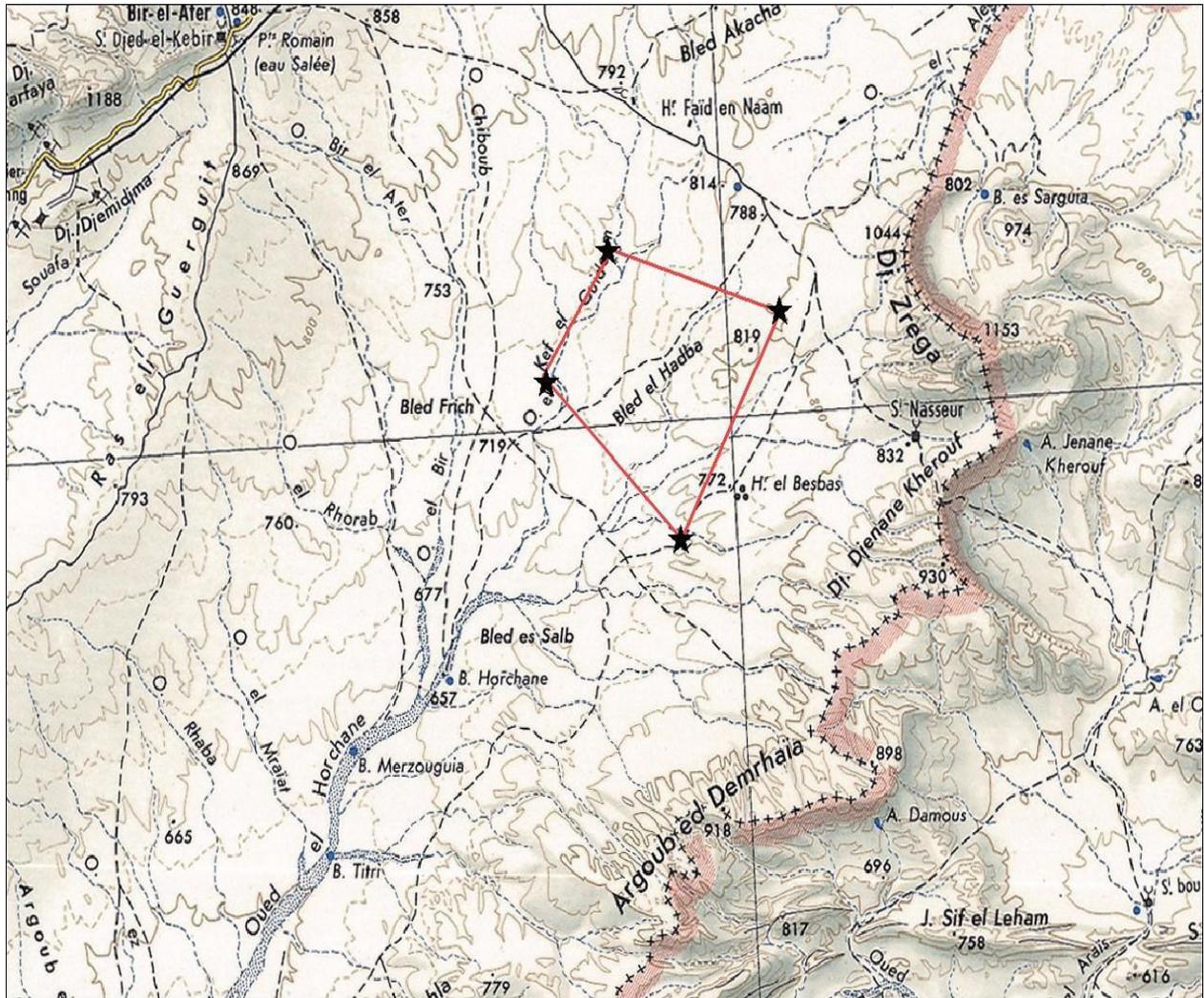


Figure II.5 : Carte de situation géographique de gisement de Bled El Hadba [8].

#### II.4.2. Contexte géologique de gisement de Bled El Hadba [8]

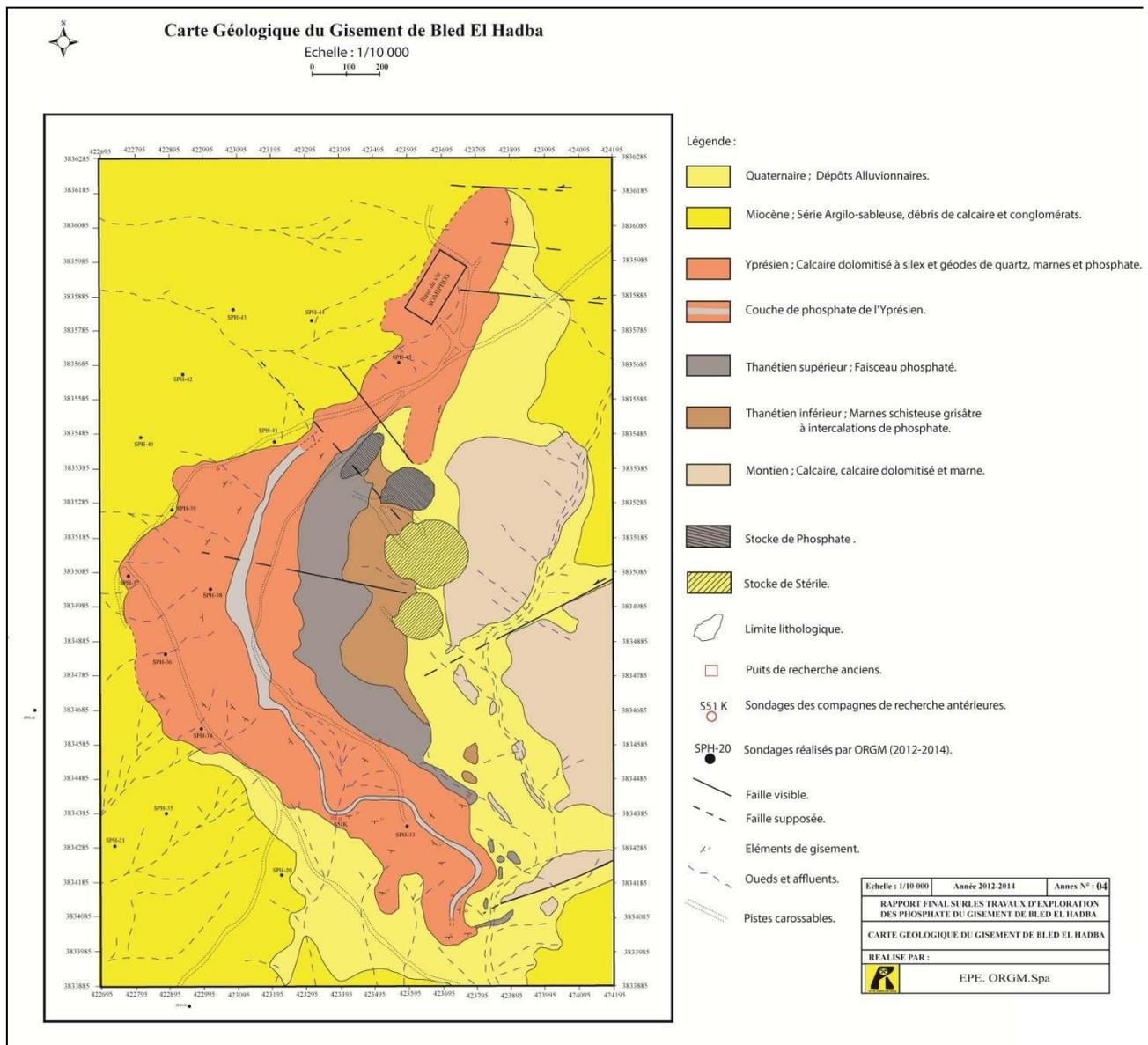
La géologie du gisement est relativement simple, les couches phosphatées et leurs encaissants plongent d'une façon monoclinale et sous une pente douce de 6 à 10° vers l'Ouest et le Nord-Ouest, ce pendage devient plus accentué vers le Sud du gisement.

Néant moins les tectoniques tassez compliquée, on constate des décrochements nets, horizontaux et d failles de différentes directions.

La puissance des couches de phosphates du gisement est importante. Elle est de l'ordre de 41m. Une grande partie du gisement est à une profondeur de 0 à 60m.

La teneur moyenne en  $P_2O_5$  dans le gisement de Bled El Hadba est de 21.05 %.

Le faisceau total des phosphates montre la superposition de trois sous-couches (sommitale, principale et basale). Les coupes ont permis de mettre en évidence la variabilité de l'épaisseur et l'extension latérale des sous-couches dans le gisement.



**Figure II.6 :** Carte géologique du gisement de Bled El Hadba [8].

### II.4.3. Litho stratigraphie [11]

La succession litho stratigraphique est, dans ces grandes lignes ; assez semblable à celles des gisements de Djemi-Djema et Kef Essenoun. Cependant, des variations lithologiques importantes à l'intérieur du faisceau phosphaté ont été observées, a une forme d'une bande d'affleurement orientée NE-SW, cette bandes en fonce vers l'Ouest sous les calcaires à silex de l'Yprésien avec les sables du Miocène.

a) **Paléocène**

❖ **Montien** : le Montien affleure au Sud-Est du gisement. A la base de cet étage, on observe des calcaires silicifiés à lu mach elles bio clastes ainsi que d'autres organismes fossiles. Ces calcaires sont surmontés par une série d'alternance d'argile lumachélique, argiles calcareux, et marnes dolomies. Ensuite vient un banc de dolomie au-dessus duquel reposent des calcaires gris clairs, légèrement phosphatés. Son épaisseur peut atteindre 100 m.

❖ **Thanétien**

- **Thanétien inférieur** : à la base, sont rencontrées des marnes noires surmontées par des calcaires légèrement luma-chélliques, avec des petites intercalations de phosphates de couleur marron et gris. L'épaisseur varie de 30 à 40 m.

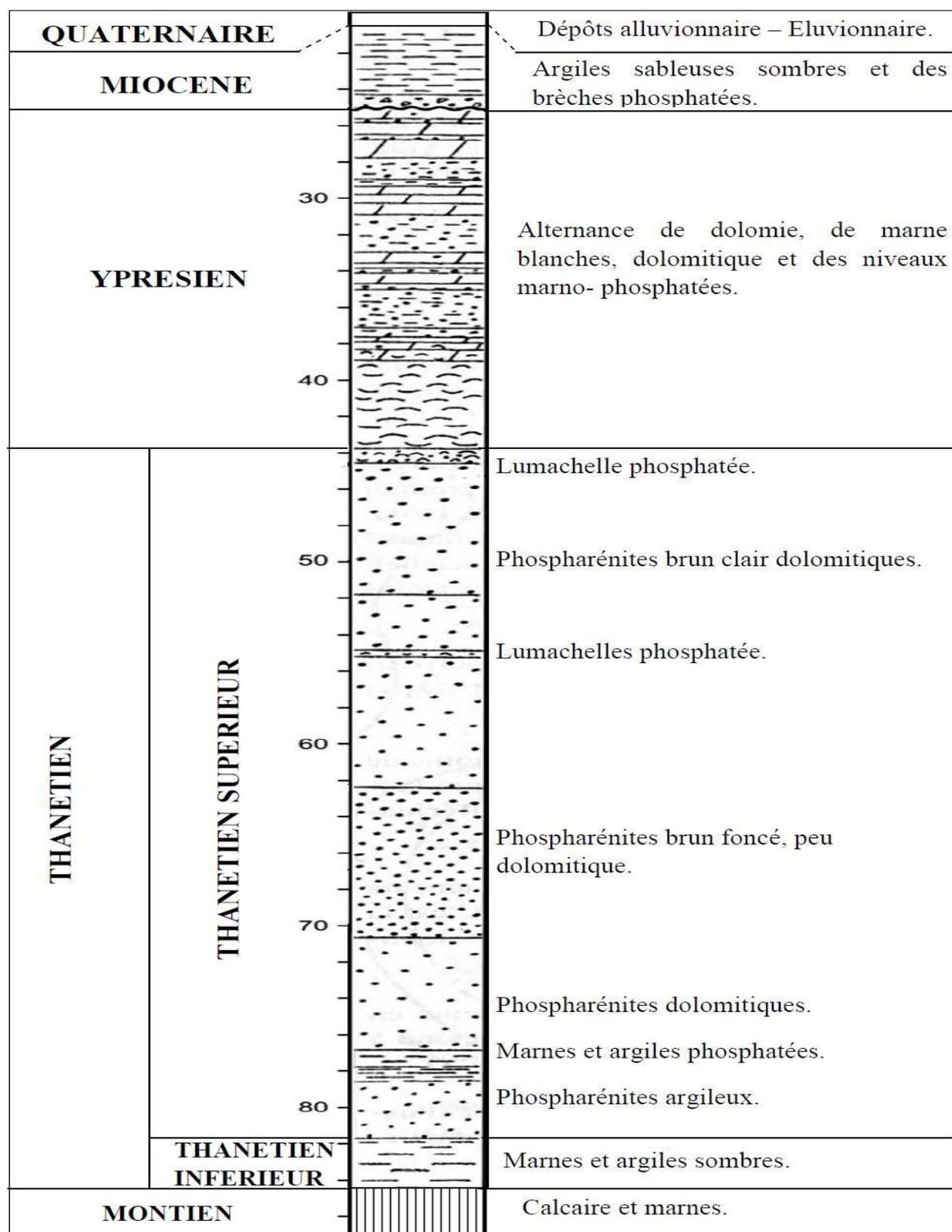
- **Thanétien supérieur** : cet étage représente la couche phosphatée caractérisée par des grains phosphatés cuprolithique et pseudo oolithique à ciment carbonaté, avec la présence d'oxyde de fer, débris osseux et les dents. Cette couche est subdivisée en trois sous couches qui sont : la couche basale, principale, et sommitale. L'épaisseur de la couche phosphatée est d'environ de 30 m.

b) **Yprésien** : la série du Thanétien est surmontée par une série calcarone-dolomitique à silex. Cette série d'âge Yprésien est carbonatée, marneuse, dolomitique et calcareuse. Elle est légèrement phosphatée et peut atteindre jusqu'à 56m d'épaisseur (S-5H).

La série Yprésien renferme, dans sa partie médiane, de minces bancs des phosphates dolomitiques de 1,7 à 2,3 m d'épaisseur, intercalés par des marnes dolomitiques et de calcaires.

c) **Miocène** : il recouvre la série précédente. Son épaisseur augmente progressivement vers l'Ouest et en allant vers le Nord-Ouest. Il atteint 77 m dans le sondage S-7H. La série est caractérisée par la présence de sable avec intercalation de calcaire marneux beignet des débris de dolomie.

d) **Quaternaire** : les dépôts du Quaternaire sont essentiellement répandus sur la majorité du territoire étudié. Ils sont représentés par des dépôts éoliens et alluvionnaires.



**Figure II.7:** Litho-stratigraphie du gisement de Bled El Hadba (CielenskyetBenchernine, 1987) [8].

#### **II.4.4. Tectonique du gisement [8]**

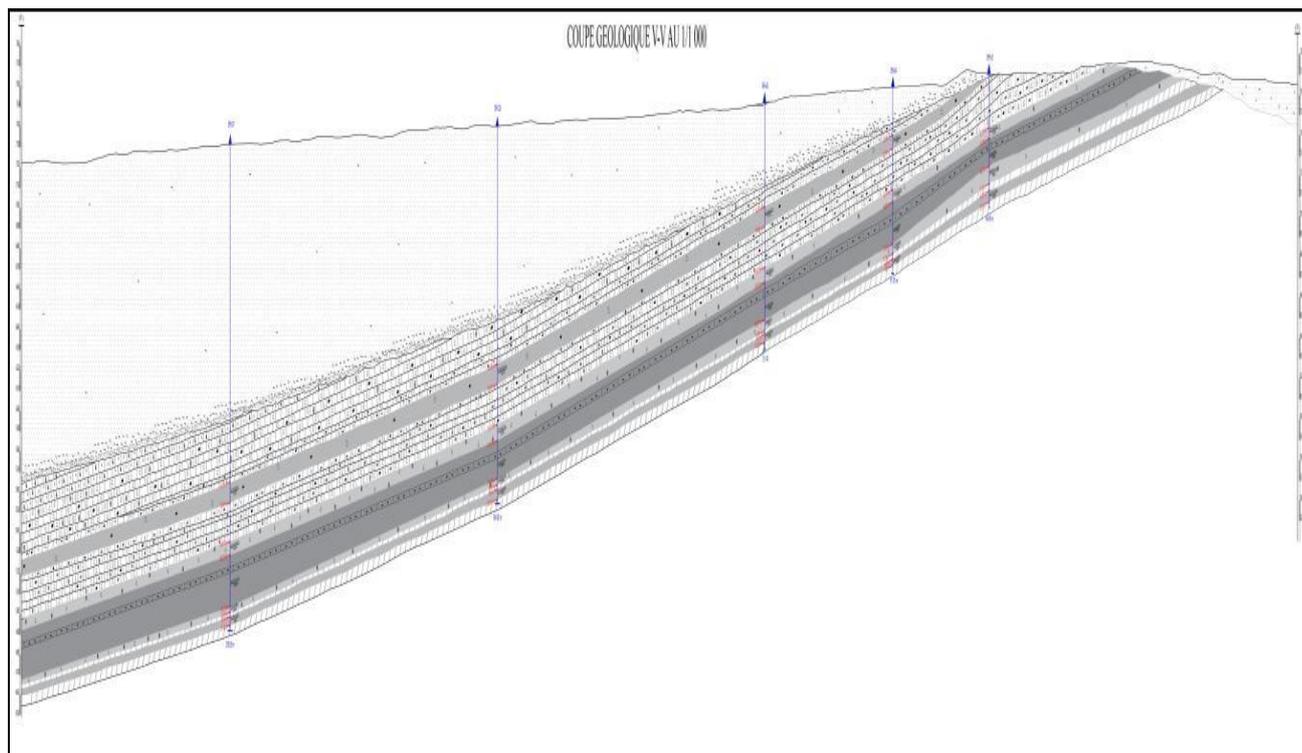
La zone de Bled El Hadba constitue le flanc Ouest de la structure antiforme du Djebel Zerga (1153m) dont la ligne de crête forme la frontière Algéro-Tunisienne.

Cette structure antiforme, à c Sur de Crétacé supérieur, constitue le prolongement Nord de la structure de Djebel M'rata en Tunisie. Par rapport à cet allongement anticlinal principal, la série phosphatée de Bled El Hadba se situe sur son flanc Ouest (Prianet Cortiel, 1993).

La structure géologique de l'ensemble du gisement est simple, puisque la série Paléocène-Eocène et Miocène se présente sous forme monoclinale à pendage variant de 6 à 10°, lié au flanc Ouest de Djebel Zerga vers le Nord-Ouest. La zone de Bled El Hadba est affectée par une série de faille set décrochements horizontaux orientés NW-SE. Ces décrochements sont visibles cartographique ment, mais ils n'entraînent pas de modifications importantes de la géométrie des couches phosphatées. Des failles secondaires à petits rejets de 5 à 20 m de direction WNW-ESE sont également enregistrées.

Les coupes géologiques tracées à travers le gisement de Bled El Hadba, (Figure I.8) montrent que le faisceau phosphaté se présente sous forme d'une bande d'affleurement orientée NE-SW. Cette couche phosphatée s'enfonce vers l'Ouest sous les calcaires de l'Yprésien et les sables du Miocènes. Vers l'Est, affleurent les marnes infra série phosphatée, puis les calcaires et marnes du Miocène; La série phosphatée n'est donc pas exprimée dans cette direction.

Dans la partie Nord des terrains considérés, on observe la disparition de la couche phosphatée vers le sondage S-57K. Prian et Cortiel (1993) ont expliqué cette discontinuation par une érosion anté-Miocène. Cette discordance apparaît aussi dans les sondages S-11Het S-55K.



Echelle: 1/1 000	Année: 2012 - 2014	Annex N°: 05 e
<b>RAPPORT FINAL SUR LES RESULTATS DES TRAVAUX D'EXPLORATION DES PHOSPHATE DU GISEMENT DE BLED EL HADBA</b>		
<b>COUPE GEOLOGIQUE SUIVANT LE PROFIL V-V</b>		
Réalisé par :		
 <b>EPE.ORG.M.SPA</b>		

Légende:	
	Dépôts détritiques du Miocène (Sables et Argiles).
	Conglomerats de base du Miocène.
	Calcaire organogène blanchâtre, fortement gypseux.
	Calcaire lumachellic, résiduellement phosphaté, à nodules de silex et géodes de quartz.
	Phosphate à nodules de silex et débris de calcaire et marne.
	Marne gypseuse, blanchâtre, à nodules de silex, résiduellement phosphaté.
	Faisceau phosphaté du
	1: CS + CB: Phosphate lumachellic à géodes de quartz.
	2: CM: Phosphate.
	Marne pélitique litée, résiduellement phosphaté.
	Phosphate coprolithique, à ciment marneux.
	Sondages d'exploration ORGM 2012-2014.

**Figure II.8 :** Coupe géologique représentant le prolongement des couches phosphatées du gisement de Bled El Hadba [8].

## II.5. Aperçu Hydrologique [8]

Les chaînes de montagnes de l'Atlas Saharien forment la ligne de partage des eaux entre la Méditerranée et le Sahara. D'un point de vue topographique, la zone de BEH appartient au bassin versant saharien et s'écoule finalement dans le Chott Melghir.

Il n'y a pas de cours d'eau pérennes dans la zone du projet ou à sa proximité. De nombreux modèles d'érosion dendritique et linéaire apportent la preuve de l'existence d'un écoulement des eaux superficielles pendant les périodes de précipitation abondantes.

La zone de Bled El Hadba est tributaire de l'Oued Horchane qui s'écoule vers le Sud dans le bassin versant Saharien puis se jette finalement dans le Chott Melghir ; Le ruissellement des eaux de surface provenant du site du projet s'écoule directement dans les bassins versants de l'Oued El Kef El Guidoumoude l'Oued El Louz, les deux Oued s'écoulant au Sud-Ouest de la zone du projet pour former l'Oued Horchane.

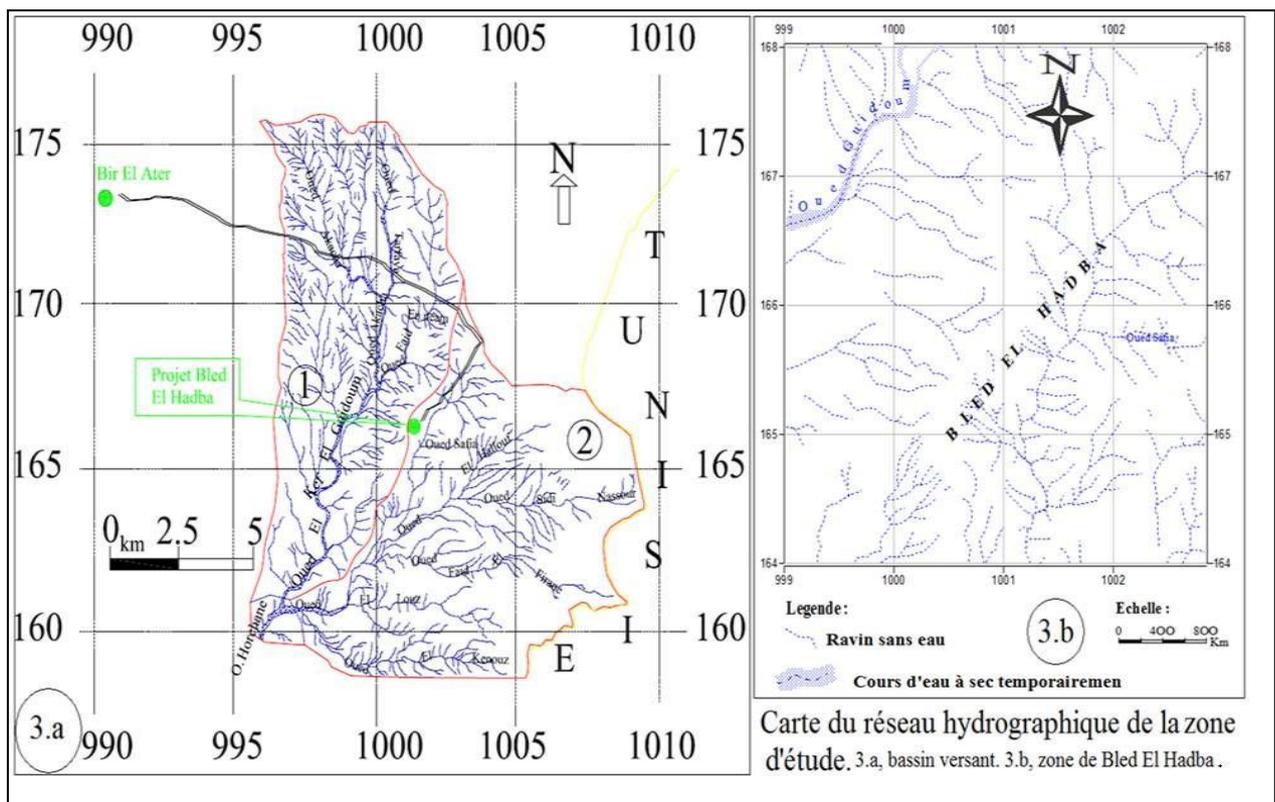


Figure II.9 : Réseau d'écoulement des eaux de surface [8].

## **II.6. La climatologie [8]**

Les conditions climatiques sont des conditions continentales types, caractérisées par des hivers froids et des étés chauds. La zone d'étude bénéficie d'un climat de transition entre la région semi-aride de Tébessa et la région subaride de Négrine.

### **II.6.1. Température**

Sur une moyenne de 5 années, les températures évoluent de la même manière; en hiver elles fluctuent autour de 7 °C, et elles augmentent progressivement à partir du mois de mai, jusqu'à 26.5 °C en été et diminuent en automne passant de 23 à 7 °C. Les températures extrêmes enregistrées dans la région d'étude sont les suivantes :

- ✓ -6.2°C en février 1996.
- ✓ 45.8°C en août 1993.

### **II.6.2. Pluviométrie**

Les précipitations durant la période estivale sont extrêmement rares et les périodes sans pluies pendant plus d'un mois, sont fréquentes.

Les périodes pluvieuses varient entre 66 et 107 jours/an. Les orages sont importants et fréquents particulièrement durant les mois d'août et septembre.

La neige est rare. Mais la température descend souvent en dessous de 0° C en hiver.

### **II.6.3. Le vent**

D'après la compilation établie par SOMIPHOS à la fin de 2013. Les principales caractéristiques des conditions de vent sont les suivantes:

- Les vents dominants sont du Nord-Ouest, du Sud-Ouest et de l'Ouest.
- Les vents du Nord-Est, du Nord et du Nord-Ouest apportent souvent des précipitations pendant la saison humide et adoucissent le climat en réduisant les températures élevées pendant l'été; leur fréquence est de 46 %.
- La partie Nord de la wilaya n'est pas très exposée au Sirocco. Les montagnes de Tébessa et de Nememcha constituent une barrière naturelle qui réduit l'intensité de ce vent.

## II.7. Conclusion

L'étude géologique est une étape primordiale dans tout projet minier. Son but est la détermination de mode de formation d'un gîte minéral, son dépôt et ses caractéristiques (morphologie, structures...).

Avant de procéder à l'exploitation d'un gisement, il est nécessaire de mettre en évidence la valeur industrielle de ce dernier. Pour ce faire, les bureaux d'études procèdent le plus souvent à faire des estimations des réserves minières, à partir de l'interpolation spatiale des variables régionalisées.

**Chapitre III : Présentation état  
actuel, perspectives et  
développement du Secteur.  
Influence du processus de  
transport sur la production**

### **III.1. Introduction**

Face à la demande mondiale en matières premières et notamment en phosphates, l'Algérie vise à lancer la production du gisement de Bled El Hadba en 2024.

Dans ce contexte la Société des Mines de Phosphate SOMIPHOS possède un objectif principal pour devenir un important fournisseur de phosphate.

A partir du démarrage de l'exploitation à plein régime, une partie de la production sera destinée à l'exportation chaque année et le reste de la production sera vendu à l'usine d'acide phosphorique qui devrait être construite et mise en service en 2024 dans la région d'Oued Kebrit située au nord de Tébessa.

### **III.2. Le projet de phosphate intégré PPI [14]**

Ce projet permettra à l'Algérie d'être l'un des principaux pays dans le monde dans l'export d'engrais et de fertilisants. Actuellement, l'Algérie produit près de 3 millions de tonnes d'urée. Avec ce projet, l'Algérie produira plus de 6 millions de tonnes de produits phosphatés annuellement", a fait savoir M. Hakkar dans une allocution à l'occasion de la cérémonie de signature d'un pacte d'actionnaires pour la création, en partenariat algéro-chinois, d'une société par actions de droit algérien pour entamer le développement du PPI.

Selon le PDG de Sonatrach, ce projet impliquant les groupes algériens ASMIDAL (filiale de Sonatrach) et Manadjim El Djazair (MANAL) d'une part, et les sociétés chinoises " Wuhuan" et "Tian'an" d'autre part, avec un investissement très important allant jusqu'à 7 milliards de dollars, s'étalera sur 4 wilayas de l'est du pays.

Il comprend, également, a-t-il dit, des projets d'infrastructures connexes nécessaires pour accompagner le PPI, estimés à 5 à 6 milliards de dollars.

### **III.3. Exploitation minière du gisement de B.E.H [14]**

Il existe pratiquement trois modes d'exploitation des mines à savoir, le mode d'exploitation à ciel ouvert, l'exploitation souterraine et le mode d'exploitation combinant les deux.

#### **III.3.1. Exploitation minière en ciel ouvert**

Il existe plusieurs méthodes d'exploitation à ciel ouvert selon la morphologie et la géologie du gisement, on cite ; la méthode d'exploitation par fosses emboîtées, exploitation par enlevures successives de stérile et l'exploitation par tranches successives.

Lors du choix d'une méthode d'exploitation, on prend en considération plusieurs facteurs notamment la morphologie du gîte (la forme, l'étendue, épaisseur...etc.)

### III.3.2. Exploitation minière en souterraine

On entend par exploitation : toute opération qui consiste à extraire ou à séparer des gîtes naturelles ou des substances minérales, pour les disposer à des fins utilitaires ou esthétique.

L'exploitation souterraine est une méthode qui sert à soutirer des minéraux ayant une valeur économique, elle est nécessaire de la construire lorsque les roches utiles ou les gisements de minéraux précieux sont enfouis profondément sous la surface du sol

### III.4. la méthode d'exploitation proposée

Compte tenu des conditions géologiques du gisement et l'état actuel de la mine, la méthode d'exploitation adaptée est à ciel ouvert avec des gradins allants hauts en bas. La fosse du gisement de Bled El Hadba a été divisée en deux parties :

1/ la première partie dénommé tranchée d'ouverture dont l'épaisseur du sable est de 15m.

2/ la deuxième partie (grosse fosse) ou l'épaisseur des sables est supérieurs à 15m [14]

La conception de la fosse est basée sur des paramètres géotechniques de stabilité des talus (facteur de sécurité 2 1) à savoir :

Pente de la fosse finale

- sable = 21°
- calcaire = 57
- phosphate=57
- marne = 8 Gradin
- sable = 30
- calcaire =57
- phosphate = 70
- marne = 15 Les paramètres d'exploitations
- hauteur du gradin = 9- 15 m
- largeur de la berme minimale =6m
- pente de la rame = 10
- Largeur de la rampe = 36 m [14]

Dans le gisement de bled el hadba, DMT a planifié 03 années de pré - production avant la mise en œuvre de l'usine de traitement afin de libérer du phosphate et extraire du stérile de recouvrement primaire pour préparer les plates-formes de l'infrastructure intra- mine et du traitement, la voirie, les plates-formes des stocks de tout venant et des concentrée et les plates-formes de décharges du sable.[14]

Pour les trois premières années, DMT a planifié l'extraction de 6 MT de phosphate tout venant, étant données que les installations de concassage primaire ne seront pas disponible avant la mise en œuvre de l'usine, le phosphate tout venant sera stockés près de l'usine.[15]

Avec la mise en œuvre de l'usine, ce stock est utilisé afin d'alimenter l'usine .en 2024, 02 MT de phosphate des stocks et 6MT de phosphate tout venant sont utilisées afin de produire 03 MT de minerai de phosphate sec et marchand.[15]

### III.4.1. Production annuelle et régime de travail [14]

La production de phosphate commence dès les premières années 6 000 000 Tonnes de minerai tout venant et se poursuit avec 11325 000 Tonnes la deuxième année jusqu'à la fin de l'épuisement de la mine

### III.4.2. Régime de travail

- jour ouvrables= 330 j/an
- nombre de poste par jour = 03 p/j
- durée d'un poste = 8 heures
- coefficient d'utilisation de temps = 80 %

### III.4.3.Tonnage extrait (En million de tonnes)

Année	-3	-2	-1	+1
Phosphate	736	779	1208	4921
Stérile	1263	3220	6791	7078

Tableau III.1 : Tonnage extrait. [14]

### III.4.4. Equipements utilisés

Année	-3	-2	-1	+1
Pelle 15m <sup>3</sup>	1	1	1	2
Camion 91t	2	2	2	11
Foreuse	1	1	1	1
Bull D8	2	2	2	3

<b>Chargeuse</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<b>Niveleuse</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<b>Camion en eau</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<b>Camion carburant</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>

**Tableau III.2 : Equipements utilisées [14]****III.4.5. Réserves exploitables [14]**

Les réserves exploitables de la mine de bled el hadba est estimés a 334 000 000 Tonnes

<b>Désignation</b>	<b>Tonnage (total)</b>	<b>1<sup>er</sup>année</b>	<b>2<sup>em</sup>année</b>	<b>3<sup>em</sup>année</b>	<b>4<sup>em</sup>année</b>	<b>5<sup>em</sup>année</b>
<b>Phosphate</b>	<b>344000</b>	<b>4255</b>	<b>11325</b>	<b>11325</b>	<b>11325</b>	<b>11325</b>
<b>Sable</b>	<b>1200 000</b>	<b>20200</b>	<b>6945</b>	<b>14200</b>	<b>4200</b>	<b>32600</b>
<b>Calcaire</b>	<b>541000</b>	<b>48300</b>	<b>30844</b>	<b>43100</b>	<b>28000</b>	<b>55500</b>

**Tableau .III.3 : Réserves exploitables [14]****III.4.6. Plan minier pour la durée de vie de la mine**

<b>Phosphate</b>		<b>Calcaire</b>		<b>Sable</b>		<b>Total</b>	
<b>Période</b>	<b>Quantité exploitée</b>	<b>Période</b>	<b>Quantité exploitée</b>	<b>Période</b>	<b>Quantité Exploitée</b>	<b>Période</b>	<b>Quantité exploitée</b>
-3>+1	5.00 MT	-3	<2.00MT	-3	<0 MT	-3>10	5 à 30 MT
2>10	15.00MT	-2>+3	2.00 MT à 4 MT	-2>10	<10 MT	11>16	<40vers<50MT

11	10.00MT	+4>30	10.00MT à 14MT	11>15	20 MT	16>30	50 à 70 MT
11> 30	10.00MT à 15.00MT	/	/	16>30	30 MT à<40 MT	/	/

**Tableau III.4 : Plan minier pour la durée de vie de la mine [14]**

### **III.5. Variation des quantités de phosphate produite dans le temps**

La variation des quantités de phosphate, de calcaire, de sable et de totale dans le temps, on constate ce que suit :

#### **III.5.1. Variation des quantités de phosphate produite dans le temps**

Dans la période -3 à 1: la quantité exploitée est 6.00 Mt;

L'exploitation s'effectue dans les affleurements jusqu'à la limite des sables, l'exploitation est régie par la présence des maisons ;

De 2 à 10:  $Q_u = 15.00$  Mt;

L'année 11 :  $Q_u = 10.00$  Mt ; la phase 2 : l'introduction de première roue pelle pour l'extraction des sables;

De 11 à 30: la Quantité de phosphate varie entre 10.00 Mt et 15.00 Mt; l'introduction de deuxième roue pelle dans l'année 16, on constate l'accroissement des produits exploités.

#### **III.5.2. Variations des quantités calcaires au cours du temps**

Durant l'année -3 :  $Q_u < 2.00$  Mt ; entre les années -2 et +3 : la Quantité de calcaires varie entre 2.00 Mt et 4 Mt ; entre les années +4 à 30: la Quantité de calcaires varie entre 10.00 Mt et 14 Mt;

On constate une augmentation de quantité de calcaires pendant la période 4 à 30, on utilise cette matière pour la construction de la décharge de sable et l'usine de traitement.

#### **III.5.3. Variations des quantités sable au cours du temps**

A l'année -3 la quantité est  $< 0$  Mt ; de l'année -2 à 10: est  $< 5$  Mt ; de l'année 11 à 15: est 20; de l'année 16 à 30 : de 30 Mt vers  $> 40$  Mt,

L'extraction des sables est estimée à 0 et à  $< 5$  Mt au début de l'exploitation de phosphate car ce dernier se réalise par pelles et camions, l'accroissement de tonnage de sable ne s'effectue que à partir de l'année 11, l'introduction de première roue pelle et la deuxième à l'année 16,

### **III.5.4. Variations des quantités totales au cours du temps**

Durant l'année -3 à 10: de 5 à 30 Mt ; de l'année 11 à 16: <40 vers < 50 Mt ; de l'année 16 à 30 : 50 à 70 Mt.

On constate un accroissement des quantités totales à cause l'augmentation des sables enlevés grâce aux systèmes roue pelle afin d'extraction des sables,

### **III.5.5. Variations des quantités phosphate, calcaire et sable au cours du temps (du l'année 31 au 75)**

De 31 à 50 : les quantités des phosphates et calcaires sont < 200 Mt mais le sable varie entre +400 M et +500 Mt

De 51 à 60: les quantités des phosphates sont < 200 Mt, les calcaires < 400 Mt et les sables dépassent le 1000 Mt

De 61 à 70 : les sables sont < 1000 Mt;

De 71 à 75: les phosphates < 100, les calcaires 200 Mt et les sables < 400 Mt

On constate que les quantités des sables sont fortes que les quantités phosphate et calcaire et le sable atteint son max durant 51 à 60

### **III.5.6. Variations des quantités phosphate traité et teneur de phosphate traité**

A l'année n° 1 les quantités de phosphate traité 5 Mt et son teneur > 10%; période de construction d'usine de traitement;

De l'année n° 2 au 30 les quantités de phosphate traité > 10 Mt et son teneur > 20%.

### **III.5.7. Variations de production de la roue pelle 1**

De l'année -3 à 10 les quantités de sable enlevé sont nul;

De l'année 11 à 30 l'accroissement des quantités de sable extraite de + 15 à + 20 Mt;

Cette augmentation est grâce à l'introduction de système de roue pelle 1.

### **III.5.8. Variations de production de la roue pelle 2**

De l'année -3 à 15 les quantités de sable enlevé par la roue pelle 2 sont nul;

De l'année 16 à 30 l'accroissement des quantités de sable extraite de 10 à + 20 Mt;

Cette augmentation est grâce à l'introduction de système de roue pelle 2.

### **III.5.9. Variations de nombre des camions pour transport phosphate et de stérile**

L'année -3: pour phosphate et stérile : < 2 camions;

L'année -2: pour phosphate < 2 et stérile: > 2 et < 4 camions ;

L'année -1: pour phosphate 2 et stérile : 6 camions;

L'année 6,7 et 8 pour stérile 12 camions, de l'année 9 à 30 les nombres des camions de stérile ne dépasse pas 10 et le phosphate ne dépasse pas 7;

On constate que pendant les premières années d'exploitation, on a besoin que à 2 ou 4camions pour le transport, puisque ce la période de l'exploitation dans les affleurements et la préparation des décharges et de construction de l'usine de traitement

Le nombre des camions de stérile est toujours supérieur que celle de camions pour phosphate, à cause de volume important de stérile surtout le sable.[14]

### **III.6. Influence du processus de transport sur la production du phosphate de Bled El Hadba [15]**

Le processus de transport a une influence importante sur la production du phosphate de Bled El Hadba, et ce à plusieurs niveaux :

#### **III.6.1. Logistique d'approvisionnement**

Le transport des intrants nécessaires à l'exploitation minière, tels que les produits chimiques, les pièces de rechange et les équipements, est crucial pour assurer le bon fonctionnement des installations. Un système de transport efficace permet d'approvisionner le site minier en temps et en heure, ce qui minimise les arrêts de production et optimise la productivité.

#### **III.6.2. Évacuation de la production**

Le transport du minerai de phosphate brut extrait du gisement vers les unités de traitement et de conditionnement est une étape clé du processus de production. Un système de transport performant permet d'évacuer le minerai rapidement et efficacement, ce qui fluidifie la chaîne de production et garantit la mise à disposition continue de la matière première pour les étapes ultérieures.

#### **III.6.3. Réduction des coûts**

Le transport représente une part importante des coûts d'exploitation minière. Un processus de transport optimisé permet de minimiser ces coûts en optimisant les itinéraires, en réduisant les temps de transport et en choisissant les modes de transport les plus adaptés. Cela contribue à améliorer la rentabilité de l'exploitation minière et à maintenir la compétitivité du phosphate de Bled El Hadba sur les marchés internationaux.

#### **III.6.4. Qualité du produit**

Un transport soigneux du minerai de phosphate est essentiel pour préserver sa qualité. Des conditions de transport inadéquates peuvent entraîner la dégradation du minerai, ce qui peut affecter sa teneur en phosphate et sa valeur commerciale. Un système de transport respectueux des propriétés du minerai permet de garantir la qualité du produit final et de répondre aux exigences des clients.

### **III.6.5. Impact environnemental**

Le transport de phosphate peut avoir un impact environnemental non négligeable, notamment en termes d'émissions de gaz à effet de serre et de pollution atmosphérique. La mise en œuvre de pratiques de transport durables, telles que l'utilisation de véhicules éco énergétiques et l'optimisation du remplissage des camions, permet de réduire cet impact et de contribuer à la protection de l'environnement.

### **III.6.6. Respect des délais de livraison**

Un système de transport fiable permet de respecter les délais de livraison des clients, ce qui est essentiel pour maintenir la satisfaction des clients et la réputation de l'entreprise. La capacité à livrer le phosphate de Bled El Hadba dans les délais convenus est un facteur clé de compétitivité sur le marché international.[15]

## **III.7. Conclusion**

Le gisement de phosphate de Bled El Hadba est un atout majeur pour l'économie algérienne.

Son exploitation contribue de manière significative à la production nationale de phosphate et aux recettes d'exportation du pays.

Le développement d'un système de transport performant et durable est essentiel pour optimiser la production du phosphate de Bled El Hadba et garantir sa compétitivité sur les marchés internationaux.

En tirant parti de ses ressources minières et en investissant dans des infrastructures de transport modernes, l'Algérie peut consolider sa position de leader mondial dans le secteur des phosphates.

**Chapitre IV: Présentation état  
actuel, perspectives et  
développement du Complexe pour  
la fabrication de l'acide  
phosphorique.**

## IV.1 Introduction

L'acide phosphorique est un composé chimique très important et largement utilisé dans différents secteurs industriels. Il joue un rôle essentiel dans l'agriculture, l'industrie alimentaire, la production d'engrais et bien d'autres domaines.

Quant au complexe minier d'Oued kebrit, il commencera par exploiter le phosphate extrait des mines du Blad El Hadba et de Djebel Onk et le transformer en acide phosphorique, en en vendant 80 % à l'étranger et en en exploitant 20 %. Dans diverses usines situées dans le pays.

L'acide phosphorique peut être utilisé pour produire des engrais phosphatés, qui sont essentiels pour améliorer la fertilité des sols et augmenter la productivité agricole. Il est également utilisé dans l'industrie alimentaire pour ajuster l'acidité des produits, comme les boissons gazeuses et les produits laitiers.

## IV.2 Description de la région d'Oued Kebrit

### IV.2.1 SITUATION GEOGRAPHIQUE

Située au sud de la wilaya de Souk-Ahras, faisant zone limitrophe avec la wilaya de Tébessa, la commune d'Oued kebrit est limitée au nord par la commune de M'daourouche, et à l'est et au nord est par la commune de Dréa, à l'ouest par la commune de Oum ladhaeime et au sud-est et au sud respectivement par la commune de Elaouinete (claire fontaine) et Ouenza.

Totalisant une superficie de 268 km<sup>2</sup>, elle s'étale du nord au sud sur une distance de près de 20 km, et de l'est à l'ouest sur une distance avoisinant 22,5 km entre les deux bornes les plus éloignées.

Sur le plan géographique, la commune d'Oued kebrit se situe à l'extrémité est de la région des hautes plaines caractérisée par un paysage steppique aride, cette région est constituée notamment de hauts glacis à pente moyenne de 5 % et un relief largement ondulé. [16]



**Figure IV.1** : La zone d'Oued Kebrit.[16]

## IV.2.2. RELIEF (topographie)

D'une manière générale, le relief du territoire de la commune d'Oued kebrit est caractérisé par une topographie assez animée qui vient briser la monotonie de la région des hautes plaines dont elle constitue l'extrémité est.

Aussi la partie nord est constituée de ravinements denses qui viennent déchirer les petites en formes de berceaux, ponctués elles aussi par quelques ravinements isolés. La partie centrale est caractérisée par ravinements très intenses (Bad lands) que constituent les monts dit Kef MKHIRIGA et BOUDJABER, lesquels avec les affluents de oued mellague et oued kebrit, créent des versants instables. La partie est et sud-est est caractérisée par des versants instables formés de plaines alluviales avec un relief de roches moyennement dures.

Notons aussi qu'une série d'affluents de Oued mellègue et oued kebrit viennent animer la topographie de la région en allant du nord vers le sud sur toute la partie nord du territoire de la commune, et de l'ouest vers l'est sur la partie nord du territoire de la commune et l'ouest vers l'est sur la partie sud-ouest de la commune. C'est ainsi que l'on distingue d'après la carte géographique que l'altitude moyenne de la commune est un peu plus élevée que 700 m.

Get Attachement la montagne de l'horloge(m'khiriga):

Cette montagne constitue l'éléments naturels les plus marquants de la région (991m), elle est rendue célèbre par la grotte qui lui confiera le sobriquet de "montagne de de l'horloge", il s'agit d'un trou percé au sommet de cette montagne. L'existence du Basalte dans la montagne nous fait penser qu'elle est une d'origine volcanique. Des grottes creusées dans la montagne expliquent qu'il y'avait l'exploitation minière, à la fin du 19<sup>me</sup> siècle, et début de 20<sup>me</sup>, des anciens citoyens tel que Moussa Ounassi racontent qu'il avaient vu pendant leur jeunesse, des wagons abandonnés dans les grottes.[16]

## IV.2.3 FORMATION GEOLOGIQUE

Les études géologiques faites sur la région font ressortir 03 ères de formations.

### 1<sup>ere</sup> ère: le quaternaire :

durant (lequel des dépôts de limon et cailloutis se sont formés de part et d'autres des affluents, et où l'on note aussi la présence d'alluvions récent à dominantes sables limoneuse.

### 2<sup>ème</sup> ère: le tertiaires :

Durant lequel des dalles de grès peu épaisses se sont formées, très altérables par le fait érosif, elles se trouvent en saillis dans les marnes argileuses. Nous remarquons aussi une intercalation de petites bancs de calcaires gréseux avec les marnes à la limite est de la commune sur l'axe nord sud, en allant de oued keberit à boussessou.

### 3<sup>ème</sup> ère: le secondaire:

Elle a permis la formation de marnes argileuses et marne calcaires apparentes au sud du chef-lieu de la commune représenté par le massif montagneux de djebel M'KHRIGA situé à l'ouest du chef-lieu avec

une altitude de 991 m avec une orographie du nord-ouest au sud-est, on remarque aussi une chaîne de montage au nord-ouest de la commune dite koudiate Oum ladhaeime sghira d'une altitude de 1008m avec une orographie sud-ouest au nord est. au nord de la commune se dresse le massif montagneux de DJEBEL

ESSNOUBER 1039m d'altitude avec une orographie du sud-ouest au nord-est. Le relief descend progressivement vers les parties basses que constituent les plaines en allant vers la vallée de oued mellague pour atteindre une altitude de 500 m au sud-est de la commune .Ainsi qu'une série de calcaires-marneux et de marnes argileuses, apparente surtout dans la partie sud-ouest de la commune.

Le territoire la commune de Oued kebrit est caractérisé par le passage d'un nombre important d'affluents de oued m'élague et oued kebrit. Ils prennent sources pour la quasi-totalité au nord de la commune depuis les collines basses et moyennes ainsi que les plaines alluviales se déversent soit à oued kebrit qui déverse à oued mellague ou directement à mellague. [16]

### **IV.3 Réalisation du complexe de phosphate d'Oued Kebrit**

La réalisation du complexe de transformation du phosphate dans la commune d'Oued Kebrit (Souk-Ahras) a indiqué, le directeur de wilaya de l'industrie et des mines, Kamel Kafi. Prévu sur 600 hectares, ce projet de l'entreprise Ferphos (Annaba) comprendra trois unités.

La première produira 4.500 tonnes/jour d'acide sulfurique, la seconde 1.500 tonnes/jour d'acide phosphorique et la troisième 3.000 tonnes/jour d'un produit intermédiaire rentrant dans la production d'ammoniac qui sera, elle, assurée par une autre usine prévue à Hadjar Soud (Skikda).[17]

Le complexe sera opérationnel vers 2024 et emploiera 1.300 travailleurs, a précisé le même responsable qui a indiqué que la phase de réalisation générera 5.000 emplois temporaires. Pas moins de 80 % de la production sera destinée à l'exportation et 20 % vers le marché national, en fournissant les intrants nécessaires à la production de fertilisants et engrais, de sorte à contribuer à la stabilisation de leurs prix et à la multiplication des capacités de production nationale, a encore assuré le directeur de l'industrie et des mines. Une commission composée de représentants des deux wilayas de Souk-Ahras et Tébessa, et de responsables du groupe Ferphos d'Annaba a été mise sur pied dernièrement pour œuvrer à lever les entraves susceptibles de freiner l'engagement des travaux de réalisation, a fait savoir M. Kafi. L'existence d'une voie ferroviaire et la proximité des mines de phosphate de Djebel Onk (Tébessa) sont les principaux atouts du site d'Oued Kebrit, dont les besoins annuels en eau estimés à 40 millions m<sup>3</sup> du futur complexe seront couverts par les deux barrages d'Oued Mellag (150 millions m<sup>3</sup>) et Oued Djedra (35 millions m<sup>3</sup>) en cours de réalisation dans la wilaya de Souk-Ahras.

Le ministre de l'Industrie et des Mines Abdeslam Bouchouareb, avait affirmé, que le programme de développement de la production nationale de phosphate vise à porter la capacité actuelle estimée à 1,2 million tonnes/an à 6 millions tonnes/an d'ici 2018 et 10 millions tonnes/an en 2020, de sorte, a-il noté, à renforcer l'industrie nationale des engrais et à transformer le pays en leader mondial de la filière.[17]

### **IV.4 Emplacement de complexe de Phosphate D'oued Kebrit**

Le complexe chimique projeté sera implanté sur un terrain de 350 hectares à El Aouinet, située à 60 km de la ville de Tébessa (environ 600 km à l'Est d'Alger). Il permettra de valoriser les minerais de phosphate des gisements de Bled El Hadba et Djebel Onk situés dans la même région. Selon ALNUTRAV il devra pouvoir produire :

- 230.000 T/An d'Acide Sulfurique.
- 460.000 T/An Acide Phosphorique.

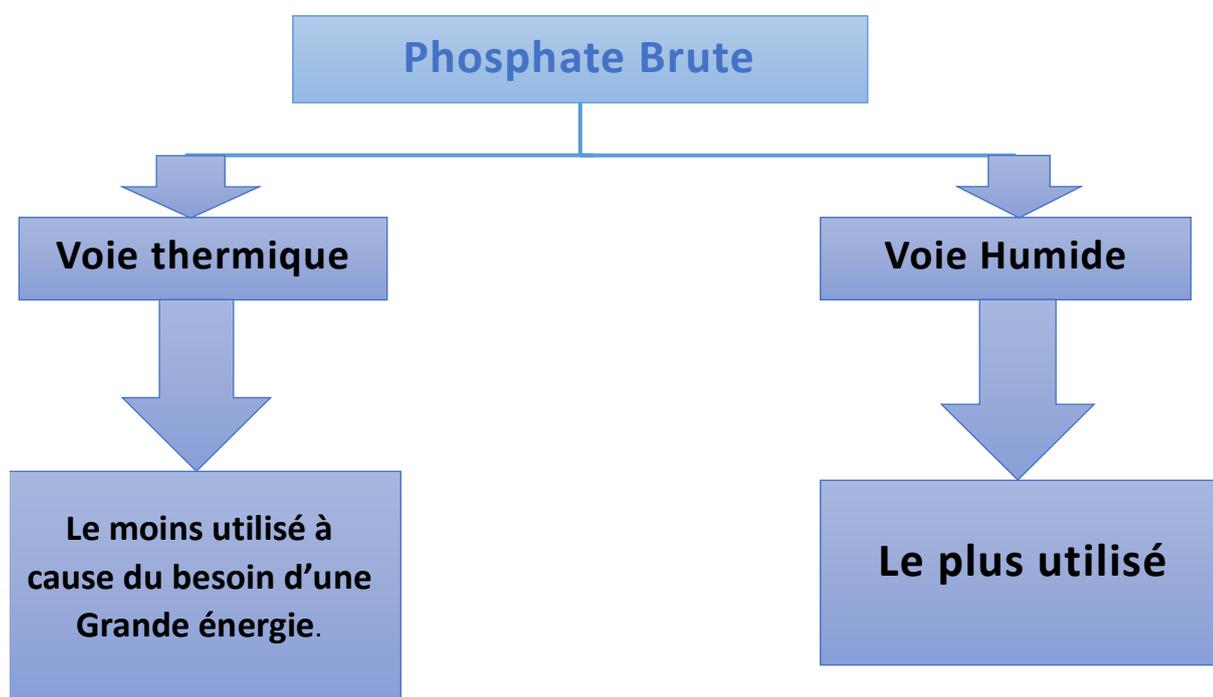
- 100.000T/An de Phosphate Mono-Calcique (MCP).
- 150.000 T/An de Phosphate Di Calcique (DCP).
- 120.000 T/An d'Engrais Triple Super Phosphate (TSP).
- 80.000 T/An d'Engrais Sulfate de Potassium (SOP).
- 65.000 T/An de Chlorure de Calcium (CaCl<sub>2</sub>). [17]

#### IV.5 Procédés de production de l'acide phosphorique

En générale deux procédés sont utilisés avec différentes matières premières pour La production de l'acide phosphorique [18]:

Procédé de fabrication par voie thermique.

Procédé de fabrication par voie humide.



**Figure IV.2 :** procédés sont utilisés pour La production de l'acide phosphorique [18]

La fabrication d'acide phosphorique fait intervenir 3 opérations principales :

Préparation du minerai : qui est soit le phosphate sec, soit la pulpe de phosphate.

Attaque du minerai par un acide fort (en général acide sulfurique, mais acides nitriques ou chlorhydrique peuvent également être utilisés).

Filtration pour la récupération de l'acide phosphorique.

Remarque : Les procédés par voie humide sont largement utilisés dans le monde industriel du fait qu'il donnent un acide de faible prix de revient. [18]

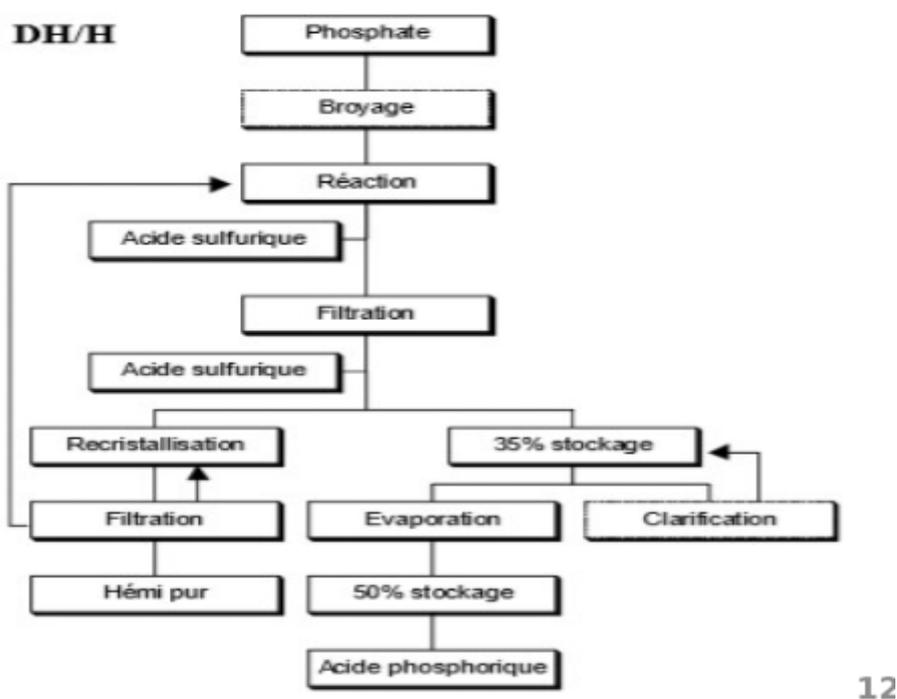
## IV.6 Les installations utilisées dans complexe d'Oued Kebrit pour traiter phosphate à L'acide phosphorique

La roche phosphatée (RP) est la matière première utilisée dans la fabrication de la plupart des engrais phosphatés sur le marché. Avec accès à des minerais riches en phosphore, le Maroc (OCP), la Chine et le US sont les acteurs les plus importants dans l'industrie du phosphate.

La roche est provenant des mines est d'abord envoyée aux unités de valorisation pour séparer le sable et l'argile et pour éliminer les impuretés.

La plupart des procédés sont humides pour faciliter le transport et pour réduire la poussière.

Le Complexe d'Oued Kebrit utilise plusieurs installations spécialisées pour traiter le phosphate et produire de l'acide phosphorique. Voici les principales installations qui peuvent être impliquées dans ce processus [18] :



**Figure IV.3** : les étapes de fabrication du phosphate. [18]

**IV.6.1. Broyage** : La roche phosphatée est d'abord broyée en une poudre fine. Cela permet d'augmenter la surface de contact entre la roche et l'acide sulfurique, ce qui favorise la réaction chimique qui aura lieu par la suite.

**IV.6.2. Réaction** : La poudre de roche phosphatée est ensuite mélangée à de l'acide sulfurique concentré. Cette réaction chimique produit de l'acide phosphorique et du gypse.

**IV.6.3. Filtration** : Le mélange réactionnel est ensuite filtré pour séparer le gypse, qui est un sous-produit insoluble, de l'acide phosphorique.

**IV.6.4. Evaporation :** L'acide phosphorique brut est ensuite évaporé sous vide pour augmenter sa concentration en acide phosphorique. Cette étape permet d'obtenir un acide phosphorique d'environ 50 % de concentration.

**IV.6.5. Clarification :** L'acide phosphorique concentré est ensuite clarifié pour éliminer les impuretés. Cette étape peut être réalisée par filtration ou par centrifugation.

**IV.6.6. Stockage :** L'acide phosphorique purifié est ensuite stocké dans des réservoirs en acier inoxydable.

**IV.6.7. Recristallisation :** Une partie de l'acide phosphorique stocké peut être soumise à une recristallisation pour obtenir un acide phosphorique de qualité supérieure. Cette étape permet d'obtenir un acide phosphorique d'environ 35 % de concentration.

**IV.6.8. Stockage :** L'acide phosphorique recristallisé est ensuite stocké dans des réservoirs en acier inoxydable.

## **IV.7 Définition de L'acide Sulfurique et L'ammoniac :**

**IV.7.1 L'acide Sulfurique :** L'acide sulfurique est un composé chimique de formule  $H_2SO_4$ . C'est l'un des acides forts les plus couramment utilisés en laboratoire et dans l'industrie chimique. Il est incolore, dense et corrosif. L'acide sulfurique est utilisé dans de nombreux processus industriels, notamment dans la production d'engrais, le raffinage du pétrole, le traitement des métaux, la fabrication de produits chimiques et bien d'autres applications. Il est également présent naturellement dans certains environnements, comme dans les pluies acides, où il peut avoir des effets néfastes sur l'environnement. [18]

**IV.7.2 L'ammoniac :** est une molécule chimique composée d'azote (N) et d'hydrogène (H), avec la formule chimique  $NH_3$ . À température et pression ambiantes, il se présente sous forme de gaz incolore avec une odeur piquante et irritante. L'ammoniac est très soluble dans l'eau, formant une solution d'ammoniac aqueuse qui est couramment appelée ammoniac. [18]

## **IV.8 Utilisation :**

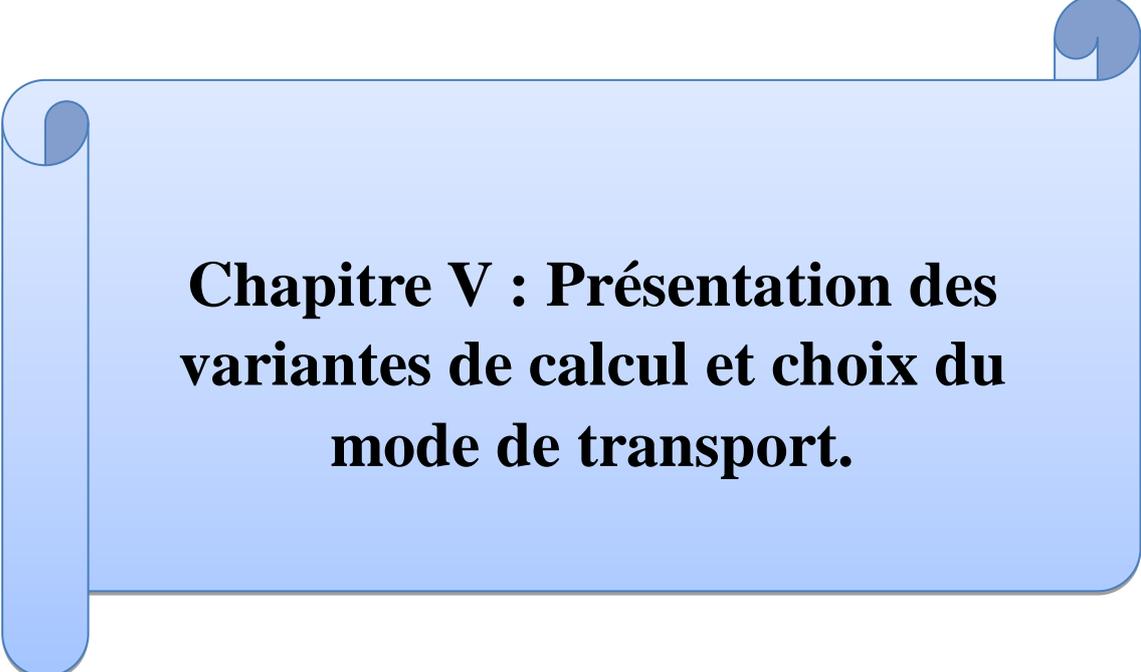
L'acide phosphorique est parmi les matières importantes de l'industrie chimique et c'est souvent le deuxième acide le plus utilisé après  $H_2SO_4$ . L'acide phosphorique sous forme de solution aqueuse est essentiellement utilisé dans les applications suivantes:

- La fabrication d'engrais superphosphates.
- La synthèse de détergents et de diverses formes de phosphates.
- Le décapage et le traitement antirouille de surfaces de métal.
- Le nettoyage des surfaces métalliques.
- Le nettoyage des équipements de production de l'industrie alimentaire.
- Les liants pour les matériaux réfractaires et céramiques.
- Le traitement des eaux usées.
- Les catalyses acides en pétrochimie.
- La synthèse de produits pharmaceutiques.
- Agent régulateur d'acidité, antioxydant.
- Teinture dans l'industrie textile. [18]

## **IV.9 CONCLUSION :**

La connaissance des propriétés de l'acide phosphorique est très importante, ainsi que les procédés de sa fabrication qui sont source de sa contamination par les métaux lourds et la matière organique.

La fabrication l'acide phosphorique peut être réalisée selon plusieurs voies en changeant les conditions de la réaction qui vont influencer le processus de cristallisation de sulfate de calcium.



**Chapitre V : Présentation des  
variantes de calcul et choix du  
mode de transport.**

## V.1. Introduction

Dans le cadre de l'exploitation minière, le transport du minerai est une composante essentielle du processus global, influençant directement l'efficacité opérationnelle, les coûts et la rentabilité du projet.

Dans cette optique, l'étude explore les différentes options disponibles pour le transport du minerai extrait, en tenant compte des caractéristiques géologiques, topographiques et logistiques spécifiques à chaque site minier. Cela inclut l'évaluation des alternatives telles que le transport par convoyeurs, camions, trains, ou encore par voie fluviale dans certains cas.

L'analyse prend également en considération des aspects économiques, environnementaux et sociaux, en examinant les coûts associés à chaque mode de transport, leur impact sur l'environnement, ainsi que leur influence sur les communautés locales.

## V.2. Les modes de transport

Le transport minier se fait selon plusieurs systèmes (par camion, par convoyeur à bande, ferroviaire...etc.).

Dans ce chapitre nous allons analyser et donner un aperçu général sur certains de ces systèmes, afin de faire un choix rationnel on ce qui concerne le transport de gisement de Bled El Hadba vers complexe d'Oued Kberit.

### V.2.1. Transport par pipeline

Appelé également transport par canalisation, il consiste à transporter des matières sous forme de pulpe au moyen de conduites, constituant généralement un réseau [19].

Contrairement aux autres formes de transport abordées, le système de transport par pipeline est stationnaire, et le minerai est en mouvement [20].

Beaucoup d'opérations dans les mines, se prêtent à une telle technologie, qui peut être efficace et économique. C'est une technologie neutre, ne produisant aucun bruit, chaleur, poussière ou tout gaz relativement toxique [21].

En théorie, l'utilisation de pompes élimine toutes les limites de la distance sur laquelle les minéraux solides doivent être transportés.

Les stations d'alimentation doivent être situées à proximité d'un approvisionnement permanent en eau.

Le taux d'usure dans les pipelines et les équipements associés dû à l'abrasion est étroitement lié à la concentration des solides pompés, à la taille des particules, à la vitesse d'écoulement et au diamètre du tuyau.

La résistance au glissement est proportionnelle à la densité du fluide, à la section transversale de la particule solide, au carré de la vitesse d'écoulement relative du solide et au nombre de Reynolds.

### V.2.1.1.Faisabilité économique

Le transport par pipelines s'avère techniquement et économiquement fiable pour : le charbon, les concentrés de minerai de fer, les concentrés de sulfure, le calcaire et les minéraux phosphatés.

Les coûts d'investissement initiaux sont importants mais les coûts d'exploitation sont faibles [22].

La granulométrie choisie doit minimiser le coût de préparation, de pompage et d'assèchement tout en maintenant des caractéristiques favorables dans le pipeline [21].

L'aspect économique de ce moyen de transport, est influencé par l'abrasivité du minerai et sa densité.

### V.2.2.Transport par téléphérique

Dans ce système, le matériel de transit est transporté dans des bennes, spécialement conçues, se déplaçant à l'aide de câbles suspendus et portés par des pylônes en acier laminé, en bois ou en béton, selon les conditions locales.

La distance entre les pylônes peut être considérable, permettant de traverser des terrains extrêmement accidentés incluant des endroits autrement inaccessibles.

Habituellement, les téléphériques suivent une ligne droite, mais des déviations peuvent être effectuées à l'aide de stations d'angle.

Ils sont conduits dans des sections, ainsi, les plus longs sont composées de plusieurs sections ayant chacune son propre système de conduite.

Ce qui permet une flexibilité du système et le chargement ou le déchargement intermédiaires. [21]



Figure V.1: Téléphérique de la Mine de Thio, Calédonie. [23]

### V.2.3. Convoyeurs aériens

C'est un concept novateur pour transport sur de longues distances, combinant les avantages des convoyeurs continus et de l'ingénierie éprouvée des câbles.

Ces convoyeurs permettent des dénivelés allant jusqu'à 1 000 m, pour une longueur de 30 km en une seule section et une portée entre deux pylônes peut atteindre 1 500 m (Figure V.2). L'installation permet également le transport de matériaux sur des pentes de 60°, avec une consommation faible d'énergie. [24]



**Figure V.2** : Convoyeur à câble aérien (RopeCon). [24]

#### **V.2.4. Transport ferroviaire**

Dans des conditions favorables, Le transport par train est théoriquement le plus économique, mais il manque beaucoup de flexibilité [25].

L'avantage de ce moyen de transport augmente avec l'augmentation de la distance de transport et de tonnages de production.

La plus importante exigence de ce système, est de maintenir l'inclinaison des rails faible (0,5 to 1%). Un maximum de 3% en montée et de 4% en descente.

Des pentes extrêmes de 8 à 9% sont atteintes dans certains cas. [26]

Cette méthode de transport est considérée quand la mine a une longue vie et d'une production importante (>100 Mt/an) et de larges espaces pour assurer un emplacement permanent ou semi-permanent des lignes ferroviaires. [27]

##### **V.2.4.1. Eléments d'un système de transport par train**

Dans des conditions favorables, Le transport par train est théoriquement le plus économique, mais il manque beaucoup de flexibilité [25].

L'avantage de ce moyen de transport augmente avec l'augmentation de la distance de transport et des tonnages de production. La plus importante exigence de ce système, est de maintenir l'inclinaison des rails faible (0,5 to 1%).

Un maximum de 3% en montée et de 4% en descente.

Des pentes extrêmes de 8 à 9% sont atteintes dans certains cas. [26]

Cette méthode de transport est considérée quand la mine a une longue vie et d'une production importante (>100 Mt/an) et de larges espaces pour assurer un emplacement permanent ou semi-permanent des lignes ferroviaires. [27]

### **V.2.4.2. Eléments d'un système de transport par train**

Les trois parties intégrantes qui représentent la base du transport par chemin de fer, sont :

a/ Voies ferrées : Les voies ferrées comprennent des structures inférieures (les chaussées et les tranchées). La structure supérieure est constituée de ballasts (ensemble des pierres concassées qui maintiennent les traverses d'une voie ferrée), de traverses (en bois, en fer ou en béton) et de rails lourds avec des éléments de fixation.

b/ Matériel roulant : Le matériel roulant se compose des wagons et des locomotives :

– Wagons : Les capacités des wagons pour les voies normales (grand écartement) varient entre 22 et 58 m<sup>3</sup>. Ce qui correspond à un chargement de 50 à 180 t.

Locomotive : deux types de locomotives sont actuellement utilisés dans les mines à cielouvert, électriques et diesel. [25]

Généralement, c'est des transporteurs publics qui gèrent le transport ferroviaire, dans ce cas il ne relève pas de la société minière.

Cependant, la mine conserve le contrôle du chargement et du déchargement des trains et peut influencer le choix du type de wagons à utiliser.

Pour des débits allant jusqu'à plusieurs millions de tonnes par an, il est préféré d'utiliser des trains-blocs [20]

c/ Train-bloc : Un train-bloc est composé de wagons transportant un seul type de charge, pour une seule destination, sans interruption entre le point de chargement et de déchargement.

Cela se traduit par une réduction du temps de transit et des coûts de transport.

Le plus grand train dans le monde est un train-bloc, transportant du minerai de fer en Australie-Occidentale.

Il fait plus de 7 km de longueur et composé de 8 locomotives et de 682 wagons, transportant plus de 80 000 t de minerai sur une distance de 275 km. [20]

#### **V.2.4.2.1. Chargement et Déchargement**

En supposant que le train-bloc comprenait 100 wagons à 100 t chacun, il est nécessaire de stocker au moins 10 000 tonnes de produit extrait prêt au chargement du train.

La méthode la plus répandue et qui a évolué est l'utilisation d'un silo en béton, qui est rempli en continu depuis la mine en attendant le train-bloc [22].

Si des poids précis de charges, sont requis, Deux balances mobiles sont installées, l'une avant le système de chargement et l'autre après, permettant de mesurer la quantité de matériau chargée dans le wagon. [20]

Le chargement s'effectue en une période de quatre heures.

Une méthode courante consiste à faire passer le train directement sous le fond du silo et à « charger » chaque wagon lorsqu'il passe sous la goulotte de chargement (Figure V.3).

La charge du train peut être contrôlée avec précision jusqu'à des capacités de 8 000 t/h [20].



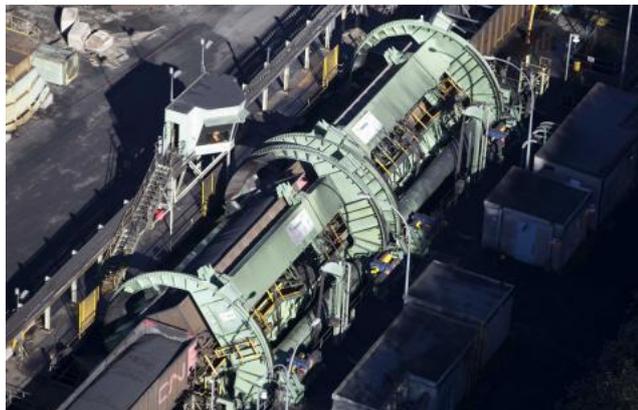
**Figure V.3 :** Unité de chargement d'un train unitaire. [28]

Un dispositif de déchargement rotatif est généralement utilisé, lorsque la décharge rapide des trains-blocs, est requise.

Chaque wagon est retourné et son contenu est évacué dans une grande trémie [22],

Les systèmes les plus récents permettent le déversement sans séparer les wagons.

En outre, les systèmes de grande capacité permettent la décharge de deux voitures en même temps (Figure V.4) [20].

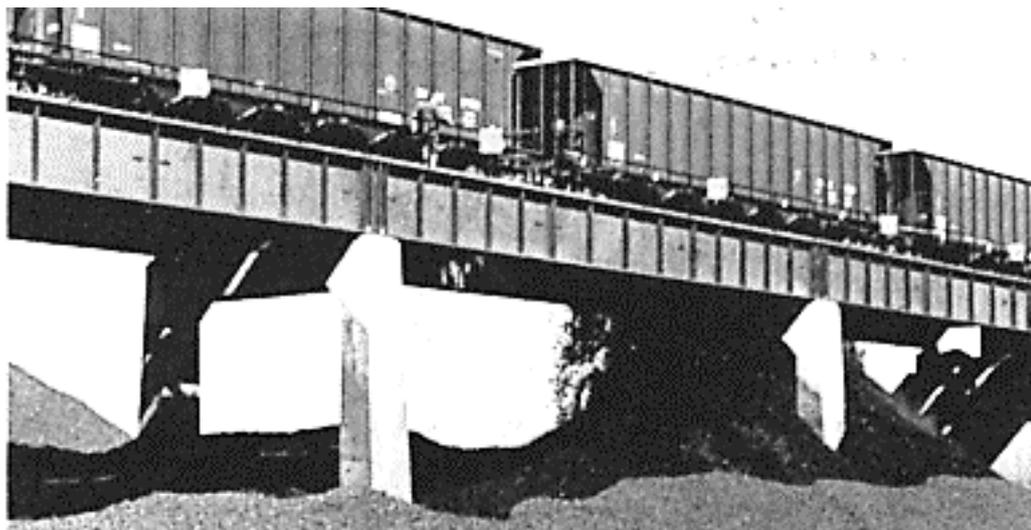


**Figure V.4:** culbuteur à dispositif rotatif de déchargement en tandem. [29]

En utilisant des wagons spéciaux à décharge de fond un taux de déchargement plus élevé est obtenu (Figure V.6).

Au point de déchargement, chaque wagon est ouvert par un dispositif manuel et vide son contenu complet en quelques secondes.

Ce système de déchargement, exige l'investissement important pour les wagons à portes spéciales et à ouverture rapide, ce moyen de déchargement en hauteur génère beaucoup de poussières. [22]



**Figure V.6 :** wagons à déchargement par le fond. [22]

### **V.2.5.Transport par camion**

L'opération de transport des tas abattus (minerais/stérile) dans les mines à ciel ouvert a tendance à utiliser le transport par camion [22].

C'est le moyen le plus adopté pour le déplacement des matériaux dans les mines à ciel ouvert [6], car c'est la forme de transport plus efficace quand une grande flexibilité est exigée pour accommoder les changements dans la destination de déchargement.

En outre, l'approfondissement continu des fonds des mines de surface et les configurations complexes des gisements rend indispensable l'utilisation des dumpers (dans la quasi-totalité des cas), pour le déplacement des matériaux que ça soit du minerai ou des stériles.



Figure V.7: Tombereau à châssis rigide (CATERPILLAR). [30]

### V.2.5.1. Temps de cycle du camion

Le temps de cycle d'un camion dépend du type d'excavateur, de la capacité du camion, et de la distance de transport [20].

Pour un temps de cycle plus exact, on doit inclure les durées d'attente, les retardements et les temps de positionnement s'ils ne sont pas pris en compte par le facteur d'utilisation du temps (Figure V.8).

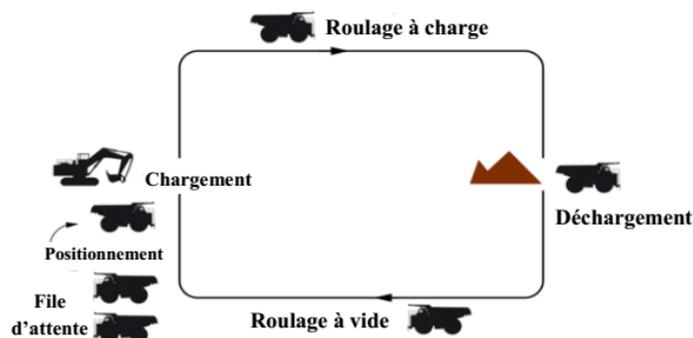


Figure V.8 : Schéma d'un cycle de transport par camion. [31]

## V.3. Critères de choix d'un système de transport

### V.3.1. Quantité de réserves exploitables

Ce critère détermine la capacité nécessaire du système de transport pour répondre à la demande en matière d'extraction minière.

Il s'agit de garantir que le système choisi peut gérer efficacement les volumes de minerai à extraire pendant toute la durée d'exploitation de la mine, sans compromettre la productivité ni les délais.

### V.3.2. Production annuelle désirée

La production annuelle souhaitée est un facteur clé pour évaluer les performances requises du système de transport.

Elle influence directement la capacité et la vitesse nécessaires pour atteindre les objectifs de production fixés par l'exploitant minier.

### **V.3.3. Durée de vie de la mine**

Ce critère prend en compte la durabilité et la pérennité du système de transport sur toute la durée d'exploitation de la mine.

Il s'agit d'assurer que le système choisi est capable de fonctionner de manière fiable et efficace pendant toute la vie de la mine, en tenant compte des éventuels changements dans les conditions d'exploitation et de marché.

### **V.3.4.Type et dimensions du gisement**

Les caractéristiques géologiques du gisement, telles que sa profondeur, sa forme et sa taille, influencent la conception et la configuration du système de transport.

Il est essentiel de choisir un système qui peut s'adapter aux spécificités du gisement pour garantir une exploitation minière efficace et rentable.

### **V.3.5.Nature et dureté des matériaux à extraire**

Ce critère prend en considération les propriétés physiques et géologiques du minerai à extraire, telles que sa dureté, sa granulométrie et sa cohésion.

Il est crucial de sélectionner des équipements de transport adaptés pour manipuler efficacement les matériaux extraits tout en minimisant l'usure et les dommages.

### **V.3.6.Distance de transport et mise en stock**

La distance de transport entre la mine et le site de traitement, ainsi que les exigences en matière de stockage du minerai extrait, influencent le choix du système de transport. Il est important de sélectionner une solution qui peut transporter le minerai sur la distance requise de manière efficace et économique, tout en assurant un stockage sûr et organisé.

### **V.3.7.Nécessité d'un pré-concassage des matériaux**

Ce critère évalue la nécessité de préparer le minerai avant son transport en le concassant ou en le criblant pour en réduire la taille ou en éliminer les impuretés. Il est essentiel de choisir un système de transport qui peut prendre en charge cette étape de préparation, si nécessaire, afin d'optimiser l'efficacité du traitement ultérieur du minerai.

### V.3.8.Méthode d'extraction

La méthode d'extraction utilisée (à ciel ouvert, souterraine, etc.) influence la logistique du transport, notamment la localisation des points de chargement et les contraintes opérationnelles associées.

Il est important de sélectionner un système de transport qui peut s'adapter aux spécificités de la méthode d'extraction utilisée pour garantir une intégration harmonieuse des opérations minières.

### V.3.9.Équipements de chargement

Ce critère évalue la compatibilité des équipements de chargement avec le système de transport choisi

Il est essentiel de sélectionner des équipements de chargement qui peuvent charger efficacement le minerai dans les véhicules de transport, tout en respectant les exigences de sécurité et de performance.

### V.3.10.Critère économique (coût de l'exploitation)

Enfin, le critère économique est essentiel pour évaluer la viabilité financière du système de transport.

Il s'agit de sélectionner une solution qui offre le meilleur rapport coût-efficacité tout en maintenant des niveaux de performance et de sécurité acceptables, afin d'assurer la rentabilité à long terme de l'exploitation minière.

En nous basant sur ces critères nous allons choisir le système de transport le plus adéquat pour le site de bled el Hadba vers la Gare de Bir El Ater d'après vers le Complexe d'Oued Kberit.

## V.4.Réserves Exploitable

La dernière évaluation des réserves en phosphate du gisement de BEH, a aboutie à une estimation dépassant ses précédentes.

Le tableau suivant englobe les tonnages estimés, pour le minerai et le stérile (calcaire et sable).

Matériau	Tonnage
Phosphate	1 037 530
Calcaire	1 305 340
Sable	3 536 110

**Tableau V.1:** Tonnage estimé du phosphate et des stériles de BEH. [32]

## V.5.Production annuelle

Dans toute exploitation à ciel ouvert, pour une production de minerai, donnée, un volume de stérile doit être déplacé.

Dans le cas du gisement de BEH, le stériles s'agit du sable et du calcaire.

Le rapport entre la quantité de minerai à extraire et de la quantité de stériles à déplacé se dit : rapport de découverte.

Le système choisi doit gérer la production de minerai ainsi les tonnages de stériles à déplacer, donc la production annuelle est la clé vers le choix et le dimensionnement du système de transport.

Une production annuelle de 10 Mt est désignée pour alimenter l'usine de fabrication d'acide phosphorique (prévue à Oued Kberit) [33].

## V.6.Durée de vie de la mine

La durée de vie de la mine est un facteur important lors du choix du système de transport, un choix qui doit être efficace à court et long terme. Elle peut être calculée selon l'expression suivante :

$$Dm = Rexp/Pa ; \text{Ans} \dots\dots\dots (\text{Eq.V.1})$$

Avec :

Dm: Durée de vie de la mine ; ans

Rexp: Réserves exploitables ; Mt

Pa: Production annuelle ; Mt/an.

Pour des réserves exploitables (Rexp) estimées à environ 1 037,53 Mt [SOMIPHOS], et une production annuelle Pa= 10 Mt/an, la durée de vie de la mine est :

$$Dm = 1037,53/10 \approx 104 \text{ ans}$$

- Donc la durée de vie de la mine de BEH est de 104 ans.

## V.7. Distances de transport du minerai et des stériles

Les distances de transport proposées, du minerai vers la Gare de Bir El Ater, Tébessa et complexe d'Oued Kberit, dans l'exploitation du gisement de BEH sont données par le tableau suivant :

Distance entre BEH et La Gare de Bir El-Ater	18km
Distance entre La Gare de BEA et Tébessa	107km
Distance entre Tébessa et complexe OK	69Km

**Tableau V.2:** Distances de transport vers Jonction et Tébessa et Oued Kberit



**Figure V.9 :** Situation de la ligne par rapport au réseau national.

## V.8. Caractéristiques physicomécaniques des matériaux à extraire

Le tableau ci-dessous présente deux paramètres physicomécaniques, dont la densité et la dureté du minerai :

Paramètres	Densité	Dureté
Phosphate	2.21	Moyenne
Calcaire	2.19	Moyenne
Sable	2.00	Base

**Tableau V.3:** Densité et dureté des matériaux à extraire. [32, 20]

## **V.9.Données générales**

- Besoin 6Mt/ans de phosphate Brute pour traiter 3Mt/ans.
- Ferroviaire va produire 1.820 wagons pour le transport de phosphate.
- Capacité d'un wagon phosphaté 60Tonnes.

## **V.10.Analyse et choix des modes de transport**

### **V.10.1.Analyse des modes**

Afin de choisir le système adéquat, nous procéderons à une identification, des systèmes déjà mentionnés, puis une sélection du système de transport par élimination.

En nous basant sur les données en notre acquisition (production, la distance, durée de vie de la mine, caractéristiques des matériels ; ...etc.).

#### **V.10.1.1.Transport par pipeline**

Cette méthode de transport n'est pas à considérer, car les installations de transport par pipeline sont onéreuses, ses frais augmentent avec l'augmentation des débits à transporter.

De plus, les distances de transport au gisement de BEH n'exigent pas une telle technologie qui est plus efficace sur de plus importantes distances.

La raison principale qui disqualifie ce moyen de transport, est l'indispensabilité d'une source permanente en eau (pulpe à environ 40% d'eau), pour satisfaire cette exigence des frais supplémentaires importants seront engendrés.

La permanence de l'alimentation en eau qui n'est pas garantie pose un grand problème, cela s'illustre bien dans le complexe de Djebel Onk ou selon des sources internes, 2/5 des puits alimentant l'usine sont épuisés.

#### **V.10.1.2.Transport ferroviaire**

Ce moyen de transport de BEH au complexe d'Oued Kberit peut être utilisé pour les raisons suivantes :

La raison principale est la grande distance qui les sépare

Il est considéré comme plus économique et adapté en fonction de la durée de vie de la mine.

#### **V.10.1.3.Transport par camion**

Le transport par camion est encore largement utilisé dans les mines.

Il se caractérise par sa grande flexibilité et sa capacité à mobiliser de grandes quantités de phosphate traité, ce qui le rend assez efficace, et c'est ce que nous présenterons dans ce travail.

❖ Remarque : Puisque les systèmes de transport déjà mentionnés ne sont pas applicables, le choix d'un système de transport pour le gisement de BEH vers le complexe d'Oued Kberit se restreint donc à deux systèmes possibles, qui sont le transport par camions et le transport ferroviaire. Cependant, un troisième choix, consistant en un système qui combine les deux premiers modes, est possible.

## **V.11.Choisissez un moyen de transport**

Après avoir effectué une analyse logique des différents moyens de transport mentionnés, et étant donné que les matériaux à transporter ont des caractéristiques différentes et que leur destination est claire, la sélection du système à Bled el Hadba doit être effectuée de manière précise et détaillée.

C'est ce dont nous parlerons dans ce titre :

### **V.11.1.transport par train**

Après traitement, le phosphate traité doit être transporté jusqu'à la station d'expédition et de stockage. La distance en camion pour transporter le minerai du front jusqu'au terminal du complexe d'Oued kberit est de 182 km.

### **V.11.2.transport combiné**

Le mode de transport combiné, camion et train, répond pleinement aux exigences techniques d'exploitation des gisements BEH et constitue le système de transport le plus économique pour acheminer le phosphate depuis la surface de travail jusqu'à la station de stockage de Bir El-Ater.

Il combine la flexibilité des camions avec la grande capacité de stockage des wagons ferroviaires.

Le système de transport combiné (camion et train) consiste à utiliser des camions sur une distance allant jusqu'à 18 000 mètres pour transporter le phosphate traité jusqu'à la station de stockage et d'expédition de Bir El Ater.

La figure suivante schématise un système combiné idéal pour son application :

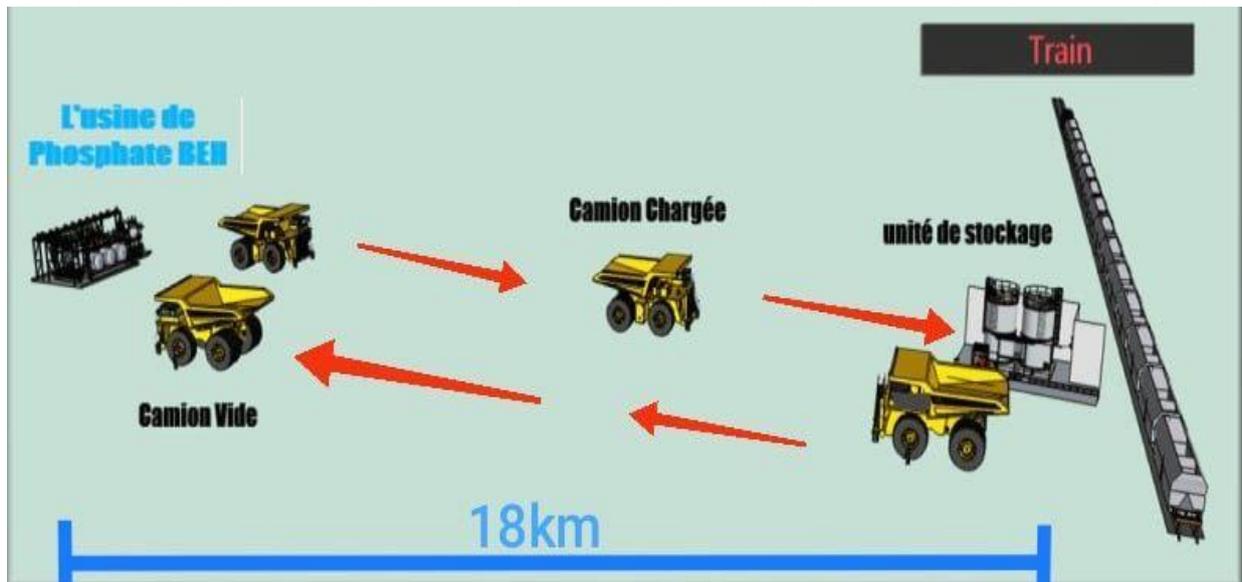


Figure V.10 : Système de chargement et de transport proposé.

## V.12. Proposition de l'Emplacement de L'Usine et terril

Afin d'avoir une bonne liquidité et une grande efficacité pour la flotte de camions, un plan de transport doit être adopté. Le schéma choisi doit minimiser la distance et permettre un cycle de transport optimal.

Pour le dépôt BEH, nous proposons un schéma de transfert dont le but est de satisfaire aux exigences ci-dessus. Le système que nous avons développé permet de charger les camions en mode dit « découvert » ou « conduite ». Cette méthode de chargement est la plus pratique dans l'exploitation à ciel ouvert, et c'est le cas pour le gisement

Avec ça. Il permet un positionnement rapide et facile, augmentant ainsi l'efficacité des excavatrices et des camions, réduisant ainsi leurs temps de cycle [41].



D'après La proposition d'Emplacement de L'usine on a besoin de calcul le rendement et nombre de camion pour transporté le phosphate brute vers l'usine de traitement sur la distance de 2.5km d'après les étapes suivant :

## V.13.Dimensionnement des engins du transport Régime du travail de la carrière

### V.13.1.Choix du type de camion

Actuellement pour l'exploitation à ciel ouvert, on a tendance à utiliser les camions de grande capacité. Cela réduit les frais d'exploitation, main d'œuvre, entretien et de réparation.

En outre, l'utilisation d'une grande capacité diminue le coefficient de la tare.

C'est pourquoi il est important de choisir correctement le type de camion d'après la relation entre capacité du godet de la chargeuse et celle de la benne de camion.

Cette relation est fonction de la distance de transport.

Ainsi pour une distance de transport jusqu'à 2.5 km, le choix du type de camion doit se faire d'après la relation suivante [34] :

$$Vb = (4 - 6) \dots\dots\dots (Eq.V.2)$$

Avec :

$Vb$ : Volume du camion à choisir en (m<sup>3</sup>);

$E$  : Capacité du godet de la chargeuse en (m<sup>3</sup>);

Les chiffres 4 et 6 indiquent les nombres optimums de godet de la chargeuse.

Considérons 6 comme le nombre de passe optimum [20], et on utilisant le rapport  $Vb/E$  on obtient les résultats suivants :

	Capacité du camion (m <sup>3</sup> )	26.6	31.4	42	56.2	73.4
Pelles	m <sup>3</sup>	Passes				
Pelle 1	5	6	7	9	12	15
Pelle 2	6	5	6	7	10	13
Pelle 3	7	4	5	6	9	11
Pelle 4	8	4	4	6	8	10
Pelle 5	12	3	3	4	5	7

**Tableau V.4:** Résultats du calcul de rapport  $Vb/E$ . [35]

Le tableau montre qu'une combinaison d'une pelle de 5 m<sup>3</sup> avec un camion d'une capacité de 26.6 m<sup>3</sup> donne un nombre de passe optimum (6 passes), et la même chose avec la pelle 2, pelle 3 et la pelle 4 combinées respectivement avec des camions d'une capacité de 31,4 m<sup>3</sup> et 42 m<sup>3</sup>.

On propose l'emploi des chargeuses de 8 m<sup>3</sup> combinée avec un camion d'une capacité de 42 m<sup>3</sup>, soit 91T.

On peut employer des tombereaux type CATERPILLAR, qui sont largement utilisés dans les mines et les carrières Algériennes, en raison de leurs capacités et leur flexibilité d'abord et puis la disponibilité de la pièce de rechange facilite le travail de la maintenance.

Cette dernière constitue la partie la plus importante des coûts opératoires dans les carrières Ces dépenses peuvent être comprises entre 15 et 40 % des coûts variables [36].

Selon les caractéristiques techniques données par le constructeur, on a choisi le modèle 777D, qui satisfait la capacité nécessaire du camion (91T).

### V.13.2. Exploitation des camions

Les facteurs principaux déterminant l'efficacité du transport par camion sont

- le rendement
- le nombre exigé du camion.

Dans cette étude, on déterminera le nombre de godets qu'il faut pour remplir la benne du camion ; les coefficients réels d'utilisation de la capacité et du volume de la benne du camion ainsi que la durée d'une course d'un camion, le nombre de courses par poste et en fin le rendement et le nombre de camions.

### V.13.3. Détermination du nombre de godets

Prenant compte de paramètre du remplissage de godets de la pelle, et le coefficient du compactage de la roche, on calcule le nombre de godets par la formule suivante :

$$N_g = V / V_r; \text{ godet} \dots \dots \dots \text{ (Eq.V.3)}$$

Où :

$N_g$  : Nombre de godets

V: Capacité du camion en m<sup>3</sup> ;

$V_r$  : Volume de la roche se trouvant dans le godet de la pelle en m<sup>3</sup> tel que :

$$V_r = E \times K_u \times n_c ; \dots \dots \dots \text{ (Eq.V.4)}$$

Avec :

E : Capacité du godet de l'excavateur en m<sup>3</sup> ;

$K_r$  : Coefficient de remplissage du godet de l'excavateur ; on prend  $K_r = 0.85$  [20] ;

$n_c$  : Coefficient de compactage de la roche, on prend  $n_c = 0.87$  [20] ;

$$V_r = 8 \times 0.87 \times 0.85 = 5.9 \text{ m}^3$$

$$Ng = 42 / 5.9$$

$$Ng = 7.1 \text{ godets}$$

Donc le nombre de godets est 7 godets.

#### V.13.4. Calcul de rendement de la chargeuse

$$Rch = (3600 \times V \times Kr \times Tp \times Ku \times \rho) / (Tc \times Kf) ; t/p \dots\dots\dots (Eq.V.5)$$

Avec :

V : Capacité du godet de la chargeuse en m<sup>3</sup>;

Kr : Coefficient de remplissage du godet de la chargeuse, (Kr = 0.85) [34];

Tp : Durée d'un poste de travail effectif en heure (h) ;

P : Masse volumique en t /m<sup>3</sup>

Ku : Coefficient d'utilisation de la chargeuse ; pour les roche dures Ku= (0.8 à 1.2) [34], dans ce cas on prend Ku= 0.8

Kf : Coefficient de foisonnement (Kf=1.6) [35] ;

Tc : Durée d'un cycle de chargement : les valeurs de Tc peuvent être obtenues à partir d'informations fournies par le fabricant d'origine ou à partir d'études de temps de machines similaires dans conditions similaires, en générale le temps de cycle est donné par 30 à 40 s [20].

Le temps de cycle de chargement moyen d'une pelle CATERPILLAR est mesuré par 36.76 s dans la carrière de Kef Es-sennoun dans des conditions d'exploitation semblables à celle de gisement en question).

$$Rch = (3600 \times 8 \times 0.8 \times 8 \times 0.85 \times 2.21) / (36.76 \times 1.6)$$

$$Rch = 5886.92 \text{ t/p.}$$

Donc le rendement de la chargeuse est 5886.92 t/p.

#### V.13.5. Calcul de nombre de chargeuses

Le nombre de chargeuse se calcul comme suit :

$$Nch = Pa / (Rch \times Np \times Nj) \times Kres; \text{ chargeuse} \dots\dots\dots (Eq.V.6)$$

$$Nch = ((6\ 000\ 000 / (5886.92 \times 3 \times 330)) \times 1.2 = 1.24 \text{ chargeuses}$$

Le nombre de chargeuse nécessaire pour assurer la production est deux chargeuses

#### V.13.6. Détermination du temps de cycle de camion

Le cycle d'un camion est donné par la relation suivante :

$$T_{cy} = T_{char} + T_{déch} + T_{dép} + \text{Taux en (mn)} \dots\dots\dots \text{(Eq.V.7)}$$

Où :

$T_{char}$  : Temps de chargement du camion en (mn) [34] ;

$T_c$  : Durée d'un cycle de travail de la chargeuse en (mn) ;

$N_g$  : Nombre de godet optimum ;

$T_{déch}$  : Temps de déchargement du camion en mn [34];

$T_{dép}$ : Temps de déplacement du camion chargé et vide ;

$L$  : Distance de transport en km ;

$V_{ch}$  : Vitesse du camion chargé en Km/h ;

$V_v$  : Vitesse du camion vide en Km/h ;

La vitesse de déplacement du camion avec charge ou à vide peut être déterminé à partir des abaques fournis par le constructeur. Pour un tombereau type CATERPILLAR modèle 777D on peut déterminer la vitesse de roulement à partir de l'abaque suivant :

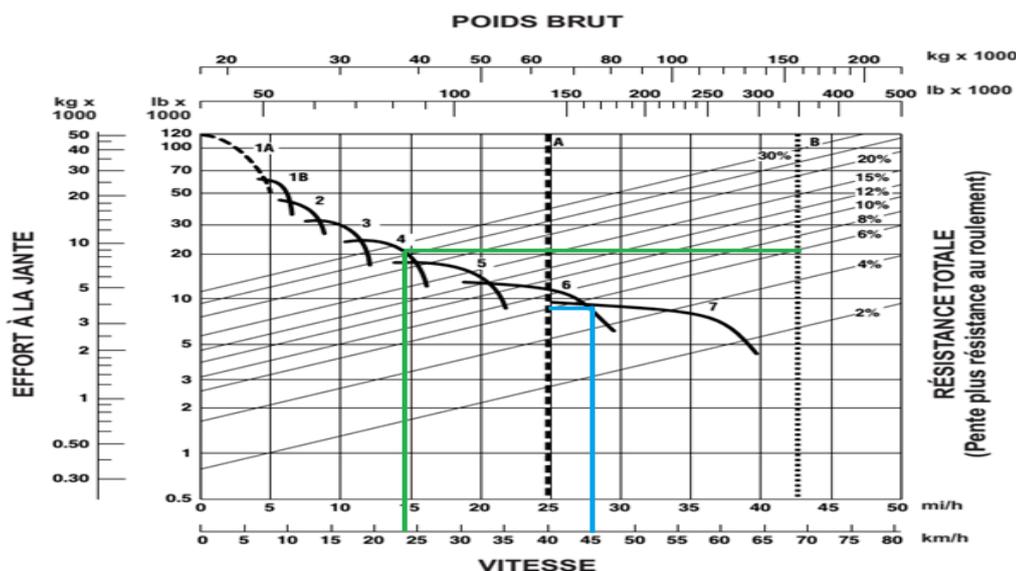


Figure V.12 : Abaque de détermination de la vitesse de roulement du tombereau 777D [37].

A partir de l'abaque on peut lire une vitesse de déplacement à vide ( $V_v$ ) de 45 Km/h, et une vitesse de déplacement en charge ( $V_{ch}$ ) de 23 Km.

$K_a$  : Coefficient tenant compte de l'accélération et le ralentissement.  $K_a = 1.1$  [34] ;

Taux : temps auxiliaire qui tient compte du temps d'approche d'un camion vers l'engin de chargement et du temps de manœuvre au point de déchargement, Taux = 2 à 4 m [34].

<b><math>T_{cycl} = T_{char} + T_{déch} + T_{dép} + \text{Taux en (mn)}</math></b>	
Formules	Applications numériques
<b><math>T_{char} = Ng \times TC</math> en mn</b>	$T_{char} = 7 \times 0.61 = 4.27$ mn
<b><math>T_{déch} = 1</math>mn pour les camions de capacité inférieure à 40t <b><math>T_{déch} = 1,2</math> a <math>1,5</math> mn pour les camions de capacité supérieure à 40t</b></b>	On a un camion d'une capacité de 91t donc on prend la moyenne $T_{déch} = 1.35$ mn
<b><math>T_{dép} = 60 \times ((L/V_{ch}) + (L/V_v)) \times K_a = 1.1</math></b>	$T_{dép} = 60 \times ((1/23) + (1/45)) \times 1.1 = 4.33$ mn
Taux = 2 à 4 mn	On prend la moyenne, donc Taux = 3 mn
<b><math>T_{cycl}</math></b>	$T_{cycl} = 4.27 + 1.35 + 4.33 + 3 = 12.95$ mn

**Tableau V.5:** Calcul du temps de cycle du camion.

Le temps de cycle du camion déterminé est 12.95 mn.

### V.13.7. Détermination du nombre de cycles par poste

Le nombre de cycles par poste est déterminé par la formule suivante :

$$N_{cycl} = (60 \times TP \times Ku) / T_{cycl}; \text{ cycle} \dots \dots \dots \text{ (Eq.V.8)}$$

Où :

$K_u$  : Coefficient d'utilisation du temps  $K_u = (0,7 \text{ à } 0,9)$  [trans] ; dans ce cas on prend la moyenne,  $K_u = 0.8$ ;

$TP$  : est la durée d'un poste de travail en heure ;

$T_{cycl}$ : est le temps de cycle du camion en mn.

$$N_{cycl} = (60 \times 8 \times 0.8) / 12.95 = 29.65 \text{ cycles/poste}$$

Donc le nombre de cycles est 29.65 cycles / poste.

### V.13.8. Détermination du rendement du camion par poste

Le rendement du camion est déterminé par la relation suivante :

$$R_c = (60 \times G_c \times K_u \times K_r \times TP) / T_{cycl} \times K_f; t/P \dots \dots \dots \text{ (Eq.V.9)}$$

Avec :

$G_c$  : Capacité de la benne de camion en t ;

$K_r$  : Coefficient de remplissage du la benne de camion,  $K_r = 0.85$  [20] ;

$K_u$  : Coefficient de l'utilisation du temps  $K_u = 0.8$  [34].

$$RC = 60 \times 91 \times 0.8 \times 0.85 \times 8 / 12.95 \times 1.6 = 1433.51 \text{ t/P}$$

Donc le rendement pratique d'un camion est 1433.51 tonnes par un poste de travail.

### V.13.9.Détermination du nombre de camions

Le nombre de camions nécessaire est donné par l'expression suivante :

$$NC = (PP \times K \times K_{res}) / RC; \text{ camions} \dots\dots\dots (\text{Eq.V.10})$$

Avec :

$Pp$  : Production par poste en t/p ;

$K_{ir}$  : Coefficient d'irrégularité,  $K_{ir} = 1.1$  à  $1.2$  [38] ;  $Rc$  : Rendement pratique de camion t/p.

$K_{res}$  : coefficient de réserve,  $K_{r}=1.2$

$$NC = 10101 \times 1.1 \times 1.2 / 1433.51 = 9.30 \text{ camions}$$

Donc le nombre de tombereaux nécessaire pour assurer la production est 9.30 camions, soit 10 camions.

### V.14.Dimensionnement des engins du transport

Les Phases annoncées	Production Annuelle	Nombre de jour ouvrable dans ans	Nombre de jour par semaine	Nombre de poste par jours	Travail par poste
1 <sup>er</sup> phase Entre (2024-2027)	3Mt	330	7/7	3	8 heures
2 <sup>ème</sup> phase Entre (2028-2032)	6Mt	330	7/7	3	8 heures

Tableau V.6: Des Données Générale.

#### V.14.1.Calcul de la production journalière

La production journalière est donnée par la formule suivante :

$$Pj = Pa / Nj; \text{ t/j} \dots\dots\dots (\text{Eq.V.11})$$

Où :

$Pj$ : Production journalière en t/j ;

$Pa$  : Production annuelle projetée en t/an ;

$Nj$ : Nombre de jours ouvrables par an.

	<b>Phase 1 :</b>	<b>Phase 2 :</b>
<b>Equation</b>	3000000/330	6000000/330
<b>Résulta</b>	<b>9091 t/j</b>	<b>18182t/j</b>

**Tableau V.7:** Calcul de la production journalière

### V.14.2.Calcul de la production par poste

La production par poste est donnée par la formule suivante :

$$P_p = P_j/N_p \text{ (t/p)} \dots \dots \dots \text{ (Eq.V.12)}$$

Où :

$P_p$ : Production par poste en t /p ;

$P_j$  : Production par jours en t/j ;

$N_p$  : Nombre de poste par jours en poste/jours.

	<b>Phase 1 :</b>	<b>Phase 2 :</b>
<b>Equation</b>	9091/3	18182/3
<b>Résulta</b>	<b>3030 t/p</b>	<b>6061 t/p</b>

**Tableau V.8:** Calcul de la production par poste

### V.14.3.Calcul de la production horaire

La production horaire est donnée par la formule suivante :

$$P_h = P_p/N_h; \text{ t/h} \dots \dots \dots \text{ (Eq.V.13)}$$

Avec :

$P_p$  : Production horaire en t /h ;

*Nh*: Nombre d'heures de travail par poste en h/p.

	<b>Phase 1 :</b>	<b>Phase 2 :</b>
<b>Equation</b>	3030/8	6061/8
<b>Résultat</b>	<b>378.75</b>	<b>757.625</b>

**Tableau V.9:** Calcul de la production horaire

## **V.15.Dimensionnement des camions de transport du phosphate vers la jonction**

### **V.15.1.Choix du type de camion**

Actuellement pour l'exploitation à ciel ouvert, on a tendance à utiliser les camions de grande capacité.

Cela réduit les frais d'exploitation, main d'œuvre, entretien et de réparation.

En outre, l'utilisation d'une grande capacité diminue le coefficient de la tare.

C'est pourquoi il est important de choisir correctement le type de camion d'après la relation entre la vitesse et la distance.

Ainsi, pour une distance de transport allant jusqu'à 18 km, nous avons choisi ce camion en fonction de ce que nous avons trouvé dans nos recherches et il est également utilisé dans les mines de Tunisie :

Le tableau suivant présente les caractéristiques du camion[24] :

<b>TYPE</b>	<b>MARQUE</b>	SCANIA
	<b>NOMBRE DE PLACES</b>	2 places
	<b>TRAINS ROULANTS</b>	6X4
<b>MOTEUR</b>	<b>ENERGIE</b>	Diesel
	<b>PUISSANCE MAXIMALE</b>	(302 Kw)

<b>TRANSMISSION</b>	BOITE VITESSE	SCANIA GRS905
	VITESSE MAXIMALE	90 km/h
<b>DIRECTION</b>	DIRECTION	Assistée
<b>POIDS</b>	PTRA	40000 kg

**Tableau V.10:** les caractéristiques du camion.



**Figure V.13 :** Camion de SCANIA transporté Phosphate

Après avoir choisi un camion et obtenu des informations sur sa vitesse maximale, nous pouvons calculer le temps de cycle d'après la vitesse et la distance sur la relation suivante :

$$\text{Temps de cycle (h)} = 2 * (\text{La distance (km)} / \text{Vitesse Maximale (km/h)}) \dots\dots\dots (\text{Eq.V.14})$$

$$T_{cy} = 2 * (18/90)$$

$$T_{cy} = 0.4h$$

Après avoir calculé le temps de cycle du camion, nous concluons que le camion effectue 60 cycles par jour.

### V.15.2. Calcul nombre de cycle par année

Calcul Le temps de cycle par année d'après le nombre de cycle et les jours ouvrables sur la relation suivante :

$$\text{Cycle par Ans} = \text{Nombre de cycle} * \text{Les jours ouvrables} \dots\dots\dots (\text{Eq.V.15})$$

$$Cy/Ans = 330 * 60$$

$$\text{Cy/Ans}=19\ 800$$

### V.15.3. Calcul le nombre de production par cycle

Calcul le nombre de production par cycle d'après la production annuelle et nombre de cycle par an sur la relation suivant :

$$\text{Nombre de production par cycle}(t/\text{Cy})= \text{La production annuelle (t)/ nombre de cycle par année(Cy)} \text{ (Eq.V.16)}$$

1 <sup>er</sup> Phase : 3Mt	2 <sup>ème</sup> Phase : 6Mt
3000000/19800	6000000/19800
151.5 t/Cy	303 t/Cy

**Tableau V.11:** Calcul de la production par cycle

### V.15.4.Calcul le nombre de production par jours

Calcul le nombre de production par jours d'après la production par cycle et nombre de cycle d camion sur la relation suivant :

$$\text{Nombre de production par jours (t/j)}= \text{La production par cycle (t/Cy)* Nombre de cycle de camion (Cy/j)}$$

(Eq.V.17)

1 <sup>er</sup> phase : 3Mt	2 <sup>ème</sup> Phase : 6Mt
151.5*60	303*60
9090 t/j	18180 t/j

**Tableau V.12:** Calcul de la production par jours

### V.15.5. Calcul le nombre de camion

Calcul le nombre de camion d'après la production par cycle et capacité de camion sur la relation suivant :

$$\text{Nombre de Camion} = \text{Production par cycle} / \text{Capacité de Camion} \dots \dots \dots \text{(Eq.V.18)}$$

1 <sup>er</sup> phase :3Mt	2 <sup>ème</sup> Phase : 6Mt
151.5/40	303/40
4 Camion	8 Camion

**Tableau V.13:** Calcul Nombre de Camion

Remarque : d'après ça on a besoin une unité de chargement ou une unité de Stockage pour Décharge le minerai puis le charger dans les wagons.

## V.16.Dimensionnement de Train de transport du phosphate vers le Complexe d'Oued Kebrit

### V.16.1.Choix du type de wagons

Actuellement, pour l'exploitation minière à ciel ouvert ou souterrain, on a tendance à utiliser des wagons de grande capacité.

Cela réduit les coûts d'exploitation, de main d'œuvre, de maintenance et de réparation.

De plus, l'utilisation d'une grande capacité réduit le coefficient de tare.

C'est pour cette raison que la société algérienne d'Annaba, connue sous le nom de Ferrovia, chargée de fabriquer les véhicules, diagnostique 1 820 wagons

La figure suivant présente les caractéristiques du wagon [20] :

 **EPE FERROVIAL**  
ENTREPRISE PUBLIQUE ECONOMIQUE DE CONSTRUCTION DE MATERIELS  
ET EQUIPEMENTS FERROVIAIRES

## WAGON PHOSPHATIER



**CARACTERISTIQUES TECHNIQUES:**

CONSTRUCTION .....	conforme aux normes UIC
TARE .....	21.7 tonnes
CAPACITE .....	45m <sup>3</sup>
CHARGE .....	58.3 tonnes
BOGIES ... Y25R52 type mécano soudé avec système d'amortissement renforcé	
VOIE .....	normale, écartement 1.435mm
FREINAGE .....	système automatique auto variable à air comprimé
TAMPONEMENT .....	avec tampons de choc
TRACTION ... avec tendeurs d'attelage le wagon est apte à recevoir un attelage	automatique
DECHARGEMENT .....	bilatéral avec commande pneumatique

Route d El-Hadjar Allefick, B.P.63, Annaba, Algérie  
www.ferrovial.dz

+213 34 86 26 26 / 26    dgferrovial@yahoo.fr

**Tableau V.14 :** les caractéristiques du wagon de ferrovial

Après choisir type de wagons on a besoin aussi présenté le type de train on vas choisir cette model par ce que il est très efficace et le plus populaire en monde.

Le train est un locomotive diesel-électrique de type EMD GP38-2. Il s'agit d'une locomotive de manœuvre de moyenne puissance, conçue pour le transport de marchandises sur de courtes distances.



**Figure V.14:** Train marchandes qui nous préposé

Ce tableau représente les caractéristiques de Train :

Les caractéristiques De Train	
Fabricant	: Electro-Motive Division (EMD)
Modèle	: GP38-2
Type :	: Locomotive diesel-électrique de manœuvre
Puissance	: 2 000 chevaux
Vitesse maximale	: 105 km/h
Traction	: 175 000 livres
Longueur	: 16,46 mètres
Hauteur :	: 4,04 mètres
Poids :	125 tonnes

**Tableau V.15:** les caractéristiques de Train.

Après avoir choisi un train et obtenu des informations sur sa vitesse maximale, nous pouvons calculer le temps de cycle d'après la vitesse et la distance sur la relation suivante :

$$\text{Temps de cycle (h)} = 2 * (\text{La distance (km)} / \text{La Vitesse Maximale (km/h)})$$

$$\mathbf{T_{cy} = 2(194/105) = 4}$$

$$\mathbf{T_{cy} = 4h}$$

Après avoir calculé le temps de cycle du Train, nous concluons que le camion effectue 6 cycles par jour.

### **V.16.2.Calcul nombre de cycle par année**

Calcul Le temps de cycle par année d'après le nombre de cycle et les jours ouvrables sur la relation suivante :

$$\text{Temps de cycle par Ans} = \text{Nombre de cycle} * \text{Les jours ouvrables}$$

$$\text{Cy/Ans}=330*6$$

$$\text{Cy/Ans}=1980$$

### V.16.3.Calcul le nombre de production par cycle

Calcul le nombre de production par cycle d'après la production annuelle et nombre de cycle par an sur la relation suivant :

$$\text{Nombre de production par cycle}(t/\text{Cy})= \text{La production annuelle (t)/ nombre de cycle par année (Cy)}$$

1 <sup>er</sup> Phase : 3Mt	2 <sup>ème</sup> Phase : 6Mt
3000000/1980	6000000/1980
1515t/Cy	3030t/Cy

**Tableau V.16:** Calcul Nombre de production par cycle

### V.16.4.Calcul le nombre de production par jours

Calcul le nombre de production par jours d'après la production par cycle et nombre de cycle d camion sur la relation suivant :

$$\text{Nombre de production par jours (t/j)}= \text{La production par cycle (t/Cy)* Nombre de cycle de train (Cy/j)}$$

1 <sup>er</sup> phase : 3Mt	2 <sup>ème</sup> Phase : 6Mt
1515*6	3030*6
9090t/j	18180t/j

**Tableau V.17:** Calcul Nombre de production par jours

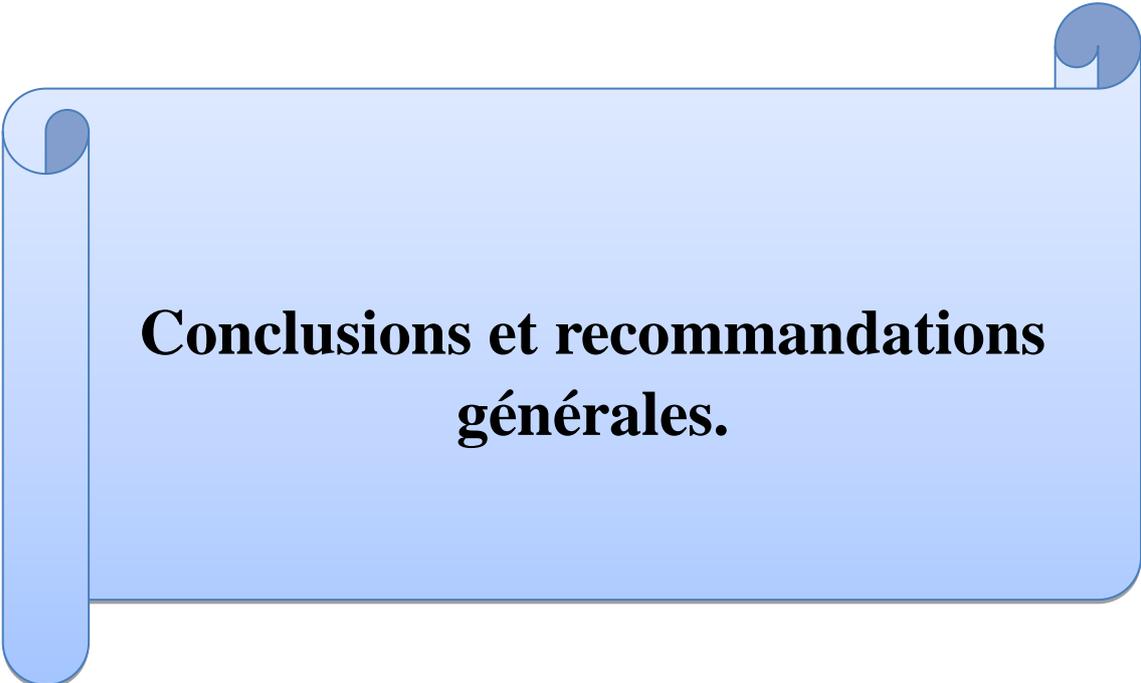
### V.16.5.Calcul le nombre de wagon

Calcul le nombre de Wagons d'après la production par cycle et capacité de wagons sur la relation suivant :

$$\text{Nombre de wagons} = \text{Production par cycle/ Capacité de wagon}$$

1 <sup>er</sup> phase : 3Mt	2 <sup>ème</sup> Phase : 6Mt
1515/58.3	3030/58.3
26Wagons	52 Wagons

**Tableau V.18:** Calcul Nombre de Wagon



**Conclusions et recommandations  
générales.**

Représentant un investissement d'environ sept (7) milliards USD, le PPI est le premier projet intégré de phosphate en Algérie dans le domaine de l'exploitation minière et la production d'engrais

Le projet intégré de phosphate, il s'agit d'un projet d'envergure qui comprend le développement et l'exploitation d'une mine de phosphate à Bled el Hadba, Tébessa, la transformation chimique des phosphates à Oued Kéberit (Souk Ahras), la fabrication d'engrais à Hadjar Soud (Skikda) et les installations portuaires du port Annaba.

Le projet phosphates intégré permettra à l'Algérie d'être l'un des principaux pays exportateurs d'engrais

En premier volet, le projet intégré de phosphate du gisement de Bled el Hadba est conditionné par l'exploitation minière. En proposant les modes d'exploitation et en établissant tous les processus technologiques. Mode d'ouverture, travaux de forage et tir, chargement et transport, traitement et mise à terril ainsi la phase de fermeture et restauration avec étude environnementale.

En deuxième volet, le projet de la voie ferroviaire devant relier la mine de phosphate de Bled Hadba (extrême-sud de Tébessa) à la ligne de chemin de fer faisant la jonction entre la mine de Djebel Onk (Bir El Ater) et Oued Kebrt (Souk-Ahras) est un projet structurant et fédérateur aux retombées socio-économiques et économiques importantes.

La mine de phosphate de Bled Hadba sera reliée à la ligne de chemin de fer, à Djebel Onk, sur une distance de 23 kilomètres, pour être ajoutée à la ligne Djebel Onk-Oued Kebrt qui s'étend sur 177 kilomètres

Les systèmes de transport des mines à ciel ouvert ont largement suscité l'intérêt de plusieurs travaux de recherche et ils représentent jusqu'à l'heure actuelle une problématique pour les responsables miniers.

L'optimisation de ce processus peut affecter jusqu'à 70% des coûts opératoires.

Il n'existe pas de système de transport qui répond à tous les critères d'un projet d'exploitation à ciel ouvert. Mais il est indispensable que tout système de transport efficace, doit être rationnel.

Pour le cas du gisement de Bled el Hadba, On propose des combinaisons de deux ou plusieurs systèmes de transport qui s'avèrent indispensables.

On recommande d'après notre étude, une optimisation et une mise à jour des technologies et des approches techniques et organisationnelles soient présentes afin de réduire les dépenses en transport,

Le bon choix d'un système de transport est la première étape dans cette démarche.

L'objectif est de faire un choix de transport rationnel pour le gisement de Bled el Hadba. Le système choisi doit s'adapter aux caractéristiques de ce gisement et doit être le choix le plus économique à court et à long terme.

Tout cela pose la problématique de la maîtrise du management stratégique pour éviter les surcoûts, la mauvaise gestion, ignorant les nouvelles mutations mondiales ou l'initiation de projets non étudiés qui risquent de faire dommage et préjudice à court terme.

En deuxième volet, le projet de transport discontinu par chemin de fer reliant Bled el Hadba à Oued Kebrite demande des connaissances et des études traitant toutes les parties en relation avec le terrain à savoir :

**L'étude géométrique du tracé de la voie** a pour but d'obtenir un bon roulement des véhicules,

Le tracé en plan et ses **éléments**, le profil en long et les Règles à respecter, le profil en travers et ses éléments

**L'étude géologique** a pour objectif de prévenir tous les risques qui pourraient déstabiliser l'ouvrage et ceux environnants.

**Aperçu Géologique et topographie du site**

**Des reconnaissances Géotechniques** qui permettent de définir l'ensemble des caractéristiques physiques, mécaniques et chimiques des terrains en place.

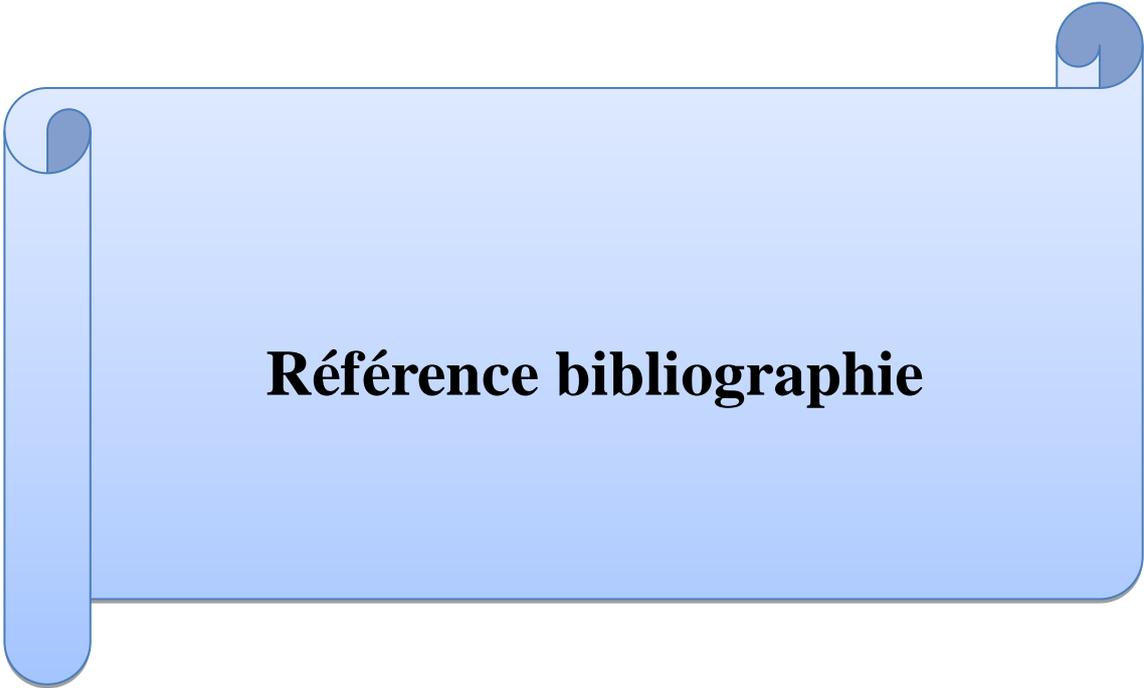
**La superstructure de la voie.** Le rail, les traverses et le ballast

**Les terrassements et assise de voie**

**Etude Hydrologique et assainissements :** comprendre les mécanismes de circulation des eaux superficielles, et souterraines

**La conception des ouvrages d'art.** Un bon tracé ferroviaire qui assure la perméabilité transversale de la ligne ferroviaire et le franchissement des différents obstacles.

En Troisième volet, une analyse est présentée sur l'usine de transformation du phosphate à Oued Kebrite présentant les différentes unités de traitement.



**Référence bibliographie**

- [1]: **Gremillion, L.R et McClellan, G.H ; 1975** : importance of chemical and mineralogical data in evaluating apatitic phosphate ores, society of mining engineer of AIME. Transaction, vol.270
- [2]: **Van Kauwenbergh, S.J & Hellums, D.T; 1995)**: direct application phosphate rock, a contemporary snapshot, phos. Pot 200, 27-37.
- [3]: **USGS-2013** : United States Geological Survey (statistiques de la production mondiale de phosphate en 2011 et 2012.
- [4]: **Cielensky S, Benchernine N, Watkowski T (1988)**: Travaux de prospection et d'évaluation des phosphates dans la région de Bir El Ater. Rapport interne, EREM, 80p.
- [5]: **Chabou-Mostefai. S., 1987**. Etude de la série phosphatée tertiaire du Djebel el Onk, Algérie, Stratigraphie, Pétrographie, Minéralogie et Analyse Statistique, Thèse Doct, Univ. Droit, d'Economie et des Sciences d'AIX- MARSEILLE.
- [6]: **Rapport d'exploitation** de phosphate de Djebel-Onk (kef-essenoun), SOMIPHOS. Groupe FERPHOS
- [7]: **Rapport de traitement** de phosphate de Djebel-Onk (kef-essenoun), SOMIPHOS. Groupe FERPHOS
- [8]: **Documents internes de l'entreprise** : BRGM : <Phosphates du Djebel Onk (Algérie) : Gisement de Bled El Hadba- données prises en compte=. CERAD : <Rapport Bled El Hadba : Partie géologie et Exploitation minière.
- DMT : <Exploitation pluriannuelle des gisements de Bled El Hadba et Djebel Onk Sud=. ORGM : <Rapport final sur les résultats des travaux d'exploitation des phosphates du gisement de Bled El Hadba 2012-2014=.
- [9]: **BEZZI, N.**, <Gestion de la qualité et valorisation des minerais de phosphate de Bled El Hadba, Djebel Onk (Tébessa)=, Thèse de doctorat, Université Ferhat Abbas-Sétif, 2005.
- [10]: **AZOUZ RACHED, H.**, <Contrôle de la qualité des processus utilisés dans la mine de Djebel Onk=, Mémoire de fin d'étude, Université Badji Mokhtar-Annaba, 2015.
- [11]: **KECHICHED, R.**, <Typologie géochimique et géostatistique des minerais de phosphates du gisement de Bled El Hadba-Djebel Onk (Algérie Orientale)=, Mémoire de Magister, Université Badji Mokhtar-Annaba, 2011.

[12]: **DASSAMIOUR, M.**, <Eléments en traces et valorisation des minerais de phosphate du gisement d Kef Essenoun-Dj. Onk (Algérie Orientale)=, thèse de doctorat, Université Badji

Mokhtar-Annaba, 2012.

[13]: **BOUCIF, R., TAMOURT, M.**, <Etude de stabilité de flanc Nord de la mine de Kef Essenoun-Tébessa=, Mémoire de fin d'étude, Université de Bejaïa, 2015.

[14] : **LE CENTRE D'ETUDES ET DE RECHERCHES APPLIQUEES AU DEVEMOPPEMENT (CERAD)** : Plan d'exploitation et les équipements proposés.

[15] : **Bureau D'étude D'Allemagne DMT groupe** : DEVELOPPEMENT DU PROCEDE DE SOMIPHOS ENRICHISSEMENT DES PHOSPHATES DE BLED EL HADBA ET DE DJEBEL ONK SUD.

[16]: **Reportage d'Ahmed Salah Bara 21 septembre 2008.**

[17]: **Asmidal, El Moudjahid, 05/04/2023**

[18]: **Abbassi Hamza " Fabrication d'Acide Phosphorique" Université Abdelmalek Saadi.**

[19]: **Oudani, M. (2016).** Optimisation des problèmes de transport multimodal. University du havre.

[20]: **P. E. (2011).** **SME Mining ENGINEERING HANDBOOK, THIRD EDITION.** Society For Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc.

[21]: **S. W. (1988).** **Advances in Mining Science and Technology.** University of Nottingham. Nottingham, Grande Bretagne: ELSEVIER SCIENCE PUBLISHERS B.V.

[22]: **H. L. (1992).** **SME Mining Engineering Handbook, 2nd Edition (volume1).** Littleton,

Colorado: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc.

[23]: **Fabien Emonin. Rénovation de téléphérique de transport de minerai.** (2014-05-14).

Consulté le 5-27-2018 : <http://fabien.emonin.over-blog.com/2017/02/renovation-de-telepherique-detransport-de-minerai.html>

[24]: **Doppelmayr / Montage Leaders.** RopeCon®, le transport des matériaux selon Doppelmayr,

(22, Avril 2014), consulté le : 05/07/2018. Récupéré sur:

<http://www.montagneleaders.fr/reportages/ropeconr-le-transport-des-materiaux-selondoppelmayr>

[25] **KAMULETE MUDIANGA N.P.** Cours d'exploitation des mines à ciel ouvert. Université de LUBUMBASHI, Congo, s.d.

[26]: **R. L. (2002).** SME Mining Reference Handbook. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc.

[27]: Kennedy, B. (Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. 1990). Surface Mining, 2eme Edition, Littleton, Colorado, USA.

[28]: **Coalfield Farm.** A Co-Co Class 58 locomotive loads a merry-go-round train under the rapid loader at Ellistown, Leicestershire, with coal from the Coalfield Farm opencat site, October 1986. S.d. <http://www.nigeltout.com/html/coalfieldfarm86-01.html> (accès le 08/06/2018).

[29] **Ridley Terminals Inc.Canada.** (s.d). Culbuteur de wagons en tandem/ Ridley Terminals Inc, Coal Terminal. Récupéré sur <http://www.rti.ca/fr/culbuteur-de-wagons-en-tandem>

[30] : **Tombereau pour applications minières 789D. Caterpillar Inc.**

[31]: **Christina. B & Lou. C. (2013).** Equipment Selection for Surface Mining. University of Melbourne

[32]: **Q.H. Bui, H. Y., & J. Cesbron, F. A.-L.** (s.d.). Estimation de la résistance au roulement

pneumatique/chaussée par approche multipoints. Université Paris-Est, Laboratoire Navier (UMR 8205), CNRS, ENPC, IFSTTAR, F-77455 Marne-la-Vallée, France; LUNAM Université, IFSTTAR, LAE, F-44344 Bougunais, France.

**[33] : plan d'exploitation 2024 de gisement Djebel Onk**

**[34] : BELLENGER, C. (2011).** « Le pneu écologique, Un polymère respectueux de L'environnement ? » ECOLE DES MINES DOUAI

**[35] : Pereira, F. (2003).** Production d'acide phosphorique par attaque phosphatés avec Réduction des terres rares en tant que sous-produits. Thèse de Doctorat

**[36] : BADRI.Y, & AMRANIA.A. (2016).** Le Choix des équipements de chargement et de transport dans la carrière d'Ain El Kebira. Université Abderrahmane Mira de Bejaia.

**[37] : GUIDE CATERPILLAR® (2000).** MATÉRIELS ET MÉTHODES (édition 31). Caterpillar Inc., Peoria, Illinois, U.S.A.

**[38] : (s.d.). OCP Slurry Pipeline | TECHNICITE.**

Récupéré sur <http://www.ocpgroup.ma/fr/ocpslurrypipeline/technology>

**[39] : EPE ferroviaire. Entreprise publiques économique de construction de matériels et équipements ferroviaires**

**[40] : Cours d'exploitation à ciel ouvert. Madame Merah 2023. Université Echahid Cheikh Larbi Tébessi – Tébessa.**