



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 العربي التبسي - تبسة
Université Larbi Tebessi – Tébessa
معهد المناجم
Institut des mines
قسم المناجم والجيوتكنولوجيا
Département des mines et de la géotechnologie



MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention d'un diplôme de Master académique

Filière : Génie minier

Option : Géotechnique

Impact de l'exploitation minière sur l'environnement – Cas des mines de phosphate.

Présenté et soutenu par

MERAMRIA Amina

Devant le jury:

		Grade	Etablissement
Président :	HAMDANE Ali	MAA	Université Larbi Tebessi - Tébessa
Encadreur :	BRAHMI Serhane	MAA	Université Larbi Tebessi - Tébessa
Co-encadreur	HEZAIMIA Ilyes	Docteur	/
Examineurs :	BENGHAZI Zied	MAA	Université Larbi Tebessi - Tébessa

Promotion 2020-2021



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 العربي التبسي - تبسة
Université Larbi Tebessi – Tébessa
معهد المناجم
Institut des mines
قسم المناجم والجيوتكنولوجيا
Département des mines et de la géotechnologie



MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention d'un diplôme de Master académique

Filière : Génie minier

Option : Géotechnique

Impact de l'exploitation minière sur l'environnement – Cas des mines de phosphate.

Présenté et soutenu par

MERAMRIA Amina

Devant le jury:

		Grade	Etablissement
Président :	HAMDANE Ali	MAA	Université Larbi Tebessi - Tébessa
Encadreur :	BRAHMI Serhane	MAA	Université Larbi Tebessi - Tébessa
Co-encadreur	HEZAIMIA Ilyes	Docteur	/
Examineurs :	BENGHAZI Zied	MAA	Université Larbi Tebessi - Tébessa

Promotion 2020-2021



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة العربي التبسي - تبسة



مقرر رقم 064 مؤرخ في: 2021/05/19
يتضمن تعيين لجنة مناقشة مذكرة الماجستير

إن مدير جامعة العربي التبسي بتبسة،
- بموجب القرار الوزاري رقم 318 المؤرخ في 05 ماي 2021 المتضمن تعيين السيد "فواسمية عبد الكريم" مديرا لجامعة العربي التبسي - تبسة.
- وبمقتضى المرسوم التنفيذي رقم: 12-363 مؤرخ في 8 أكتوبر 2012، يعدل ويتم المرسوم التنفيذي رقم 09-08 المؤرخ في: 04 جانفي 2009 والمتضمن إنشاء جامعة العربي التبسي بتبسة،
- وبمقتضى المرسوم التنفيذي رقم 08-265 المؤرخ في 17 شعبان عام 1429 الموافق 19 غشت سنة 2008 الذي يحدد نظام الدراسات للحصول على شهادة الليسانس وشهادة الماجستير وشهادة الدكتوراه، لاسيما المادة 9 منه،
- وبموجب القرار رقم 362 المؤرخ في 09 جوان 2014 الذي يحدد كفاءات إعداد ومناقشة مذكرة الماجستير، لاسيما المادتان 10 و 11 منه،
- وبموجب القرار رقم 357 المؤرخ في 15 جوان 2020، المعدل للمعق القرار رقم 1080 المؤرخ في 13 أكتوبر 2015 والمتضمن تأهيل ماستر الفروع ذات التسجيل الوطني بعنوان السنة الجامعية 2015-2016 بجامعة تبسة، اختصاص جيوتقني.
وبعد الاطلاع على محضر المجلس العلمي لمعهد المناجم المؤرخ في 2021/05/09،
يقرر ما يأتي:

المادة الأولى: تُعَيَّن بموجب هذا المقرر لجنة مناقشة مذكرة الماجستير المحضرة من طرف الطالب (ة):
أمينة مرامرية، المولود (ة) بتاريخ 1997/04/08 بتبسة،

والموسومة بـ

Impact de l'exploitation minière sur l'environnement – Cas des mines de phosphate

والمسجلة بمعهد المناجم

المادة 2: تتشكل اللجنة المشار إليها في المادة الأولى من الأعضاء الآتي ذكرهم:

رقم	الاسم واللقب	الرتبة	مؤسسة الانتماء	الصفة
1	سرحان براهمي	أستاذ مساعد أ-	جامعة العربي التبسي - تبسة	مؤطرا
2	إلياس حزامية	دكتور	/	مؤطرا مساعدا
3	علي حمدان	أستاذ مساعد أ-	جامعة العربي التبسي - تبسة	رئيسا
4	زياد بن غلزي	أستاذ مساعد أ-	جامعة العربي التبسي - تبسة	مناقشا

المادة 3: يكلف رئيس قسم المناجم والجيوتكنولوجيا بتنفيذ هذا المقرر الذي يُسَلَّم نسخة منه إلى كل من الطالب المعني والمشرف على المذكرة وأعضاء لجنة المناقشة فور توقيعه.

المادة 4: تحفظ نسخة عن هذا المقرر في الملف البيداغوجي للطالب المعني، وينشر في الأمانة الرئيسية لجامعة العربي التبسي.

تبسة، في: 2021/05/19

مدير المعهد
المستشار
لجنة المناقشة
بجامعة العربي التبسي
بالتبسة



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة العربي التبسي - تبسة



مقرر رقم 113 مؤرخ في: 2021/05/20
يتضمن الترخيص بمناقشة مذكرة الماستر

إن مدير جامعة العربي التبسي بتبسة،

- بموجب القرار الوزاري رقم 318 و المؤرخ في 05 ماي 2021 المنتظم تعيين السيد "قواسمية عبد الكريم" مديرا لجامعة العربي التبسي - تبسة،

- وبمقتضى المرسوم التنفيذي رقم : 12-363 مؤرخ في 8 أكتوبر 2012، يعدل ويتمم المرسوم التنفيذي رقم 09-08 المؤرخ في : 04 جانفي 2009 و المنتظم إنشاء جامعة العربي التبسي بتبسة،

- وبمقتضى المرسوم التنفيذي رقم 08-265 المؤرخ في 17 شعبان عام 1429 الموافق 19 غشت سنة 2008 الذي يحدّد نظام الدراسات للحصول على شهادة الليسانس وشهادة الماستر وشهادة الدكتوراه، لاسيما المادة 9 منه،
وبموجب القرار رقم 362 المؤرخ في 09 جوان 2014 الذي يحدّد كفايات إعداد ومناقشة مذكرة الماستر، لاسيما المادة 7 منه،

- وبموجب القرار رقم 357 المؤرخ في 15 جوان 2020، المعدل ملحق القرار رقم 1080 المؤرخ في 13 أكتوبر 2015 و المنتظم تأهيل ماستر الفروع ذات التسجيل الوطني بعنوان السنة الجامعية 2015-2016 بجامعة تبسة، اختصاص جيوتقني.

- وبموجب المقرر رقم 064 المؤرخ في 2021/05/19 و المنتظم تعيين لجنة مناقشة مذكرة الماستر،

- وبعد الاطلاع على تقرير لجنة مناقشة مذكرة الماستر المؤرخ في

يقرّر ما يأتي:

المادة الأولى: يُرَخَّصُ للطلّاب (ة) أمينة مرّامية، المولود (ة) بتاريخ 1997/04/08 بتبسة، بمناقشة مذكرة الماستر والموسومة بـ

Impact de l'exploitation minière sur l'environnement – Cas des mines de phosphate

المادة 2: يكلف رئيس قسم المناجم والجيوتكنولوجيا بتنفيذ هذا المقرر الذي يسلم نسخة عنه إلى الطّالِب المعني بالمناقشة وأعضاء لجنة المناقشة فور توقيعه، وبضمان نشره عبر فضاءات المؤسسة المادية والرقمية.

المادة 3: تُحفظ نسخة عن هذا المقرر ضمن الملفّ البيداغوجي للطلّاب المعني وينشر في النشرة الرسمية لجامعة العربي التبسي.

حُرّر ب تبسة، في: 2021/05/20

عن المدير، وبتفويض منه

مدير معهد المناجم

مدير معهد المناجم بالقبليّة

أ. ب. زويبير



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

مؤسسة التعليم العالي: جامعة العربي التبسي - تبسة

تصريح شرفي
خاص بالالتزام بقواعد النزاهة العلمية لانجاز بحث

أنا الممضي أدناه،

السيد (ة) جمال محمدية أحميدية.....الصفة: طالب، أستاذ باحث، باحث دائم.....جامعة البليدة.....

الحامل لبطاقة التعريف الوطنية/ رخصة السياقة رقم: A.00856584 والصادرة بتاريخ 28/08/2020

المسجل بمعهد البحر المتوسط.....قسم المناجم والجيولوجيا
والمكلف بإنجاز أعمال بحث (مذكرة التخرج، مذكرة ماستر، مذكرة ماجستير، أطروحة دكتوراه)، عنوانها:

Impact de l'exploitation minière
sur l'environnement - les mines de phosphate

أصرح بشرفي أنني ألتزم بمراعاة المعايير العلمية والمنهجية ومعايير الأخلاقيات المهنية والنزاهة الأكاديمية
المطلوبة في انجاز البحث المذكور أعلاه.

التاريخ: 20.21/06/16

إمضاء المعني (ة)

16 جوان 2021

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

1438

DÉDICACES

Grace à ALLAH qui m'a aidé à compléter ce travail que
je le dédie :

Mon grand-père **BOUZID Saad**

Mes chers parents **AHMED** et **HAFIZA** aucune
dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel
et ma considération pour les sacrifices que vous avez
consenti pour mon instruction et mon bien être. Je vous
remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez
depuis mon enfance. Puisse Dieu, le Très Haut, vous accorde
santé, bonheur et longue vie et faire en sorte que jamais je ne
vous déçoive.

À mes chers et adorables frères **Med Amine**, **Hayder** et
Salah eddine, À ma sœur **Israa** à la famille **MERAMRIA** et la
famille **BOUZID** à mes chères amis **Rachida**, **Rania**, **Samiha**,
Soumia, à **Ilhem** et ses filles, **Amel Rachech**, **Kenza Amel**, et
mon chère **Kenza**, À tous ceux qui me sont chers à Tous Mes
enseignants tout au long de mes études.

Amina



Remerciement

Au terme de ce travail, je tiens à exprimer ici mes remerciements et ma plus profonde gratitude pour tous ceux qui, par leur aide ou simplement la sympathie qu'ils m'ont témoignée, pour l'élaboration de ce travail. Que chacun trouve dans les premières phrases de cette mémoire l'expression de ma profonde reconnaissance.

*Je tiens tout d'abord à remercier **Monsieur BRAHMI Serhane**, mon encadreur, pour sa confiance mais aussi pour m'avoir permis de réaliser ce travail dans les meilleures conditions et en toute liberté. Son aide, ses conseils et sa rigueur scientifique ont représenté un soutien précieux et enrichissant. Ses intérêts pendant la période du stage. Je le remercie sincèrement.*

*Je suis très reconnaissant envers **Mr HAMDAN Ali**, d'avoir accepté de présider ce jury*

*Je suis également très reconnaissant envers **Mr BENGHAZI Z.** pour avoir participé en tant qu'examineur, et de l'honneur qu'il m'a fait en acceptant d'évaluer ce travail.*

Mes sincères remerciements et ma gratitude vont également à toute l'équipe de complexe minier de Djebel Onk. A leur tête monsieur le directeur AOUICHE. B., qu'ils soient assurés de notre dévouement, sans oublier monsieur le responsable de laboratoire du complexe minier de Djebel Onk Bassem, aussi monsieur gouasmia taher, djemoui et khelifa. Et tous les ingénieurs du complexe minier de Djebel Onk Mr BELGHITH A, M Ali, MEKHLLOUFI. B et sur tous madame Latifa.

Mes vifs remerciements vont également à tout le personnel de CETIM de Boumerdes en particuliers, monsieur le directeur d'étude BOUTABA. A., également à tout le personnel de laboratoire de CETIM sur tous madame Karima et madame Bahia.

Je suis également très reconnaissant envers Mme ABAIDIA Amel., Mr Rida Gaid., Mr houaouchi. K Mr MEBARKIA F., ABDALLAH A., les ingénieurs de la Société des ciments de Tébessa.

Mes remerciements vont également à tous les enseignants de la géotechnique et surtout Mr. Mebrouk.f, mes collègues BENNOUN. S, HAMMOUCH. Y, à Mr Ahmed BenChohra. R, KHELIF. Imane, RECHACH. A., DJOUINI. I. qui m'ont soutenue et encouragée pour accomplir ce travail.

Je suis enfin très reconnaissant envers tous les membres de ma famille, pour leurs encouragements et leur soutien tout au long de mes études.

ملخص

لا يخلو الاستغلال المنجمي للفوسفات من تأثيراته السلبية على البيئة وصحة العامة. في الواقع، أن مختلف مراحل استخراج، تجهيز وتثمين الفوسفات، ينتج عنها ملوثات مختلفة (صلبة، سائلة، غازية، ...). هاته العمليات لها تأثيرات مباشرة و/أو غير مباشرة على المحيط الطبيعي ولا سيما على الصحة العامة.

في هذه الدراسة، قمنا بتسليط الضوء على هذه التأثيرات من عدة جوانب. يؤثر الاستغلال المنجمي من حيث انبعاث الغبار و اصدار الضوضاء، التسيير غير المحكم لأطنان نفايات المنجم الصخرية التي تمت تعبئتها. في هذا الإطار تم جمع بعض العينات بالقرب من المجمع المنجمي لجبل العنق لهدف تحليل المعادن بانحرافات الأشعة السينية، يتبعه تحليل لتحديد إمكانية تواجد المعادن الثقيلة، هذه الأخيرة كانت هدف تحليل المركبات الأساسية. و من أجل تصور توزع عناصر المعادن الثقيلة قمنا برسم خرائط بواسطة برنامج سورفر.

من ذلك يتبين، ان استغلال الفوسفات في منطقة بئر العاتر له تأثير مباشر على انبعاث المعادن الثقيلة (التي يمكن أن تكون ضارة)، في الهواء ووفقاً للاتجاه المهيمن للرياح. كما انه يجب الأخذ بالأسباب لتقليص الملوثات الخاصة بالغبار والازعاجات عن الصوت.

الكلمات المفتاحية: جبل العنق، المعادن الثقيلة، تحليل المركبات الأساسية، التأثير البيئي، بئر العاتر

Résumé

L'exploitation des gisements de phosphates n'est pas sans effet sur l'environnement et la santé publique. En effet, les différentes étapes d'extraction, de préparation et de valorisation des phosphates, génèrent divers polluants (solides, liquides, gazeux et sonores). Ces opérations ont des impacts direct et/ou indirect sur les milieux naturels notamment sur la santé publique.

Dans cette étude nous avons mis en évidence ces impacts sous plusieurs aspects. L'investigation de terrain induit un aspect gênant en terme l'émission de poussière et de bruits, une gestion incohérente des volumes de stérile et de terre mobilisé. Dans ce cadre plusieurs échantillons sont récupérés aux alentours su complexe minier pour analyse minéralogique par DRX, suivi d'un analyse à fin de déterminer la possible présence de métaux lourds (ML), ces derniers ont été l'objet d'une analyse en composantes principales (ACP). Afin de bien visualiser la répartition des éléments métaux lourds une cartographie est réalisée par Surfer 20.

En termes de ce travail, l'exploitation des phosphates dans la région de Bir El Ater à un impact direct sur l'émission des ML (qui peuvent être nocif), dans l'espace et selon la direction dominante du vent. Un impact des poussières polluantes et sonores sont à déplorer.

Mots clés : Djebel Onk, métaux lourds, ACP, impact environnemental, Bir El Ater.

Abstract

The exploitation of phosphate deposits is not without effects on the environment and public health. Indeed, the various stages of extraction, preparation and valuation of phosphates, generated various pollutants (solids, liquids, gases and noise. These operations have direct and / or indirect impacts on natural environments, in particular on public health.

In this study, we have highlighted these impacts in several aspects. The field investigation induces a troublesome aspect in terms of dust and noise emission, an inconsistent management of the volumes of waste rock and mobilized earth. In this context, several samples are collected around the mining complex for mineralogical analysis by XRD, followed by an analysis to determine the possible presence of heavy metals (ML), the latter were the subject of an analysis in mysterious principal (PCA). In order to clearly visualize the distribution of heavy metal elements, a map made by Surfer 20.

In terms of this work, the exploitation of phosphates in the Bir El Ater region has a direct impact on the emission of MLs (which can be harmful), in space and according to the prevailing wind direction. An impact of polluting and sound dust is to be deplored.

Keywords : Jebel Onk, heavy metals, ACP, environmental impact, Bir El Ater.

Liste des notations

Zn : Zinc.

Ca : Calcium.

Cu : Cuivre.

Cd : Cadmium.

U : Uranium.

SiO₂ : Silice

NO : oxyde d'azote.

CO : monoxyde de carbone.

Hc : hydrocarbure.

PbO : monoxyde du plomb.

SSP : Superphosphate simple.

MES : Matières En Suspensions

HSE : Service d'hygiène, sécurité et environnement.

OMS : l'organisation mondiale de la santé.

ONG : les organismes gouvernementaux et non gouvernementaux.

PGE : Plan détaillé de Gestion Environnementale.

ORSEC : Organisation des secours en cas de catastrophe.

A.C.P : Analyse des composantes principales

ML : Métaux lourds

DRX : Diffractométrie des rayons X

MO : Matière organique

P₂O₅ : phosphate

Pb : plomb

SAA : Spectrométrie d'absorption atomique

Listes Des Tableaux

Tableaux	La Page
Le tableau 1 : montre des teneurs moyennes en éléments en traces des échantillons de phosphatites permienne Guibrandsen (1966).	12
Tableau 2. Distribution des fréquences des directions du vent.	22
Tableaux 3 : composition chimique de minerai de phosphate de Djebel Onk (EREM. 1985–1987)	35
Tableau 4 : Valeurs propres et variance exprimée pour les deux facteurs.	66
Tableau 5 : Matrice de corrélation entre les différentes variables.	67
Tableau 6 : Relevés topographiques	82
Tableau 7 : Longueurs finales des tranchées d'accès	83
Tableau 8 : Propriétés géomécaniques des roches (Gratessolle 2014)	90

Listes Des Figures

LISTE DES FIGURES	La page
Fig.1 : Schéma de la phosphatogénèse selon Kazakov A.V (1930)	6
Fig. 2 a) : Gisements potentiellement économiques de phosphate dans le monde (Dhaher,2015)	8
Fig. 2 b) : graphe des six premiers producteurs de phosphate dans le monde (Dhaher, 2015)	9
Fig. 3 : Carte de localisation du bassin minier de Djebel Onk : zone d'exploitation, rivières des montagnes et oueds (carte Michelin).	10
Fig. 4 : Situation géographique de la région de BIR EL ATER	18
Fig. 5 : Les principaux complexes aquifères dans la région d'étude (saadali.b).	19
Fig. 6 : Variation de la température moyenne mensuelle maximale	20
Fig. 7 : Variation de la température moyenne mensuelle minimum	20
Fig. 8 : Variation de la moyenne mensuelle des précipitations à la station de SafSaf El Ouessa pour tous les mois enregistrés pendant la période de septembre 1997 à février 2014.	21
Fig. 9 : L'humidité relative moyenne.	21
Fig. 10 : Localisation géographique de la zone d'étude à l'Est de l'Algérie.	22
Fig. 11 : Carte de situation géographique et géologique des gisements de Djebel Onk (Mezghache, H, 1991)	24
Fig. 12 : Colonne stratigraphique de la région de Djebel Onk – Algérie orientale (Cielensky et Benchernine, 1987)	26
Fig. 13 : Carte structurale de la région du Djebel Onk à l'intérieur du bassin de Gafsa-Métlaoui-Djebel El Onk (Aissaoui, 1984)	30
Fig. 14 : Situation paléogéographique des gisements de phosphates de la région du Djebel Onk à l'intérieur du bassin phosphate de Gafsa – Métlaoui – Dj Onk (Prian et Cortiel, 1993)	32
Fig. 15 : Emission de poussière lors de l'opération de stockage.	48
Fig. 16 : Les boues des laveries de phosphate.	51
Fig. 17 : Système de traitement des eaux de lavage de phosphate	52

Fig. 18 : Localisation d'échantillonnage	58
Fig. 19 : technique d'échantillonnage et localisation de station par GPS : a) lac des eaux usées au traitement de phosphate, b) prélèvement au voisinage de l'usine.	59
Fig. 20 : préparation mécanique des échantillons : a) concassage, b) tamisage, c) broyage, d) division d'échantillon, e) récupération d'échantillon, f) diviseur.	59
Fig. 21 : Calcimètre de BERNARD	60
Fig. 22 : Mesure de H ₂ O avec une balance de mesure d'humidité	60
Fig. 23 : l'appareil (SAA)	61
Fig. 24 : Diffractométrie des rayons X	62
Fig. 25 : Résultats des analyses minéralogiques par DRX Fig. a) : Diffractogramme échantillon N° 3 Fig. b) : Diffractogramme échantillon N°7	63-64
Fig. 26 : Projection des variables sur le plan factoriel F1/F2.	67
Fig. 27 : Carte de répartition du phosphate P ₂ O ₅ .	68
Fig. 28 : Carte de répartition du Matière organique MO.	69
Fig. 29 : Carte de répartition du Carbone organique TCO.	69
Fig. 30 : Carte de répartition du CO ₂ .	70
Fig. 31 : Carte de répartition du calcium (Ca).	70
Fig. 32 : Carte de répartition du SiO ₂ .	71
Fig. 33 : Carte de répartition du Plomb (Pb).	71
Fig. 34 : Carte de répartition du cuivre (Cu).	72
Fig. 35 : Carte de répartition du Zinc (Zn).	72
Fig. 36 : Carte de répartition du calcium (Cd).	73

Listes Des Figures

Fig. 37 : La nouvelle tranchée d'accès pour suite de l'exploitation	80
Fig. 38 : les paramètres d'une tranchée d'accès	83
Fig. 39 : carte représente l'extension des travaux d'exploitation, et l'emplacement du dépôt des stériles	86
Fig. 40 : Photo Google de la carrière de Kef Essenoun illustrant l'effondrement de 2007	87
Fig. 41 : Coupe géologique Nord-Sud de la carrière après le glissement	88
Fig. 42 : Coupe géologique Nord-Sud de la carrière de Kef Essenoun avant le glissement (Mezam 2015)	89
Fig.43 : Carte structurale de la couche de phosphate dans la zone de Kef Essenoun et localisation des sondages carottés (Prian et Cortiel 1993), avec le positionnement des deux coupes géologiques perpendiculaires à la structure anticlinale du Djebel Onk N 80 (voir Fig. 41)	89
fig. 44 : Situation de la carrière de Kef Essenoun avant le glissement	90

Table des matières

	SOMMAIRE	PAGES
Dédicace		
Remerciement		
ملخص		i
Résumé		ii
Abstract		iii
Liste des notions		iv
Liste des tableaux		v
Liste des figures		vi
Liste des matières		viii
Introduction Générale		1
	Chapitre 1	
Introduction		5
Historique des phosphates		5
Genèse des phosphates		5
Principales caractéristique des phosphates naturels		7
Caractéristique pétrographique		7
Morphologie des phosphates		7
Classement des phosphates		7
Les gisements et les réserves de phosphates		8
Les gisements et les réserves dans le monde		8
Consommation mondiale de phosphate		9
Les gisements et les réserves de phosphate en Algérie		9
Les domaines d'application		10
Les engrais		10
Les applications techniques		11
Chimie des phosphates		11
Eléments majeurs		11
Eléments en traces		12
Concentration de l'Uranium (U) dans les phosphates		12
Concentration des terres rares dans les phosphates		13
Nomenclature des phosphates		14
Traitement des phosphates		14
Conclusion		15
	Chapitre 2	
Introduction		17
Situation géographique		17

Table des matières

Aperçu hydrogéologique	18
Conditions climatiques	19
Climatologie	19
Température	19
Précipitation	20
Humidité	21
Le vent	21
Situation géographique des gisements de Djebel Onk	22
Gisement de Djemidjma	23
Gisement de Kef Essenoun	23
Historique de la recherche géologique à Djebel Onk	24
Stratigraphie de la région de Djebel Onk	25
Crétacé supérieur	25
Paléocène	25
Danien	25
Montien	26
Thanétien	26
Eocène	27
Lutétien	27
Miocène	27
Quaternaire	28
Historique de la mine de phosphate de Kef-Essenoun Djebel El Onk	28
Lithostratigraphie	28
Thanétien	28
Tectonique régionale	29
Chronologie des phases de déformations	30
Tectonique synsédimentaire (Paléocène-Eocène)	30
Tectonique post – Eocène moyen, tardi – Miocène	30
Tectonique tradi–Miocène post–Burdugalienne à Paléocène –Pléistocène	31
Structure géologique	31
Paléogéographie	31
Période de sédimentation marine	32
Période de sédimentation continentale	33

Les caractéristiques minéralogiques et chimiques de minerai de phosphate de djebel Onk	34
Minéralisation	34
Les réserves exploitables	35
Chaine de traitement de l'usine de djebel Onk	35
Conclusion	35
Chapitre 3	
Introduction	38
Lutte contre tous les principaux agents facteurs pouvant nuire à l'homme et à son environnement	38
Lutte contre la poussière	38
Lutte contre le bruit	39
Les lois environnementales des mines	39
Définitions	42
Etude d'impact sur l'environnement	42
Les substances minières	43
Sécurité	44
Connaissance des impacts d'exploitation	45
Impact sur la santé	45
Effet du Flore	45
Effet du faune	45
Effet du cadmium	46
Effet du plomb	46
Effet de La silice	46
Effet des minéraux radioactifs	46
Impact des travaux d'exploitation sur l'environnement	46
Impact sur l'air	47
Caractérisation des poussières générer par la mine	47
Les poussières générer par les aires de stockage	48
Poussière et gaz émis par les engins	48
Impact sur les ressources en eau	49
Impact sur les eaux superficielles	49
Impact sur les eaux souterraines	50
Autres impacts	50
Le bruit	50

La Vibration	50
La dégradation du paysage	51
Impact Effluents et rejets de laveries	52
Métaux lourds	52
Définition des métaux lourds	52
Les sources naturelles des métaux lourds	52
Les rejets physiques	53
Les rejets des métaux lourds dans l'eau	53
L'eau et les métaux lourds	53
Spéciation des métaux lourds dans les sédiments	53
Sécurité au niveau des travaux miniers	54
Sécurité du forage des trous	54
Sécurité au niveau d'abattage des roches	54
Sécurité lors des tirs de mine	55
Sécurité par rapport aux personnes et engins	55
Sécurité lors du chargement– transport	55
Sécurité lors du transport de l'explosif	56
Conclusion	56
Chapitre 4	
Introduction	58
MOYENS ET METHODES	58
Echantillonnage	58
Analyse chimiques au laboratoire	59
Préparation des échantillons	59
Dosage de l'anhydride carbonique CO ₂ (Calcimètre de BERNARD).	60
Mesure de H ₂ O avec une balance de mesure d'humidité	60
dessiccateur PCE-MA 110	60
Attaque perchlorique	60
Dosage du P ₂ O ₅ par la méthode spectrophotométrie automatique (Auto analyseur Technicon).	61
Dosage du Cd, Zn, Pb, Cu, Ca, par la méthode d'absorption atomique (Spectrométrie d'absorption atomique (SAA))	61
Caractérisation minéralogique par diffractométrie des rayons X (DRX)	62
Principe d'analyse	62
Condition expérimentale	63
Résultats des analyses minéralogiques par DRX	63

TRAITEMENT DES DONNEES CHIMIQUES	64
Méthodes statistiques utilisées	65
Analyse en composantes principales (A.C.P)	65
Principe de l'analyse en composantes principales	65
Conditions d'utilisation de L'ACP	66
Corrélations entre les variables et les facteurs	66
Cartographie de la répartition spatiale des éléments chimiques	68
Carte de répartition du phosphate P ₂ O ₅	68
Carte de répartition du Matière organique MO	68
Carte de répartition du Carbone organique TCO	69
Carte de répartition du CO ₂	69
Carte de répartition du calcium Ca	70
Carte de répartition du SiO ₂	70
Carte de répartition du Plomb (Pb)	71
Carte de répartition du cuivre (Cu)	71
Carte de répartition du Zinc (Zn)	72
Carte de répartition du calcium (Cd)	72
Conclusion	73
Chapitre 5	
Introduction	76
Exploitation du gisement de Kef Esnoun	76
Généralité sur l'exploitation	76
Ouverture du gisement	76
Critères arrêtés pour l'ouverture du gisement de Kef-Essenoun	77
Taux de découverte	77
Mise à teruil	78
Situation financière	78
Mode d'ouverture du gisement de Kef- Essenoun	78
Comparaison des deux propositions	78
La durée de construction de la carrière	79
Nombres de tranchées et leur disposition	79
Les paramètres du nouveau schéma d'ouverture	80
Les paramètres qui caractérisent une tranchée	81
Forme de la section transversale	81
Profondeur finale des tranchées d'accès	81

Table des matières

Angle des talus de tranchées	81
La largeur des tranchées	81
Inclinaison longitudinale des tranchées	82
Longueur des tranchées	82
Volume des tranchées d'accès	83
Système d'exploitation d'exploitation du gisement de Kef Essenoun	84
Principaux éléments du système d'exploitation du gisement de Kef- Essoun	84
Les paramètres de la méthode d'exploitation du chantier de (Kef- Essoun	84
Hauteur de gradin	84
Inclinaison des talus gradins	84
Largeur de plateforme	85
Caractéristiques des pistes	85
Impact de l'exploitation minière sur la stabilité des talus (cas du glissement de Kef Essenoun)	86
Analyse du glissement	87
Historique	87
Cartographie de la zone glissée	87
Caractéristique du glissement	88
Identification du terrain glissé	88
Les facteurs principaux qui génèrent le glissement	90
Facteurs géologiques et structuraux	90
Facteurs techniques et technologique	91
Critique	92
Conclusion	92
Conclusion et recommandations	94
Références Bibliographie	I



Introduction Générale

Introduction générale

L'industrie phosphatée algérienne est née à la fin du XIX^{ème} siècle avec la découverte et la mise en exploitation de plusieurs gisements à l'Est du pays (El Kouif, dj. El Onk). En 1962 commença l'exploitation du gisement de phosphate, de Djebel Onk. Ces phosphates naturels de type sédimentaire représentent un privilège socio-économique local et national. Avec une réserve évaluée à 3.2 Million de tonne, et une exploitation annuelle d'environ 2.1 à 2.3 MT, depuis plus de soixante ans, cette industrie est la cause de plusieurs impacts direct ou indirect sur le milieu naturel et la santé publique. De ces impacts on peut citer l'émission des poussières et effluents, qui affectent le paysage et les ressources en eaux superficielle et souterraine ainsi que l'habitat de la faune et la flore. Ces impacts agissent aussi sur la stabilité des massifs rocheux à travers l'augmentation et l'élargissement du système de fissuration comme conséquence de l'utilisation excessive de l'explosif d'abattage.

L'objectif de ce travail est de quantifier les émissions en terme de métaux lourds et de rechercher la présence des résidus des phosphates du complexe minier de Djebel Onk. C'est ainsi que la collecte de plusieurs échantillons aux alentours du complexe minier fut réalisée. Ces échantillons ont été l'objet :

D'analyse chimique, le dosage des métaux lourds Cd, Cu, Zn, Pb par Spectrométrie d'absorption atomique (SAA), en utilisant la méthode spectrophotométrie automatique.

Pour pallier à ce défi nous l'avons entamé suivant le contexte suivant.

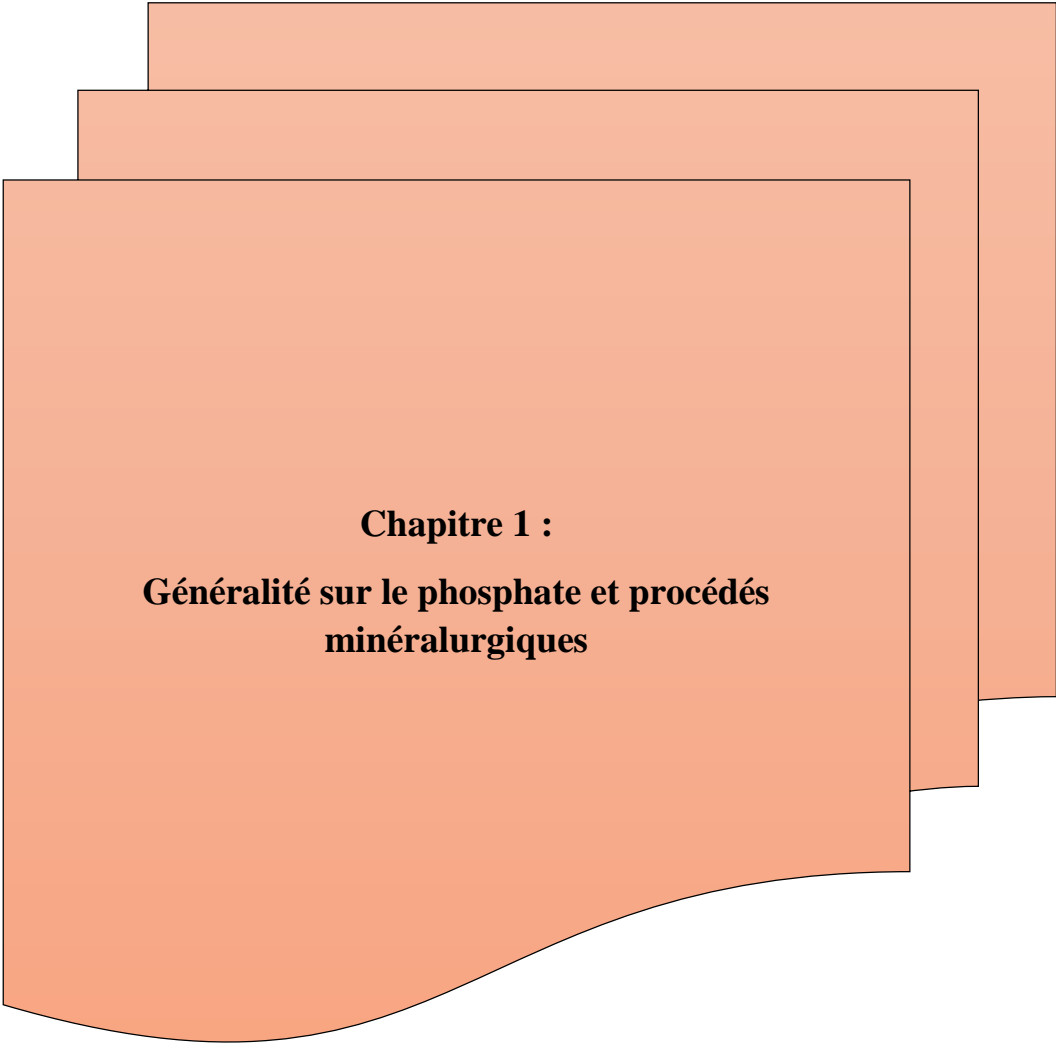
Chapitre 1 : traitant le contexte généralité à propos des phosphates et les procédés minéralurgiques qualifiant l'importance du phosphate pour la demande mondiale.

Chapitre 2 : dans ce chapitre on traite la genèse et la disposition du gisement de phosphate de Djebel Onk particulièrement Kef Esnoun et son importance comme le plus grand complexe minier de l'Algérie

Chapitre 3 : ce chapitre mettra en exergue quelques impacts de l'exploitation minière sur l'environnement et la santé publique.

Chapitre 4 : les moyens et méthodes sont exposés dans cette partie, il concerne les analyses chimiques des éléments issus de l'exploitation de phosphate. Les résultats des échantillons ont subi un traitement par l'ACP suivi d'une cartographie.

Chapitre 5 : la critique du mode d'exploitation relatif au gisement de Kef Essenoun et ce qui en résulte dans le contexte de perturbation et d'instabilité des talus et conséquence pour l'entreprise.



Chapitre 1 :
Généralité sur le phosphate et procédés
minéralurgiques

1. Introduction

Une source de matière première absolument indispensable pour l'humanité. Compte tenu de leurs applications potentielles dans de nombreux secteurs industriels : métallurgie, pharmacologie, détergents, chimie et autres, un intérêt particulier est porté à leur valorisation (Bezzi, N, 2005). En Algérie les phosphates naturels représentent une richesse pour notre pays. Ces ressources sont situées dans le bassin minier Djebel Onk peuvent atteindre deux milliard de tonnes.

2. Historique des phosphates

L'extraction de phosphate a été réalisée par l'alchimiste allemand de Hambourg Henning Brandt en 1669. Le nom choisi pour cette substance dérive du grec phosphoros « qui porte la lumière ». Ce n'est qu'un siècle plus tard, en 1769 que le chimiste suédois Carl Wilhem Scheele découvrit la présence de phosphore dans les os. Un procédé d'extraction à partir des os des animaux fut rapidement mis au point

A la fin du 18^{ème} siècle, les engrais phosphates épandus sont d'abord uniquement des os broyés, auxquels s'ajoutent les guanos vers le début de 19^{ème} siècle. L'existence et les possibilités d'utilisation des phosphates naturels ont été reconnues à la même époque, mais ils n'ont commencé à être employés systématiquement que vers 1850. Depuis le début du 20^{ème} siècle de très gros gisements ont été découverts aux Etats-Unis et en Afrique du Nord. La consommation des phosphates ne cesse de croître d'une année à l'autre (Kechiched, 2011)

3. Genèse des phosphates

Le phosphate est un minéral caractérisé par le radical $(\text{PO}_4)^{3-}$, il comprend plus de 200 espèces, Parmi les nombreuses, on note l'apatite, turquoise bleue, la vivianite bleue, la monazite et des produits d'altération des gîtes uranifères (autunite ou uranite ; chalcélite). Le terme général de phosphate naturel recouvre un ensemble de minéraux complexe d'origine diverse (Zemoura, 2005)

Il y'a plusieurs diverses théories concernant la genèse des phosphates, une partie adopte une origine organique et l'autre partie adopte une origine non organique. Selon la théorie d'origine non organique, les phosphates sont le

résultat de la précipitation des composés phosphatés directement de l'eau de mer. Par contre selon la théorie d'origine organique, la précipitation des organismes est indispensable pour la formation des phosphates. La théorie de l'auteur A.V. Kazakov fait un progrès sur l'origine des phosphates, cette théorie est basée sur les résultats de la campagne océanographique. Ces travaux ont montré que la teneur en P_2O_5 de l'eau de mer augmente avec la profondeur (le maximum vers 500 m) et Le minimum se trouve dans la zone de photosynthèse, où le phosphore est consommé. Le phosphore précipite chimiquement sur les bords du plateau continental après y avoir été amené par des courants froids ascendants (figure 1). Avec l'échauffement des eaux, il y'a augmentation du pH et diminution de la pression partielle en CO_2 . Cette diminution amène à la précipitation du $CaCO_3$, puis des phosphates. Donc, la sédimentation chimique des phosphates ne peut se produire dans les régions profondes, là où la pression du CO_2 est trop élevée, ni dans la zone de photosynthèse, où le phosphore est consommé. C'est donc entre 50 et 500 m environ que précipitera le phosphate (Dass, 2006).

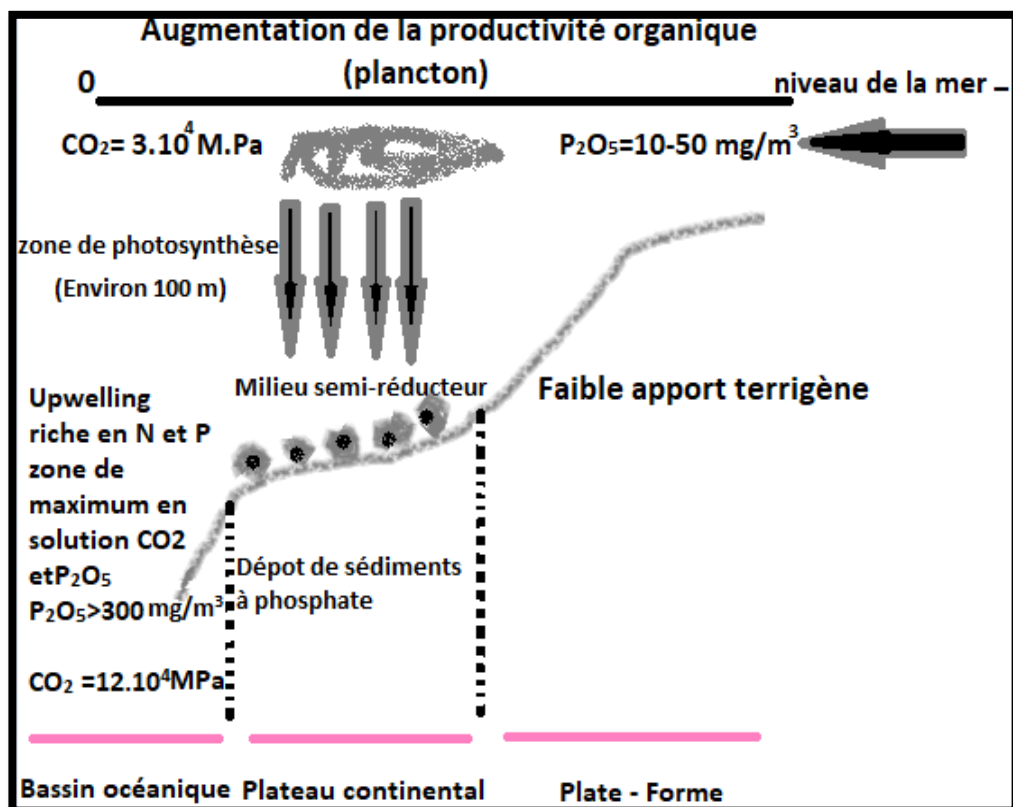


Fig.1 : Schéma de la phosphatogénèse selon Kazakov A.V (1930)

4. Principales caractéristique des phosphates naturels

Plusieurs paramètres physiques permettent de caractériser les phosphates naturels : la nature et la taille dominantes de leur fraction phosphatée principale et de leur fraction phosphatée subordonnée éventuelle.

D'autres parts, les caractéristiques pétrographique, minéralogique et géochimique de ces minerais, ainsi que la compréhension des règles de répartition des différents constituants à travers les gisements, sont des appuis très précieux dans ce domaine. (Bezzi, 2005)

5. Caractéristique pétrographique

Les phosphates sédimentaires présentent des aspects très variés qui les rendent souvent difficiles à reconnaître macroscopiquement. Ils peuvent être en forme des grains de différentes tailles, de nodules, de coprolithes, de débris, d'os, de dents ou de fossiles divers plus ou moins complètement épigénies en phosphates, etc. Cette variété de caractéristique pétrographique conduit à une nomenclature spécifique, phosphorite, phosphotite, etc. (Bezzi, 2005)

6. Morphologie des phosphates

Les éléments figurés phosphatés ont des forme plus variées, La nature des éléments figurés les plus fréquentes peut être introduite dans le nom de la roche grâce aux préfixes bio, litho, intra, extra, dérivés respectivement de la bioclaste, intraclaste, extraclaste, Les éléments phosphatés des phosphorites présentent une grande diversité. Ces éléments sont : les péloïdes, nodules, oolites et ondoies : généralement arrondis à subarrondis et les lithoclastes, bioclastes et coproïdes : de forme souvent moins régulières (Bezzi, 2005).

7. Classement des phosphates

Les phosphates naturels se classent parmi les minéraux les plus indispensables à notre civilisation. Ils sont devenus la source d'une importance considérable. Avec le phosphore nous touchons au premier élément fondamental dont la distribution dans le monde est loin d'être généreuse, mais grâce aux gisements de phosphate, cette rareté peut être aisément corrigée.

La richesse d'un phosphate naturel marchand est exprimée, Soit en anhydride phosphorique (P_2O_5), soit en phosphate tricalcique $(PO_4)_2Ca_3$ dont TPL (Tri basic phosphate of Lime) ou BPL (Bône phosphate of Lime) (Malek, 2006).

8. Les gisements et les réserves de phosphates

a. Les gisements et les réserves dans le monde

Les réserves prouvées et probables de minerais de phosphates naturels connues dans le monde sont considérables, d'après l'inventaire du congrès géologique international de Madrid (1928), c'est plus de 1000 ans de vie que représente les réserves connues (Chronique de Géologie Minière,1977), le concentré marchand produit dans le monde sont essentiellement des phosphates de calcium, c'est-à-dire des phosphatites.

Les pays les plus producteurs de phosphate dans le monde sont le Maroc, les Etats-Unis d'Amérique, la Russie et la Chine (Fig. 2 a). Ils représentent plus de 80% de la production mondiale. Exprimées en millions de tonnes (Mt) de minerai en place. (Malek, 2006)

Et pour une meilleure compréhension on illustre ce paragraphe (Fig. 2 b) avec une carte de monde (Fig. 2 a) ou se localise les plus grands de gisement de phosphates dans monde, ainsi qu'un graphe qui présente les six premiers pays qui produisent cette richesse.

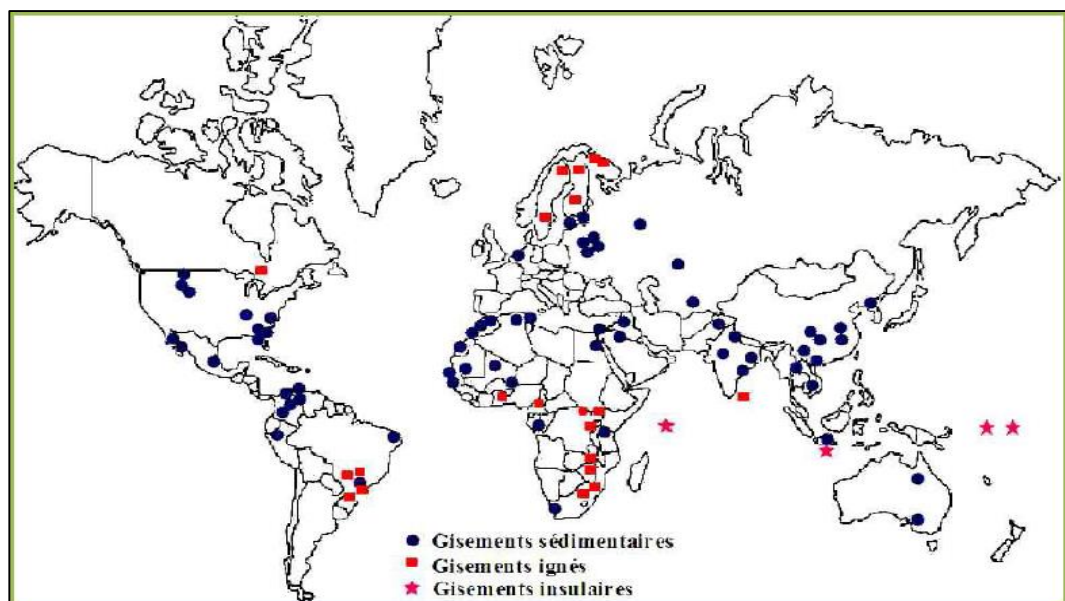


Fig. 2 a) : Gisements potentiellement économiques de phosphate dans le monde (Dhaher, 2015)

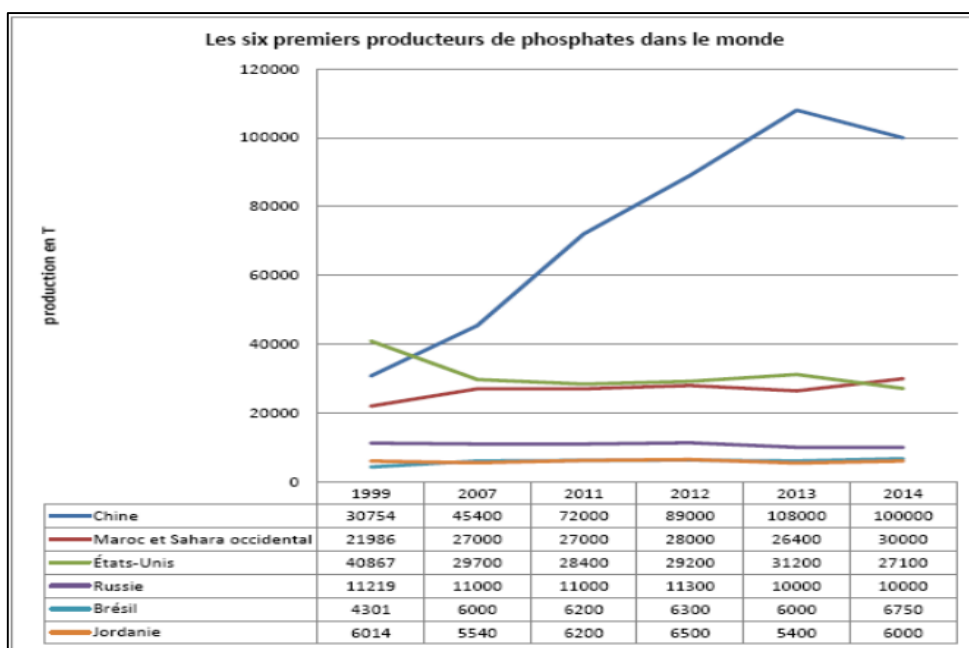


Fig. 2 b) : Représentation graphique des six premiers producteurs de phosphate dans le monde (Dhafer, 2015)

b. Consommation mondiale de phosphate

L'intérêt des phosphates, dont plus de 80% de la production est utilisée par l'agriculture. Le tableau suivant présente les grands pays consommateurs de phosphate, en 2010, en milliers de tonnes, nous remarquons que les plus consommateurs de phosphate sont les pays ayant une grande population dont leurs économies reposent en grande partie sur l'agriculture (Dhafer, 2015).

c. Les gisements et les réserves de phosphate en Algérie

Les plus importantes richesses naturelles du pays de phosphate principalement localisés dans l'Est du pays, avec près de deux milliards de tonnes de ressources/réserves. Elles doivent être divisées selon la situation géologique à deux grandes familles qui sont :

- Un premier groupe est situé à l'Est des Hauts-Plateaux, près de la frontière tunisienne, à proximité de Tébessa : ce sont les gisements du Djebel El Kouif, du Djebel Onk et du Djebel Dyr.

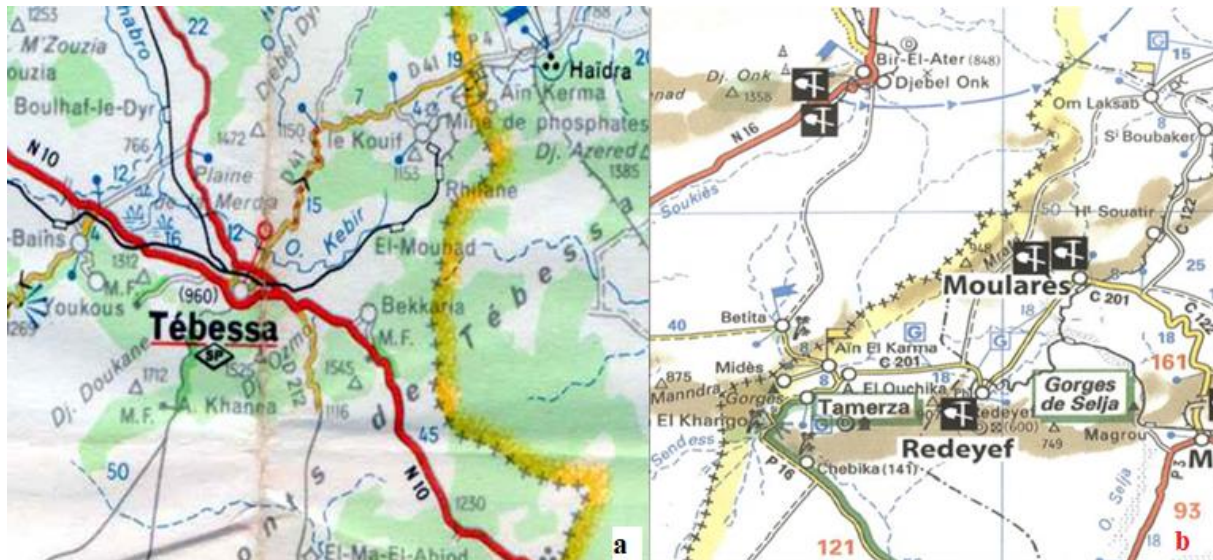


Fig. 3 : Carte de localisation du bassin minier, a) zone d'El kouif et Dj. Dyr ; b) zone de Dj. Onk (carte Michelin).

- Un second groupe se trouve au Nord des Hauts-Plateaux, de Bordj-Bou Arreridj à l'Ouest vers Souk-Ahras à l'Est, en passant par Sétif : Tocqueville, Bordj Ghdyr, MZaïta,

9. Les domaines d'application :

a) Les engrais

Il s'agit essentiellement de phosphate moulu, de phosphate calcinés, et superphosphates.

Les phosphates moulus sont obtenus par broyage très fin de minerai de phosphate, leur teneur moyenne varie entre 26 et 33 % de P_2O_5

Les phosphates calcinés sont obtenus après broyage et calcination du phosphate à haute température de l'ordre de $600^\circ C$ à $1000^\circ C$. Ils sont de moins en moins utilisés à cause de leur cout énergétique.

Le superphosphate simple (SSP) est obtenu par attaque du phosphate l'acide sulfurique, c'est un engrais à bas titre (18% de P_2O_5)

Le triple superphosphate est obtenu par réaction entre le phosphate et l'acide phosphorique, c'est un engrais d'un seul élément fertilisant contenant 46 % de P_2O_5

b) Les applications techniques

Sont utilisés juste en agriculture (Dhafer, 2015)

✚ Utilisation de l'acide phosphorique

- ♣ La fabrication d'engrais super phosphate (la matière première peut alors être sous forme d'acide super phosphorique)
- ♣ Le nettoyage des équipements de production de l'industrie alimentaire et le traitement des eaux usées. (Boukerma, 2014)

10. Chimie des phosphates**a) Eléments majeurs**

Les phosphates contiennent les éléments majeurs (oxydes) suivants : P_2O_5 , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , $CaO-CO_2$, MgO , Na_2O , K_2O , SO_3 , F , Cl et H_2O . Les analyses ont permis de tirer les remarques suivantes (Slansky, 1980) :

- Les teneurs en SiO_2 sont essentiellement dues à la présence de la silice ou des silicates et surtout les argiles comme la glauconie ;
- Dans une fluorapatite $Ca_{10}(PO_4)_6F_2$, le rapport CaO/P_2O_5 est égal à 1,31. Il est supérieur à cette valeur dans les apatites carbonatées due à la présence de calcite et de dolomie, ou une substitution de PO_4 par CO_3 . Une valeur de ce rapport inférieure à 1,3 dénote la présence de minéraux phosphatés différents, alumineux ou alumineux calcique ;
- Le fluor peut être exprimé indépendamment de l'apatite dans les phosphatites, sous forme de fluorine. Dans la plupart de cas, le fluor est lié à l'apatite, le rapport F/P_2O_5 qui caractérise donc ce minérale, varie entre 0,08 à 0,12, atteignant parfois 0,13 voire 0,14 ;
- Les apatites sédimentaires sont habituellement très pauvres en Cl . Lorsque la teneur en cet élément est plus élevée, il s'agit en général, de concentrations secondaires indépendantes du réseau de l'apatite, réductibles par lavage à l'eau douce. Des analyses chimiques sur des échantillons de phosphates d'âges variées montre une teneur en Cl varie de 0,013 à 0,67%.
- Le soufre associé aux phosphatites peut être inclus dans les sulfures ou des sulfates. Les sulfures sont représentés par la pyrite qui peut être rencontré soit dans l'exogangue, soit dans l'endogangue. Les sulfates sont représentés par le gypse et de la barytine ou la Célestine.

b) Eléments en traces

D'après Guibrandsen (1966), les éléments en traces sont associés soit avec la matière organique ou par l'intégration dans le réseau de l'apatite. Les concentrations de Ag, As, Mo, Ni, V, Zn, Cr, Cu, Sb, Se, et Cd sont ainsi attribuées à la matière organique, alors que celles de Sr, U, Th et des terres rares sont attribuées à l'apatite tandis que l'uranium peut aussi être piégé par la matière organique. Prevôt et Lucas (1979), Mezghache et Hani (2002) ont ajouté une possible association avec les argiles.

Le tableau 1 : montre des teneurs moyennes en éléments en traces des échantillons de phosphatites permienne Guibrandsen (1966).

Elément	Teneur (ppm)	Elément	Teneur (ppm)
U	90	Mo	30
Ag	3	Nd	300
As	40	Ni	100
B	<50	Pb	<10
Ba	100	Sb	7
Be	<0.5	Sc	10
Cd	<50	Se	13
Co	<10	Sr	1000
Cr	1000	V	300
Cu	100	Y	1000
Ga	<10	Yb	10
La	300	Zn	300
Mn	30	Zr	30

c) Concentration de l'Uranium (U) dans les phosphates

Généralement, la teneur en uranium (U) du minerai est souvent inférieure à 100 ppm et ne dépasse qu'assez rarement les 200 ppm (Slansky, 1980). Il est à noter que quelques gisements présentent des teneurs élevées en Uranium, on peut citer le gisement de Bakouma (République Centre-Africain) dont les teneurs variaient 1660 à 5600 ppm pour des teneurs en P_2O_5 de 20,37 % en moyenne (Gony, 1971). D'autre gisement tel que le gisement de Mussourie en Inde (en moyenne 408 ppm), Sibérie (100 à 4000 ppm) (Gabshin et al., 1974).

L'altération du minerai peut donner la naissance à d'autres minéraux uranifères tel que : les vanadates et les autunites. Dans le cas d'une altération latéritique détruisant l'apatite, l'uranium s'associe de préférence aux minéraux phosphatés alumino-calciques. Localement la teneur en U augmente très souvent avec la teneur en P_2O_5 , mais la relation ne semble vraiment linéaire que pour les faibles teneurs en U (Slansky, 1980).

Selon Altschuler et al., (1967), l'uranium est associé à l'apatite sédimentaire sous deux formes :

- U^{4+} remplace partiellement Ca^{2+} dans le réseau de l'apatite grâce à des rayons ioniques comparables (0.97 et 0.99 Å). La substitution de Ca^{2+} par U^{4+} concerne essentiellement les ions du réseau où les liaisons sont plus lâches et non pas les ions qui sont moins accessibles (In Boudries, 2008).
- U^{6+} qui ne peut entrer dans le réseau en raison de son rayon ionique qui est trop gros pour permettre une pénétration par les tunnels, est adsorbé à la surface des cristaux.

En Algérie, l'uranium a été découvert dans les phosphates de Djebel Onk en 1934 (Cielensky et Benchermine, 1987). Le dosage de l'uranium dans les phosphates a été fait en 1985-1987 par l'EREM. L'estimation géostatistique de quantité en uranium (U) dans le gisement de Kef Essenoun a été l'Object de plusieurs études (Mezghache, 2002 et Boudries, 2008).

d) Concentration des terres rares dans les phosphates

Les teneurs moyennes en terres rares (Yttrium et lanthanide) varient de 25 ppm dans les calcaires à plus de 250 ppm dans les shales (argiles litées). Les éléments phosphatés plus anciens du fond des océans actuels présentent toutefois des teneurs de l'ordre de 300 ppm (Baturin, 1972). Dans les gisements de phosphates, les teneurs en terres rares sont variables de 590 ppm en Floride (Altschuler et al., 1967). 128 à 691 ppm, avec une moyenne de 436 ppm, dans les gisements égyptiens de la vallée du Nil (El Kammar et al., 1979). Les plus fortes teneurs en terre rares ont été rencontrées dans les dépôts de Maïkop et Mangychlak en Russie, où les concentrations en terres rares dans les débris osseux atteignant en moyenne près de 1% (In Altschuler, 1973).

11. Nomenclature des phosphates

Une classification a été conçue pour une utilisation internationale, il a été tenu compte les définitions du « Glossary of Geology », ce dernier a été publié en 1974 par « American Geological Intitute ». Les termes « phosphorite » et « phosphatite » sont utilisées avec les significations suivantes (Slansky, 1980) :

- **Phosphorite** : C'est une roche sédimentaire composée en majorité, de minéraux phosphatés pouvant être indifféremment des phosphates de Ca, Al et de Fe.

- **Phosphatite** : C'est une roche sédimentaire composée en majorité des minéraux de la série de l'apatite.

L'utilisation de « phosphorite » comme terme le plus général pour les roches à phase phosphatée prépondérante. Le terme « phosphatite » est d'utilisation moins courante.

Lorsqu'une roche sédimentaire contient 50 % de minéraux phosphatés, sa teneur en P_2O_5 dépend de la nature des minéraux phosphatés présents (Slansky, 1980).

Il est à noter qu'une teneur de 18 % en P_2O_5 a été choisie comme une limite entre les roches considérer comme minerai de phosphate ou de roche stérile (Slansky, 1980). En effet, les termes phosphorite ou phosphatite ne peuvent pas être utilisés que dans les roches dont la teneur en P_2O_5 est égale ou supérieur à 18%. Si la teneur est inférieure à 18%, l'utilisation de la nomenclature de la fraction non phosphatée est prise en considération (Slansky, 1980).

12. Traitement des phosphates

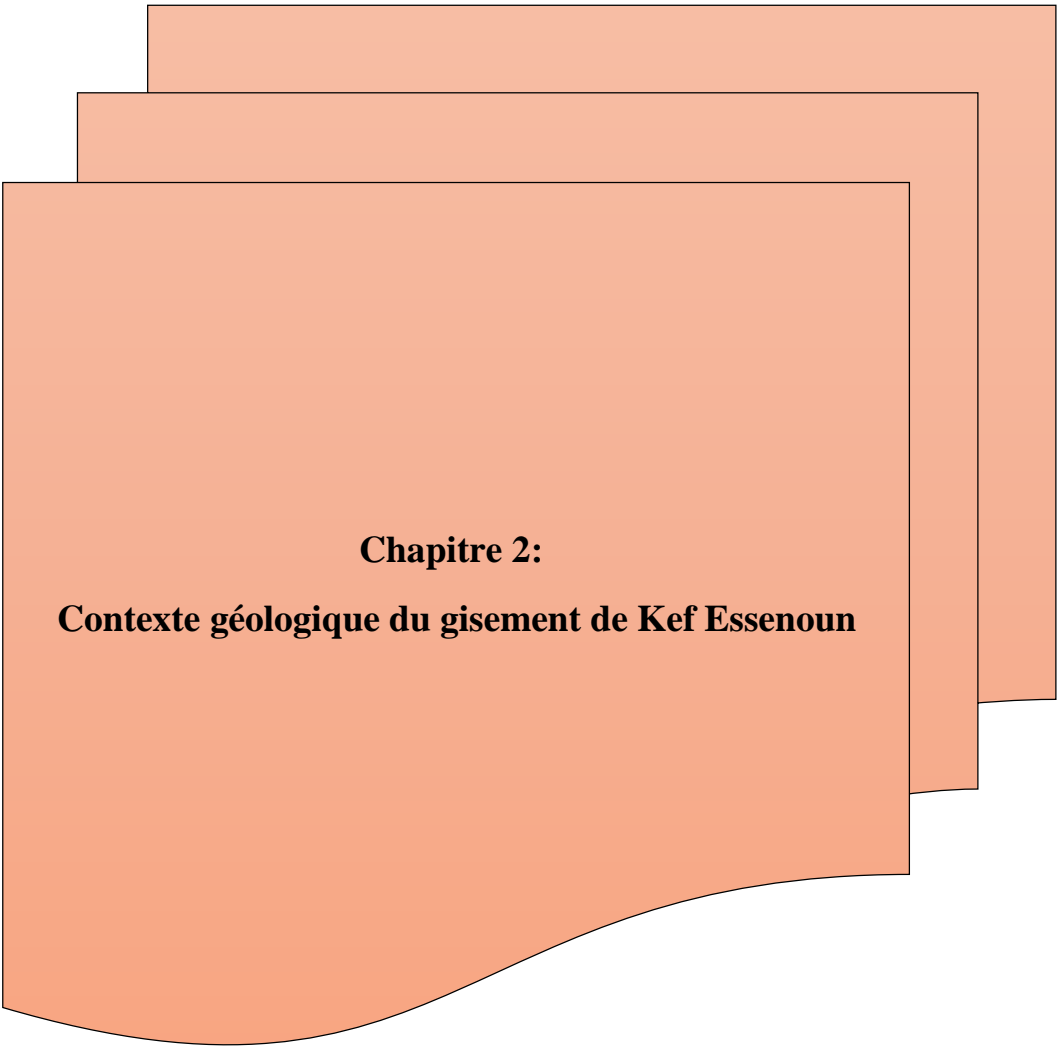
Généralement, les phosphates doivent subir des traitements avant d'être utilisés. Les traitements sont physiques (broyage, calcination, lavage, séchage) et chimiques (attaque du minerai par l'acide sulfurique). L'enrichissement consiste à utiliser les procédés les moins coûteux possibles pour libérer les constituants minéraux, puis à séparer au maximum les impuretés libres par voie physique et ainsi concentrer les éléments phosphatés.

Pour les minerais d'origine ignée non altérés, le problème de l'enrichissement est généralement résolu par réduction granulométrique suivi de flottation, alors que l'enrichissement des minerais sédimentaires nécessite des solutions originales et parfois assez complexes. Du plus simple au plus compliqué, on peut distinguer (Kechiched, 2011) :

- Un simple séchage de minerai riche ;
- L'enrichissement par voie sèche ;
- L'enrichissement par voie humide ;
- L'enrichissement par flottation ;
- L'enrichissement par calcination.

13. Conclusion

La demande importante et croissante en termes de produits de phosphate, engendre par conséquence des effets sur l'environnement et la santé publique à court et à long terme. Ces impacts sont présents dans les différentes étapes d'extraction, de préparation et de valorisation.



Chapitre 2:
Contexte géologique du gisement de Kef Essenoun

1. Introduction

Les premières d'informations sur les phosphates remontent au siècle dernier. Depuis le début du 20^{ème} siècle et jusqu'aux années 60, plusieurs études géologiques de la région ont été effectuées. Les études les plus complètes, sont celles de Visse L.D. 1951-1952. Les réserves pour l'ensemble du secteur de Djemi-djema ont été évaluées en catégories exploitables (96.40 Mt). De 1960 à 1962, l'étude d'exploitation de Djemi-djema a été exécutée, les ateliers de traitement furent achevés en 1965.

L'ouverture de la carrière a été exécutée de pair avec l'installation des ateliers de traitement de façon à les alimenter en tout-venant pour les premiers essais, qui commençaient fin 1965 et duraient toute l'année 1966.

La région de Djebel Onk est située dans la partie orientale des Monts de Nememcha appartenant à l'atlas saharien. Djebel Onk est un massif montagneux de calcaire dont le flanc Sud plonge rapidement sous le dépôt du Miocène et du Quaternaire.

Le gisement de phosphate est de nature sédimentaire stratiforme constitue le prolongement vers l'Ouest des phosphates localisés dans le territoire Tunisien. Le gisement appartient à une formation tahitienne dont la base est caractérisée par l'apparition du premier dépôt de phosphate important mais fortement argileux à ses couches succèdent les marnes noires puis l'assise de phosphate principale qui fait approximativement 30 m de puissance et d'une formation nature carbonatée.

2. Situation géographique

La région de Bir El 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 (Figure4), sur la route nationale RN16 qui relie Tébessa à El Oued.

Les gisements de phosphates situés à proximité de la municipalité de Bir El Ater sont situés dans la zone de transition entre la partie la plus orientale de l'Atlas saharien au nord et la plate-forme saharienne au sud. La frontière entre ces deux unités est marquée par la faille ou flexure de l'Atlas méridional. L'Atlas saharien fait partie de l'orogène atlasique s'étendant sur environ 2 300 km, selon une direction SO-NE du Maroc à la Tunisie. L'Atlas appartient à la ceinture alpine qui a été formée par la collision des plaques eurasienne et africaine à la fin de la période jurassique. (Rapport DMT)



Fig.4 : Situation géographique de la région de BIR EL ATER (hors échelle).

3. Aperçu hydrogéologique

L'étude hydrogéologique est nécessitée à suivre afin d'apercevoir les zones étant favorables à exploitées et que le sous-sol reste une réserve connue par sa vaste répartition des eaux emmagasinées exploitables et qui nous garanties, si c'est possible, d'exploité le gisement en souterrain sans aucun risque. La région d'étude appartient à la zone extérieure du bassin artésien Algéro–tunisien.

Dans les limites de cette zone, on distingue une multitude de petites structures hydrogéologiques ayant les sources d'alimentation locales. Les sources des nappes plus profondes peuvent être bien éloignées au Nord. Compte tenu des données disponibles, plusieurs complexes aquifères ont été identifiés (figure 5) suivant le contenu lithologique favorable au stockage des eaux :

- Complexe aquifère du Quaternaire.
- Complexe aquifère du Miocène.
- Complexe aquifère de l'Eocène.
- Complexe aquifère du Paléocène.
- Complexe aquifère du Crétacé supérieur.

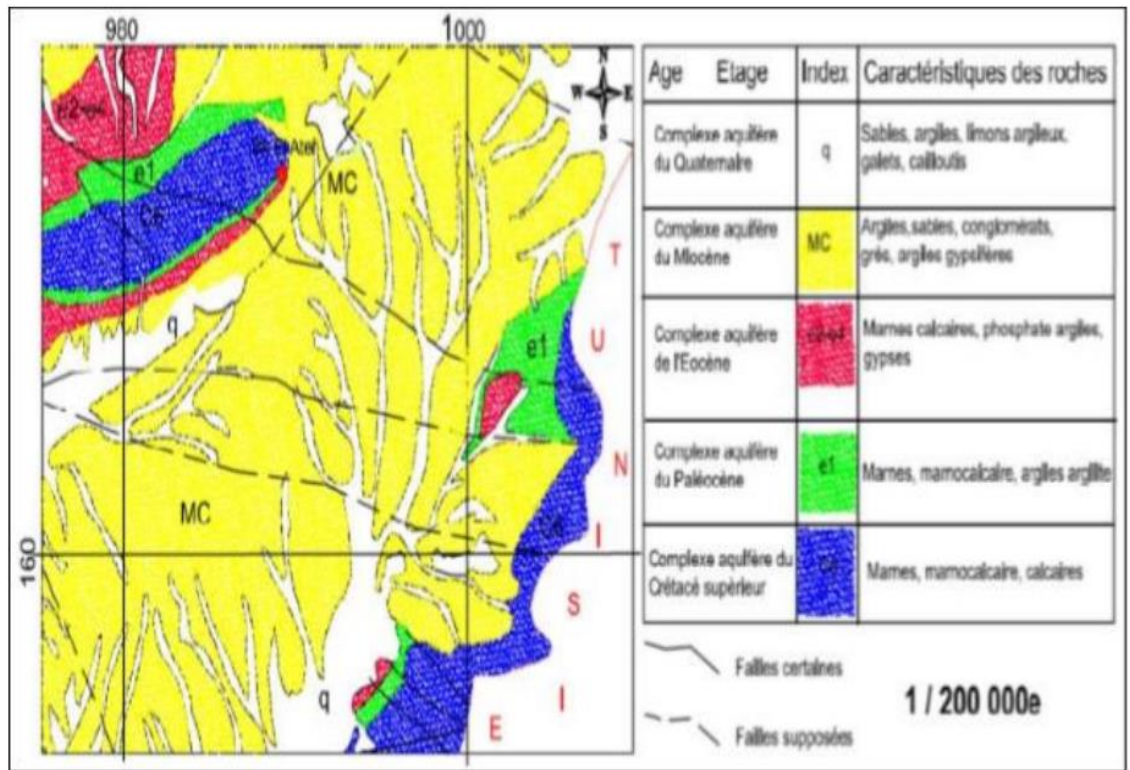


Fig. 5 : Les principaux complexes aquifères dans la région d'étude (saadali.b).

4. Conditions climatiques

a. Climatologie

Les conditions climatiques sont du type continental et sont caractérisées par des hivers froids et des étés chauds. La zone de l'étude bénéficie d'un climat de transition entre la région semi-aride de Tébessa et la région subaride de Négrine. Dans cette région, quatre stations enregistrent les conditions météorologiques sur de longues périodes :

- Négrine (Code de la station météo : 063001) ;
- Saf Saf El Ouessa (Code de la station météo : 062808) ;
- Thélidjène (Code de la station météo : 062503) ;
- Tébessa (Code de la station météo : inconnu).

b. Température

Les données de température enregistrées sur la station SafSaf El Ouessa couvre la période d'avril 1992 à mars 2012 et indique des valeurs maximales, minimales et des valeurs moyennes mensuelles (figures 6,7).

Les températures extrêmes enregistrées sont les suivantes :

- -6.2 °C en février 1996 ;
- 45,8 °C en août 1993.

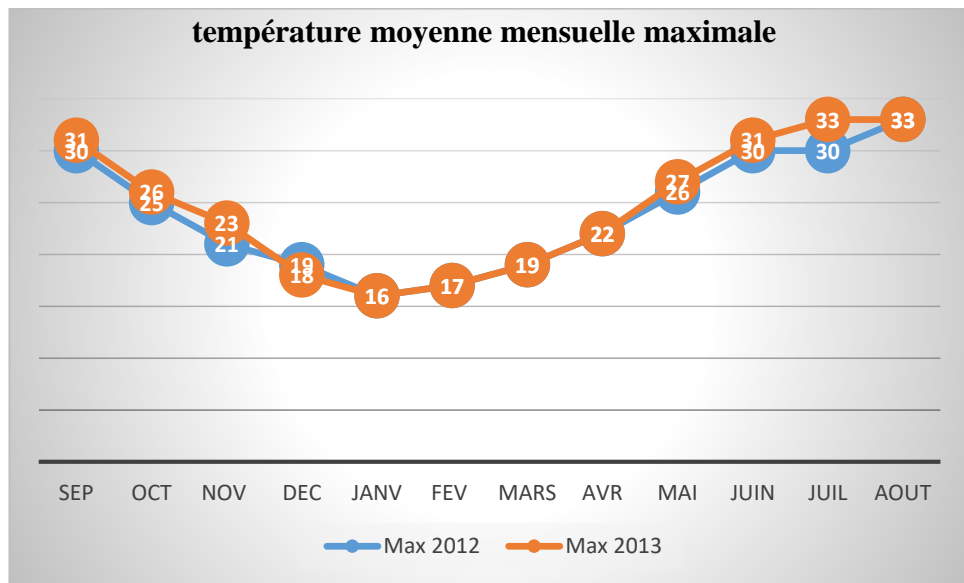


Fig. 6 : Variation de la température moyenne mensuelle maximale

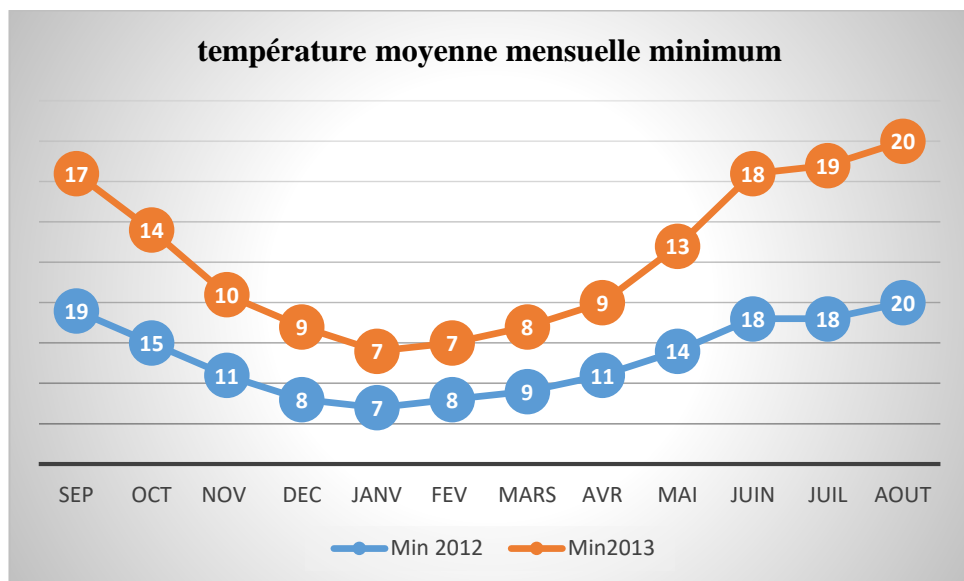


Fig. 7 : Variation de la température moyenne mensuelle minimum

c. Précipitation

Le total des précipitations varie considérablement d'une année à l'autre. La moyenne des précipitations mensuelles (Figure 8) montre clairement un maximum pour le mois de septembre avec 30,1 mm et un déclin continu jusqu'à 7,5 mm en février. Par la suite, les taux de précipitations mensuelles augmentent au printemps pour retomber à des valeurs très faibles pendant les mois de juillet (7,2 mm) et d'août (11,6 mm). L'orage fréquent durant le mois d'août et septembre.

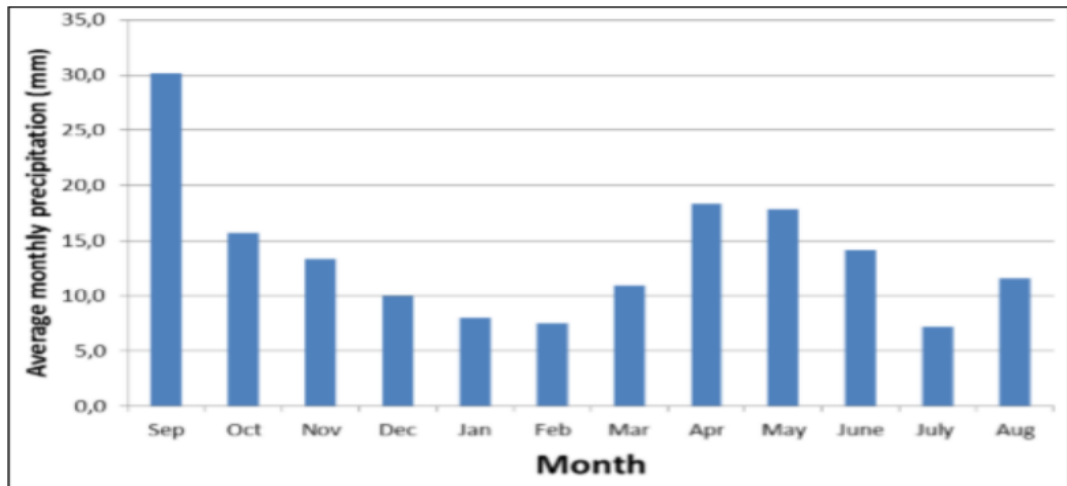


Fig. 8 : Variation de la moyenne mensuelle des précipitations à la station de SafSaf El Ouessra pour tous les mois enregistrés pendant la période de septembre 1997 à février 2014.

d. Humidité

Toute au long de l'année, le taux de l'humidité est élevé vu qu'il se situe entre 40% et 75%. Les valeurs maximales d'humidité de l'air sont obtenues en hiver et la minimale en été (Figure 9) (rapport DMT).

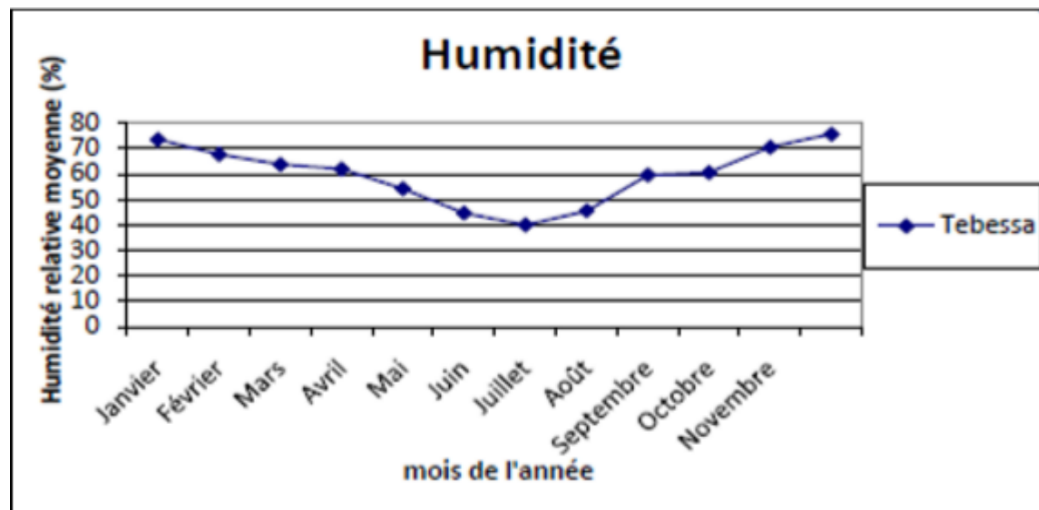


Fig. 9 : L'humidité relative moyenne.

e. Le vent

L'analyse de la vitesse du vent montre un vent relativement constant toute l'année et ne dépassant pas 28 km/h. Le tableau qui suit montre la distribution des fréquences des directions du vent :

Tableau 2. Distribution des fréquences des directions du vent (rapport DMT).

	N	N-E	E	S-E	S	S-O	O	N-O
Moyenne quotidienne	6%	6%	5%	9%	6%	17%	17%	34%

5. Situation géographique des gisements de Djebel Onk

Djebel Onk située à l'extrémité orientale de l'Atlas saharien constitue la limite géographique naturelle entre les hauts plateaux constantinois et le domaine saharien. Présente l'extrémité orientale des monts de Némemcha qui prolongent vers l'Est le massif des Aurès, Il se présente sous forme d'un massif montagneux calcaireux de 20 km de long et 3 Km de large. Il culmine à 1198 m d'altitude à Djebel Tarfaya qui représente les affleurements de la couche productive au niveau du flanc sud de Djebel Onk ; l'altitude la plus basse au pied du Djebel Onk est de 635 m.

La zone d'étude située au sud de la wilaya de Tébessa à environ 100 km et à 20 km à l'Ouest des frontières Algéro-Tunisienne (figure 10). Cette région présente un bassin minier de quatre gisements :

- Gisement de Djemi-Djema ;
- Gisement de Djebel Onk Nord ;
- Gisement de Bled Hadba ;
- Gisement de Kef Essenoun.

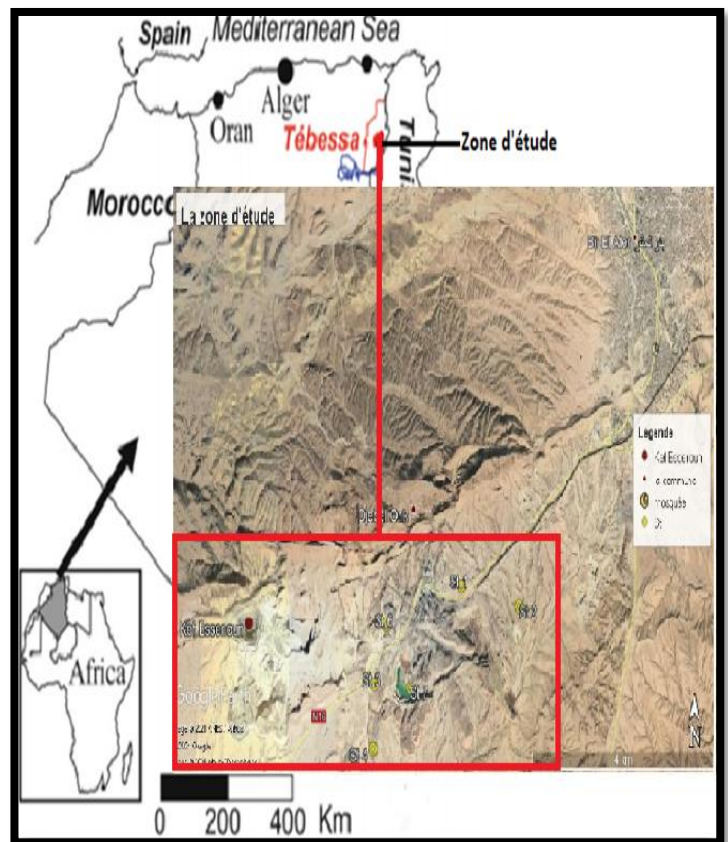


Fig. 10 : Localisation géographique de la zone d'étude à l'Est de l'Algérie.

Du Nord vers le Sud, les gisements sont traversés par un réseau enchevêtré d'Oueds comblés par des alluvions torrentielles du quaternaire. Oued el Abiod et Oued El Bir. Le climat est subaride, caractérisé par un régime continental ; un été où les températures peuvent dépasser 45°C et un hiver froid et rigoureux. Les précipitations sont peu abondantes avec une moyenne de 300 mm / an.

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.

a. Gisement de Djemidjma

Il a été reconnu par l'EREM entre 1985 et 1986 (figure 11) ; grâce à 14 sondages carottés, notés S-47 à S-60, implantés à la maille de 250x300m. Les sondages réalisés définissent parfaitement la terminaison periclinale Ouest du branchyanticlinal de Djemidjma, allongé N 70° E. Aucune faille ne vient perturber la partie centrale du gisement. Le flanc Sud de la terminaison periclinale est marqué par une flexure orientée N 75° E, qui est responsable du rapide plongé de la couche de phosphate vers le Sud-Est. Par contre le flanc Nord de la terminaison periclinale est en pente douce et n'est interrompu que par la faille qui effondre la couche d'environ 3m vers le Nord.

b. Gisement de Kef Essenoun

Le gisement de Kef -Essenoun est situé dans le prolongement de la retombée méridionale de la flexure antiforme du Djebel El Onk (Figure 11) dont la structuration majeure est due à la tectonique post-miocène. Le gisement de Kef-Essenoun constitue une table monoclinale à pendage régulier vers le Sud (5 à 10°), tout au moins pour sa partie Nord. Cependant il existe une zone de rupture de pente au Sud de la table. La mise en évidence de cette relative augmentation du pendage a une importance au plan minier car on note que l'épaisseur du recouvrement stérile, notamment celles des sables, augmente au niveau de cette légère rupture de pente. Les dressants de Kef-Essenoun correspondent à la zone de flexure-faille du flanc inverse de la mégastructure antiforme, ou du flanc Nord de la structure synforme. Les dressants sont allongés N75°E où la couche phosphatée affleurant est subverticale ou fortement inclinée vers le Sud-Est ou le Nord-Ouest. Toute la zone

d'affleurement des phosphates est considérée comme très tectonisée et d'accès difficile à l'exploitation.

Le gisement de Kef-Essenoun a connu plusieurs campagnes de prospection détaillées réalisées à l'aide de différentes méthodes. La dernière campagne est celle de l'EREM (entreprise de recherches minières) en 1987. La géologie du gisement de phosphate de Kef Essenoun est relativement simple. Seule la zone d'affleurement présente une structure géologique compliquée. (Ferrag Dit Alleg Samir- 2010)

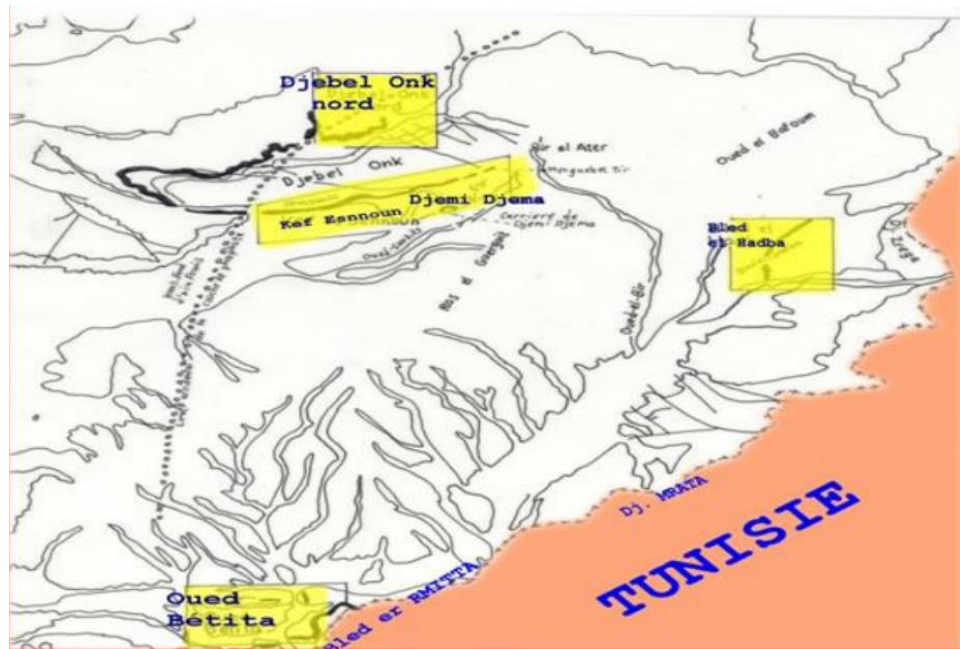


Fig. 11 : Carte de situation géographique et géologique des gisements de Djebel Onk (Mezghache,H. 1991)

6. Historique de la recherche géologique à Djebel Onk

Les phosphates algériens ont été découverts à Boghari par Ph. Thomas (1873), un peu avant les phosphates de Gafsa (Tunisie 1855). Les gisements de phosphate de Djebel-Onk ont été découverts dans la période (1907 1908) par L. JOLEAU, des informations plus complètes ont été présentées par D. Dussert mais surtout Flandrin en 1948 qui a contribué à l'apport des nouvelles plus détaillées.

En 1963 les études géologiques et minières qui précèdent l'exploitation du gisement de Djemidjma ont été réalisées par la société de Djebel Onk (Kechiched. R, 2007).

Ce n'est qu'en mois de février 1992 que débute l'exploitation de Djemidjma, L'EN FERFOS fait connaître son cahier des charges pour les études de

développement du complexe minier de Djebel-Onk. En avril 1992, signature de contrat L'EN FERFOS et le consultant BRGM /SOFREMINES. (Vogt, et Belhadj, 1963)

Concernant le rassemblement des éléments technico- économiques permettant d'arrêter un projet de développement et d'exploitation de phosphate de Djebel Onk. En 1993, BRGM a fourni un rapport d'expertise géologique de tous les gisements de Djebel-Onk. (Ranchin, 1963)

7. Stratigraphie de la région de Djebel Onk

La stratigraphie de la région de Djebel Onk a été établie par Visse (1952). La série sédimentaire affleurante 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. (Figure 12), (Mezghache, 1991).

- a. **Crétacé supérieur** : représenté par le Maestrichtien avec des calcaires blancs massifs, compacts (avec parfois des empreintes fossiles) avec des intercalations marneuses au cœur de l'anticlinal de Djebel el Onk. Ils représentent à leur partie supérieure, une surface tarudée, rubéfiée, facilement repérable dans la topographie.
- b. **Paléocène**
 - i. **Danien** : Il est caractérisé par des marnes et marnes Argileuses.
 - ❖ **Danien inférieur** : Il est représenté par des argiles marneuses et schisteuses, de couleur grise foncée au brun vert, intercalé par des marnes dures et irrégulières. L'ensemble est traversé par des filons de gypse. L'épaisseur du Danien inférieur est de 30 à 40 m.
 - ❖ **Danien supérieur** : Il est formé par des calcaires durs blancs, très fins souvent à cassures conchoïdales, intercalées de marnes tendres, argileuses et schisteuses dont l'épaisseur varie d'une dizaine de centimètre à un mètre.

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 pseudoolithiques, coprolithiques, gris et noirs
	INF		Marnes sombres schistifiées
MONTIEN (100m)			Minéralisation en Baryto-Célestine Calcaires avec bancs à Ostrea
			Alternance de calcaires et de marnes claires
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

Fig. 12 : Colonne stratigraphique de la région de Djebel Onk – Algérie orientale (Cielensky et Bencherrine, 1987)

- ii. **Montien** : Calcaires, calcaires dolomitiques, lumachelles Avec intercalations de marnes et de dolomies (figure 12).
- iii. **Thanétien** : Le Thanétien est subdivisé en deux sous parties (figure 12) :
 - ❖ **Le Thanétien Inférieur** : est représenté par des Schistes marneux à intercalation irrégulière de calcaire à gastéropodes, des intercalations phosphatées apparaissent dans la partie supérieure des marnes.
 - ❖ **Le Thanétien Supérieur** : est formé de phosphate de couleurs grise foncée ou brune on y passe des phosphates tendres en bas à des phosphates cuprolithiques à gros grains, on y rencontre aussi des débris de coquilles, des dents et des ossements de poissons.

L'épaisseur de la couche est évaluée à 30 m, les variations lithologiques des couches phosphatées ont conduit à l'établissement de la description lithologique suivante :

- ✓ Phosphate pseudo lithique fin.
- ✓ Phosphate coproolithique.

iv. Eocène

- ❖ **Yprésien** : est subdivisé en supérieur et inférieur (figure 12) :
 - ❖ **Yprésien inférieur** : est représenté par des calcaires à intercalation phosphatée, des calcaires dolomitiques et des niveaux de silex.
 - ❖ **Yprésien supérieur** : est formé par des calcaires, des calcaires dolomitiques. On rencontre des intercalations de roches phosphatées, des niveaux de silex, et géodes de quartz.
- v. **Lutétien** : est subdivisé en deux parties (figure 12) :
- ❖ **Lutétien inférieur** : est marqué par un changement de faciès, les premières assises sont des marnes blanches tendres à géodes de quartz et à silex, des calcaires en sont intercalés.
 - ❖ **Lutétien supérieur** : est caractérisé par un faciès évaporitique forme de gypse et de dolomies blanchâtres. Plus au Sud se trouvent le gisement de Bled El Hadba et plus loin encore le gisement de Bettita.

c. Miocène

Les sédiments miocènes reposent sur les différents termes du tertiaire érodé. Il est représenté par de conglomérats, des sables à gros grains des sables blancs à grains moyens à fins, non calcaireux affectés d'intercalations argileuses, d'argile schisteuse de grès à blancs de graviers et de galets. On distingue trois formations lithologiques (figure 12) :

- ❖ **Miocène inférieur** : Il est représenté essentiellement par des conglomérats, des sables avec des lits minces d'argile siliceuse ; leur teinte est clair, grise blanchâtre ; sa puissance est de 200m.
- ❖ **Miocène moyen** : Il est essentiellement argileux de couleur marron, parfois schisteux, avec des intercalations de sables à grains fins et moyens. Sa puissance atteint 250m.
- ❖ **Miocène supérieur** : C'est une série sablo-argilo-conglomératique ; sa puissance atteint 350m.

d. Quaternaire

Les dépôts quaternaires recouvrent la majeure partie des terrains, ils sont représentés par des dépôts sableux, des graviers et des blocs. (Boudries, 2008 ; Dassamiour, 2012)

8. Historique de la mine de phosphate de Kef-Essenoun Djebel El Onk

Le gisement de Kef-Essenoun a été reconnu en détaille par l'EREM au cours de l'année 1986, grâce à de 32 sondages carottés notés S2 à S46 réalisés selon une maille de (250*300) m. En outre l'EREM a réalisée dans la zone dressant de Kef-Essenoun 22 tranchées notés T22 à T44.

Des données plus anciennes concernant la zone de Kef Essenoun proviennent des recherches réalisées par G. Ranchin en 1963 (puits, KS1, KS2, KS3), descenderie, du demi, tranchées dans les dressants ainsi que plus récemment de 1977 à 1979 par la SONAREM (sondages : S3-K, S4-K, S5-K, tranchées des dressants). Dans le souci de développement de l'activité de FERPHOS, un avis d'appel d'offre a été lancé en 1990 afin de rassembler tous les éléments techniques et économiques permettant de projeter les investissements adéquats, ce qui a été réalisé par le consultant français BRGM/SOFREMINES, ce dernier a fourni une expertise géologique de tous les gisements de la région de Djebel El Onk.

Topographiquement, la zone du gisement, située au pied du flanc Sud du Djebel Onk, constitue un plateau en pente douce vers le Sud-Ouest. Au Nord, elle est bordée par les dressants du même flanc Kef Essenoun qui constitue une bande d'affleurement de la couche de phosphate, longue de 2,5 Km. (Dit alleg, 2010)

a. Lithostratigraphie

Toute la série lithostratigraphique de Djebel Onk est rencontrée à Kef Essenoun (BRGM, 1993). Les dépôts du Thanétien étant le niveau porteur de la minéralisation phosphatée, il est décrit ici en détaille.

i. Thanétien

C'est l'horizon porteur de la couche phosphatée exploitable se subdivise en deux sous étages à savoir :

❖ Le Thanétien inférieur

Représenté par une série de schistes marneux à intercalations irrégulières de calcaire. Ces schistes se débitent en fines plaquettes de couleur gris foncé. La roche

non altérée est noire. Dans la partie inférieure, on note la présence d'un niveau conglomératique à Gastéropodes et de minces passées phosphatées. Dans la partie sommitale, les phosphates forment des intercalations supérieures à 1 m et des calcaires lumachelliques de Gastéropodes. Les marnes ont une épaisseur de 30 à 40 m.

❖ Le Thanétien supérieur

Représenté par une couche de phosphate de couleur grise, gris foncé ou brune, caractérisé de bas en haut par :

- Marnes noires du mur de 2 m ;
- Phosphate pseudoolithique à grains fins : 10 m ;
- Phosphate coprolithique à stratification entrecroisée de 1,5 m ;
- Phosphate coprolithique devenant plus fin à la base, de 10 m d'épaisseur ;
- Phosphate coprolithique avec de nombreux galets de silex et de débris osseux, de 4 m d'épaisseur ;
- Calcaire blanc avec fin niveau de silex, de 3 m.

9. Tectonique régionale

La région de Djebel Onk appartient à l'extrémité orientale de l'Atlas Saharien (Ranchin, 1963). La série supérieure du bassin de Djebel Onk-Gafsa - Mélaoui à l'Eocène est structurée en une suite d'anticlinaux et de synclinaux dissymétrique, généralement contient des failles dans leurs flancs, d'axe le plus souvent SW-NE, et décrochés par des accidents transverses.

Les anticlinaux de Djebel Onk, Djebel Djemi-Djema 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 Atlasique de direction E-W.

L'anticlinal de djebel Onk prolonge des monts de Nememcha jusqu'à l'Est en périclinal sous les formations du Miocène d'une direction E-NE (figure 13), cet anticlinal est asymétrique au flanc méridional. (Boudries, 2008 ; Dassamiour, 2012)

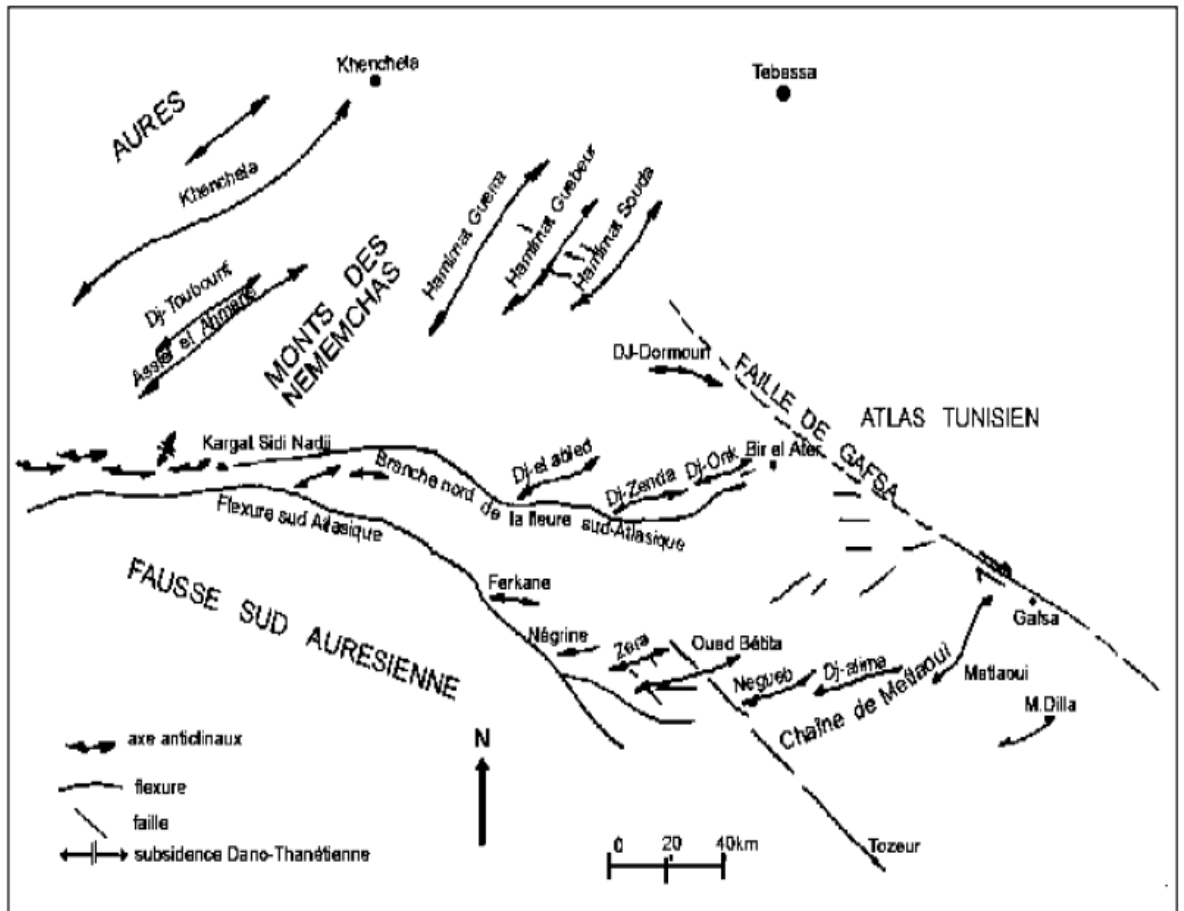


Fig. 13 : Carte structurale de la région du Jebel Onk à l'intérieur du bassin de Gafsa-Mélaoui-Djebel El Onk (Aissaoui, 1984)

10. Chronologie des phases de déformations

La structuration actuelle est une résultante de plusieurs phases de déformations (In Prian et Cortiel, 1993) :

a. - Tectonique synsédimentaire (Paléocène-Eocène)

Phase compressive NW-SE, contemporaine à la sédimentation Paléogène, s'exprimant par des ondulations, des failles synsédimentaires. Cette tectonique précoce induit des lacunes de sédimentations dans la série Paléocène-Eocène et a conduit à l'édification du dispositif paléogéographique en hauts-fonds et sillons, qui va contrôler le dépôt de phosphates. Ces déformations précoces peuvent être liées à la montée diapirique (Trias), notamment au Paléocène -Eocène.

b. - Tectonique post – Eocène moyen, tardi – Miocène

Elle est contemporaine à l'émersion de la série au Lutétien supérieur, phase majeure du plissement des Aurès et des déformations distensives transverses (faille N120° à 140°E), induisant un début de structuration de la série Crétacé supérieur–

Eocène en petit horsts et grabens, allongés suivant des directions N70°E. Ces plissements sont en majorité antérieurs aux dépôts des sables Miocènes (Mezghache et al, 2000).

c. - Tectonique tradi-Miocène post-Burdugaliennne à Paléocène – Pléistocène

C'est la phase majeure de plissement de l'Atlas tunisien. Les plissements de la série crétacée supérieur -paléocène-éocène et miocène en grandes structures antiforme et synformes jouent en horst et grabens dans les structures antérieures ; ils forment vers le Sud et sur le flanc inverse des mégaplis de Djebel Onk et Djemi Djema. Cette tectogénèse est responsable de la structure actuelle de la région du Djebel Onk. (Boudries, 2008 ; Ferrag, 2010)

11. Structure géologique

Le gîte de Kef Essenoun 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.

Le gisement de Kef Essenoun constitue une table monoclinale à pendage régulier vers le Sud (5 à 10°), Il existe une zone de rupture de pente au Sud de la table. La mise en évidence de cette relative augmentation du pendage s'explique par l'augmentation de l'épaisseur de recouvrement (sable).

Les dressants de Kef Essenoun correspondent à la zone de flexure-faille du flanc inverse de la mégastructure antiforme, ou du flanc Nord de la structure synforme. Les dressants sont allongés N75°E où la couche phosphatée affleurante est subverticale ou fortement inclinée vers le Sud-Est ou le Nord-Ouest. Toute la zone d'affleurement des phosphates est considérée comme très tectonisée et d'accès difficile à l'exploitation (Boudries, 2008 ; Ferrag, 2010).

12. Paléogéographie

Le Bassin de Djebel Onk se veut la partie occidentale du bassin de Gafsa-Métlaoui-Djebel Onk (dénomination de Sassi, 1980) au Paléocène supérieur-Eocène inférieur. Il se différencierait cependant par une subsidence plus marquée, ce qui explique le tonnage énorme de phosphate accumulé, mais aussi les teneurs moyennes en phosphates tricalcique plus faible que celle enregistrées dans le gisement de Métlaoui (Ranchin, 1963). Ce sillon, occupé par une mer

épicontinentale peu profonde, était situé entre l'île ou dôme de Kassarine au Nord, le môle de Djeffera au Sud et haut fond de Djebel Fouris à l'Ouest (Figure 14).

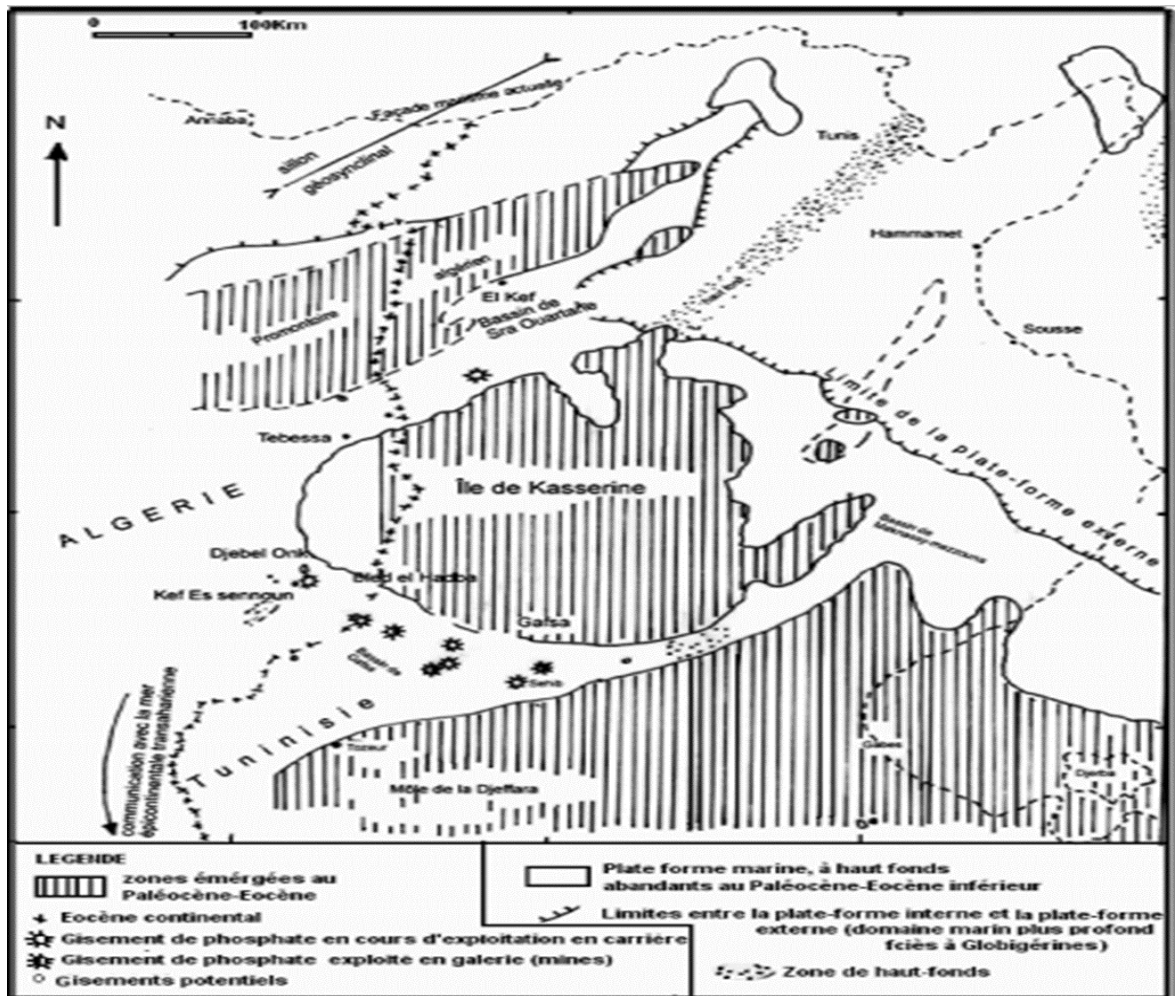


Fig.14 : Situation paléogéographique des gisements de phosphates de la région du Djebel Onk à l'intérieur du bassin phosphate de Gafsa – Métlaoui – Dj Onk (Prian et Cortiel, 1993)

La région a, au cours de son histoire géologique, plusieurs étapes de développement, bien marquées dans les sédiments. Cette évolution fut comme suit :

a- Période de sédimentation marine

Cette période de sédimentation qui débute à la fin du développement du bassin géosynclinal couvrant l'Afrique du Nord et allant du Maestrichtien à l'Eocène supérieur. Le Maestrichtien se caractérise par une subsidence lente et une sédimentation calme. A la limite entre le Maestrichtien et le Danien, on note un changement de faciès, précurseur de mouvement orogéniques mettant fin au cycle de sédimentation géosynclinal. La profondeur du bassin diminue alors d'une

manière brusque, ce qui se reflète dans les roches par une sédimentation argilo-carbonaté qui dure pendant tout le Danien.

Le Montien est une période de lente subsidence et de sédimentation assez calme. La mer est alors peu profonde, les bancs d'huîtres s'y déposaient en masse et ils sont caractéristiques pour les eaux peu profondes.

Au Thanétien inférieur, la profondeur du bassin a de nouveau diminué. On a alors un apport important de substance argileuse et des sédiments argilo-marneux qui indique une fermeture progressive du domaine de sédimentation et une tendance régressive de régime marin. Par contre le Thanétien supérieur se caractérise par un apport considérable de sédimentation phosphatée qui témoigne d'une réouverture du domaine sédimentaire et du retour des influences transgressives. A la fin de sédimentation phosphatée principale, une phase régressive se produit à nouveau, elle est matérialisée par des remaniements de phosphates, puis localement par un horizon conglomératique à galets de dolomie formé en milieu marin indice d'émersion.

La présence de dolomie est l'indice d'une saturation de l'eau de mer proche des conditions qui permettent le dépôt des faciès à évaporites. Elle souligne le caractère régressif de ces faciès phosphatés (Ranchin, 1963-a). Cette phase régressive est suivie, régionalement, par la transgression yprésienne (calcaire à silex) qui déborde largement les limites des formations précédentes. Au Lutétien, on note une lente diminution de la profondeur du bassin, ce qui a conduit à la formation de hauts-fonds et de lagunes et au dépôt d'évaporites. Les variations d'épaisseur, ainsi que l'homogénéité ou l'hétérogénéité de la couche phosphatée elle-même traduisent cette paléogéographie diversifiée. Ainsi, la couche de phosphate, calée entre les marnes noires du mur et les dolomies du toit, est la plus épaisse au niveau des gisements de Djemi-Djema (30 m) et de Kef Essenoun (proche de 50 m) qui caractérisent le sillon subsidant (Kechiched, 2011).

b- Période de sédimentation continentale

A partir du Lutétien supérieur, les terrains s'émergent. L'Oligocène n'a pas laissé de traces du fait de l'érosion anté-miocène. Alors que le Miocène-Paléocène fut une période d'intense sédimentation continentale marquée par les sables, les argiles et les conglomérats. Tandis que le Quaternaire se caractérise par des produits d'érosion qui se déposent sur les flancs et les vallées. Ce sont les colluvions, les

alluvions et les éboulis de pente. Des traces d'une glaciation au Pléistocène de courte durée très nette sont bien conservées au Djebel Onk. (Boudries, 2008 ; Dassamiour, 2012 ; Ferrag, 2010)

13. Les caractéristiques minéralogiques et chimiques de minerai de phosphate de djebel Onk :

13.1. Minéralisation

Les études minéralogiques préliminaires à des essais d'enrichissement du minerai de Djebel Onk, ont montré que trois composants principaux constituent le tout-venant : des particules de phosphate apatitique (82%), une exo-gangue carbonatée dolomitique (11.5%) et une exo-gangue argilo siliceuse (5 à 6 %). La composition chimique différée d'un gisement à un autre (tableaux 3). (EREM., 1985 – 1987)

Le faisceau phosphaté du Thanétien supérieur est constitué comme tout le faisceau du phosphate de Dj. Onk (BRGM.1993, Mezghache et al, 2002), de haut en bas, par la dolomie phosphatée notée IIT, la couche productive notée PI et les alternances marnes–phosphates dolomie du mur, notées IIM. L'épaisseur totale du faisceau varie, d'après les logs des sondages, de 30 à 53 m.

- **La couche de dolomie phosphatée sommitale (minerai IIT)** : Cette couche de phospharénorudite dolomitique a une épaisseur qui varie de 1 à 10 m, mais en moyenne elle est de 3 m. Elle a une faible teneur en P_2O_5 (14 à 18%, soit 30,59 à 39,33% TPL) et fortes teneurs en MgO (6 à 11%). Le rapport $CaO/P_2O_5 = 2$ à 3,3 pour une moyenne de 2,40. Les teneurs de SiO_2 varient de 1 à 6%, sont dues à la présence de coprolithes noirs, entièrement silicifiés. Il s'agit de roche très dure, bien cimentée, de couleur gris-noir, à granulométrie hétérogène, fine à grossière (moins de 1 mm à plusieurs centimètres). Les faciès peuvent être assez riches en grains de phosphate, ou au contraire très pauvres. Les éléments phosphatés comprennent des grains sub-sphériques, de gros débris osseux, des dents ainsi que des gros coprolithes ; ces derniers sont parfois silicifiés.

- **La couche principale de phospharénites "PI"** : Elle est d'environ 25 à 30 m d'épaisseur dans la moitié Nord-Est du gisement et de 22 à 24 m sur la bordure orientale du gisement. Par contre toute la moitié Sud-Est du gisement se caractérise par des épaisseurs de phosphate supérieures à 30 m, et plus particulièrement compris entre 35 et 40 m. Elle se caractérise par ses hautes teneurs en P_2O_5 (24 à

27% soit 52,44% à 58,99% TPL) et ses teneurs moyennes en MgO (<4%), le rapport CaO/ P₂O₅ est de 1,7 à 1,8.

- **Le minerai du mur (IIM) :** Cette sous-couche est constituée de deux minces niveaux phosphatés qui s'intercalent dans des marnes. Le passage à la couche productive I, sus-jacente, peut être marqué par un banc de dolomie grise de 40 cm.

Ces alternances phosphatées sont de faibles épaisseurs (0 à 4,3 m) avec une moyenne de 1,25 m. ces alternances présentent des faibles teneurs en P₂O₅ (13 à 15%) et de forte teneurs en MgO (8 à 10%). Ce porteur minéralisé ne présente aucun intérêt minier.

Tableaux 3 : composition chimique de minerai de phosphate de djebel Onk (EREM. 1985–1987)

Composant chimique	Formule Chimique
Pentoxyde de phosphate	P ₂ O ₅
Oxyde de calcium	CaO
Oxyde de magnésium	MgO
Dioxyde de carbone	CO ₂
Fluore	F
L'eau	H ₂ O

13.2. Les réserves exploitables

Les réserves exploitables du gisement de Kef Esnoun sont estimées à 112 millions de Tonnes, ceux de Djemi Djem ,1.5 million de tonnes, alors que ceux de Tarfaya ne dépasseront pas 500 000 tonnes et cela dans les zones actuellement en exploitation. Le gisement de Djebel Onk, avec des réserves importantes se classe parmi les grands gisements dans le monde sa localisation dans la région de Bir EL Ater a contribué au développement de la ville de plus une partie considérable de la population constitue la main d'œuvre du complexe, soit à l'usine au a la direction de SOMIPHOS (Boussif.,Tamourt.).

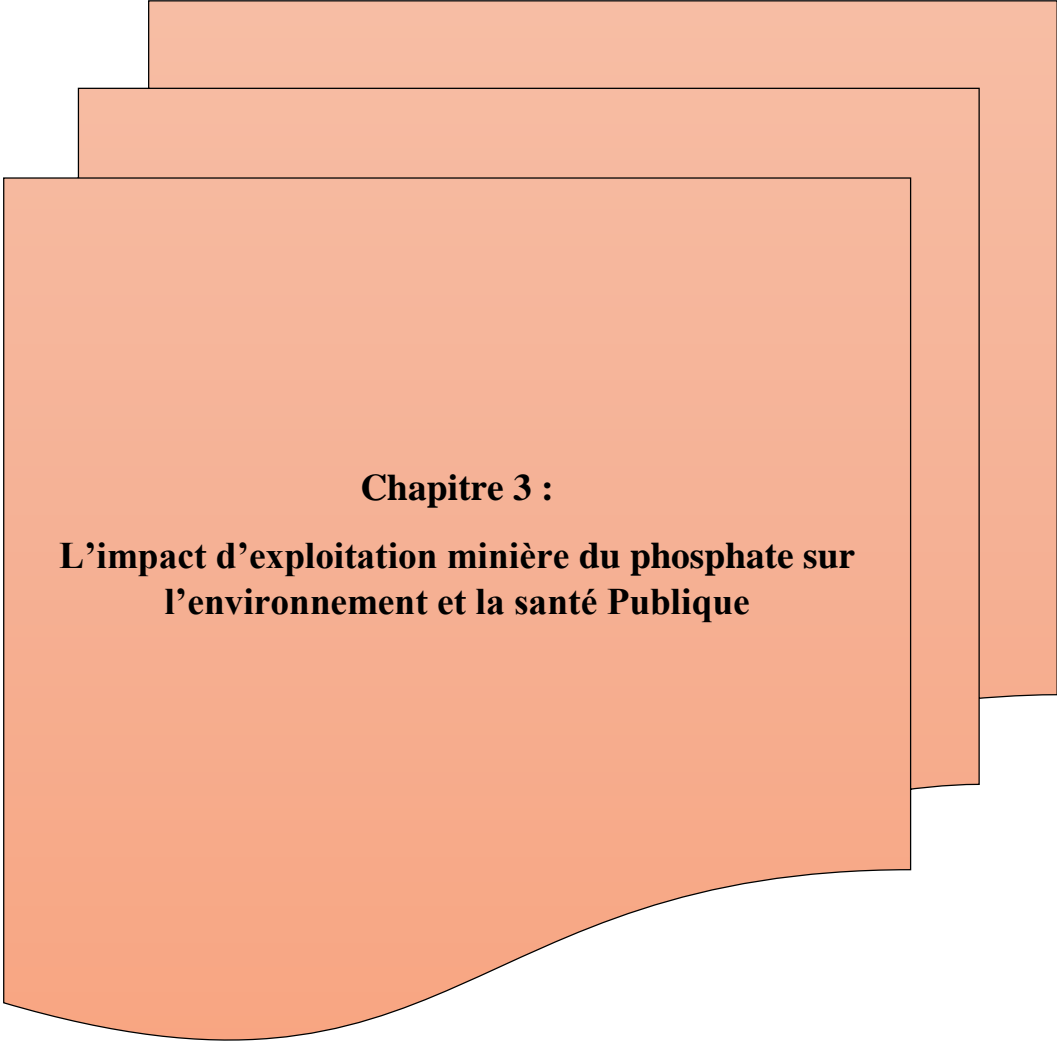
14. Conclusion

Le gisement de phosphate est de nature sédimentaire stratiforme constitue le prolongement vers l'Ouest des phosphates localisés dans le territoire Tunisien. Le gisement appartient à une formation tahitienne dont la base est caractérisée par

l'apparition du premier dépôt de phosphate important mais fortement argileux à ses couches succèdent les marnes noires puis l'assise de phosphate principale qui fait approximativement 30 m de puissance et d'une formation nature carbonatée.

Les conditions climatiques sont du type continental et sont caractérisées par des hivers froids et des étés chauds. Le total des précipitations varie considérablement d'une année à l'autre.

L'étude hydrogéologique montre que les sources des nappes plus profondes peuvent être bien éloignées au Nord. Compte tenu des données disponibles, plusieurs complexes aquifères ont été identifiés suivant le contenu lithologique favorable au stockage des eaux.



Chapitre 3 :

**L'impact d'exploitation minière du phosphate sur
l'environnement et la santé Publique**

1. Introduction

Le but de l'exploitation minière est de satisfaire la demande en ressources métalliques et minérales afin d'améliorer la qualité de vie de la population. Ces ressources peuvent être, par exemple, des minéraux métallifères ou des minéraux industriels employés dans des divers secteurs industriels ou dans la construction. En tout état de cause, les rejets produits, de la couche arable, des morts-terrains, ainsi que ceux des résidus et stériles, représentent une charge financière indésirable pour les exploitants. La gestion des résidus et le management de l'environnement dans son ensemble sont alors conçus comme des conséquences des étapes d'extraction, de traitement et de transformation de ces substances minières.

La pollution due à l'exploitation minière définie comme étant une contamination de l'air, de l'eau ou du sol par des substances chimiques, organiques et radioactives altérants ainsi la santé de l'homme, la qualité de la vie et le fonctionnement naturel des écosystèmes. Selon l'organisation mondiale de la santé (OMS), elle est considérée par la présence dans la composition normale de l'atmosphère de substances étrangères en quantité anormale susceptible d'entraîner un impact sur l'homme, les animaux, les végétaux, les matériaux ou l'environnement. L'industrie de phosphate composée essentiellement des phases d'extraction, de préparation mécanique qui génère de grande quantité de poussières et gaz. Ainsi de ces effets constatés et né le service d'hygiène, sécurité et environnement (HSE) au sein des industries de transformation afin de veiller au respect de normes en vigueur. Dans ce chapitre nous allons énumérer les différents types de pollution rencontrés dans une industrie de phosphate.

2. Lutte contre tous les principaux agents facteurs pouvant nuire à l'homme et à son environnement

2.1. Lutte contre la poussière

La lutte contre la poussière consiste à prévenir la formation de concentration dangereuse de poussière, à supprimer la poussière dont la formation ne peut être évitée et évacuer celle qui ne peut être supprimé. Pendant l'exploitation, la précipitation humide et le captage à sec des poussières sont associés à tous les processus générateurs de poussière. Par exemple en été, une citerne d'eau est

nécessaire à la carrière de Kef Esnoun fin de remédier la propagation des poussières au niveau des voies d'accès en arrosant ces dernières.

2.2.Lutte contre le bruit

La lutte contre le bruit se résume à porter les oreillettes de protection (stop bruit) et de casque par les ouvriers travaillant au sein de la station de concassage et surtout par les foreurs.

3. Les lois environnementales des mines

Les lois environnementales : tous les lois sont mises en vigueur pour permettre à réduire voir à éliminer les impacts affectant l'être humain ainsi que son milieu de vie (flore et faune) (code minier 2014).

Art. 42

Les ingénieurs de la police des mines, instituée par l'article 41 ci-dessus, assurent les missions du contrôle administratif et technique des activités de recherche et d'exploitation minières, conformément aux dispositions législatives et réglementaires en vigueur. Les ingénieurs de la police des mines susvisés. S'assurent du respect des règles et des normes propres à garantir l'hygiène, la sécurité et les conditions d'exploitation selon les règles de l'art minier. En vue d'assurer la conservation du domaine minier, la protection des sources d'eau, des voies publiques, des Edifices de surface et la protection de l'environnement, et la préparation des mesures de prévention liées aux risques miniers à faire prendre en charge en tant que de besoin par le titulaire du permis minier.

Art. 43

Les ingénieurs de la police des mines exercent les missions de contrôle de la mise en œuvre des plans de gestion de l'environnement et de l'application des dispositions législatives et réglementaires relatives à la protection de l'environnement dans les activités minières. Les ingénieurs de la police des mines informent l'administration chargée de l'environnement de tout évènement ou fait susceptible de constituer une infraction aux dispositions législatives relatives à la protection de l'environnement. Ils exercent également les missions de contrôle des techniques de mise en œuvre des substances explosives.

 **Art. 48**

Nul ne peut abandonner un puits, une galerie, une tranchée, un siège d'extraction, un carreau mine, une digue à stériles, verses, terrils, haldes miniers, sans avoir été préalablement autorisé par l'agence nationale des activités minières, sous peine des sanctions prévues à l'article 146. Le titulaire du permis minier est tenu, à la fin du permis minier, d'exécuter immédiatement, à ses frais, les travaux prescrits expressément par l'autorité administrative compétente, en vue notamment, de la restauration et de la remise en état des lieux, de la conservation du gisement, de la protection des nappes d'eau et des écoulements superficiels ainsi que de la préservation de la sécurité publique. La durée durant laquelle la responsabilité du titulaire du permis minier est engagée est fixée par l'autorité administrative compétente ayant délivré le permis minier après avis des services habilités du ministère chargé de l'environnement.

 **Art. 56**

En présence d'une cause de danger imminent, soit pour la sécurité des personnes, soit pour la conservation des exploitations minières ou pour l'environnement, l'agence nationale des activités minières peut prescrire au titulaire du permis minier toute mesure visant à assurer la protection des interdits ou suspendre son activité dans un délai imparti, le wali territorialement compétent Etant tenu informé.

 **Art. 83**

Outre les cas prévus par l'article 125 ci-dessous, la suspension ou le retrait du permis minier est prononcé par l'autorité administrative compétente l'ayant délivré dans les cas suivants :

... Non-respect des règles de l'art minier, des conditions de sécurité et de protection de l'environnement ; ...

 **Art. 126**

Tout demandeur d'un permis d'exploitation de mines ou de carrières, doit joindre à sa demande les études d'impact et de danger de l'activité minière sur l'environnement, accompagnées du plan de gestion de l'environnement et du plan de restauration et de remise en état des lieux. Ces études sont soumises à l'examen et à l'approbation des autorités compétentes conformément à la réglementation en vigueur.

 **Art. 127**

-Le contenu de l'étude d'impact doit comporter, outre les dispositions législatives relatives à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable, ce qui suit :

-les raisons pour lesquelles, notamment du point de vue des préoccupations relatives à la protection de l'environnement, l'option a été retenue dans le projet minier adopté, parmi celles envisagées.

-la procédure pour le choix du mode d'exploitation.

-les conditions techniques d'exploitation qui garantissent la stabilité et l'équilibre du milieu naturel,

-les mesures prises pour la remise en état graduelle des lieux pendant et après l'activité minière, ainsi que pour la prévention des risques miniers dans le cadre de l'après-mine, tenant compte de la santé et de la sécurité du public, du respect de l'intégrité écologique et des principes de développement durable. L'étude d'impact sur l'environnement, réalisée par des bureaux d'études, des bureaux d'expertise ou des bureaux de consultations agréés, est soumise au ministre chargé de l'environnement, pour approbation.

 **Art. 128**

Tout demandeur d'un permis d'exploration minière, d'un permis d'exploitation minière artisanale, ou d'un permis de ramassage, de collecte et/ou de récolte de substances minérales relevant du régime des carrières, doit joindre à sa demande une notice d'impact de l'activité minière sur l'environnement.

❖ Termes de référence d l'étude d'impact d'environnement EIE

L'extraction de Géomatériaux ne se fait sans produire des modifications environnementales liées aux engins et produits utilisés et à la transformation de l'écosystème. Pour appréhender ces changements, l'analyse des effets directs et indirects, temporaires et permanents de l'installation de carrières sur l'environnement a été réalisée. Elle porte sur les sites et paysages, la faune et la flore, les milieux naturels et les équilibres biologiques, sur la commodité du voisinage (bruits, vibrations, odeurs, émissions lumineuses) ou sur l'agriculture, l'hygiène, la santé, la salubrité et la sécurité publiques. (Gaied, 2017).

❖ Les principaux éléments de l'étude (EIE) sont :

1. Présentation du cadre juridique et institutionnel dans lequel le projet de mine sera conçu, exécuté et exploité et dans lequel l'EIE sera réalisée ;
2. Définition et délimitation de la zone d'influence du Projet ;
3. Description détaillée du Projet ;
4. Analyse de l'Etat Initial du site du projet et de son environnement :
 - ✓ L'Environnement physique,
 - ✓ L'Environnement biologique,
 - ✓ L'Environnement socioculturel ;
5. Analyse des conséquences prévisibles, directes, indirectes et cumulatives du Projet sur l'Environnement, et en particulier les ressources naturelles, les différentes espèces de la faune et de la flore, les zones bénéficiant d'une protection juridique, les zones sensibles, les espaces protégés, les parcs nationaux, les parcs urbains, etc ;
6. Préparation d'un Plan détaillé de Gestion Environnementale (PGE) :
 - ✓ Développement des Mesures d'Atténuation Environnementale pour éliminer ou réduire et si possible compenser les conséquences dommageables du projet et estimation des coûts de ces mesures,
 - ✓ Développement d'un Programme de Contrôle et de Suivi Environnemental,
 - ✓ Mesures Institutionnelles et Identification de la Formation et du Renforcement Institutionnel pour Superviser l'Atténuation Environnementale.
7. Consultation publique & Concertation avec les organismes gouvernementaux et non gouvernementaux (ONG), et les personnes affectées par le Projet ;
8. Plans de remise en état des lieux (Après mine) (Gaied, 2017).

4. Définitions

a) Etude d'impact sur l'environnement :

Document Élaboré dans les conditions prévues par les dispositions législatives relatives à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable ;

Il existe des carrières souterraines (exploitations par des galeries) et des mines à ciel ouvert (exploitation dans des excavations ouvertes) et vice versa. En conséquence, on appelle mine toute exploitation des substances minérales métalliques et carrière toute exploitation non métallique (Gaied, 2017).

b) Les substances minières

Comportent toutes les ressources énergétiques, les minerais métalliques, les sels de potasse et de sodium, les phosphates, etc...Le code des mines de la Tunisie dans son article 5 classe ces substances en six groupes :

• **1^{er} GROUPE :**

Les combustibles solides tels que : le graphite, l'anthracite, la houille, le lignite et autres combustibles fossiles.

• **2^{ème} GROUPE :**

Les combustibles liquides et gazeux tels que : le bitume, L'asphalte. Le pétrole et autres Hydrocarbures liquides ou gazeux, Hélium et autres gaz rares et toutes les sources liquides ou gazeuses d'origines géothermiques à haute ou à moyenne enthalpie.

• **3^{ème} GROUPE :**

- Les substances métalliques et semi-métalliques telles que le fer, le plomb, le zinc, le cuivre, le baryum, le fluor, le strontium, le mercure, le soufre, le manganèse, l'antimoine, l'aluminium, l'or, l'argent, l'étain, le bismuth, le cadmium, le chrome, le cobalt, le magnésium, le molybdène, le nickel, le tungstène, l'arsenic

- Les substances radioactives telles que l'uranium, le thorium et autres éléments radioactifs.

- Les pierres précieuses telles que : le diamant et autres.

• **4^{ème} GROUPE :**

Les sels naturels solides ou dissous se présentant en gisements massifs ou en saumures naturelles tels que les chlorures (y compris le sel marin), les bromures, les iodures, les borates, les sulfates, les nitrates et les autres sels associés dans les mêmes gisements.

• **5^{ème} GROUPE :**

Les phosphates.

- **6^{ème} GROUPE :**

Les roches à prédominance monominérale notamment applications industrielles autres que celles utilisées en génie civil tels que le kaolin, les illites, les smectites, l'attapulgite, la calcite, la dolomite, la magnésite, la silice, les diatomites, le quartz, les feldspaths ... Un arrêté conjoint du Ministre chargé des Mines et du Ministre chargé des Carrières établira, sur avis du comité consultatif des mines, les limites qualitatives minimales des substances minérales appartenant au 6^{ème} groupe.

Les substances utiles ou de carrières peuvent être classées de la façon suivante :

- * Les matériaux de construction : sable, pierres de construction, marbre, ciments, plâtres ;
- * Les matériaux céramiques : argiles, feldspaths, etc. ;
- * Les matériaux industriels : sable pour verrerie, talc, calcaire blanc, kaolin, etc... ;
- * Les matériaux abrasifs : diamant, corindon, topaze, quartz ;
- * Les matériaux fertilisants : N, P, K ;
- * Les pierres gemmes = Pierres précieuses et semi- précieuse (Gaied, 2017).

5. Sécurité

Le service de sécurité est une composante de la structure générale de l'entreprise, il est placé sous la responsabilité directe de la direction. Son rôle essentiel est la sauvegarde des travailleurs, il se propose aussi de former, d'informer, de travailler et de perfectionner les procédés technologiques d'exploitation. Son but est de coordonner avec les autres services les impératifs de protection et de prévention. Les tâches du service de sécurité sont :

Participation à l'élaboration des plans « ORSEC » (organisation des secours en cas de catastrophe).

- Assistance aux travaux dangereux.
- Vérification des équipements et dispositifs de protection.
- Analyse des accidents de travail.
- Sensibilisation des ouvriers et des nouvelles recrues.
- Etablissement d'un rapport mensuel des accidents.

- Organisation et coordination des secours en cas de catastrophe.
- Etre en étroite collaboration avec le service médical pour la prévention des risques (code de travail, 2001/2002).

Pour assurer une meilleure sécurité, il faut la prévention ;

Elle consiste à chercher tous impacts pouvant entraîner des accidents de travail, et/ou engendrer maladies professionnelles et à les éviter.

6. Impacts d'exploitation

6.1. Impact sur la santé

L'activité d'extraction de phosphates génère de nombreux impacts négatifs sur le plan sanitaire. Ceci présente des risques de santé liés aux métaux lourds et aux substances les plus toxiques notamment : le fluor, le cadmium, le plomb, la silice et les minéraux radioactifs. (rapport-environnement-Dj.Onk)

a) Effet du Flore :

La commune de Bir-El-Ater appartient au domaine de la steppe à alfa et à armoise. L'occupation forestière est de faible importance, avec seulement 5518 ha sur une surface totale de la commune de 152200 ha.

La zone d'étude est non cultivée et désertique ; elle est occupée par la steppe à scoparum et astragale, une forme dégradée de la steppe à armoise qui n'est pas un bon pâturage (sauf pour les chameaux).

Aucune des espèces végétales recensées dans les steppes de la zone d'étude ne peut être considérée comme rare.

Les données du Service des forêts de Bir-El-Ater signalent 8500 ha de halfa et 90869 ha pour le parcours.

b) Effet du faune

Concernant la faune, on note dans la zone de Djebel Onk la présence de gerbilles (gerboise et gerbier), lièvres ibériques, renards et chacals. Le fennec, la belette et le porc-épic doivent être considérés comme rares. L'oryx et l'hyène sont très rares. Dans le massif du Djebel Onk, on trouve des gundis.

Il faut aller jusqu'au Djebel Madjour (près de Négrine) pour pouvoir apercevoir le mouflon et la gazelle des dunes ou la gazelle dorças.

Outre les mammifères, la faune avienne, concentrée dans les djebels, est composée du pigeon sauvage, de l'épervier, de la perdrix et de la chouette. Des moineaux, des corneilles et des oies sauvages sont également présents.

- ✓ La zone d'étude est riche en scorpions jaunes et en vipères à cornes et vipères libertines,
- ✓ La zone d'étude est riche en scorpions jaunes et en vipères à cornes et vipères libertines, qui ne sont évidemment pas des espèces que l'on cherche à protéger.

c) Effet du cadmium

La respiration d'air contenant des particules ou des vapeurs de cadmium est souvent à l'origine des pneumopathies, des néphropathies reconnues comme des maladies professionnelles. L'injection dans l'appareil digestif se réalise par la consommation d'eau et d'aliments contaminés.

d) Effet du plomb

Il provoque une maladie dite plombite par suite d'exposition prolongée en entraînant des troubles dans la croissance chez les enfants et des avortements des accouchements prématurés chez les femmes en grossesse.

e) Effet de La silice

Il provoque une maladie respiratoire appelée silicose.

f) Effet des minéraux radioactifs

Comme l'uranium et ses dérivés dont l'inhalation prolongée provoque des malformations cellulaires avec des séquelles cancérigènes irréversibles.

7. Impact des travaux d'exploitation sur l'environnement

L'exploitation des gisements de phosphates n'est pas sans effet sur l'environnement et la santé des populations. En effet, les différentes étapes d'extraction, de préparation et de valorisation des phosphates, génèrent divers problèmes (liquides, gazeux, solides et sonores) ayant des impacts directs sur les milieux naturels et la santé des populations. Parmi les impacts les plus nuisibles nous pouvons citer :

La Mine de Kef Essenoun (gisement de phosphate) exploité par le méthode d'exploitation à ciel ouvert, au cours des travaux d'exploitation affectent les compartiments de l'environnement à savoir :

7.1. Impact sur l'air

Dans le cas de la mine de Kef Essenoun dont l'exploitation est à ciel ouvert, le déséquilibre de l'atmosphère est dû aux :

- Dégagements de poussières par les tirs à l'explosif et le trafic routier,
- Dégagements des gaz nocifs et des effluents gazeux suite à l'échappement des engins, des automoteurs et toute autre source fixe.

Pendant son activité la mine émet des gaz, des fumées et de la poussière. Ce qui engendre une grande pollution atmosphérique qui peut provoquer des maladies respiratoires chez le personnel et la population riveraine.

a) Caractérisation des poussières générer par la mine

Dans une mine, les émissions de poussière peuvent être classées en trois groupes :

- ✓ Sporadiques ou fugitives (par exemple les émissions provoquées par les tirs de mines, le déchargement des bennes ou les envols d'éléments fins des stocks à l'air libre) ;
- ✓ Semi-permanentes (essentiellement les émissions produites durant la foration et la circulation des véhicules sur les routes, pistes et chemins) ;
- ✓ Permanentes (celles produites par les installations de concassage).

Pour chaque étape de production de minerai de phosphate, la nature des poussières, leur granulométrie, leur forme, ainsi que le processus de mise en suspension ou d'envol, sont très différents. La dispersion des poussières dans l'atmosphère se fait :

- Au forage des trous de mines,
- Explosion au niveau de la mine,
- Lors du chargement des bennes ;
- A l'entrée et à la sortie des concasseurs ;
- Transport de la matière première par tapis à ciel ouvert ou par camion vers le concassage ou le stockage,
- A la jetée des convoyeurs à bandes sur le site de stockage

-Au stockage et au chargement des produits commercialisés ou éliminés.

b) Les poussières générées par les aires de stockage

D'autre part, la mise en mouvement des poussières présentes sur le sol constitue (figure 15), pour l'environnement, un aspect important de ce problème. Il touche les abords dès l'installation de l'unité, les aires de stockage non couvertes, les voiries de transport, qu'elles soient internes à la carrière ou externes. Cette remise en suspension est principalement due aux mouvements des véhicules et engins qui provoquent également une augmentation de la finesse des poussières par attrition, mais aussi sous la seule influence du vent. Les conditions atmosphériques jouent dans ce domaine un rôle prépondérant.



Fig.15 : Emission de poussière lors de l'opération de stockage.

c) Poussière et gaz émis par les engins

Les activités d'extraction et de transformation de phosphates sont généralement accompagnées de l'émission d'une grande quantité de poussières. Les grains de poussière, même s'ils sont envoyés par le vent à plusieurs kilomètres de leur lieu d'émission, finissent par retomber naturellement sur les villages environnants. Ces dépôts provoquent la pollution de ces milieux récepteurs. Les poussières et les gaz émis par les engins au cours des exploitations des phosphates sont constitués des particules solides ou liquides et résultent soit de la dispersion dans l'air des particules fines contenues dans le sol ou produites par l'exploitation

soient des gaz issus de la combustion des hydrocarbures ou de l'usure des métaux. Ces particules polluent l'air ou l'atmosphère donc altèrent la qualité et la pureté de l'air. Cette dégradation intervient lorsque les degrés de concentration et les durées de présence de ces particules sont suffisamment longues pour produire un effet toxique et ou écotoxique. Une partie importante de la pollution de l'air dans les exploitations de phosphates est imputable à la consommation de carburant fossile. La combustion de gasoil entraîne en général la libération de quantités importantes de polluants atmosphériques tels que : NO (oxyde d'azote), CO (monoxyde de carbone), Hc (hydrocarbure), PbO (monoxyde du plomb). Ces gaz sont en général des gaz à effet de serre. Ils sont responsables du réchauffement climatique, de la destruction de la couche d'ozone. Certains sont cancérigènes d'autres toxiques voire mortels en milieu fermé (Gaied, 2017).

7.2. Impact sur les ressources en eau

Les effets sur la qualité de l'eau et de la disponibilité des ressources en eau dans la zone d'étude constituent un impact important dans l'exploitation minière.

Pour les besoins de son activité (l'arrosage) et le besoin de son personnel, la mine de Kef-Essenoun puise son eau par pompage de la nappe phréatique ainsi que par les eaux de ville.

a) Impact sur les eaux superficielles

Le ruissellement des eaux et par accumulation de poussière provoque des écoulements de boues qui peuvent avoir un impact négatif sur les eaux superficielles en augmentant le taux de MES (Matières En Suspensions) dans ces eaux.

Renforcement de l'érosion en raison de l'endommagement par l'exploitation minière et des grandes quantités de matériaux qui sont exposées sur les sites, L'érosion peut provoquer le chargement important de sédiments vers des plans d'eau proches, surtout pendant des tempêtes sévères.

Lorsque des matériaux minés tels que les parois des mines à ciel ouvert, les résidus et les déchets rocheux sont exposés à l'eau et à l'oxygène, des acides peuvent se former si les minéraux en particulier les métaux lourds sont abondants d'acide. L'acide, à son tour, lessivera ou dissoudra les métaux et autres

contaminants dans les matériaux minés et formera alors une solution acide, à forte teneur en phosphore et riche en métal.

Des niveaux élevés de composés de Cadmium et de Zinc également être trouvés dans les eaux en provenance de la lixiviation en tas et des produits d'abattage par explosifs.

Les métaux sont particulièrement problématiques, car ils ne se dissolvent pas dans l'environnement. Ils se déposent au fond et demeurent dans le cours d'eau pendant de longues périodes, se transformant en une source de contamination à long terme pour la faune aquatique (Gaied, 2017).

b) Impact sur les eaux souterraines

Le seul risque qui peut provoquer la contamination de la nappe phréatique est l'infiltration des effluents liquides issus de la maintenance des engins de la mine. Par contre, les autres déchets issus des travaux d'exploitation sont de nature minérale et n'ayant aucun risque sur la nappe phréatique.

L'entretien des camions et des engins de la mine s'effectue dans un atelier aménagé pour cet effet.

7.3. Autres impacts

a) Le bruit

Le bruit est un mélange complexe de sons produisant une sensation auditive considérée comme gênante ou dangereuse. Le bruit peut être caractérisé par sa fréquence (grave ou aigu), son niveau sonore (aussi appelé intensité), et sa durée (court ou long). Le volume sonore se mesure en décibel (dB).

Le bruit résulte des circulations des engins dans les mines ainsi que des tirs à l'explosif visant l'abattage des couches stériles et utiles.

b) La Vibration

Une vibration est un mouvement de va et vient très rapide autour d'une position d'équilibre. C'est une onde qui se propage sans déplacement de matière mais transporte de l'énergie. Les vibrations sont associées à de nombreux types d'équipements utilisés dans l'exploitation de mine mais l'abattage par explosifs est considéré comme la source la plus importante. Les vibrations affectent la stabilité des infrastructures, des bâtiments et des maisons et des personnes vivant

à proximité des opérations. Elles conduisent aussi à la destruction des structures dans les zones environnantes non-habitées. La vie animale est également perturbée. Les vibrations sont mesurées avec un vibromètre. Les vibrations produites par les engins utilisés dans les exploitations de phosphates ont une fréquence importante quoique les amplitudes semblent faibles. Elles sont sensibles sur un rayon relativement faible de 30 à 50 m autour de l'exploitation. Leurs fréquences assez élevées et leur durée de 7 à 8 heures par jour, font que ces vibrations répétitives et régulières peuvent occasionner des troubles musculaires, vasculaires et neurologiques. Par ailleurs, les vibrations d'amplitudes les plus élevées sont constatées au cours des abattages à l'explosif effectués en général dans les mines à ciel ouvert. Ces niveaux de vibrations sont instantanés et très sporadiques (une à deux fois par semaine). Elles font trembler les habitations, provoquent parfois des effondrements de falaises et la chute de certains arbres. La vibration affecte la stabilité des infrastructures, les bâtiments et les maisons des personnes vivant à proximité des opérations des grandes mines

c) La dégradation du paysage

Les activités liées au phosphate détruit le paysage naturel, car il n'existe pas d'obligation de reconstitution ou de réhabilitation des terrains. Les boues des laveries de phosphate (figure 16) affectent la perméabilité du sol et dégrade sa structure et pollue les eaux souterraines et de ruissellement.



Fig.16 : Les boues des laveries de phosphate.

8. Impact Effluents et rejets de laveries

Le traitement de phosphates par lavage nécessite de quantités énormes d'eau. Une tonne de phosphates enrichie nécessite 4 tonnes d'eau. Le rendement de lavage des phosphates est de l'ordre de 65% avec une perte de 35% sous forme de pulpe dont la charge solide est comprise entre 160 à 240g/l (20%) et 15% sous forme de résidus grossiers. Le rejet stérile fin, constituant 20% du minerai brut, est évacué avec l'eau sous forme de boues. Le complexe minier de Djebel Onk dispose d'un système de gestion des eaux usées utilisé pour le traitement du phosphate minéral (figure 17).



Fig.17 : Système de traitement des eaux de lavage de phosphate

9. Métaux lourds

9.1. Définition des métaux lourds

On appelle en général métaux lourds les éléments métalliques naturels, caractérisés par une masse volumique élevée, supérieure à 5g/cm^3 .

9.2. Les sources naturelles des métaux lourds

Si l'on s'intéresse aux effets sur la santé de quelques microgrammes de métal (0,000001 gramme), les gisements des métaux lourds au sein de la biosphère se chiffrent par millions de tonnes. Les métaux lourds se retrouvent dans tous les compartiments de l'environnement. Selon les métaux, les réserves les plus

importantes se trouvent dans les roches et/ou les sédiments océaniques. On estime le gisement de mercure à 300 milliards de tonnes dont 99 % se trouvent dans les sédiments océaniques.

Les métaux lourds, comme tout minerai, sont présents dans les roches, et sont diffusés avec l'érosion. Les métaux lourds en surface ne viennent cependant pas tous de la roche, puisqu'il peut y avoir cumul entre ce qui vient du sous-sol et ce qui est apporté par l'air, qui peut provenir de très loin (plomb dans les glaces des pôles).

9.3. Les rejets physiques

L'exploitation minière génère une grande quantité de déchets dont certains présentent des risques pour l'environnement. Le Cadmium (Cd), le zinc (Zn), le cuivre (Cu), le plomb (Pb), sont les principaux contaminants dans ces résidus miniers.

9.4. Les rejets des métaux lourds dans l'eau

9.4.1. L'eau et les métaux lourds

Les métaux lourds sont des micros polluants de nature à entraîner les nuisances même quand ils sont rejetés en quantités très faibles. D'ailleurs, de petites quantités en proportion (mesurées en microgrammes par litre) sont souvent compensées par un effet volume compte tenu de l'importance des débits d'eau. L'industrie est responsable de la quasi-totalité des rejets de métaux lourds dans l'eau. La nécessité de réduire ces rejets n'est plus discutée. (Effet des métaux lourds)

9.4.2. Spéciation des métaux lourds dans les sédiments

Le terme spéciation fait référence aux formes spécifiques dans lesquelles un élément chimique se trouve dans une matrice (niveaux d'oxydation, forme organométalliques...). L'importance de la spéciation repose sur le fait que l'évaluation de la concentration totale n'est pas suffisante pour déterminer l'impact environnemental d'un métal. En effet, l'utilisation de la concentration totale comme critère d'évaluation des effets potentiels des sédiments contaminés sous-entend que toutes les formes d'un élément ont un même impact sur l'environnement, ce qui n'est pas réellement le cas. (Tokalioglu et al, 2006).

La spéciation des métaux lourds peut être étudiée par :

- ✓ La modélisation thermodynamique, mais qui souffre de manque de données.
- ✓ Les méthodes spectroscopiques : diffraction des rayons X, RMN, Microsonde, spectrométrie infra-rouge, XPS, EXAFS...)
- ✓ Les méthodes chimiques (extraction séquentielle) (Kribi, S., 2005).

10. Sécurité au niveau des travaux miniers

Dans la carrière l'exploitation doit faire connaître aux services compétents (service des mines), la personne chargée de la conduite des travaux miniers et qui sera aussi responsable de l'application des règlements. Dans la carrière au l'abattage se fait par trou de mine profonde et celle qui emploie des engins lourds, l'exploitant doit soumettre à l'approbation du dit service, les consignes définissant la méthode d'exploitation et ses différents paramètres :

- Hauteur de gradin.
- Largeur des banquettes.
- Nature, importance et disposition des charges explosives et particulièrement des conditions de tir.
- Le schéma de chargement et de transport.

11. Sécurité du forage des trous

- La sondeuse doit être placée sur une surface plate, à une distance de sécurité supérieure ou égale 3m à partir de l'arrête supérieur du gradin.
- Il est interdit de se trouver en avant du mat lors de son levage ou de son abaissement.
- Il faut toujours vérifier les organes de travail de la sondeuse.
- Le port du casque antibruit est obligatoire si la sondeuse n'est pas équipée silencieuse.

12. Sécurité au niveau d'abattage des roches

- Les fronts d'abattage et parois dominant doivent être constamment surveillés et purgés s'il y a lieu (par un agent désigné à cet effet).
- L'examen et la purge des fronts d'abattage doivent être fait notamment après chaque tir de mine et avant toute reprise des travaux en période de pluie.
- La purge est conduite lors des travaux miniers dans le sens descendant

13. Sécurité lors des tirs de mine

L'exécution des travaux de tir doit s'effectuer conformément aux consignes de sécurité en vigueur au sein de l'entreprise.

14. Sécurité par rapport aux personnes et engins

Un avis de sécurité doit toujours être communiqué aux personnes et service intéressé suffisamment longtemps avant le tir, surtout par le service sécurité.

- Le tir doit être effectué le jour même du chargement des trous.
- La présence d'un agent de sécurité national avant le tir, est obligatoire.
- Les mineurs munis des drapeaux rouges seront postés en temps voulu surtout dans les voies d'accès qui mène à la zone de tir.
- Avant le tir on donne un signal continu avec la sirène d'une durée minimale d'une minute.
- Le chargement des trous à l'explosif et le signal d'alerte sont supervisés par le boude-feu.
- Lors des ratés, l'artificier doit attendre au moins 70 minutes avant de s'approcher du trou raté.
- Le responsable de la carrière doit s'assurer, après chaque tir, que tous les explosifs dans les trous ont sauté.
- Au moment du tir, toute circulation doit être interrompue, le personnel et les engins sont déjà évacués en dehors de la zone dangereuse.
- Avant chaque tir, il est indispensable de calculer la distance de sécurité à respecter.
- La zone dangereuse doit être cernée par des balises de signalement afin de d'avertir les éventuels intrus
- L'agent doit s'assurer que toutes les prescriptions de sécurité sont observées.

15. Sécurité lors du chargement– transport

Le transport doit s'effectuer conformément au code de la route :

- Le chargement doit s'effectuer seulement sur un coté à l'arrière du camion, il est interdit de lever le godet du chargement au-dessus de la cabine du camion.

- Le conducteur de la chargeuse désigne au chauffeur du camion l'emplacement le plus favorable pour le chargement et le stationnement du dumper.
- Le stationnement du camion chargé pour une durée inacceptable est interdit.
- L'excès de vitesse est interdit à l'intérieur de la carrière < 50 km/h.
- A la fin du poste de travail, la benne du camion doit être vidée.

16. Sécurité lors du transport de l'explosif

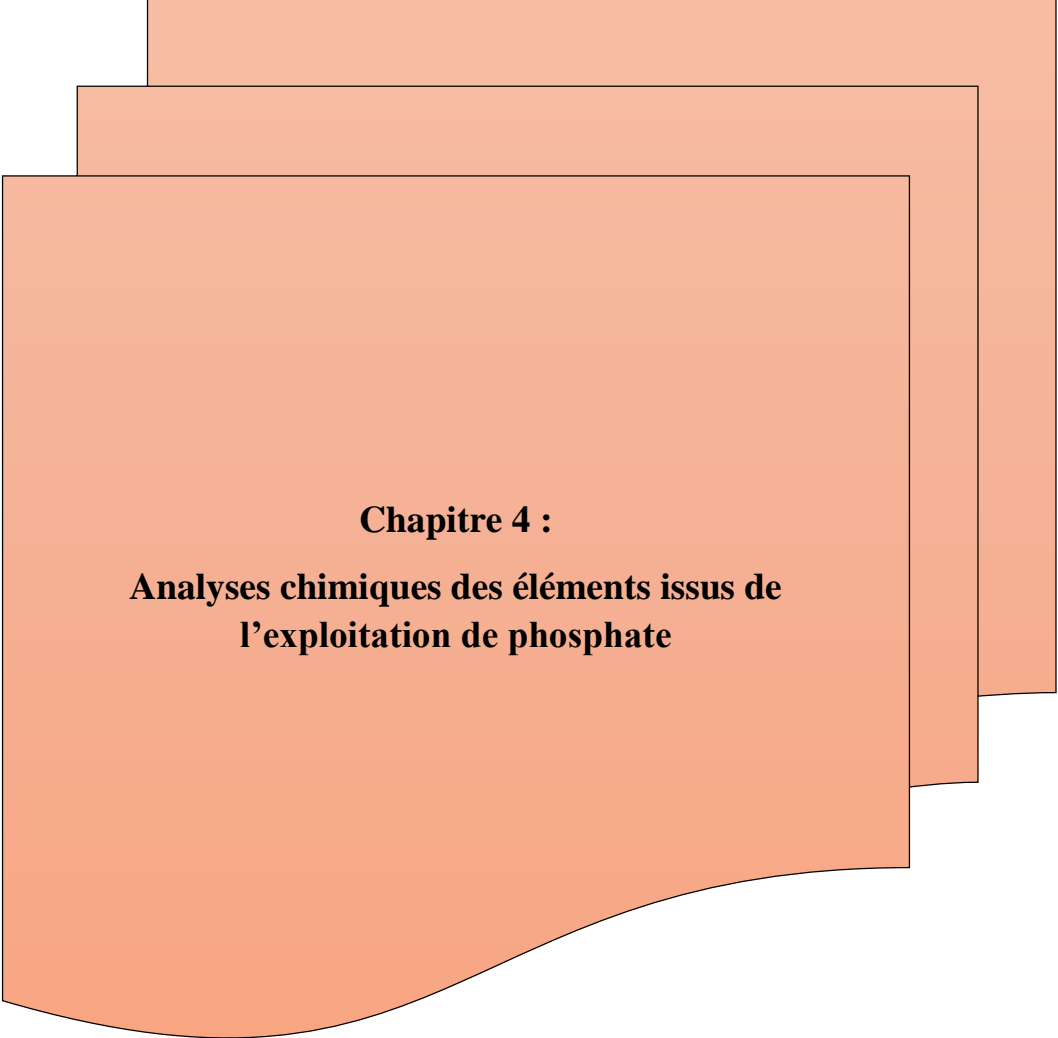
Le transport des explosifs est soumis à une réglementation rigoureuse qu'il faut absolument respectée :

- La longueur de la chaussée de transport doit satisfaire les normes de sécurité et de la distance entre deux camion croisés ne doit pas être inférieur à 0,5 m.
- Le rayon de courbure doit être de 20 m au moins lors descentes.
- Une benne tenue des pneus du camion est fortement conseillée, interdiction de circuler avec la benne relevée.
- L'état général du camion doit être satisfaisant.

17. Conclusion

Les zones minières constituent un cas particulier, les concentrations en éléments traces métalliques étant localement très élevées. Bien qu'à l'origine ces éléments soient en général inclus dans des structures. L'impact sur la santé des métaux lourds dépend de leur espèce chimique, de leur concentration, de leur biodisponibilité et de leur passage dans les chaînes alimentaires.

Les particules de poussière très fine constituent une pollution atmosphérique, introduit par l'homme directement ou indirectement dans l'atmosphère, Pour pallier à ce problème, la fiabilité des installations et équipements mises en place par l'entreprise pour lutter contre les différents types de polluants doit être bien suivi.



Chapitre 4 :
Analyses chimiques des éléments issus de
l'exploitation de phosphate

I. Introduction

Toutes industrie minière génère des résidus et des influents ayant une grande proportion des éléments chimiques. Ces éléments peuvent être nocif au quotidien humain et sa santé, parmi ces éléments se trouve les métaux lourds tel que Cadmium (Cd), Zinc (Zn), cuivre Cu, plomb (Pb) souvent en abondance dans les gisements du phosphate.

Dans ce chapitre nous avons essayé de mettre en évidence la présence de ces éléments à travers les analyses chimiques et analyse par la méthode d'absorption atomique (DRX) les données sont traité par un analyse des composantes principales (ACP). L'utilisation de l'outil de cartographie (Surfer 20) des métaux lourds, a permis la mise en évidence d'une concentration orientée selon son origine et la direction dominante du vent.

II. MOYENS ET METHODES

1. Echantillonnage

Plusieurs stations ont été choisie (figure 18) selon un maillage prédéfinis de la façon à avoir le maximum d'informations en terme de diffusion des éléments contenus dans les phosphates et issus de processus d'exploitation et de traitement. Sept stations de prélèvement on permet la récupération de 14 échantillons deux niveau par station sur les dix premiers centimètres du sol.



Fig. 18 : Localisation d'échantillonnage



Fig. 19 : technique d'échantillonnage et localisation de station par GPS : a) lac des eaux usées au traitement de phosphate, b) prélèvement au voisinage de l'usine.

2. Analyse chimiques au laboratoire

a) Préparation des échantillons

Les échantillons doivent subir à une préparation mécanique (figure 20) : division des échantillons, concassage, broyage pour obtenir la granulométrie spécifique pour les analyses chimiques.



Fig. 20: préparation mécanique des échantillons : a) concassage, b) tamisage, c) broyage, d) division d'échantillon, e) récupération d'échantillon, f) diviseur.

b) Dosage de l'anhydride carbonique CO₂ (Calcimètre de BERNARD).

Attaque d'échantillon par l'acide chlorhydrique, en récipient fermé (figure 21), ensuite on mesure du volume gazeux dégagé. Le dégagement éventuel d'hydrogène sulfuré est empêché par addition de sulfate de cuivre.

- Les réactifs utilisés consistent à :
 - ✓ Acide chlorhydrique solution à 50% en volume.
 - ✓ Sulfate de cuivre anhydre
 - ✓ Etalons : carbonate de calcium pur et sec.



Fig.21 : Calcimètre de BERNARD

c) Mesure de H₂O avec une balance de mesure d'humidité dessiccateur PCE-MA 110

Le mesureur d'humidité des échantillons avec la balance dessiccateur PCE-MA précise et à usage facile pour détecter l'humidité du sol. Le mesureur d'humidité du sol vous montre l'humidité actuelle en pourcentage absolu ainsi que le point de flétrissure ou le degré de saturation du sol



Fig.22 : Mesure de H₂O avec une balance de mesure d'humidité

d) Attaque perchlorique

Au laboratoire de chimie, l'attaque perchlorique et l'attaque nitrochlorhydrique effectuera habituellement pour préparer les échantillons aux méthodes spectrophotométries ou l'attaque sulfonitrique pour doser le P₂O₅, aussi qu'ils sont applicables. [www.energiemines.ma]

e) Dosage du P_2O_5 par la méthode spectrophotométrie automatique (Auto analyseur Technicon).

Le système Technico Auto analyseur est le dernier, né d'une gamme complète d'instruments pour l'analyse chimique automatique en phase liquide. L'Auto analyseur met en œuvre les techniques les plus évoluées de la mécanique de fluide pour réaliser la mesure rapide et fiable des paramètres industriels les plus critiques, à des cadences de dosages pouvant atteindre 120 échantillons par heure. Les systèmes d'auto analyseur ont une caractéristique commune, leur conception modulaire permet de les adapter à tous les besoins analytiques spécifiques et elle fait un remarquable outil de recherche doté d'une souplesse extraordinaire

f) Dosage du Cd, Zn, Pb, Cu, Ca, par la méthode d'absorption atomique (Spectrométrie d'absorption atomique (SAA))

Dans le cas particulier de l'absorption atomique, on travaille sur des atomes libres à l'état fondamental ($W_i = 0$) : ces atomes peuvent absorber des photons et passer ainsi à leurs différents états excités peu nombreux à cause des règles de sélection qui interdisent le nombre total de combinaisons que l'on pourrait réaliser entre les états excités et l'état fondamental.



Fig.23 : l'appareil (SAA)

Pour un atome, on peut donc faire de l'absorption sur les raies qui correspondent au passage état fondamental états excités, mais avec une sensibilité différente liée aux coefficients d'Einstein différents pour chaque niveau excité. Ces raies sont appelées raies de résonance bien que l'on réserve quelquefois cette appellation à la plus sensible d'entre elles.

3. Caractérisation minéralogique par diffractométrie des rayons X (DRX)

Le DRX est employé pour identifier les minéraux, estimer qualitativement leurs concentrations, et déterminer les dimensions du paramètre cristallographique. Chaque minéral a un type unique de DRX composé d'une série de pics. Les programmes informatiques mis au point réduisent considérablement les complexités liées à l'identification des espèces minérales dans des mélanges complexes.



Fig.24 : Diffractométrie des rayons X

Pour cela et au sein de laboratoire du Centre d'Etude et de Services Technologiques de l'Industrie des Matériaux de Construction du Boumerdes j'ai passé mes échantillons

a) Principe d'analyse

Les échantillons solides finement broyés, sont montés sur des porte échantillons adéquats, sont soumis à un faisceau des rayons X pour être diffractés par les plans réticulaires des phases cristallines, en effet il existe une relation entre l'angle du faisceau diffracté et la distance réticulaire séparant les plans d'atomes au sein d'un réseau cristallin ; celle-ci est régie par la loi de Bragg :

$$n \lambda = 2d \sin \theta.$$

(Où λ =longueur d'onde en angströms, d =distance réticulaire en angströms et θ = angle de diffraction ou de réflexion en degrés).

Des diffractogramme sont obtenus à l'aide d'un diffractomètre à rayon X. Les positions et les intensités de pics observés sont comparés aux fichiers de référence PDF-ICDD (Powder Diffraction File - International Center for Diffraction Data) pour l'identification des phases minéralogiques présentes. Et éventuellement l'utilisation de RIR (Reference Intensity Ratio) inclus dans le logiciel HighScore Plus du fichier PDF-ICDD pour l'estimation semi quantitative des phases correspondantes quand celle-ci est requise et possible.

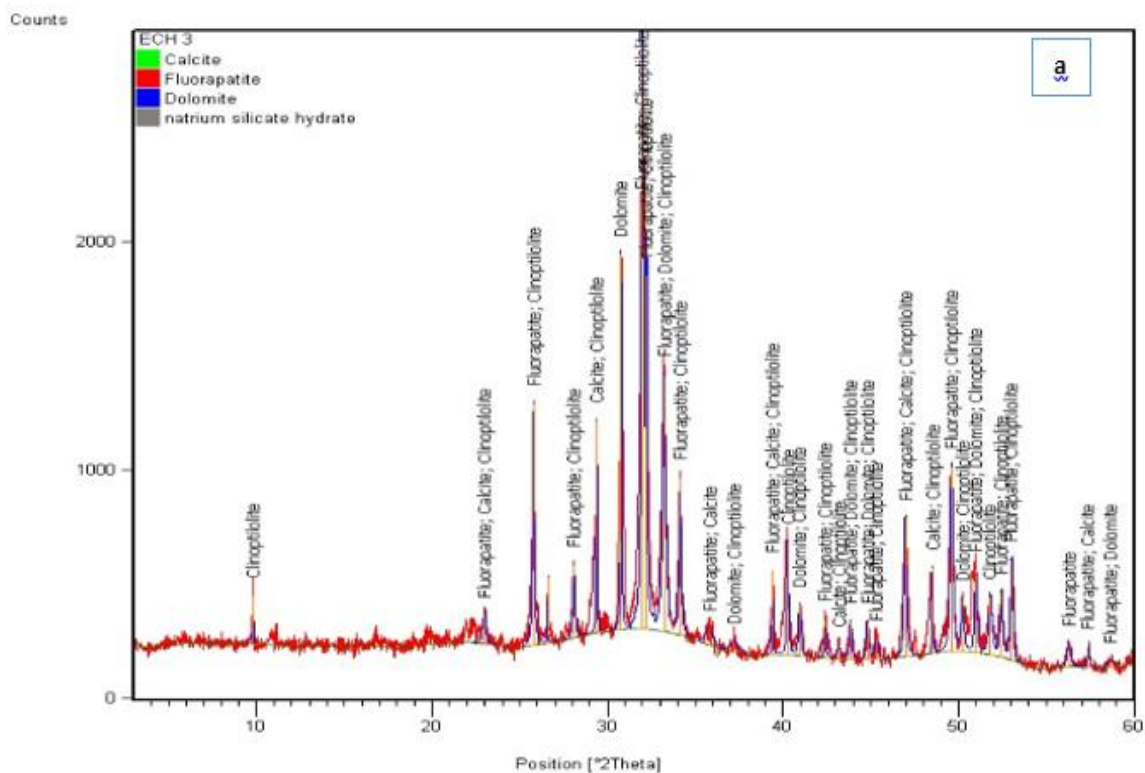
b) Condition expérimentale

- Diffractomètre X'Pert PRO, tube radiogène à anticathode de cuivre ;
- Logiciel pour traitement des données : HighScore Plus ;
- Longueur d'onde $\text{CuK}\alpha$ [Å] : 1,5418 ;
- Angle de départ [$^{\circ}2\text{Th.}$] : 2,0000 ;
- Angle final [$^{\circ}2\text{Th.}$] : 70,0000 ;
- Taille du pas [$^{\circ}2\text{Th}^{\circ}$] : 0.0170 ;
- Temps du pas [s] : 45.8746 ;
- Puissance du générateur à RX : 30 mA, 40 kV.

3.1. Résultats des analyses minéralogiques par DRX

L'analyse par radiocristallographie des deux échantillons 1 et 2, a mis en évidence les phases minéralogiques suivantes :

a) Diffractogramme échantillon N° 1 (Annexe 1)



b) Diffractogramme échantillon N°2 (Annex 2)

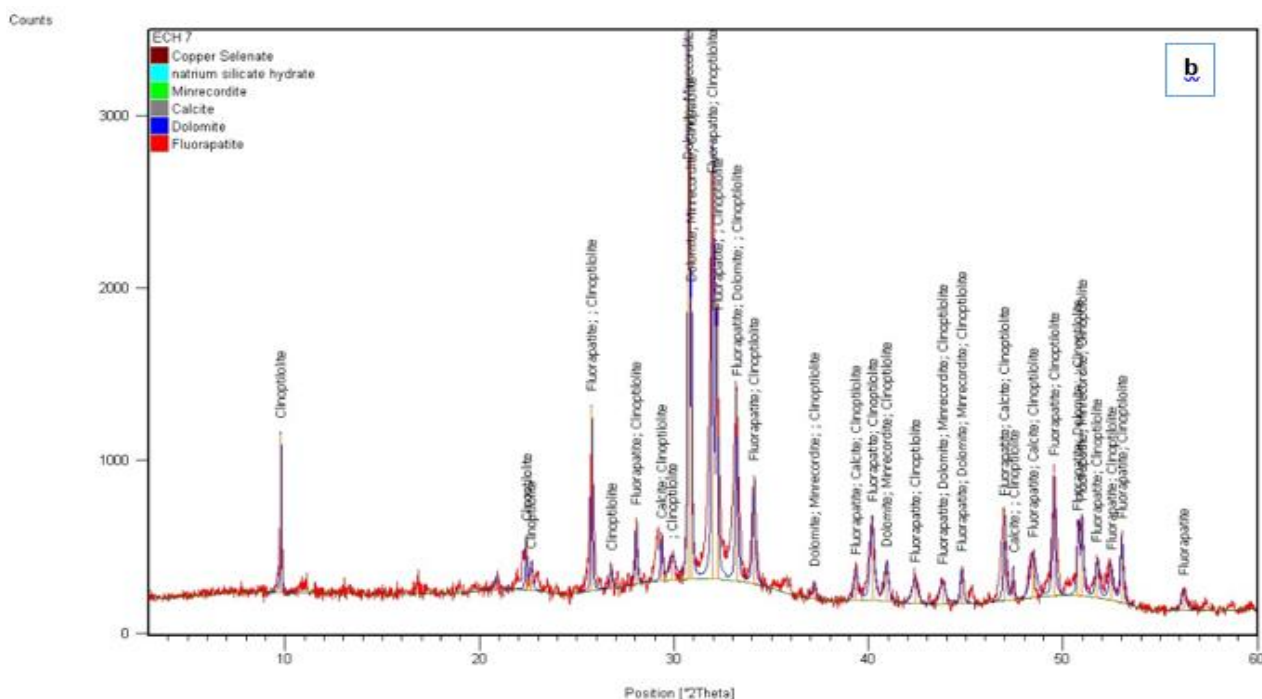


Fig.25 : Résultats des analyses minéralogiques par DRX: a) Diffractogramme échantillon N° 1, b) Diffractogramme échantillon N°2

3.2. Résultats de la DRX

Les diffractogramme présentent des phases minéralogiques différentes à savoir :

a) Échantillon N°1

- ✓ Calcite CaCO_3
- ✓ Fluorapatite $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$
- ✓ Dolomite $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$
- ✓ Natrium silicate hydrate $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$

b) Échantillon N°2

- ✓ copper selenate CuO_4Se
- ✓ Natrium silicate hydrate $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$
- ✓ Minrecordite $\text{CaZn}(\text{CO}_3)_2$
- ✓ Calcite CaCO_3
- ✓ Dolomite $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$
- ✓ Fluorapatite $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$

4. TRAITEMENT DES DONNEES CHIMIQUES

Application de l'A.C. P aux données chimiques des échantillons de surface alentours du complexe minier de Djebel Onk.

L'A.C. P appliquée est centrée réduite ceci dans le but d'identifier et de quantifier la liaison entre les différents paramètres, bien que l'A.C. P est une méthode exploratoire et descriptive (Dagnélie, P., 2006), elle est largement appliquée pour enquêter sur les impacts environnementaux et les processus hydrogéochimiques à travers le monde, (Boudoukha et al. 2012, Khlifi et al. 2020). Cette analyse a été réalisée sur un tableau de 11 variables (Ca, Cd, Zn, Cu, Pb, CO₂, H₂O, MO, TCO, P₂O₅, SiO₂) de 14 individus. Cette analyse a été effectuée à l'aide du logiciel XLSTAT 2016 version d'évaluation.

a) Méthodes statistiques utilisées

Pour avoir une meilleure idée sur la qualité et la relation entre les différents paramètres ainsi que le rôle de chaque élément chimique dans le processus de minéralisation, une étude statistique descriptive et une matrice de corrélation simple ont été réalisées. Toutefois, pour essayer d'isoler les anomalies des données dont nous disposons, une étude statistique classique ne suffit pas, méthodes sont utilisées, une analyse en composante principale (A.C.P).

b) Analyse en composantes principales (A.C.P)

Il existe plusieurs méthodes statistiques qui permettent de résumer l'information contenue dans une matrice de données. Parmi celles-ci, l'A.C. P qui permet de détecter une structure dans les relations entre variables, ce qui revient à ordonner les variables. Par conséquent, l'A.C. P est utilisée comme une méthode de synthèse des données (on dit encore réduction), ou de détection de structure.

c) Principe de l'analyse en composantes principales

L'A.C.P. consiste à remplacer une famille de variables par de nouvelles variables de variance maximale, non corrélées deux à deux et qui sont des combinaisons linéaires des variables d'origine. Ces nouvelles variables, appelées composantes principales, définissent des plans factoriels qui servent de base à une représentation graphique plane des variables initiales. L'interprétation des résultats se restreint généralement au deux ou trois premiers nuages des

variables. Le principe de l'analyse consiste à chercher des plans de projections sur lesquels la projection s'effectuerait avec un minimum d'erreur. Le premier axe F1 détermine le maximum de variance, c'est-à-dire, le maximum d'inertie des nuages. Le second axe F2 est perpendiculaire à F1, il exprime le maximum de variance non déterminé par F1, le troisième axe F3 est perpendiculaire à F1 et F2 et exprime le maximum de variance non exprimée par les deux premiers. (Brahmi, 2016)

d) Conditions d'utilisation de L'ACP

L'utilisation de l'A.C. P implique une stratégie déterminée d'analyse de données. En premier lieu, il convient de sélectionner les échantillons (observations) et les variables (éléments, débits, taille des bassins versants...) que nous voulons exploiter conformément à l'objectif fixé. Une fois la thématique de l'analyse définie, la matrice de données constituée (tableau des données d'entrées) est contrôlée au regard de divers critères. (Tessier, L., 2003). Il s'agit de :

- 1- La forme de la matrice qui doit être telle que le nombre d'observations (n) soit supérieur au nombre de variables (p).
- 2- La matrice ne doit pas comporter de valeurs manquantes et l'ordre de grandeur des variables doit être examiné.
- 3- Les variables doivent être continues.
- 4- Les relations éventuelles entre les variables doivent être de type linéaire.

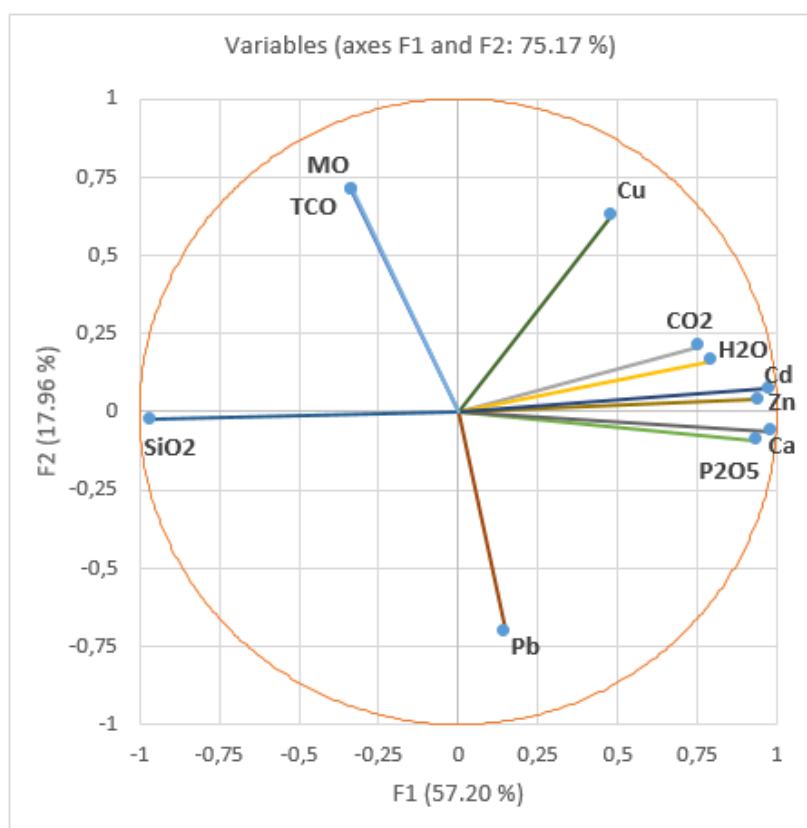
e) Corrélations entre les variables et les facteurs

Tableau 4 : Valeurs propres et variance exprimée pour les deux facteurs.

les variables	F1	F2
CO2	0,758	0,209
H2O	0,797	0,161
MO	-0,333	0,707
P2O5	0,936	-0,092
SiO2	-0,964	-0,026
Pb	0,146	-0,703
Ca	0,985	-0,062
Cd	0,940	0,039
Zn	0,975	0,073
Cu	0,479	0,626
TCO	-0,332	0,707

Tableau 5 : Matrice de corrélation entre les différentes variables.

Variables	CO2	H2O	MO	P2O5	SiO2	Pb	Ca	Cd	Zn	Cu	TCO
CO2	1										
H2O	0,718	1									
MO	-0,275	-0,340	1								
P2O5	0,555	0,686	-0,536	1							
SiO2	-0,781	-0,727	0,458	-0,945	1						
Pb	-0,003	-0,019	-0,194	0,314	-0,205	1					
Ca	0,725	0,771	-0,545	0,973	-0,987	0,228	1				
Cd	0,589	0,744	-0,429	0,933	-0,912	0,294	0,933	1			
Zn	0,720	0,816	-0,470	0,937	-0,961	0,179	0,973	0,977	1		
Cu	0,381	0,548	-0,157	0,358	-0,418	-0,761	0,426	0,320	0,443	1	
TCO	-0,274	-0,339	1,000	-0,536	0,458	-0,194	-0,544	-0,429	-0,470	-0,157	1

**Fig.26** : Projection des variables sur le plan factoriel F1/F2.

On observe que les éléments chimiques P₂O₅, CO₂, Ca, Cd, Zn, évoluent positivement selon l'axe F1 ceci montre que ces éléments de la même origine.

Le cadmium associé généralement au zinc. Les deux éléments ayant des structures ioniques et une électronégativité proche. Le cadmium peut se présenter sous forme de sulfures de zinc (ZnS(s)) (sphalérite ou blende et

wurtzite) Le cadmium serait présent de façon prépondérante dans les roches sédimentaires riches en carbone, sulfures et phosphates P_2O_5 (Baize, 1997).

Le couple TCO, MO présentent une bonne corrélation car le TCO est dépend de la matière organique et par contre présente faible corrélation avec les autres éléments, ces éléments sont en quantité aux niveau des secteurs de rejets des eaux de traitement.

Le Cu et Pb présentent une faible corrélation avec les éléments P_2O_5 , CO_2 , Ca, Cd, Zn, il évoluent positivement et négativement selon l'axe F2 respectivement.

Le SiO_2 à une corrélation négative avec P_2O_5 , CO_2 , Ca, Cd, Zn, cela est peut être due l'origine continental de la SiO_2

5. Cartographie de la répartition spatiale des éléments chimiques

5.1 Carte de répartition du phosphate P_2O_5

L'élément P_2O_5 présente des concentrations élevées sur toute la partie Nord-Ouest, justifier par la zone d'exploitation du gisement. La présence de faibles concentrations est due à un transport par le vent de cette élément (figure 27).

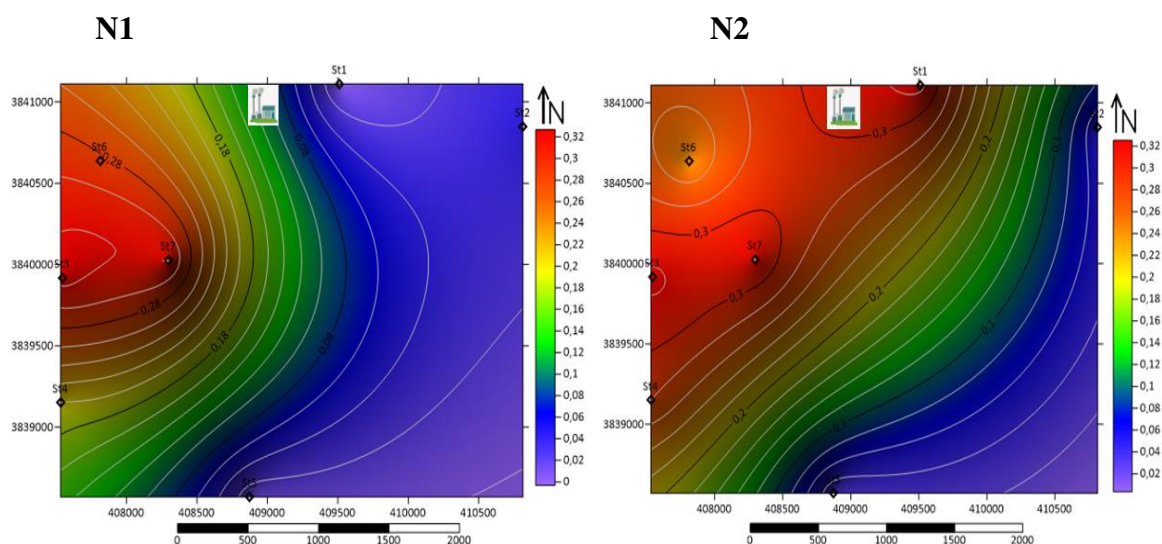


Fig.27 : Carte de répartition du phosphate P_2O_5 .

5.2 Carte de répartition du Matière organique MO

La matière organique (MO) est concentrée au niveau de la zone de dépôt et l'ancien effluents sauvages des phosphates (figure 28).

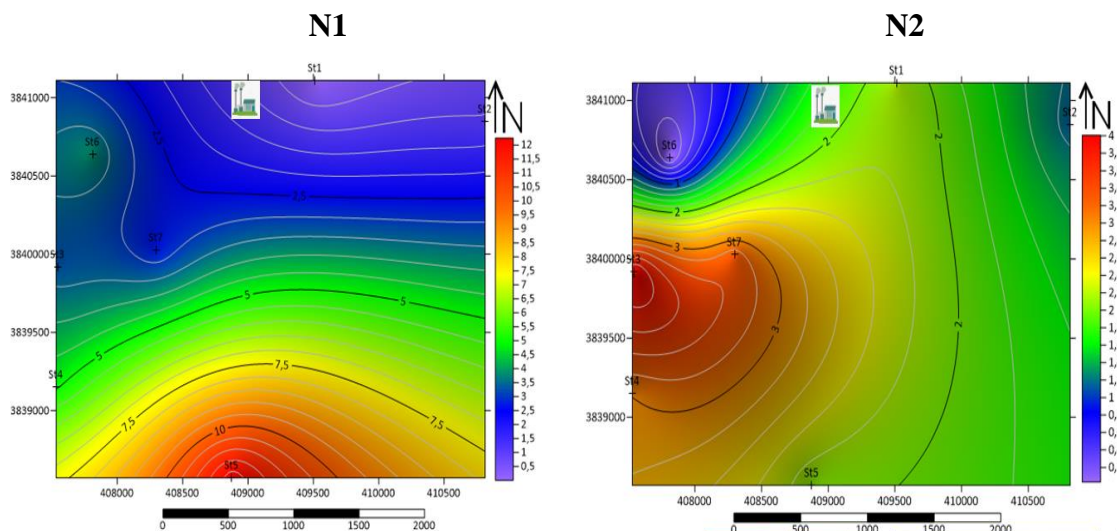


Fig. 28 : Carte de répartition du Matière organique MO.

5.3 Carte de répartition du Carbone organique TCO

Le Carbone organique élément proportionnel à la matière organique, le taux de ces derniers est important au voisinage des zones de stockage de phosphate et les effluents du traitement de phosphate (figure 29).

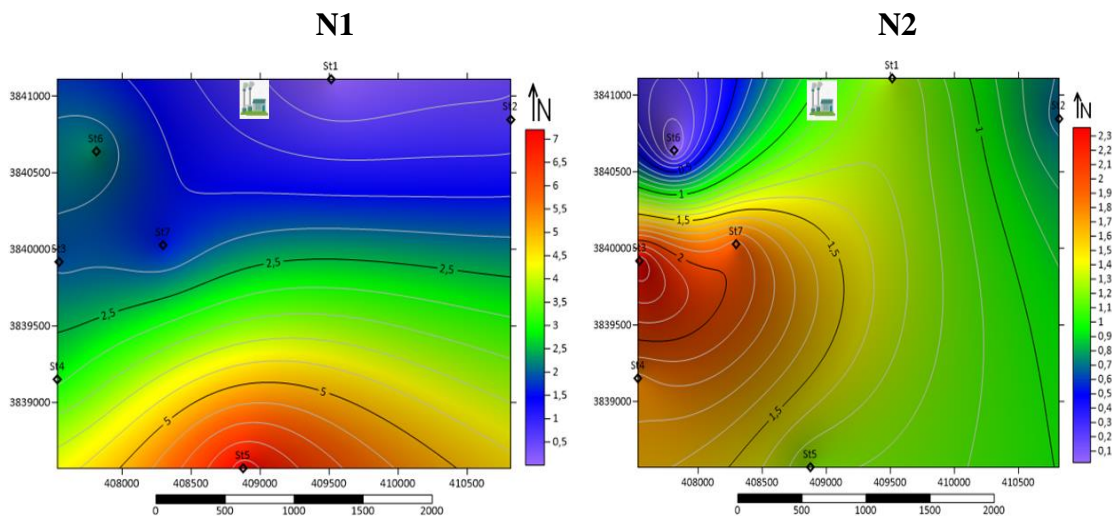


Fig.29 : Carte de répartition du Carbone organique TCO.

5.4 Carte de répartition du CO₂

Le CO₂ dans les deux niveaux est élevé au côté nord-ouest due à l'oxydation des matières organiques (figure 30).

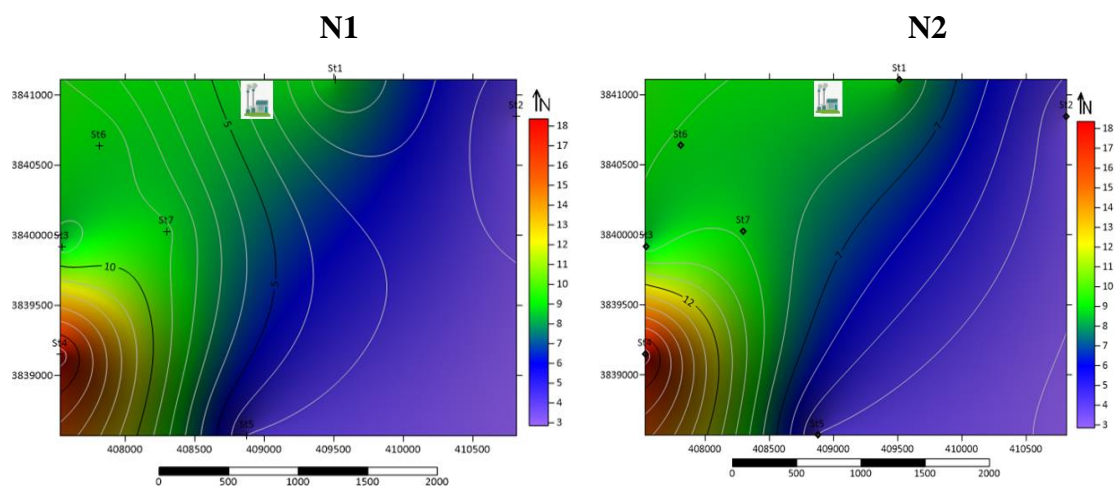


Fig. 30 : Carte de répartition du CO_2 .

5.5 Carte de répartition du calcium Ca

On observe que le Ca est élevé dans le côté ouest due à l'existence des eaux de traitement du phosphate riche en carbonate de calcium. On observe que le Ca concentré au nord-ouest dans les deux cartes, la dominance du Ca due à la nature lithologique de type carbonaté contrairement à la zone sud-est qui est de type sableux siliceux (figure 31).

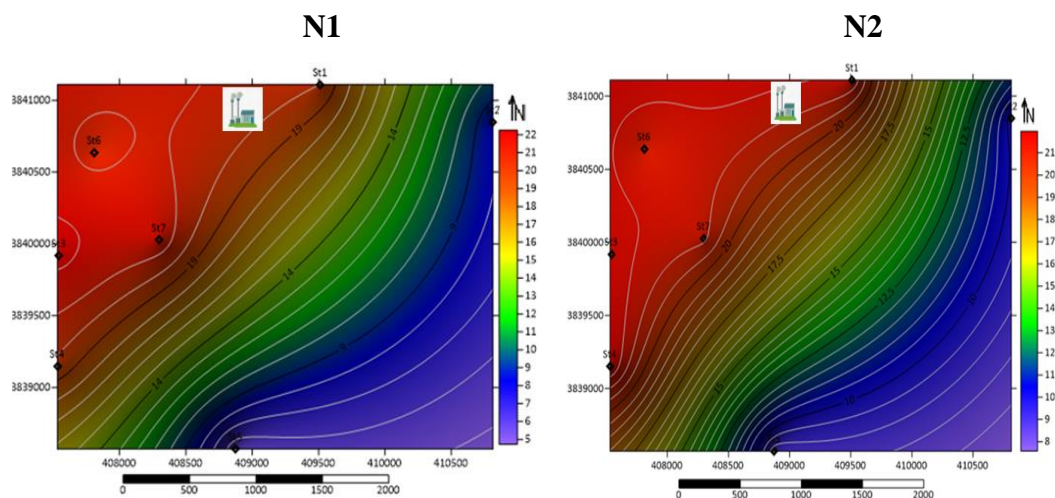


Fig. 31 : Carte de répartition du calcium (Ca).

5.6 Carte de répartition du SiO_2

Le SiO_2 est du 95% au sud-est où interpréter cette remarque que les stations 2 et 5 sont des zones sableuses riche en silice (figure 32).

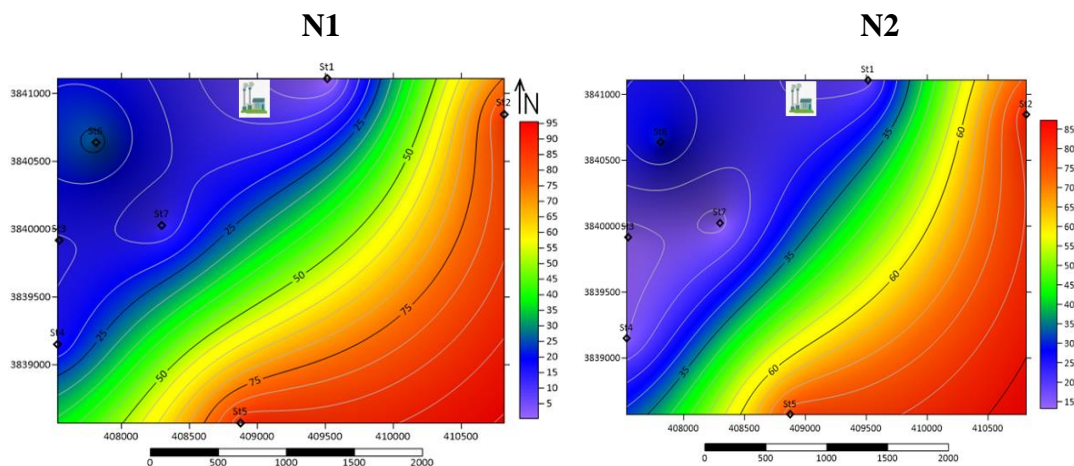


Fig. 32 : Carte de répartition du SiO₂.

5.7 Carte de répartition du Plomb (Pb)

La carte de l'élément plomb (Pb) montre une concentration au niveau de la station 1 indépendamment d'autres stations. Ceci confirme la présence de cet élément même en petite concentration (figure 33).

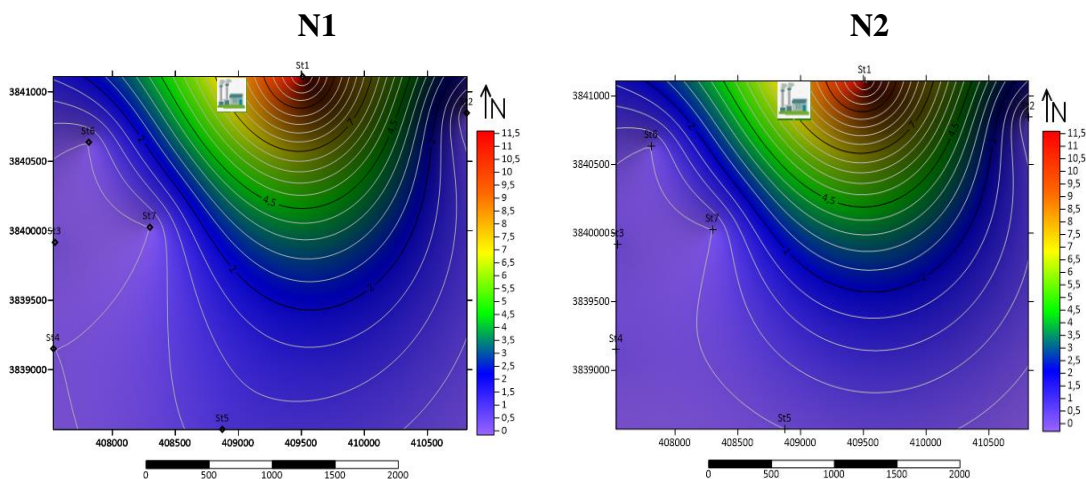


Fig. 33 : Carte de répartition du Plomb (Pb).

5.8 Carte de répartition du cuivre (Cu)

Le cuivre est élevé dans la partie ouest de la carte en relation naturelle avec les phosphates. Dans la nature on trouve la torbernite qui est un phosphate d'uranium et de cuivre $\text{Cu}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2$, aussi la reichenbachite, la cornétite et la libéthénite sont des hydroxy-phosphates de cuivre de formules respectives $\text{Cu}_5(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_4$, $\text{Cu}_3(\text{PO}_4)(\text{OH})_3$ et $\text{Cu}_2\text{PO}_4(\text{OH})$ (figure 34).

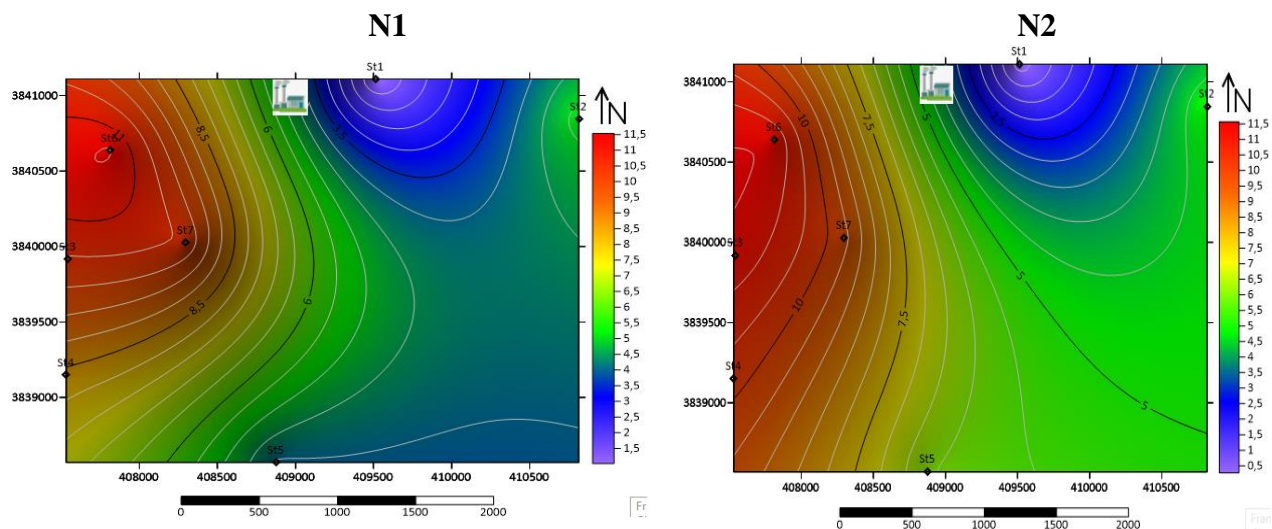


Fig.34 : Carte de répartition du cuivre (Cu).

5.9 Carte de répartition du Zinc (Zn)

Dans les deux niveaux on observe que la concentration du Zn est de 60 ppm dans la zone l'ouest et Nord-Ouest. Ces concentrations diminuent graduellement vers le Sud-Est. Cette répartition d'élément Zn est concordante avec celle du cadmium (figure). Ce dernier étant chalcophile, il est généralement associé au zinc. Les deux éléments ayant des structures ioniques et une électronégativité proche. Le cadmium peut se présenter sous forme de sulfures de zinc ($ZnS(s)$) (figure 35).

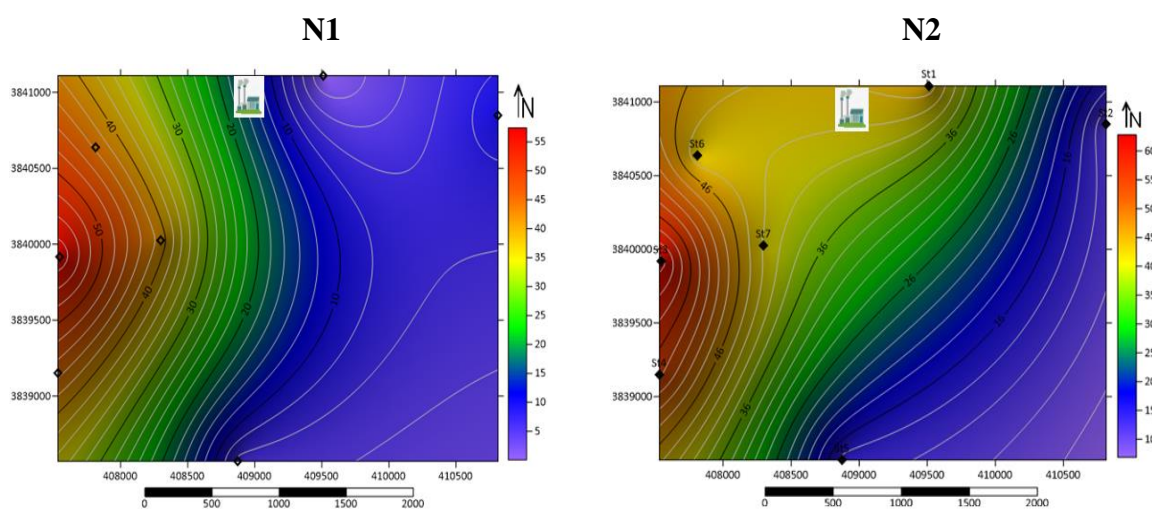


Fig.35 : Carte de répartition du Zinc (Zn).

5.10 Carte de répartition du calcium (Cd)

Le cadmium serait présent dans toutes les roches, mais de façon prépondérante dans les roches sédimentaires et plus particulièrement dans celles

riches en carbone, sulfures et phosphates (Baize, 1997), de cela on observe que le cadmium est élevé au ouest due au dépôt de stock du phosphate et à l'effluents (les rejets) de lavage du phosphate (figure 36).

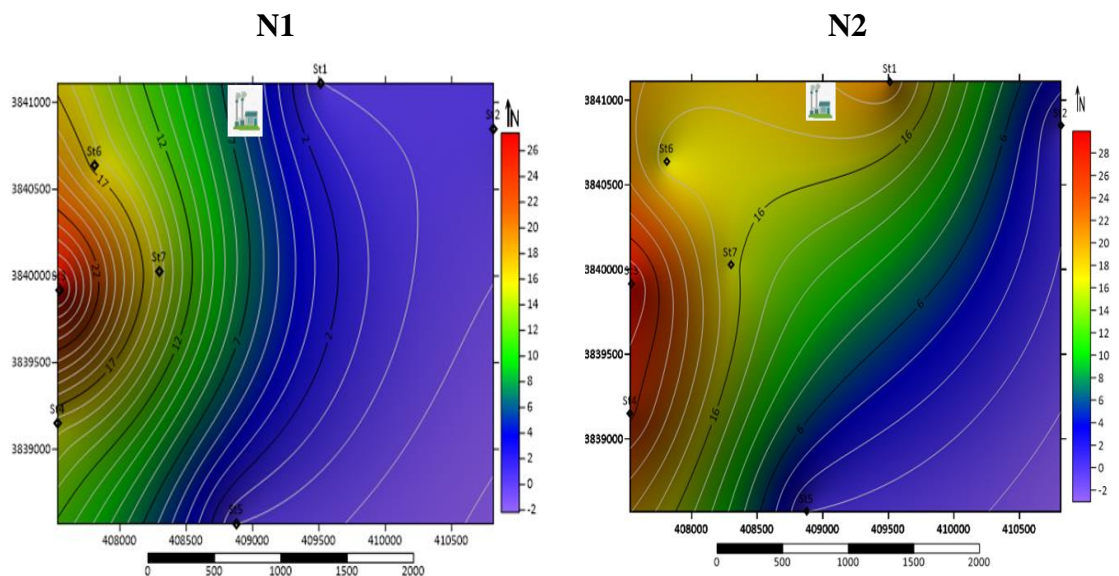


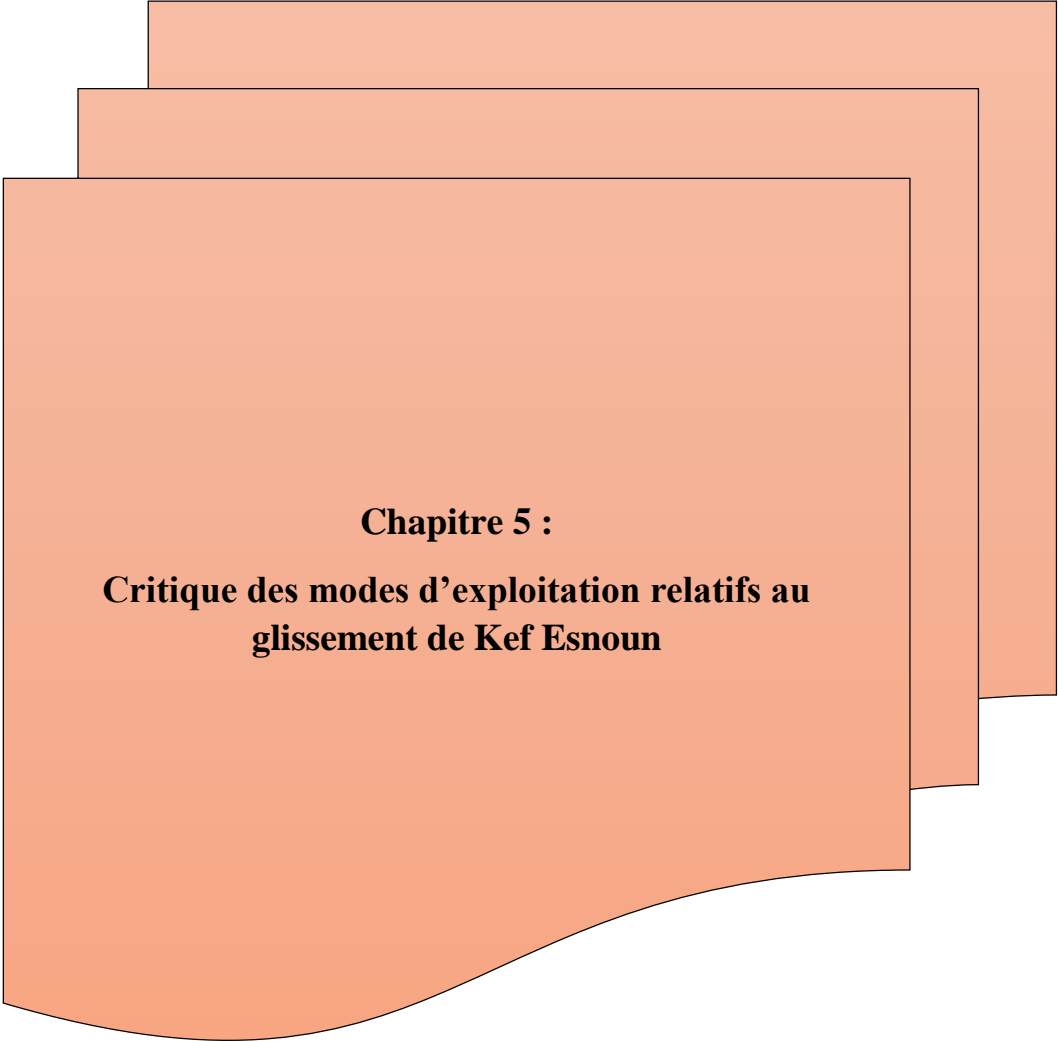
Fig. 36 : Carte de répartition du calcium (Cd).

6. Conclusion

Les analyses chimiques des éléments issus de l'exploitation de phosphate réalisées sur sept stations d'échantillonnage et pour deux niveaux successif d'environ 5 cm chaque un à partir de la surface. Les résultats des analyses chimiques sont obtenus avec le dosage des métaux lourds par absorption atomique et la méthode spectrophotométrie automatique (Auto analyseur Technicon) pour les résidus des phosphates. La diffractométrie des rayons X (DRX) nous a permis d'avoir les propriétés minéralurgiques des échantillons.

L'identification des différents paramètres issus de ces analyses sont traitées statistiquement par analyse des composantes principales (A.C.P), ceci montre que les éléments des métaux lourds (ML) évoluent de manière positive avec l'élément P_2O_5 . Ce qui introduit fortement l'hypothèse de l'origine des éléments métaux lourds venant du gisement de phosphate.

La cartographie spatiale des éléments illustrer les concentrations des ML, la présence de ces derniers à divers zone loin de la zone d'extraction du gisement ceci est attribuer au transport des particules solides par le vent.



Chapitre 5 :
**Critique des modes d'exploitation relatifs au
glissement de Kef Esnoun**

1. Introduction

La mine de Kef Esnoun est une mine à ciel ouvert, constituée de plusieurs gradins en forme d'une fosse. Le facteur de recouvrement de 1 pour 2. L'exploitation se fait du nord vers le sud, avec un volume considérable de stérile, qui influe sur le paysage, et une hauteur de gradin qui présente des difficultés d'instabilité.

2. Exploitation du gisement de Kef Esnoun

2.1. Généralité sur l'exploitation

La méthode d'exploitation consiste en la réalisation d'une succession des travaux miniers afin d'assurer la découverte et l'extraction en qualité et quantité planifiée dans les meilleures conditions.

2.2. Ouverture du gisement

Après avoir élaboré le projet d'exploitation sur la base de documents géologiques et topographiques et ainsi défini la profondeur finale d'exploitation du gisement et les contours des champs de la carrière, on passe à la réalisation qui consiste en premier temps à l'ouverture de la carrière. Lors de cette étape, on exécute les travaux de creusement des excavations minières appelées tranchées ou demi-tranchée.

Le choix du schéma d'ouverture doit tenir compte de :

- Conditions géologiques : relief de la surface, formes et dimensions du gisement, ainsi que ses caractéristiques (puissance, profondeur, angle de pendage...),
- Conditions minières : la production prévue par projet, durée de service de la carrière, les moyens de mécanisation et la sécurité de travail,
- Conditions économiques : des dépenses capitales pour la construction de la carrière, les indices économiques de l'exploitation...

Le choix du schéma d'ouverture doit assurer :

- Le fonctionnement des engins au régime favorable,
- L'exploitation du gisement la plus rentable,
- La production planifiée,
- La sécurité du travail.

La disposition des tranchées d'accès et de découpage par rapport au champ minier est assez importante. Pour influencer sur la longueur de transport des charges à l'intérieur de la carrière elle tient compte principalement des caractéristiques du gîte (pendage, dimensions, forme) et du relief.

Les tranchées d'accès peuvent être disposées latéralement (à un flanc du champ minier ou aux deux flancs du champ minier) ou au centre du champ minier.

Les tranchées de découpages peuvent être disposées longitudinalement (latérales ou au centre du champ) et transversalement (latérales ou au centre du champ) selon l'inclinaison du gîte (tabet.A, 2016).

2.3. Critères arrêtés pour l'ouverture du gisement de Kef-Essenoun

Les critères qui ont été jugés nécessaires pour l'ouverture du gisement de Kef Essenoun (contraintes à résoudre) sont les suivantes :

2.3.1. Taux de découverte

Les résultats d'analyse des variantes proposées pour l'étude du sens de progression des travaux miniers ont montré que seule la variante nord-sud répond aux critères de choix (variante optimale).

Dans cette dernière, le minimum de stérile à dégager sera dans la partie centrale (absence de sables), par rapport aux parties Est et Ouest (volume très important de sables). La projection des ouvrages d'ouvertures dans cette partie donne l'avantage de construire rapidement la carrière par rapport à l'Est et l'Ouest.

Les deux chiffres montrent l'importance du volume de sable à excaver dans le gisement de Kef-Essenoun, la technologie d'extraction de ce dernier consiste à utiliser un extracteur de sable dont le transport s'effectuera par bandes vers des décharges extérieures de part et d'autres du gisement (la projection des ouvrages d'ouverture dans la partie centrale permettra d'éviter le sable au moins au début de l'exploitation et facilitera l'utilisation de bandes pour le transport du sable).

2.3.2. Mise à terril

Une fois que le minerai de la partie centrale est épuisé l'espace sera utilisé comme décharge intérieure pour le calcaire de la partie Ouest et celui de la partie Ouest sera utilisé par la partie Est.

2.3.3. Situation financière

La situation financière de l'entreprise exige qu'on doit penser sérieusement à l'enveloppe qui doit être dégagée pour la construction de la carrière de Kef Essenoun, c'est-à-dire essayer que cette dernière soit minimisée le maximum possible et pour ces fins il a été établi d'après les calculs, que seule la projection des ouvrages d'ouverture dans la partie centrale donnera cette possibilité car le nombre de gradins formés est moins que celui dans les parties Est Ouest. Par conséquent, moins de matériels et moins de mains d'œuvre.

2.4. Mode d'ouverture du gisement de Kef- Essenoun

En se basant sur les facteurs technico-économiques et les conditions géologiques, il est rationnel de choisir un mode d'ouverture le plus optimal possible.

Après avoir analysé toutes ces caractéristiques les ingénieurs ont proposé un schéma d'ouverture dont on peut constater clairement deux propositions :

➤ **Première proposition** : elle consiste à récupérer les phosphates de la table côte Nord dont le contour est délimité par les sondages suivants S2, S19, S37, S25 et S43.

L'exploitation jusqu'à cette limite risque de gêner par suite l'exploitation du gîte dressant (affleurements).

➤ **Deuxième proposition** : elle consiste principalement à faire glisser le contour vers le Sud pour ne pas gêner l'exploitation postérieure du gîte dressant.

a) Comparaison des deux propositions

Les volumes et les taux de découverte

➤ **Première proposition** :

- Le volume de stérile à dégager est : 6 240 000 m³.
- Le volume de minerai à récupérer est : 4 767 000 tonnes.
- Le rapport de découverte est : 1.30 m³ /t.

➤ **Deuxième proposition :**

- Le volume de stérile à dégager est : 6 589 000 m³.
- Le volume de minerai à récupérer est : 5 294 000 tonnes.
- Le rapport de découverte est : 1.24 m³ /t

Les ingénieurs des mines ont préféré l'ouverture du gisement de Kef-Essenoun à partir du côté du sondage n°28 correspondant au centre du gisement et qui présente les caractéristiques suivantes :

- Puissance de la couche de stérile (calcaire) : 40 m,
- Puissance de la couche de phosphate : 31.5 m,
- Niveau de la surface par rapport au niveau de la mer : 782 m.

2.4.1. La durée de construction de la carrière

Elle est donnée par :

$$T_{\text{cons}} = \frac{V * K}{n * Q} ; \text{ans}$$

Où :

V : volume du stérile à dégager pour la mise en œuvres de la carrière,

n : nombre d'excavateur,

K : coefficient d'irrégularité du travail d'excavateur, en générale il est compris entre 1.2 et 1.8

Q : Rendement de l'excavateur (m³ /an).

➤ **Première proposition**

$$T_{\text{cons}} = \frac{6240000 * 1.2}{3 * 1478400} = 1.68 \text{ ans}$$

➤ **Deuxième proposition**

$$T_{\text{cons}} = \frac{6589000 * 1.2}{3 * 1478400} = 1.78 \text{ ans}$$

Pour les deux propositions le régime de travail a été avec trois postes.

2.4.2. Nombres de tranchées et leur disposition

L'ouverture est réalisée par une tranchée d'accès commune extérieure puis des tranchées de découpage avec une largeur de plate-forme variant de 30 à 40m, la hauteur moyenne des gradins est fixée à environ 30m, deux gradins pour le stérile et un seul gradin pour le phosphate. Ce qui provoquera par la suite un glissement de terrain. L'Angle d'inclinaison des talus des tranchées (d'accès et de découpage) est de 70 °à 90°. La pente des tranchées d'accès est de 10%.

Cette tranchée se développe au fur et à mesure vers le Nord. Tandis que l'exploitation s'étend aisément vers l'Ouest. Alors que du côté Est, les bermes de sécurité sont élargies selon la largeur demandée.

Le creusement s'effectue au moyen des travaux de forage et de tir et dépend de la dureté des roches. Après le tir, on utilise le bulldozer pour niveler la surface afin de faciliter l'accès à la sondeuse.

Cette dernière fore des trous horizontaux et peu inclinés afin d'élargir les tranchées. Ce mode de creusement s'appelle relevage. Ensuite les trous sont chargés et tirés. Après, on suit la même procédure en fonction du tracé de la tranchée, tout en respectant la pente par rapport aux moyens de transports utilisés.

Les tranchées d'accès sont disposées au centre du champ de la carrière (figure 37). Par contre les tranchées de découpage sont disposées longitudinalement à un seul bord.

- Travaux de forage et tir dans les endroits où la longueur du trou dépasse les 2m.
- Utilisation du bulldozer dans les endroits où la longueur du trou est inférieure ou égale à 2m



Fig. 37 : La nouvelle tranchée d'accès pour suite de l'exploitation

3. Les paramètres du nouveau schéma d'ouverture

Ce mode d'ouverture fut introduit après le glissement de terrain survenu du côté nord de la mine le 15 septembre 2007 aux environs de 5 AM. le premier mode défaillant, étant utilisé lors de la mise en exploitation du gisement de Kef-Essenoun, ce dernier fut l'objet d'une reconstruction avec un élargissement vers la côte ouest et sud-ouest du gisement (tabet, 2016).

3.1. Les paramètres qui caractérisent une tranchée (Tableau 6)

a) Forme de la section transversale

Dans notre cas, la section transversale est trapézoïdale.

b) Profondeur finale des tranchées d'accès

Le gisement de Kef Essenoun a l'avantage d'être un gisement subhorizontal avec un pendage moyen de 15° par rapport à l'horizontal.

Cette caractéristique nous permet de déterminer la profondeur finale de la rampe ou tranchée d'accès qui, dans ce cas est en fonction de la puissance des roches de découverte et celle de minerai (tabet.A, 2016).

$$H_f = H_s + H_m = 40 + 30 = 70 \text{ m}$$

Où :

H_f : profondeur finale de la tranchée d'accès,

H_s et H_m : puissances respectives de la découverte et du gisement.

Puisque chaque gradin est lié à la surface par sa propre tranchée d'accès donc la profondeur de chaque tranchée correspond à la hauteur du gradin. Cette hauteur est de 7 m pour le calcaire et 15 m pour le phosphate.

c) Angle des talus de tranchées

Les angles d'inclinaison des talus de tranchées sont déterminés en fonction des propriétés physique-mécaniques des roches :

Pour le cas de Kef-Essenoun la dureté du minerai du Phosphate selon l'échelle du Pr. Protodiakonov est de 5 à 6 et celle du stérile est de 6 à 7, il est rationnel de prendre comme angle des talus des tranchées d'accès, une inclinaison de 65° et une inclinaison de 70° pour les tranchées de découpage, cette condition est vérifiée pour le gradin dans le minerai mais fait défaut dans quelques gradins de stériles qui ont souvent une inclinaison de 90° . (tabet, 2016).

d) La largeur des tranchées

La largeur des tranchées est définie en fonction des moyens de transport et du mode de creusement.

A partir du moment où la majorité des camions de transport ont une capacité supérieure à 40 tonnes, il est préférable de prendre une largeur de la rampe ou tranchée d'accès comprise entre 15 et 20 m et plus.

Cette largeur est prise de façon raisonnable au niveau de la mine de Kef Essenoun car nos mesures sur terrain ont donné une valeur moyenne de 18 m pour la largeur de la tranchée d'accès. (tabet, 2016).

e) Inclinaison longitudinale des tranchées

Elle est particulière à la tranchée d'accès. Cette inclinaison est fonction du type des engins de transport utilisés. Dans la pratique pour le transport des camions elle est de l'ordre 6 à 12%. Ce qui est parfaitement respecté au niveau de Kef Essenoun ou la pente moyenne est de 8%.

f) Longueur des tranchées

La longueur finale des tranchées d'accès est donnée par la formule suivante

$$L = \frac{H_f}{i}, \text{ m}$$

H_f : Hauteur finale de la tranchée d'accès, $H_f = 65 \text{ m}$,

i : Pente ou inclinaison,

Elle est de forme serpentine et estimée à 813 m.

Tableau 6 : Relevés topographiques

Longueur de la tranchée	813m
Cote maximum	745m
Cote minimum	680m
Largeur minimum	15-20m
pente	8-10%

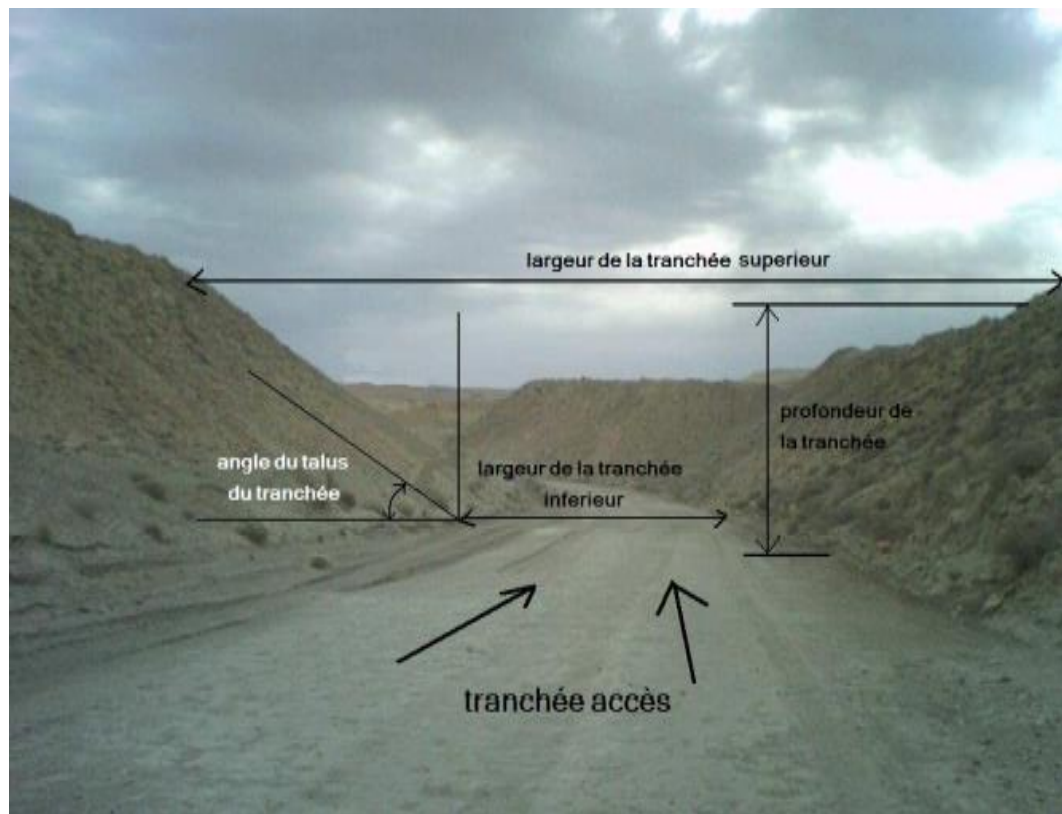
Les longueurs finales des tranchées d'accès de la surface jusqu'au premier gradin de minerai sont résumées dans le tableau 7 :

Tableau 7 : Longueurs finales des tranchées d'accès

Niveaux d'exploitation	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Longueur des tranchées d'accès, m	87,5	250	412,5	562,5	650	725	787,5	813
Hauteur finale du tranchée d'accès, m	7	20	33	45	52	58	63	65

g. Volume des tranchées d'accès

Le creusement d'une tranchée de découpage côté sud-ouest au niveau du phosphate tout en laissant un stot de protection d'une hauteur d'une dizaine de mètres et une largeur de 20m avec un pendage de 22°, destinés pour stabiliser la zone d'éboulement. Une deuxième tranchée de découpage côté Est au niveau du phosphate d'une hauteur de 6 à 10m pour élargir le front de phosphate et la préparation des accès vers le front stérile et phosphate avec des pentes de 8% (Mezam., Aguid, 2016).

**Fig. 38** : les paramètres d'une tranchée d'accès

4. Système d'exploitation du gisement de Kef Essenoun

Dans les conditions de gisement de Kef- Essenoun la classification utilisée est celle de Rjevsky (Baali, Ben Abdelkrim, 2019).

Un système d'exploitation continu longitudinal avec un seul bord exploitable dont la tranchée d'accès est disposée au centre du champ minier. L'exploitation a commencé du côté Nord-Est de la mine au niveau 782.9 m (par rapport au niveau de la mer). Les travaux de la partie centrale se développent du Sud vers le Nord-Ouest jusqu'à l'avènement du glissement.

Suite aux orientations par L'ANGCM, DEM qui ont proposé et exigé les orientations des travaux d'exploitation avec la correction des paramètres de tir afin de minimiser l'effet des ondes de choc et avoir une meilleure stabilité de la carrière de Kef Essenoun.

4.1. Principaux éléments du système d'exploitation du gisement de Kef-Esnoun

Compte tenu des conditions géomorphologiques du gisement et des recommandations de DMT, les paramètres d'exploitation retenus pour l'exercice 2021 sont énumérés dans le tableau suivant :

La méthode d'exploitation du gisement de Kef Essenoun est celle avec un seul bord exploitable, suivants les paramètres d'exploitation 2021 :

4.1.1. Les paramètres de la méthode d'exploitation du chantier de (Kef-Essenoun

a) Hauteur de gradin :

En général lors de l'exploitation des gisements horizontaux et peu inclinés la hauteur du gradin est déterminée en fonction de la puissance des couches de minerai et stériles (rapport DMT).

Dans notre cas les roches étant dures leur fragmentation s'effectue par les travaux de tir à l'explosif, la hauteur des gradins est :

- Pour le stérile : 15m.
- Pour le phosphate : 15 m.

b) Inclinaison des talus gradins :

L'angle du talus des gradins doit assurer la stabilité des gradins et dépend des paramètres physico-mécaniques de la roche et des engins miniers :

- Pour le stérile : 85°.

- Pour le phosphate : 85°.

c) Largeur de plateforme :

La largeur minimale de la plate-forme se détermine par la formule :

$$L_{pt} = A + X + C + T + Z, (m)$$

Où :

A : Largeur de l'enlevure, (m)

X : Largeur du tas des roches abattues en dehors de l'enlevure en massif, (m),

C : la distance entre l'arête inférieure du tas et la voie de transport, (1m),

Z : Largeur du prisme éventuel d'éboulement, (m),

- Pour le stérile : >30 m.
- Pour le minerai : > 30 m.

La largeur de la berne de sécurité = 20m

d) Caractéristiques des pistes

La largeur de la chaussée des routes dépend des gabarits de moyens de transport, de la vitesse de circulation et du nombre de voies de circulation. Elle peut être déterminée par les formules :

✓ **Circulation à une seule voie**

$$T = a + (2 \times C), m$$

Où

a : largeur de la benne du camion, ($a = 5.43 m$),

C : largeur de la bande de sécurité, (m)

$$C = 0,5 + 0,005 V$$

Avec :

V : la vitesse moyenne de circulation des camions ($V = 45 km / h$).

$$\text{Donc : } C = 0,725 \approx 1 m$$

Alors

$$T = 5.43 + (2 \times 1) = 7.43 \approx 7.5 m$$

✓ **Circulation à double voie**

$$T = 2 \times (a + C) + X$$

Où :

X: distance entre les bennes des camions, $X = 2 \times C$; $X = 2 m$.

Alors

$$T = 2 \times (5.43 + 1) + 2 = 14.86 \approx 15 \text{ m}$$

- ✚ Dans la mine de Kef Essenou la plupart des pistes à double voie et de T égale 15 à 20 m et plus. (tabet, 2016).

5. Impact de l'exploitation minière sur la stabilité des talus (cas du glissement de Kef Essenou)

La matinée du 08 septembre 2007, un événement spectaculaire s'est produit dans la mine de Djebel Onk dans le sud-est Algérien. Il s'agit d'un glissement de terrain de très grande ampleur par son volume évalué entre 7 à 8 millions de m³ qui a comblé entièrement la fosse d'exploitation au niveau de la carrière existante entraînant l'arrêt des travaux d'extraction sur une période prolongée. Dans cette perspective nous allons tirer toutes les caractéristiques morphologiques, géologiques, hydrogéologiques et géotechniques de ce gisement ainsi que les principaux facteurs susceptibles d'être le moteur de glissement. (Nouioua et al 2015).

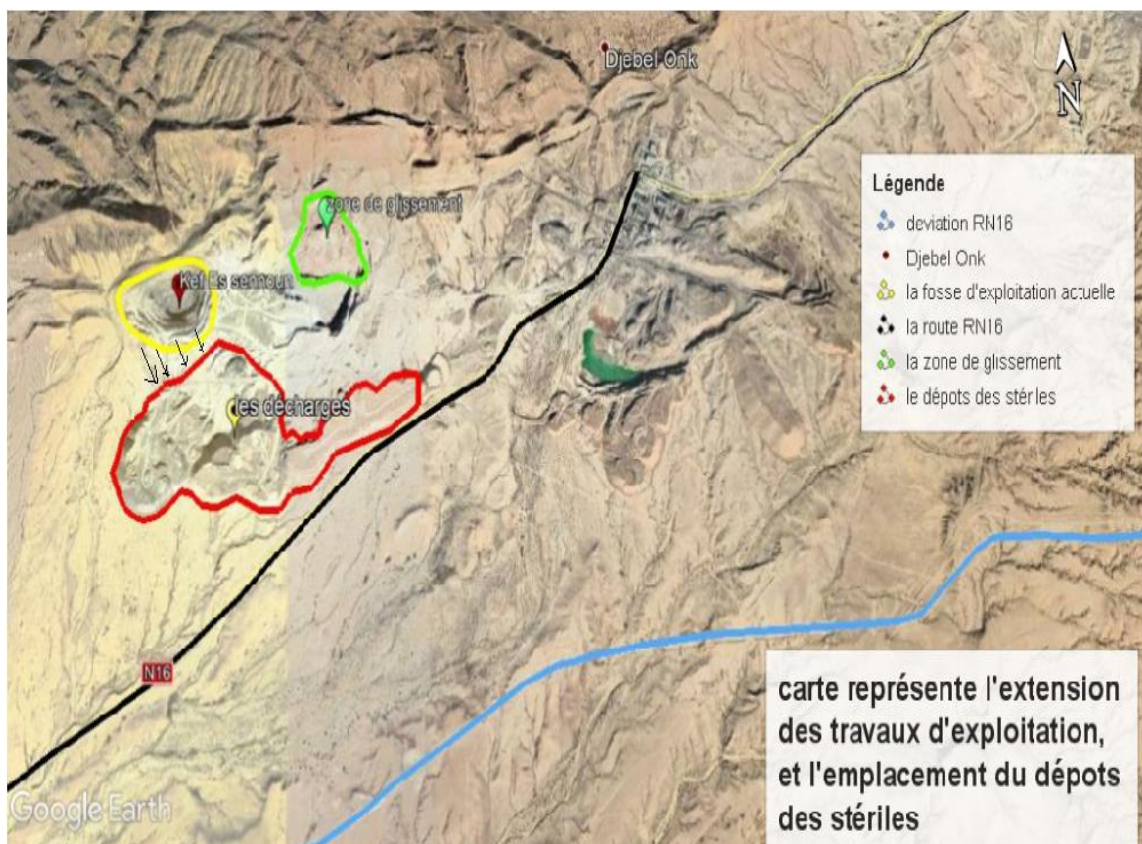


Fig. 39 : carte représente l'extension des travaux d'exploitation, et l'emplacement du dépôt des stériles

6. Analyse du glissement

6.1. Historique

L'exploitation au niveau de la carrière Avant le glissement, située au milieu du versant, avait été orientée du Sud vers le Nord avec deux gradins de stériles, dont le premier s'étale sur une longueur de 1778 m avec une hauteur de 14 à 26 m, le deuxième a eu une longueur de 2130 m et une hauteur de 30 m (Mezam, 2015). Pour la couche productrice de phosphate la hauteur du gradin a été de l'ordre de 30 m avec une longueur de 1536 m. Tous les gradins avaient une pente exagérée de 85° – 90° (Figure 41)

6.2. Cartographie de la zone glissée

On utilise comme référence la carte topographique d'état-major (Djebel Onk, NI-32-XIV-Est, à l'échelle 1/50 000^{ème}), le plan d'arpentage de la mine à l'échelle 1/1000^{ème} avec l'avancement du chantier de Kef Esnoun mise à jour en Septembre 2007 et l'image satellitaire (Google Earth). Ces documents nous ont permis de délimiter la zone glissée (Figure 40). (Mezam., Aguid, 2016).

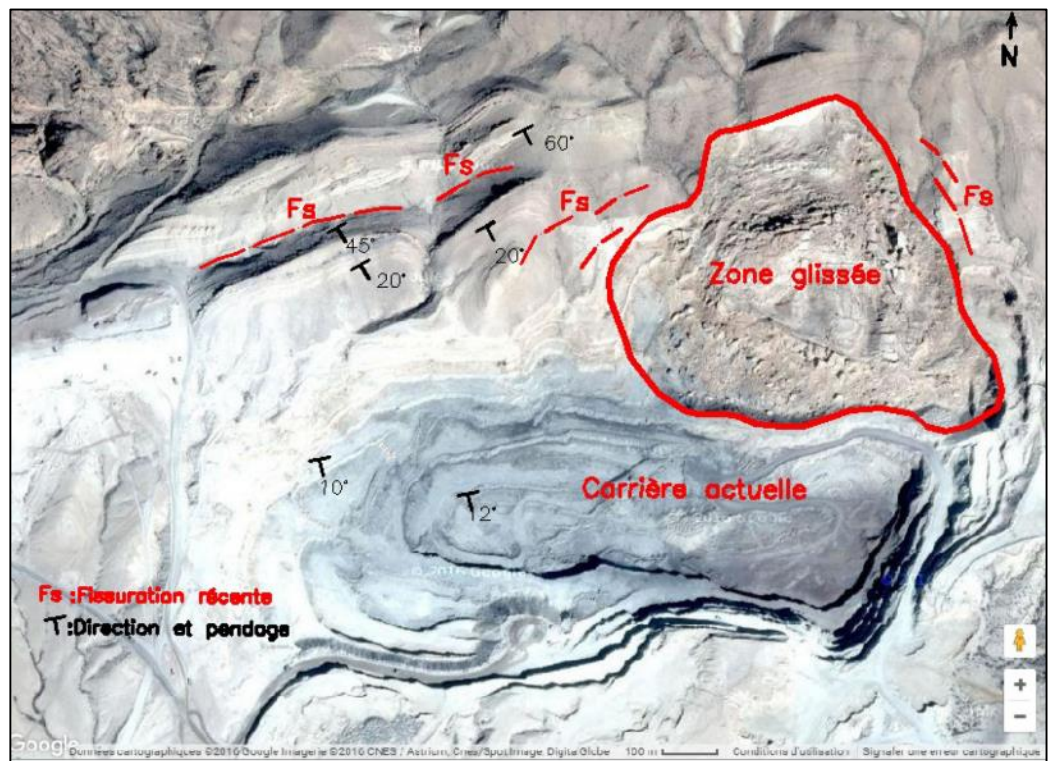


Fig. 40 : Photo Google de la carrière de Kef Esnoun illustrant l'éboulement de 2007 (Mezam., Aguid, 2016).

6.3. Caractéristique du glissement

La zone de glissement présente un escarpement de tête de 40 à 50 m de dénivelée. La masse glissée couvre une surface de presque 11 ha avec une épaisseur moyenne d'environ 70 m (30 m de phosphate et 40 m de terrains sus-jacents) donc, nous pouvons estimer le volume de la masse glissée à 7,7 millions de m³ venant combler presque toute la fosse d'exploitation (Figure 39)

6.4. Identification du terrain glissé

La coupe géologique de la (Figure 41) montre que les terrains glissés sont constitués de la couche de phosphate du Thanétien supérieur surmontée des terrains de recouvrement, composés de marno-calcaires, calcaires et dolomies et bancs de silex de l'Yprésien et du Lutétien. Cette masse rocheuse a une épaisseur moyenne de 70 m (phosphate 30 m et le recouvrement 40 m) dans la zone centrale du glissement (figure 42). Tout autour de cette zone, s'est développée une série de fissures concentriques au-delà de l'escarpement principal à partir des réseaux de fractures préexistantes dans la roche. (Mezam., Aguid, 2016).

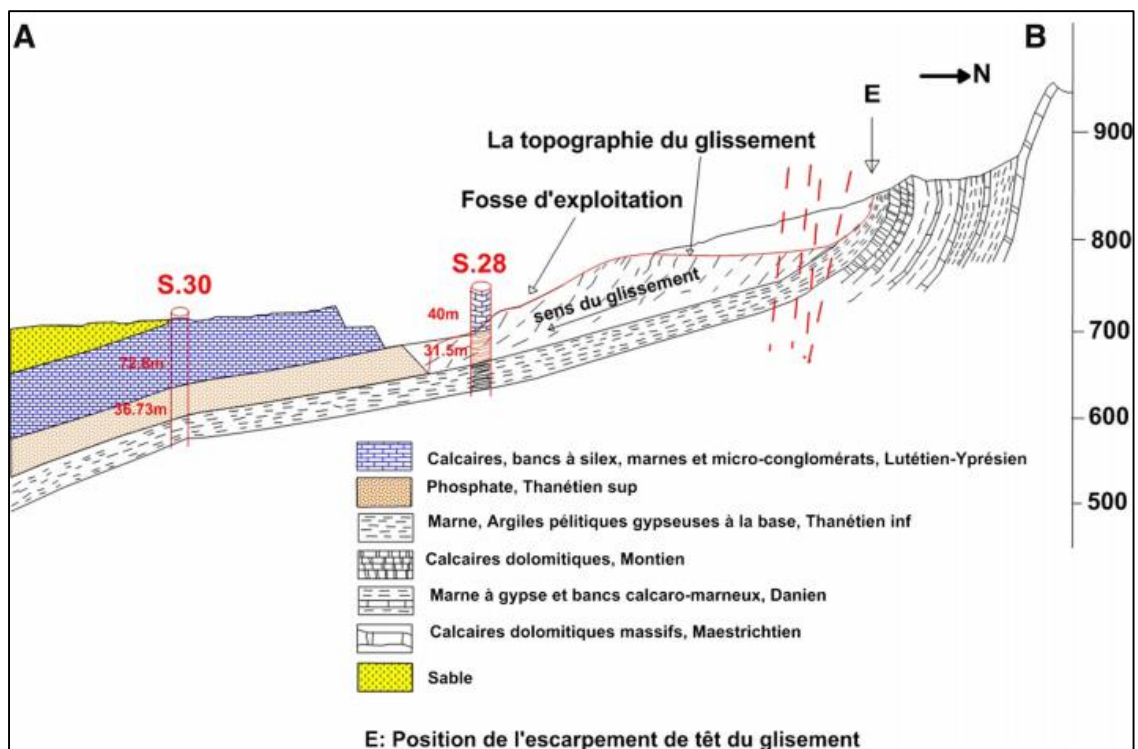


Fig. 41 : Coupe géologique Nord-Sud de la carrière après le glissement. (Mezam., Aguid, 2016).

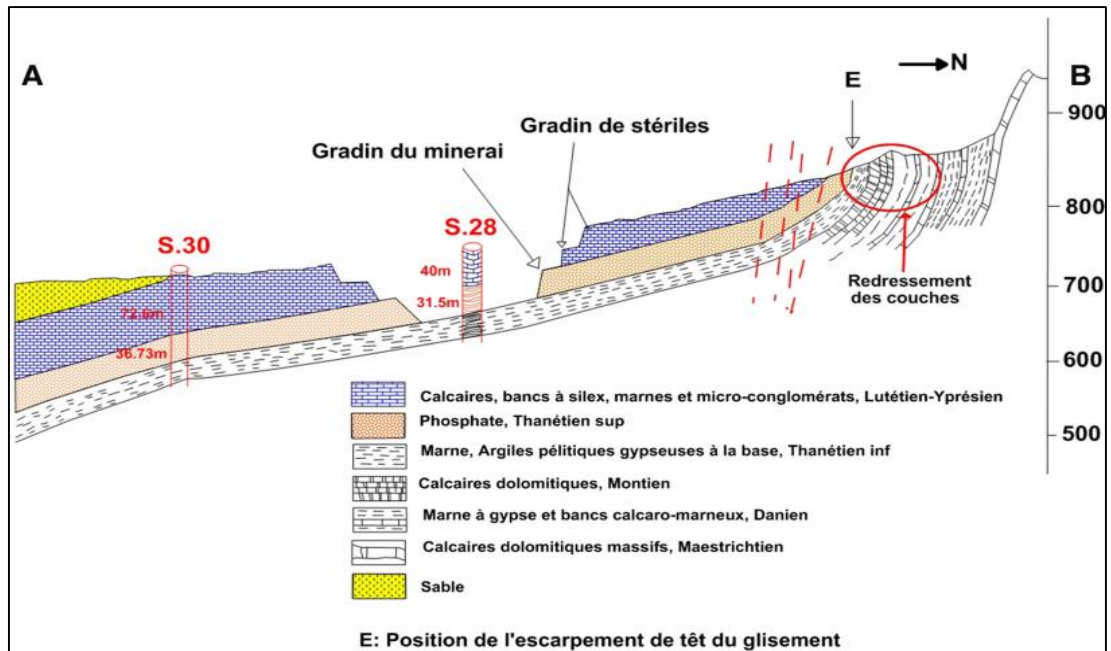


Fig. 42 Coupe géologique Nord-Sud de la carrière de Kef Essenoun avant le glissement (Mezam 2015).

Sa forme suit la topographie de celle-ci, il s'agirait d'un glissement guidé par un plan stratigraphique incliné de 14° vers le Sud

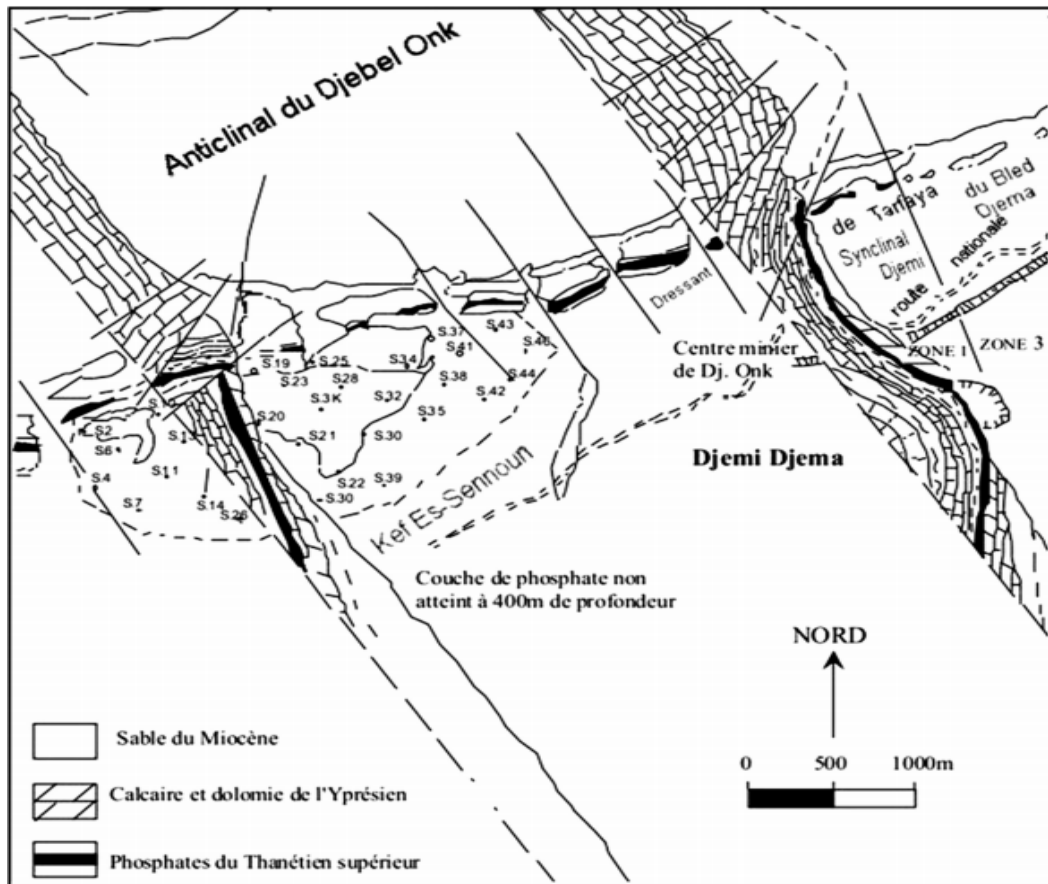


Fig.43 : Carte structurale de la couche de phosphate dans la zone de Kef Essenoun et localisation des sondages carottés (Prian et Cortiel 1993), avec le positionnement des deux coupes géologiques perpendiculaires à la structure anticlinale du Djebel Onk N 80 (voir Fig. 41)

Tableau 8 : Propriétés géomécaniques des roches (Gratessolle 2014)

Propriété Couche	γ (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	C (MPa)	φ (°)	E (MPa)	V
Calcaire altéré	22	25	8.24	39	27,000	0.25
Phosphate	23	24	7.35	39	24,000	0.28
Marne	20	22.5	1	15	1000	0.3
Calcaire substratum	26	27	5.6	33	25,500	0.24

**fig. 44** : Situation de la carrière de Kef Esnoun avant le glissement

6.5. Les facteurs principaux qui génèrent le glissement

La détermination des principaux facteurs dits moteurs déclenchant le mouvement est l'un des objectifs majeurs d'une étude globale d'un glissement de terrain. Pour la catastrophe de Djebel Onk, les principales causes du déclenchement du glissement peuvent être réparties en deux groupes techniques et naturels. (Mezam., Aguid, 2016).

6.5.1. Facteurs géologiques et structuraux

✓ Facteur-1

La structure stratiforme du gisement contribue à l'instabilité du bord et au déclenchement du glissement bancs sur bancs. Ce type de mouvement n'est

plus possible dès que l'orientation de la base du talus s'écarte trop de celle des plans de stratification (Berthier 1964).

✓ **Facteur-2**

La structure géologique générale, résumée sur la Figure 43 et la coupe géologique schématique montre la présence d'un redressement quasi-vertical des couches résultant de la tectonique du Pliocène. Ce redressement a permis à la masse rocheuse, libérée en aval par l'excavation de la mine, de se détacher du socle constitutif de la montagne et d'amorcer son glissement gravitaire sur un véritable plan incliné.

✓ **Facteur-3**

La situation tectonique (plissement et failles) a fortement contribué à la génération d'une intense fracturation du massif (fractures Nord/Sud, Nord-Est/Sud-Ouest) parfaitement visibles sur le site.

6.5.2. Facteurs techniques et technologique

✓ **Facteurs-1**

La position pour l'ouverture du gisement a été mal choisie au niveau du sondage S.28 (Fig. 40), sans prendre en compte :

- l'avancement des travaux d'extraction et de découverte (vers le Nord) au sens inverse du prolongement des couches (vers le Sud).
- la structure stratifiée et renversée du massif rocheux, sans oublier la création d'une grande excavation au pied d'une montagne (Figs. 44, 41) que l'on considèrera comme un appel au vide. En revanche, selon l'art et les normes de l'exploitation minière à ciel ouvert de ce type de gisement (gisement en flanc de coteau et stratifié), la meilleure méthode d'exploitation est de commencer du haut vers le bas, en suivant le pendage des couches.

✓ **Facteurs-2**

Le non-respect des paramètres technologiques de l'exploitation à ciel ouvert par :

- La constitution d'un talus sub-vertical, d'une hauteur hors norme d'environ 70 m (40 m de recouvrement et 30 m de phosphate).

- La réduction des bermes de sécurité et de transport aux valeurs hors seuils dans le but de racler au mieux le minerai (Jumelage des gradins de phosphate) (Fig. 42).

✓ Facteurs-3

Les effets dynamiques des vibrations liées aux travaux des tirs miniers, intenses et fréquents (3 tirs/jour), réalisées à l'aide d'explosifs brisants, à la base des fronts de taille de la fosse, ont contribué à :

- l'affaiblissement structural graduel de la résistance des roches au pied des gradins ;
- l'ouverture des fissures et des plans de stratifications ;
- l'accélération du mouvement.

7. Critique

- ✓ L'orientation des travaux d'exploitation vers le côté Nord-Ouest sans réalisation d'une étude de stabilité.
- ✓ Le choix d'emplacement des stériles entraîne une perturbation des travaux d'avancement de l'exploitation minière suivant le prolongement Sud-Est du gisement (figure 39). La route RN16 est amené à dévier, un projet de déviation est actuellement en réalisation.

8. Conclusion

La méthode d'exploitation de la mine de Kef Essenoun est à ciel ouvert, l'ouverture du gisement est réalisée par une tranchée d'accès commune extérieure puis des tranchées de découpage l'ouverture du gisement Kef Essenoun a été jugés selon des critères : taux de découverte, Mise à terrier, situation financière, sans prendre en considération les critères de stabilité des gradins ou massifs rocheuses qui conséquent le grand dégât de glissement en 2007.

Le glissement de terrain de Kef-Essenoun dans la mine de Djebel Onk représente une vraie catastrophe pour l'entreprise SOMOPHOS. Pour éviter que la même catastrophe ne se reproduise, il sera utile d'utiliser l'exploitation sélective de la zone exploitable actuelle et éviter l'avancement d'exploitation vers le côté Nord-Ouest jusqu'à la réalisation d'une étude de stabilité complète.

Il faut respecter tous les paramètres de la méthode d'exploitation et suivre les normes internationales sur la stabilité (angle du talus, plate-forme de travail).

Il faut respecter les paramètres des plans de tir. Et en plus conformément à l'état morphologique il sera mieux de recommencer l'exploitation à partir du haut vers le bas. Le mode d'ouverture pour avancer vers l'ouest et diminuer la charge capable de provoquer le glissement et en même temps l'extraction d'une grande quantité de phosphate.



Conclusion et recommandation

Conclusion et recommandations

Les réserves géologiques totales du gisement sont de 317 Mt de minerais avec une teneur moyenne de 26.53 % P_2O_5 et 2.16 % MgO (moyen), réparties comme suit : dont 168 Mt de réserves prouvées 50Mt des réserves probables, et 99 Mt des réserves possibles dans les parties plus profondes du gisement. D'après les études minéralogiques effectuées, le minerai est un phosphate à gangue principalement carbonatée, avec des inclusions de silice libre et d'argiles. La couche phosphatée de couleur noire du gisement est constituée principalement d'éléments phosphatés (Fluor apatite, carbonate fluorapatite et carbonate hydroxylapatite) et des éléments de la gangue

Les zones minières constituent un cas particulier des concentrations en éléments traces métalliques, les particules de poussière très fine constituent une pollution atmosphérique, introduit par l'homme directement ou indirectement dans l'atmosphère.

Le traitement des résultats des analyses chimiques des éléments issus de l'exploitation de phosphate qui ont été réalisés montre que les éléments des métaux lourds (ML) sont développés positivement avec le P_2O_5 due aux travaux d'exploitation minier de Dj.Onk, la présence des ML à loin de la zone d'exploitation du gisement est due au transport des particules par le vent.

Ce travail accompli, m'a permis de développer mes connaissances théoriques dans le domaine de l'environnement minière. et les travaux d'exploitation minière A présent j'ai maîtrisé les outils nécessaires de confection d'un schéma de tir, les analyses chimiques et ses interprétations grâce aux travaux de terrain, de laboratoire, des orientations de mon encadreur, de la contribution des gens de terrain, et du laboratoire.

Par voie de conséquence, c'est une réussite totale et absolue, car, pour peu que mes recommandations soient appliqués dans un avenir proche, je m'estime convaincus et persuadés que les résultats d'essais pratiques qui en découlent de mes calculs ne peuvent qu'être satisfaisants. A travers ce travail dans le domaine de l'environnement minier et mes stages j'ai recommandés quelques idées :

- ✓ Eviter les travaux de forage et de tir surtout en période de grand vents,
- ✓ Prévoyez un endroit pour vider l'eau usée de l'appareil SAA,

- ✓ Attribuer un drain avec certaines conditions pour drainer l'eau du laboratoire de chimie, en raison du danger des acides utilisés dans les analyses chimiques.

Ce travail que j'estime inestimable en comparaison du manque d'informations et de données que j'ai rencontré, ce doit d'être poursuivi dans de futur recherche afin de doter les mines et carrières algériennes des outils nécessaires pour rationaliser la pratique d'exploitation minière qui s'inscrit dans les perspectives d'optimisation des opérations minières et en tirer profit. L'objectif du respect de l'environnement est une question primordiale que tous les actionnaires du domaine minier se doivent de respecter et de le prendre au sérieux.



BIBLIOGRAPHIE & WEBOGRAPHIE

-A-

- **Aissaoui D. (1984)** « Les structures liées à l'accident sud-atlasique entre Biskra et le Djebel Mannadra, Algérie. Evolution géométrique et cinématique ». Thèse 3ème cycle, Strasbourg, 138p.

-B-

- **Baali. A, Ben Abdelkrim. S, 2019** : Réorganisation des travaux d'exploitation de gisement d'or AMESMESSA, wilaya de Tamanrasset filon N°9, en vue de l'obtention du Diplôme de Master en Génie Minier.
- **Baize, D. (1997).** « Teneurs totales en éléments traces métalliques dans les sols (France) »: Références et stratégies d'interprétation. Programme ASPITET. Editions Quae.
- **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 Stif, 2005, p 282
- **Boudoukha A., Belhadj M. Z., Benkadja R., 2012.** “Impact d'une pollution anthropique et d'une contamination naturelle sur la qualité des eaux du barrage de Zit Enba; Est algérien », La houille Blanche, n°4,2012, p. 34-41
- **Boudries A- 2008** Etude géologique et géostatistique de l'Uranium (U) dans le gisement de phosphate de Kef Es Sennoun (Algérie Orientale) - thèse de Magister. Université Badj – Mokhtar. Annaba. [2,16-25]
- **BOUKERMA.H 2014** « synthèse et caractérisation structurel de phosphate métallique à charpente organique » mémoire en vue d'obtention de magister en chimie, Université Mentouri Castantine, le 27/04/2014.
- **BOUSSIF.r, Tamourt.M 2015** « étude de stabilité du flanc Nord de la mine de Kef Esnoun Tébessa, Mémoire fin d'étude en vue d'obtention du diplôme de master en Mines, Université de Bejaia.
- **BOUZIDI. S 2015-2016** « géologie des phosphates de kouif, Tebessa, Algérie oriental étude pétro minéralurgique et granulométrique » Mémoire en vue d'obtention du diplôme de master en géologie, Université Kasdi merbah-Ouargla., p 89.
- **Brahmi. S, 2016.** « Comportement des éléments chimiques dans les eaux de surface du barrage de Beni Haroun (Est Algérien) », p79, 80

- **BRGM (1993)** « Etude de développement du gisement de phosphate de djebel onk (Algérie) – diagnostic des usines actuelles et propositions d’amélioration ».

-C-

- **Code de travail 2001/2002** : *Loi* n° 90-11 du 21 avril 1990
- **Code minier 2014** : journal officiel de la république Algérienne N°18 du 30 mars 2014.

-D-

- **Dagnélie. P., 2006.** Statistique théorique et appliquée. Tome 2 : Inférence statistique à une et à deux dimensions. Bruxelles, De Boeck, 736p.
- **Daher.I 2015** « prise en compte de l’environnement dans une exploitation à ciel ouvert, cas de Bled el Hadba, Bir al Ater » mémoire en vue d’obtention de diplôme de master en exploitation minière, université Larbi tebessi-Tébessa.
- **Dass amiour, M. (2006)** - Evaluation de la quantité du produit marchand à l’aide de méthodes géostatistiques dans les blocs d’exploitation du gisement de phosphate de Kef Essenoun (Algérie Orientale). Thèse de magistère. Université Badj – Mokhtar. Annaba.110 p.
- **Dass amiour, M. (2012)** « Eléments en traces et valorisation des minerais de phosphate du gisement de Kef Essenoun - Dj. Onk (Algérie Orientale) » mémoire de magistère- pages 23-37.

-E-

- **EREM. (1985 – 1987).** Travaux de prospection et d’évaluation des phosphates dans de Bir El Ater. Rapport EREM, 2 tomes : géologie, 50p., prospection d’évaluation, Biblio, 53p.

-F-

- **Ferrag Dit Alleg S. (2010)** « Recyclage des eaux et récupération des schlamms phosphates issus des procédés de classification gravimétrique » mémoire de magistère-. Université Badj – Mokhtar. Annaba.

-G-

- **GAIED, 2017** « Cours intégré : Environnement minier » 1^{er} année Mastère de Recherches GBS /FS Gafsa, pages : 13-15, 22.

-K-

- **Kaiser, H. F, 1960** “The application of electronic computers to factor analysis”. Educ. Psychol.Meas. 151 pp.

- **Kazakov A V. (1930)** “The phosphate facies : origin of the phosphorites and the geologic factors of formation the deposits”. Proc. Sci. Inst. Fertilizers and insectofungicides, 145 p. Kelly E G. Subasnighe G K N S. Walshe D E. - The sluice box an evaluation. Minerals Engineering, 6, p. 1397-1426 (1995)
- **Kechiched. R. 2011** « Typologie géochimique et géostatique des minerais de phosphates du gisement de Bled El Hadba-Djebel Onk (Algérie Oriental) », mémoire fin d'étude en vue d'obtention de magister, université Badji Mokhtar – Annaba, p 191.
- **Khelifi et al. 2019** “Evaluation of potentially toxic elements’ (PTEs) vertical distribution in sediments of Gafsa–Metlaoui mining basin (Southwestern Tunisia) using geochemical and multivariate statistical analysis approaches”.
- **Kribi, S. 2005** : Décomposition des matières organiques et stabilisation des métaux lourds dans les sédiments de dragage. These de doctorat, Ecole des Mines d’Albi.

-L-

- **Lakhal. M, 2015** « Caractérisation granulo-chimique des boues de débouage de la mine de Djebel Onk, Tébessa », en vue de l’obtention du Diplôme de Master en Génie Minier, A –Mokhtar Badji Universitaire, Annaba.

-M-

- **Malek. N 2006** « influence de la matière organique de phosphate noir de djebel Onk Tébessa, Algérie sur le procédé de traitement », Thèse en vue d’obtention du grade de docteur, en génie chimique, Université de Bejaia.
- **Mezghache H. & Toubal A. Bouima T. & Bouarroudj M.T, 2000** « Localisation des différents types de minerai à l'aide de méthodes statistiques multivariées dans le gisement de phosphate de Kef Essennoun – Djebel Onk – Algérie ». 5th international conference on the geology of the Arab world. Cairo University, Egypte.
- **Mezghache, H, 1991** « Détermination, localisation et estimation globale des différents types de minerai de phosphate dans le gisement de Kef Es Sennoun – Djebel Onk – Algérie ». Rapport E. N. Ferphos, 42p.
- **Mezghache, H., Toubal, A. Bouima T., Bouarroudj, M.T, 2002** « Localisation des différents types de minerai à l'aide de méthodes statistiques multivariées dans le gisement de phosphate de Kef Es Sennoun – Djebel Onk – Algérie ». 5th

international conference on the geology of the Arab world. Cairo University, Egypte.

- **Mezam. MC, Mohamed Aguid. B A, 2016 :** Article « Etude rétro-analytique du glissement du bord Nord de la mine à ciel ouvert de Kef Essenoun (Djebel Onk), Algérie ».

-N-

- **Nouioua, I., Fehdi, C., Boubaya, D., Serhane, B., & Djellali, A, 2015:** “Mapping underground cracks using 2D electrical resistivity tomography: the case of the landslide of Kef Essenoun phosphate deposit, Djebel Onk (northeast of Algeria)”. Arabian Journal of Geosciences, 8(10), 7731-7738.

-P-

- **Prian G. P. et Cortiel Ph. (1993)** « Etude de développement du gisement de phosphate de Djebel Onk (Algérie). Rapport d'expertise géologique », B.R.G.M. France, 288 p.

-R-

- **Ranchin, G. (1963, a)** « Les phosphates de chaux sédimentaire de la région du Djebel Onk (Algérie) ». S.E.R.M. Paris, 85p.
- **Rapport DMT** (étude de faisabilité bancaire) contrat N°14/SOMIPHOS/DMT Consulting GmbH/2013 date de distribution 19 Septembre 2017
- **Rapport-environnement-Dj.Onk, 2014.**

-S-

- **Saadali. B, (2009) :** « étude hydrogéologie de la possibilité aquifère dans la région semi-aride -Cas de la région de Bled EL Hadba, Bir El Ater Tébessa ». Rapport projet Bled El Hadba-SOMIPHOS.41p.
- **Slansky Jr, F. R. A. N. K. (1980).** “Quantitative food utilization and reproductive allocation by adult milkweed bugs, *Oncopeltus fasciatus*. Physiological Entomology”, 5(1), 73-86.
- **SO.NA.R.E.M (1978) :** Rapport sur les travaux de prospection et d'évaluation des phosphates dans le district minier du Djebel Onk, Algérie.

-T-

- **Tokaloğlu, Ş. (2006) :** Kartal, Ş, Aydın, Z., &. Fractionation of metals in street sediment samples by using the BCR sequential extraction procedure and

multivariate statistical elucidation of the data. Journal of hazardous materials, 132(1), 80-89.

-V-

- **Visse L. (1952)** « Genèse des gîtes phosphatés du Sud-est Algéro– tunisien. XIX Congrès géol. Intern. Alger », série 1, n°27, 60 p.

-Z-

- **Zemoura Abd el Kader 2005** « Etude comparative de quelque méthode de dosage du phosphate assimilable des sols calcaires à des sols semi-arides », mémoire d'ingénieur Université de Elhadj Lakhder de Batna.

WEBOGRAPHIE

- <http://www.droit-afrique.com/upload/doc/algerie/Algerie-Code-2014-minier.pdf>
- <https://environnement.brussels/thematiques/alimentation/produire-mes-aliments/des-conseils-pour-produire-en-ville/guide-pratique-8>
- <https://www.senat.fr/rap/100-261/100-26169.htm>

ANNEXES

ANNEXE 1

a) Diffractogramme échantillon N° 1.

