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

MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master

Filière : Génie minier

Option : Exploitation des mines

L'évolution d'exploitation de gisement de Feldspath dans la production de céramique en Algérie cas de la mine de Ain Barber-Annaba

Par
CHEKKAL Nour El Yakine et SOLTANI Naima

Devant le jury :

Mme Boutarfif Leila	**Présidente**	MAA	**Université Echahid Cheikh Larbi Tebessi – Tébessa**
Dr. Saadaoui Salah	**Encadreur**	MCB	**Université Echahid Cheikh Larbi Tebessi – Tébessa**
Dr.Merah Chafia	**Examinatrice**	MCA	**Université Echahid Cheikh Larbi Tebessi – Tébessa**

Année universitaire 2024/2025

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique
Université Larbi Tebessi – Tébessa
Institut des Mines
Département mines et géotechnologie

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
جامعة العربي التبسي – تبسة
معهد المناجم
قسم المناجم و الجيوتكنولوجيا

Année universitaire : 2024/2025

Tébessa le : 11 /06/2025

Lettre de soutenabilité

Noms et prénoms des étudiants :

1 CHEKKAL Nour El Yakine

2 SOLTANI Naima

Niveau :Master 2 **Option** :Exploitation des mines

Thème : L'évolution d'exploitation de gisement de Feldspath dans la production de céramique en Algérie cas de la mine de Ain Barber-Annaba

Nom et prénom de l'encadreur : Dr. Saadaoui Salah

Chapitres réalisés	**Signature de l'encadreur**
Cadre Géologique	Mr: Saadaoui le 05/06/2025
Conditions minières	
Traitement de produit	
Partie expérimentale	

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)...شكايل نور الهدى.....الصفة : طالب، أستاذ باحث، باحث دائم : ..طالب.....

الحامل لبطاقة التعريف الوطنية رقم : ..141002327.. و الصادرة بتاريخ .....2024.03.30.....

المسجل بمعهد .العلوم..... قسم .العلوم.الفيزيائية.والكيميائية.....

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

.....l'évolution d'exploitation de gisement de feldspath dans la production de céramique en Algérie cas de la mine de Ain BarBar AnnaBa.

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

التاريخ:.....2025.06.05.....

إمضاء المعني (ة)

Scanned by TapScanner

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)...بارجان لعيمة.....الصفة : طالب، أستاذ باحث، باحث دائم : ...طالب.....

الحامل لبطاقة التعريف الوطنية رقم : 411989000 و الصادرة بتاريخ 2024/06/23

المسجل بمعهد .....الماجم..... قسم...هندسة منجمية والجيولوجيا.....

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

L'evolution d'exploitation de gisement de Reldspath dans la production céramique en Algérie. Cas de la mine de Ain Barbar . Annaba

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

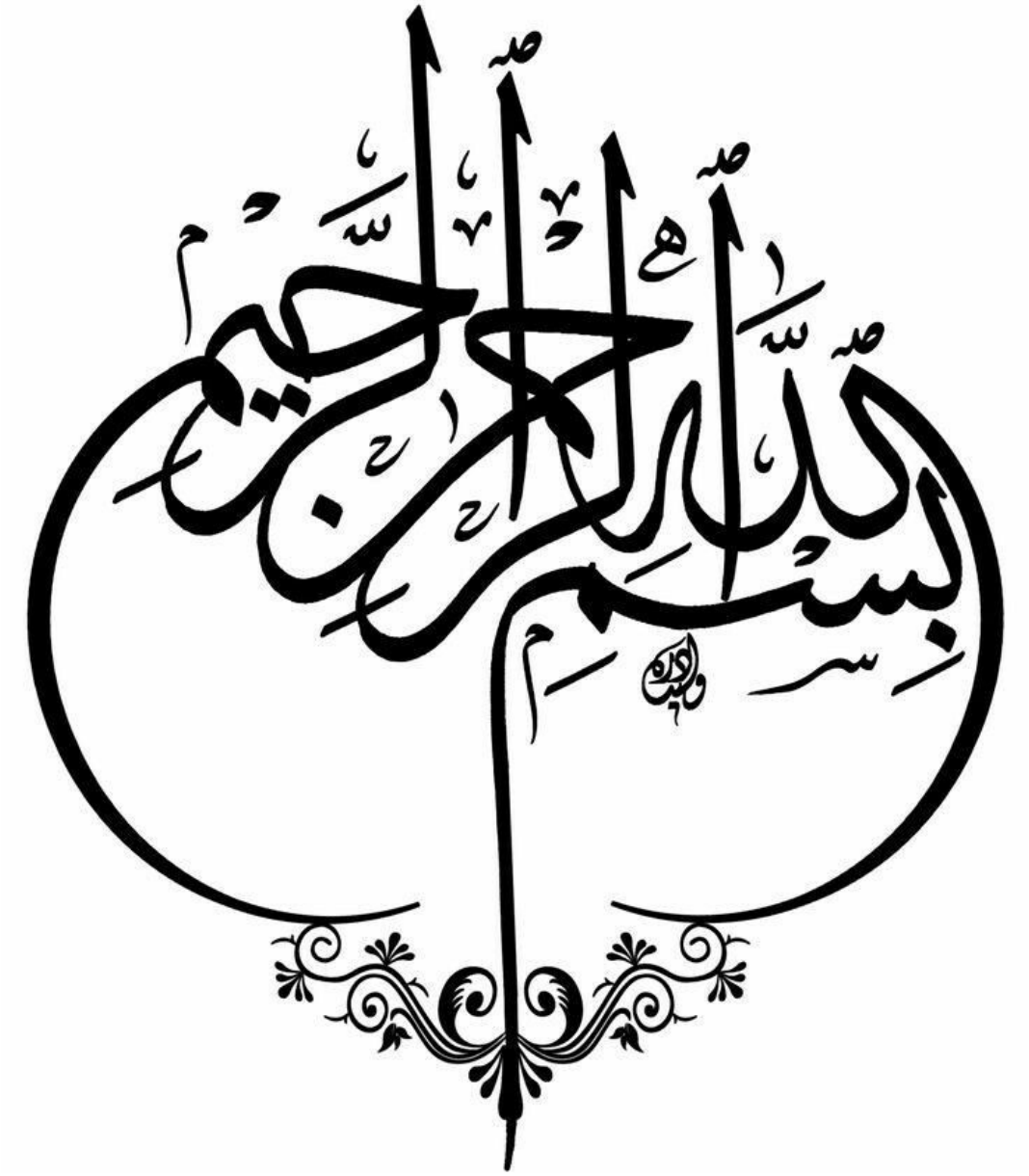
التاريخ: 2025/06/15

إمضاء المعني(ة)

09 جوان 2025

شرطة مكتب الإدارة الإقليمية

Scanned by TapScanner



كل نهاية هي بداية جديدة، والكمال

ليس هدفاً بل رحلة مستمرة



Dédicace



À celui qui a été mon premier soutien et la lumière de mon chemin,À celui qui m'a transmis l'amour du savoir et la valeur du travail, et qui m'a appris la patience et la persévérance,Malgré son absence, sa présence dans mon cœur continue de m'inspirer à chaque étape.Merci, papa, pour tous les sacrifices et les efforts que tu as faits pour moi.Je prie Dieu que cet accomplissement soit compté parmi tes bonnes actions,et qu'Il t'accorde Sa miséricorde infinie et t'accueille dans Son vaste paradis.

À ma chère mère, Pour ton amour inconditionnel, ton soutien sans faille et tes prières silencieuses. Merci d'avoir toujours cru en moi. À mon cher frère,Pour ton soutien constant et ton encouragement. Ta présence a été un véritable appui tout au long de mon parcours.

Ainsi qu'à toute ma famille,

À mes amies précieuses :**Imen , Soundes et Chourouk** , À toutes les personnes qui m'ont aidé et encouragé de près ou de loin, dont la liste est trop longue pour être énumérée ici

Je dédie ce travail avec une profonde gratitude et un amour incommensurable. Merci pour votre amour indéfectible et votre dévouement sans faille.

À **moi-même**, pour avoir persévéré sans jamais abandonner ni douter de ma capacité à aller jusqu'au bout**.**

Naima Soltani



Dédicace



Avant toute chose, je tiens à me remercier profondément. À moi, qui ai persévéré malgré les obstacles, qui ai tenu bon face aux doutes, et qui ai cru en mes rêves lorsque tout semblait incertain. À moi, pour chaque effort, chaque sacrifice, chaque larme versée en silence. Je suis fière du chemin parcouru, fière de la femme que je suis devenue, et convaincue que ce n'est là que le début d'un parcours riche en accomplissements.

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à ma chère mère, source inépuisable d'amour, de patience et de soutien moral. Merci pour ta présence constante et ton affection indéfectible. À mon père, Mohamed el tayeb , mon pilier, mon premier et dernier soutien, dont les encouragements ont été une lumière dans les moments d'incertitude. Merci de toujours croire en moi.

Je remercie également ma sœur Douaa et mon frère Nizar, pour leur tendresse, leur complicité et leur appui tout au long de ce parcours.

Mes pensées de gratitude vont aussi à mes amies Haïfa, Malak et Anfal, dont la bienveillance, l'écoute et les mots réconfortants ont illuminé bien des journées difficiles. Merci d'avoir été là, chacune à votre manière.



Remerciements



Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à **Dr. SAADAOUI Salah**, notre encadrant, pour son accompagnement, sa disponibilité, ses conseils précieux et son encadrement rigoureux tout au long de ce travail. Sa bienveillance, sa patience et son expertise nous ont .grandement aidées à mener à bien ce mémoire

Nos sincères remerciements s'adressent également aux membres du jury, **Mme Bouterfif Leila**, présidente du jury, et **Dr. Merah Chafia**, examinatrice, pour l'honneur qu'ils nous ont .fait en acceptant d'évaluer notre travail, ainsi que pour l'intérêt porté à notre sujet

Leurs remarques pertinentes et leurs suggestions constructives contribueront sans aucun doute à enrichir notre réflexion

Nous adressons également nos vifs remerciements aux cadres des trois entreprises qui nous ont accueillies avec professionnalisme et bienveillance durant notre travail de terrain, à : savoir

La Mine de Aïn Barbar à Annab, apour leur accueil chaleureux, leur disponibilité et les .informations précieuses qu'ils nous ont fournies sur l'exploitation du feldspath

L'entreprise SOTARMA de Tébessa, pour leur collaboration et leur ouverture à partager leur expérience sur le traitement et la valorisation des matières premières minérales.

L'usine Cimenterie de Tébessa, pour leur soutien et les échanges enrichissants qui nous ont permis de mieux comprendre le lien entre les ressources minérales et les industries de transformation.

Leur contribution a été essentielle pour la réalisation de ce mémoire et nous leur en sommes profondément reconnaissantes.

Je tiens à exprimer mes sincères remerciements à Mademoiselle **Habiba Soltani**, doctorante à l'Université Chikh Larbi Tébessi de Tébessa, pour l'aide précieuse qu'elle m'a apportée tout au long de ce travail. Ses conseils judicieux, sa disponibilité et son accompagnement bienveillant ont grandement contribué à l'enrichissement de ce mémoire. Je lui témoigne toute ma gratitude pour son soutien et sa générosité

كيف يمكن تحسين استغلال ومعالجة مكمن الفلسبار في منجم عين بربار (عنابة)، في سياق جيولوجي ومنجمي معقد، من أجل استخراج وتركيز فلسبار مطابق لمتطلبات صناعة السيراميك الجزائرية؟

يُعد استخدام تقنيات الاستغلال (الطريقة السطحية والمناجم تحت الأرض) وكذلك تقنيات الإثراء (مثل التكليس، التعويم، الاستخلاص بالمحاليل... إلخ) ضرورياً. وفي حالتنا، تم استخدام طريقة المعالجة بالتكليس.

بالنسبة لجزء الاستغلال

في حالة مكمن الفلسيت في عين بربار، ونظراً للطبيعة الجبلية للمنطقة، يتم الاستغلال من الأعلى نحو الأسفل، بين المستوى العلوي 600 متر والمستوى السفلي 300 متر بالنسبة للكتل (3،4،5،6،7)، وبين 500 متر و300 متر بالنسبة للكتل (1،2).

يتم التمييز بين مرحلتين من الاستغلال، الأولى على ارتفاع 50 متراً، مع مدرجات يبلغ ارتفاع كل منها 10 أمتار، وكل مدرج يحتوي على مسار وصول بميول ثابت قدره 6% لتسهيل نقل الخام.

بالنسبة لجزء المعالجة

يُعد تقليل محتوى أكسيد الحديد في المادة الخام، الذي يبلغ حوالي 3.08%، ضرورياً لأنه يُعتبر عنصراً ضاراً يؤثر سلباً على جودة المنتج النهائي (كالخزف، الزجاج، الطلاء... إلخ). كما أن تحسين نوعية الفلسبار سيمكن الجزائر من الانتقال من بلد مستورد إلى مصدر لهذا المعدن.

عنابة، عين بربار، فلسبار، تعويم، سيراميك، تكليس، دايك، فلسيت، كتل. **الكلمات المفتاحي**

Abstract

How can the exploitation and processing of the feldspar deposit at the Ain Barbar mine (Annaba) be optimized, within a complex geological and mining context, in order to extract and upgrade feldspar that meets the requirements of the Algerian ceramic industry?

The use of exploitation techniques (open-pit and underground methods) as well as enrichment processes (calcination, flotation, leaching, etc.) is essential. In our case, the calcination method was applied.

Regarding the exploitation phase:

At the Ain Barbar felsite deposit, and given the mountainous terrain, exploitation is carried out from top to bottom between the upper level of 600 m and the lower level of 300 m for blocks (7,6,5,4,3), and between 500 m and 300 m for blocks (1,2).

Two exploitation phases are distinguished: the first one over a height of 50 meters, with benches of 10 meters each. Each bench has an access track maintaining a 6% slope to facilitate ore transport.

As for the processing aspect:

Reducing the iron oxide content in the raw material — approximately 3.08% — is crucial, as iron is a harmful element affecting the quality of the final product (tiles, glass, paint, etc.). Enhancing feldspar quality would allow Algeria to shift from an importing country to an exporter of this mineral.

Keywords: Annaba, Ain Barbar, feldspar, flotation, ceramics, calcination, dyke, felsite, block.

Résumé

Comment L'exploitation et le Traitement du gisement de Feldspath de la mine de Ain Barbar (Annaba) peuvent-ils être optimisés, dans un contexte géologique et minier complexe, afin d'extraire , enrichir un feldspath conforme aux exigences de l'industrie céramique algérienne .

L'utilisation des techniques d'exploitation (mode a ciel ouvert , mode souterraine) ainsi que l'enrichissement (calcination , flottation , lixiviation … etc.),de minerai de feldspath est nécessaire, dans notre cas en a utilise la méthode du traitement par calcination .

Concernant la partie exploitation :

Dans le cas du gisement de Felsite de Ain Barbar et vu le relief montagneux l'exploitation se fait de haut vers le bas entre le niveau supérieur 600m et le niveau inférieur 300m pour les blocs (7,6,5,4,3) et le niveau 500 m et 300m pour les blocs (1,2).

On distingue deux phases d'exploitation l'une sur une hauteur de 50 M avec des gradins répartis de 10 mètres de hauteur (chaque gradin a une piste d'accès gardant toujours le pendage de 6% pour le transport du minerai.

Pour le volet traitement , la réduction de la teneur en oxyde de fer d'un teneur dans la matière première est de l'ordre de 3,08 % qui est considéré comme un élément nocif influençant sur la qualité du produit fini (carlage , verre ,peinture …etc) , et ainsi permettre à l'Algérie de passer du statut d'importateur à celui d'exportateur de ce minéral

Les mot clés : Annaba , Ain Barbar, feldspath, , flottation, , céramiques , calcination ,dyke ,felsite , bloc .

Table des matières

Introduction générale.....I
Chapitre I:Cadre Géologique.....1
1. Contexte géologique.....1
1.1. Situation géographique.....1
1.2. Géologie régionale.....1
1.3. Géologie locale.....3
1.4. Pétrographie et Gitologie.....7
1.5. Genèse du gisement.....9
1.6. Condition hydrogéologique.....9
3. Historique de la mine d'Aïn Barbar (Annaba).....9
3.1.Phase de prospection et d'évaluation.....9
3.2. Développement et exploitation.....10
3.3. Arrêtd'activité et liquidation.....10
3.4. Relance du projet.....10
3.5. Contexte géologique du massif d'Edough.....10
4. L'estimation des réserves du gisement d'Aïn Barbar.....11
Chapitre II: Exploitation de gisement de Feldspath.....16
II.1. Données générales.....16
II.2. Ressources du gisement.....16
II.3. Estimation des réserves.....17
II.3.1. Caractéristiques des blocs.....19
II.4. Qualité du felsite.....19
II.4.1. Caractéristiques physiques.....19
II.4.2. Analyse minéralogique.....19
II.5. régime de travail de la mine de Ain Barbar.....20
II.6. EXPLOITATION MINIERE DU FELDSPATH DE AIN BRBAR.....20
II.7. Plans d'exploitation du gisement d'Ain-Barbar :.....21
II.7.1. Choix et paramètres de la méthode d'exploitation :.....21
II.7.2. Conditions d'accès au gisement :.....22
II.7.3. Etat actuel des travaux miniers :.....24
II.7.4. Paramètres de configuration de la carrière.....24
II.8. Plan d'exploitation de blocs 6,5 et 4.....27
II.8.1. Réserves exploitables et volume des stérile de découverture.....27

II.8.2. Travaux préparatoires....28
II.9. Moyens matériel nécessaires....29
II.9.1. Pour l'abattage et la Découverture....29
II.9.2. Transport....31
Chapitre III : Traitement des produit....**35**
III. Présentation de l'installation et du procès....**35**
III.1. Une ancienne station....35
1.1Concasseur primaire....35
1.1.1 Concasseurs à mâchoires....36
1.2 Concassage secondaire....37
1.2.1 Caractéristique du concasseur secondaire....37
1.2.2. Concasseurs giratoire Et à cône....38
1.3. Classification....38
1.3.1 Caractéristique du crible de classification :....39
2. Rétrospectives des réalisations....39
III.2. Nouvelle station projet Feldspath....39
II.2.1. **Présentation de l'installation et du procès**....39
1.1. Concasseur primaire....40
1.2. Caractéristique du concasseur graduateur :....40
1.3. Caractéristique crible :....40
1.4. Caractéristique des broyeurs....41
1.5. Caractéristique crible pour fin....41
2.1. Planification de la production....42
Chapitre IV: Partie expérimental....**44**
IV. 1 La production de céramique en Algérie....**44**
La production de céramique en Algérie....44
1. Définition de la céramique....44
2. Propriétés générales des céramiques....**44**
3. Classification des céramiques (traditionnelles et techniques)....**45**
3.1. Céramiques Traditionnelles....45
3.2. Céramiques techniques....45
V.2. L'essai de bleu de méthylène....47
1. Valeur de bleu de méthylène d'un sol (VBS)....47
3. L'essai de bleu de méthylène....47
4. L'Objectif de bleu de méthylène....48

5. Le principe de base.....48

7. L'essai se déroule sur 3 étapes.....**50**

Etape 1 : Préparation de solution de bleu de méthylène.....50

Etape 2 : Détermination de la VBS.....50

Etape 3 : Calcul de la VBS.....52

8. Interpretation des resultats :.....53

V.2 L'essai de ES (Equivalant de sable).....**54**

1. Le but de l'essai.....54

2. **Principe de l'essai L'essai**.....54

3. Matériels utilisés.....55

4. Mode opératoire.....**55**

5. Equivalent de sable visuel (E.S.V).....57

Equivalent de sable piston (E.S.P).....57

6. Interprétation des résultats de l'essai d'équivalent de sable (Es).....58

L'essai de FRX.....**59**

1. Définition de FRX (Fluorescence des Rayons).....59

2. Avantages de l'analyse XRF.....60

3. Mode d'opératoire de l'essai.....60

4. **Préparation de l'échantillon**.....61

4.1. Un dessiccateur.....62

4.2. Le broyeur planétaire à billes.....63

6. **Rapport des résultats**.....65

7. L'interprétation des résultats.....65

IV.5. L'assai de calcination : L'Application de calcination sur Feldspath :.....**67**

La calcination.....67

Introduction.....67

1. Définition.....67

2. Les objectifs de la calcination sont généralement 67

3. Effets généraux de la calcination sur le feldspath.....68

4. Réalisation de l'expérience de calcination de feldspath au niveau de laboratoire de cimenterie-TÉBEDSSA.....**69**

5. Principe de base.....69

6. Équipements de travail.....69

7. Préparation de l'échantillon pour calciner.....70

3. Lancement du cycle de fusion.....72

4. Récupération.....73

5. Analyse XRF.....73

8. Interprétation des résultats.....74

Conclusion générale.....76

Liste des tableaux

Tableau	Titre	Page
Chapitre I :Cadre géologique		
1	les reserves	12
2	Caractéristiques des blocs	12
Chapitre II : Conditions minière		
1	réserve calculée par sonarem 1976 (rapport géologique sonarem)	16
2	réserve calculée par SOFELD 1998 (rapport d'expertise Mr : IDIR 1998)	17
3	les réserves possibles	18
4	Caractéristiques des blocs	19
5	analyse moyenne des blocs	20
6	les niveux	23
7	Cubage des réserves exploitables de blocs 5 et 6minerais et stérile	28
8	besoin et manque d'equipement	30
Chapitre III : Traitement des produit		
1	Planification de la production	42
Chapitre IV: Partie expérimental		
1	Nature du sol selon le valeur de bleu du sol	54
2	La qualité du sable	56
3	les résultats d'analyses XRF	66
4	Les résultats de l'analyse	75
5	Importance de K2O dans diver industrie	75

Figure	Titre	Page
Chapitre I : cadre g éologique		
Fig I .1	Plan de situation du Gisement d'Ain-Barbar.	1
Fig I .2	Coupe générale synthétique des Maghrébides de l'Est algérien	3
Fig I .3	Colonne lithologique schématique du massif de l'Edough d'après les travaux et sondage de l'EREM (1973-1976) : Hilly, 1962 ; Vila, 1970	7
Fig I.4	Schiste satiné d'Ain-Barbar	13
Chapitre II : Exploitation de gisement de Feldspath		
Fig II.5	les blocs de felsitedeainbarbar	20
Fig II.6	forme 3D des blocs	21
Fig II.7	le giment de Feldspath	22
Fig II.8	ouverture du bloc 02	23
Fig II.9	La phose final du bloc 6,5,4,3	24
Fig II.10	les niveaux des blocs	25
Fig II.11	Facteurs de sécurite	26
Fig II.12	Caractéristiques géométriques des gradins.	26
Fig II.13	les traveaux préparatoire	28
Fig II.14	découverture	28
Fig II.15	Pelleexcavatrice	29
Fig II.16	chargement et transport de menerai	31
Chapitre III : traitment de produit		
Fig III.1	concasseur à mâchoire CMSE 1050 X 800	35
Fig III.2	Principe de la réduction de dimension	35
Fig III.3	L'ancienne station	36
Fig III.4	Concasseur giratoire	37
Fig III.5	nouvelle station	39
Fig III.6	cribles vibrant	40
Fig III.7	Broyeur	40

	Chapitre IV :Partie expérimental	
Fig IV.1	L'essai de bleu de méthylène	48
Fig IV.2	Appareillages	49
FigIV.3	Préparation de solution de bleu de méthylène	50
Fig IV.4	Apparaillages	49
Fig IV.5	L'ajout de solution (bleu de méthylène	50
Fig IV.6	Essai à la tache réalisée au laboratoire de SOTRMA-TEBESSA	52
Fig IV.7	Principe de l'essai	54
Fig IV.8	Appareillage pour l'essai d'équivalent de sable	57
Fig IV.9	Une machine XRF, ou spectromètre de fluorescence X	60
Fig IV.10	Échantillons prélevés pour l'expérience au niveau de laboratoire de Cimenterie Tébessa	61
Fig IV.11	séchage dans l'étuve	62

Fig IV.12	dessiccateur	62
Fig IV.13	broyage L'échantillon	63
Fig IV.14	pastille pressée	64
Fig IV.15	Le logiciel associé	64
Fig IV.16	L'état de creuset après le creuset	71
Fig IV.17	creuset en platine chargé par feldspath calciner	72
Fig IV.18	placement de creuset	72
Fig IV.19	Fuseur automatique de pastilles	73
Fig IV.20	perlle	73

Abréviation	**Désignation**
ENOF	Entreprise Nationale Des Produits Miniers Non Ferreux.
SONAREM	Société Nationale De La Recherche Et De La Géologie Minières.
SOFELD	Société De Fabrication Et d'Exploitation De Feldspath
EREM	Entreprise De Réalisation Des Equipements Et De La Maintenance
JORC	Joint Ore Reservescommittee
BRGM	Bureau De Recherche Géologique Et Minière
ENOF	Entreprise Nationale Des Produits Miniers Non Ferreux.
SOFELD	Société Des Feldspaths d'Algérie.
VB	Quantité de bleu ajouté
RAC	Rendement Annuel De La Pelle
EG	Capacité Du Godet De La Pelle'
D	Densité Du Tout-Venant
NJ	Nombre De Jours Ouvrables Par An
NP	Nombre De Postes Par Jour
NH	Nombre D'heures Par Poste
KU	Coefficient D'utilisation Du Pelle
KR	Coefficient De Remplissage De Godet
Kf	Coefficient De Foisonnement
TC	Durée D'un Cycle De La Pelle Secondes.
Eb	Capacité De La Benne
NJ	Nombre de jours ouvrables par an
NP	Nombre de postes par jour
NH	Nombre d'heures travaillées par poste H/Poste.
KU	Coefficient D'utilisation
KR	Coefficient de remplissage de la benne
TC	Durée d'un cycle de transport
RAC	Rendement annuel de la pelle (Tonnes/ an)
EG	Capacité du godet de la pelle' en m3
D	Densité du tout-venant T/m3

Symbole	**Désignation**
T	Tonne.
G	Gramme
kg	Kilogramme
m	Mètre
mm	Millimètre
l	litre
ml	Milliliter
h	Heure
Min	Minute
Tr	Tour

Introduction



Générale

Introduction générale

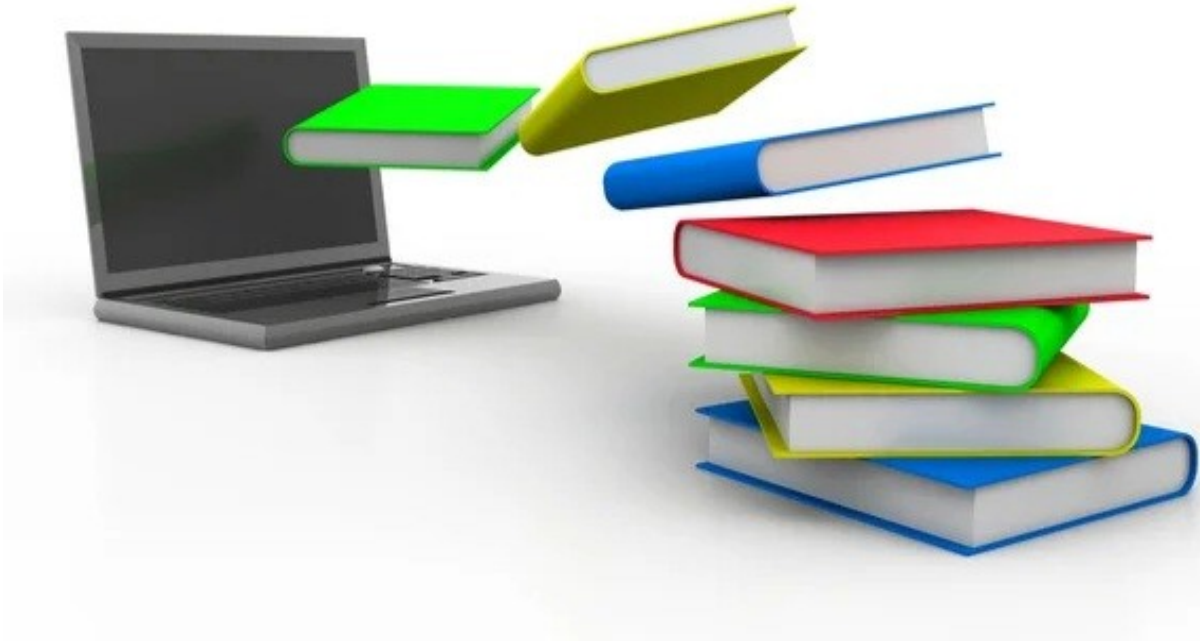
La céramique est un matériau millénaire qui joue un rôle fondamental dans l'industrie moderne, notamment dans les domaines de la construction, de la décoration, de l'électrotechnique ou encore de l'artisanat. Au cœur de sa fabrication se trouve un minéral clé : **le feldspath**, qui intervient à la fois comme fondant et comme constituant principal des pâtes céramiques. En Algérie, l'exploitation des gisements de feldspath constitue un enjeu stratégique pour le développement de la filière céramique nationale, en particulier dans un contexte de diversification économique et de valorisation des ressources locales.

Parmi les principaux gisements de feldspath du pays, **la mine d'Aïn Barbar, située dans la wilaya d'Annaba**, représente une source importante de matière première (environ7 millions de tonne des réserves géologique). Cependant, l'exploitation de ce gisement a connu des évolutions notables au fil du temps, tant sur le plan technique que sur celui de la gestion des ressources. L'optimisation de l'extraction, la rationalisation des méthodes d'exploitation et l'amélioration de la qualité du feldspath extrait deviennent ainsi des préoccupations centrales.

Ce mémoire s'articule autour de **deux grands axes complémentaires**. La première porte sur **l'évolution d'extraction du gisement** d'Aïn Barbar, en étudiant les méthodes d'extraction , les contraintes géologiques et techniques, ainsi que les perspectives d'amélioration de la gestion minière. La seconde s'intéresse à la **valorisation du feldspath**, et en particulier à **la réduction de sa teneur en fer (3 ,08 %)**, une impureté pénalisante pour la qualité des produits céramiques finis. L'objectif est d'identifier les techniques de traitement les plus efficaces pour obtenir un feldspath adapté aux exigences de l'industrie céramique à savoir la calcination, la flottation, lixiviation.

À travers l'analyse du cas d'Aïn Barbar, ce travail vise à proposer des solutions dans le volet exploitation et le volet traitement **optimale du feldspath algérien**, afin de renforcer l'intégration locale dans la chaîne de production céramique et de réduire la dépendance aux importations.

Chapitre I



Cadre Géologique

1. Contexte géologique

1.1. Situation géographique

Le gisement de Felsite d'Aïn Barbar, situé dans le massif de l'Edough (commune de Seraïdi), à 35 km au nord-ouest d'Annaba, s'étend sur 2 km en direction NE-SO avec une largeur moyenne de 20 m et un plongement d'environ 60° vers le NNW. Il est divisé par des failles en plusieurs blocs (1 à 6 et 7 (dans les études précédentes), l'accès à la terminaison occidentale du bloc 5 a lieu par un bon chemin de terre qui part de la route goudronnée W16 ; d'autres pistes, en partie envahies par la végétation, s'étendent vers les secteurs les plus orientales du bloc 6,5 et 4[1] .

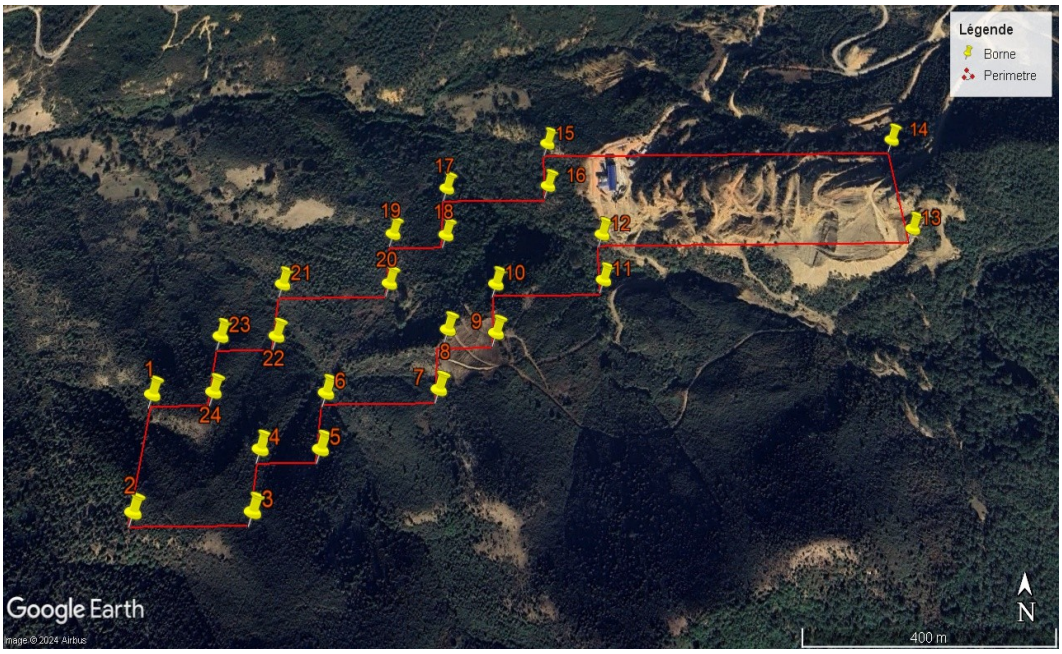


Fig I .1: Plan de situation du Gisement d'Ain-Barbar.

1.2. Géologie régionale

La chaîne alpine d'Afrique du Nord, également appelée chaîne des Maghrébides, s'inscrit dans le cadre de l'orogenèse alpine péri-méditerranéenne d'âge tertiaire.

On y distingue classiquement deux grandes unités : les **zones internes**, représentées aujourd'hui par divers massifs disséminés le long du littoral méditerranéen, et les **zones externes**, situées en périphérie.

Ce domaine a connu au cours du Méso-Cénozoïque plusieurs phases de déformation, ayant conduit à l'installation de nappes de charriage : c'est ce que l'on appelle le domaine des nappes ou **domaine allochtone.**

Dans la région comprise entre Annaba et Skikda, la chaîne des Maghrébides se divise du nord au sud en trois grands domaines géologiques.

1.2.1. Le domaine interne

Également appelé **socle kabyle** ou **Kabylide**, est formé de massifs cristallophylliens métamorphiques (gneiss, marbres, amphibolites, micaschistes et schistes), accompagnés de formations sédimentaires paléozoïques (de l'Ordovicien au Carbonifère), peu métamorphisées. Au sud, un contact anormal sépare la Dorsale kabyle du domaine des flyschs. Les formations internes chevauchent à la fois les domaines des flyschs et le domaine tellien externe.

1.2.2. Le domaine des flyschs

Est constitué de nappes de flyschs d'âge Crétacé à Paléogène, visibles sur environ 800 km le long du littoral, de Mostaganem à Bizerte (Tunisie). Ces dépôts marins profonds se sont formés par des courants de turbidité. On y distingue troisgroupesprincipaux

1.2.2.1. Lesflyschs mauritaniens

De position interne, constitués d'une alternance de couches argileuses, calcaires et gréseuses.

1.2.2.2. Lesflyschsmassyliens

En position plus externe, comprenant une série pélito-quartzitique du Crétacé inférieur, surmontée d'une série pélito-microbréchique du Crétacé supérieur.

1.2.2.3. Lesflyschs numidiens

Plus récents (Oligocène supérieur à Burdigalien inférieur), composés de niveaux gréseux épais de plusieurs centaines de mètres, reposant sur des argilites versicolores oligocènes. Ces nappes de flysch s'installent de façon anormale à la fois sur les zones internes et externes.

1.2.3. Le domaine externe

Ou **domaine tellien**, est constitué de nappes allochtones pelliculaires composées principalement de marnes d'âge Crétacé moyen à Néogène, charriées sur une centaine de kilomètres vers le sud. Dans la région entre Annaba et Skikda, à la base des unités non métamorphiques du domaine tellien, affleure un massif cristallin métamorphique : **le massif de l'Edough**. Ce massif, culminant à plus de 1000 mètres, domine la mer et les plaines avoisinantes. Il est formé d'un empilement d'unités métamorphiques (gneiss œillés, migmatites, micaschistes, marbres), organisées en un dôme de foliation orienté nord-est/sud-ouest.

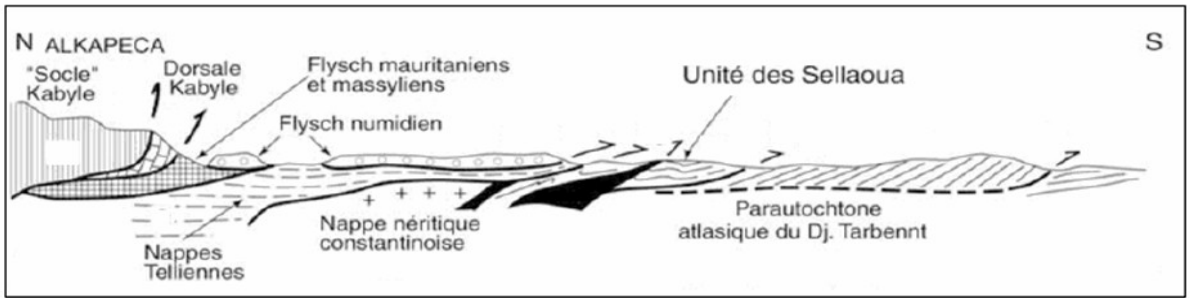


Fig I .1: Coupe générale synthétique des Maghrébides de l'Est algérien

1.3. Géologie locale

La chaîne alpine d'Afrique du Nord, également appelée chaîne des Maghrébides, s'inscrit dans le cadre de l'orogenèse alpine péri-méditerranéenne d'âge tertiaire. On y distingue classiquement deux grandes unités :

les**zones internes**, représentées aujourd'hui par divers massifs disséminés le long du littoral méditerranéen, et les **zones externes**, situées en périphérie.

Ce domaine a connu au cours du Méso-Cénozoïque plusieurs phases de déformation, ayant conduit à l'installation de nappes de charriage : c'est ce que l'on appelle le domaine des nappes ou **domaine allochtone**.

Dans la région comprise entre Annaba et Skikda, la chaîne des Maghrébides se divise du nord au sud en trois grands domaines géologiques:

1. **Le domaine interne**, également appelé **socle kabyle** ou **Kabylide**, est formé de massifs cristallophylliens métamorphiques (gneiss, marbres, amphibolites, micaschistes et schistes), accompagnés de formations sédimentaires paléozoïques (de l'Ordovicien au Carbonifère), peu métamorphisées. Au sud, un contact anormal sépare la Dorsale kabyle

du domaine des flyschs. Les formations internes chevauchent à la fois les domaines des flyschs et le domaine tellien externe.

2. **Le domaine des flyschs** est constitué de nappes de flyschs d'âge Crétacé à Paléogène, visibles sur environ 800 km le long du littoral, de Mostaganem à Bizerte (Tunisie). Ces dépôts marins profonds se sont formés par des courants de turbidité. On y distingue troisgroupesprincipaux :

   2.2. Les **flyschs mauritaniens**, de position interne, constitués d'une alternance de couches argileuses, calcaires et gréseuses.

   2.3. Les **flyschs massyliens**, en position plus externe, comprenant une série pélito-quartzitique du Crétacé inférieur, surmontée d'une série pélito-microbréchique du Crétacé supérieur.

   2.4. Les **flyschs numidiens**, plus récents (Oligocène supérieur à Burdigalien inférieur), composés de niveaux gréseux épais de plusieurs centaines de mètres, reposant sur des argilites versicolores oligocènes. Ces nappes de flysch s'installent de façon anormale à la fois sur les zones internes et externes.

3. **Le domaine externe**, ou **domaine tellien**, est constitué de nappes allochtones pelliculaires composées principalement de marnes d'âge Crétacé moyen à Néogène, charriées sur une centaine de kilomètres vers le sud. Dans la région entre Annaba et Skikda, à la base des unités non métamorphiques du domaine tellien, affleure un massif cristallin métamorphique : **le massif de l'Edough**. Ce massif, culminant à plus de 1000 mètres, domine la mer et les plaines avoisinantes. Il est formé d'un empilement d'unités métamorphiques (gneiss œillés, migmatites, micaschistes, marbres), organisées en un dôme de foliation orienté nord-est/sud-ouest.

La zone d'étude se situe dans le domaine des Maghrébides externes, à proximité d'un contact tectonique avec les unités des Maghrébides internes, représentées localement par le massif cristallin de la Petite Kabylie.

Dans la région d'Annaba, les Maghrébides externes sont matérialisées par le massif cristallin de l'Edough (appartenant à l'unité tellienne), lequel est recouvert tectoniquement par des sédiments marins profonds d'âge crétacé, correspondant aux flyschs massyliens. Ces

derniers sont à leur tour surmontés par des dépôts turbiditiques oligocène-miocène du flysch numidique.

Au niveau du gisement étudié, affleurent les formations du flysch numidique (Oligo-Miocène), qui reposent sur les dépôts crétacés des flyschs massyliens. Ces derniers sont traversés par des dykes de composition microgranitique et rhyolitique-felsique, lesquels constituent le gisement faisant l'objet de ce travai[2].

1.3.1. Description stratigraphique et lithologique

Les macrofaunes identifiés permettent de classer les formations du Sénonien parmi les plus anciennes de la région.

1.3.1.1. Le Sénonien

Ce niveau est bien développé dans la partie centrale de la zone d'étude, où il forme une formation épaisse d'environ 18 mètres, composée de deux séries distinctes :

- **Série inférieure** : Constituée principalement d'argilites schisteuses, d'aleurolites, ainsi que de grès multicolores, localement altérés en cornéennes (notamment dans la zone de Chaiba).
- **Série moyenne** : Elle comprend également des argilites schisteuses et des aleurolites. Contrairement à la série inférieure, elle présente des intercalations de calcaires gréseux, de marnes et de microbrèches. Toutefois, les aleurolites restent lithologiquement dominants dans l'ensemble de l'assise.

1.3.1.2. L'Oligocène (ou série numidienne)

La série numidienne est bien représentée dans la région, apparaissant notamment le long des zones de fissuration et des surfaces de charriage, où elle est en contact avec les schistes sénoniens.

Elle se divise nettement en deux séries :

- **Série inférieure** : Elle se compose d'argilites bien datées grâce à la présence de macrofaune, avec la présence de lentilles de grès quartzeux.

- **Série supérieure** : Dominée par des grès quartzeux, elle comporte également des intercalations d'argilites. L'ensemble de ces deux séries atteint une épaisseur totale d'environ 1000 mètres.

1.3.2. Esquisse structurale et tectonique

Selon l'analyse de la carte géologique de la région, la zone centrale apparaît comme le flanc d'un grand anticlinal dont l'axe est orienté nord-sud. Le Sénonien y présente un pendage net vers le nord-ouest, tandis que les schistes du massif de Chaïba forment le cœur de ce pli majeur. Cette structure est recoupée par une série de failles, en relation avec les dépôts paléogènes, en contact tectonique avec les formations crétacées.

En fonction de leur orientation, deux grands types de failles peuvent être distingués : celles orientées nord-est et celles suivant une direction subméridienne (plus précisément NNW-SSE). Par endroits, des structures de chevauchement ont également été observées. Plus de 20 accidents tectoniques ont été répertoriés dans la zone, la plupart étant associés à des minéralisations en plomb-zinc (Pb-Zn) ou en cuivre (Cu).

Ces zones tectoniques, généralement orientées suivant une direction méridienne, semblent définir le système de failles propre au secteur d'Aïn Barbar. Certains indices morphologiques observés dans le bloc sénonien suggèrent la présence d'une grande cassure en profondeur, probablement alignée avec l'axe de l'anticlinal. La disposition des dykes de granite porphyrique et de rhyolite indique la localisation de cette cassure profonde, laissant supposer qu'elle est antérieure aux intrusions magmatiques (ante-intrusive)[2].

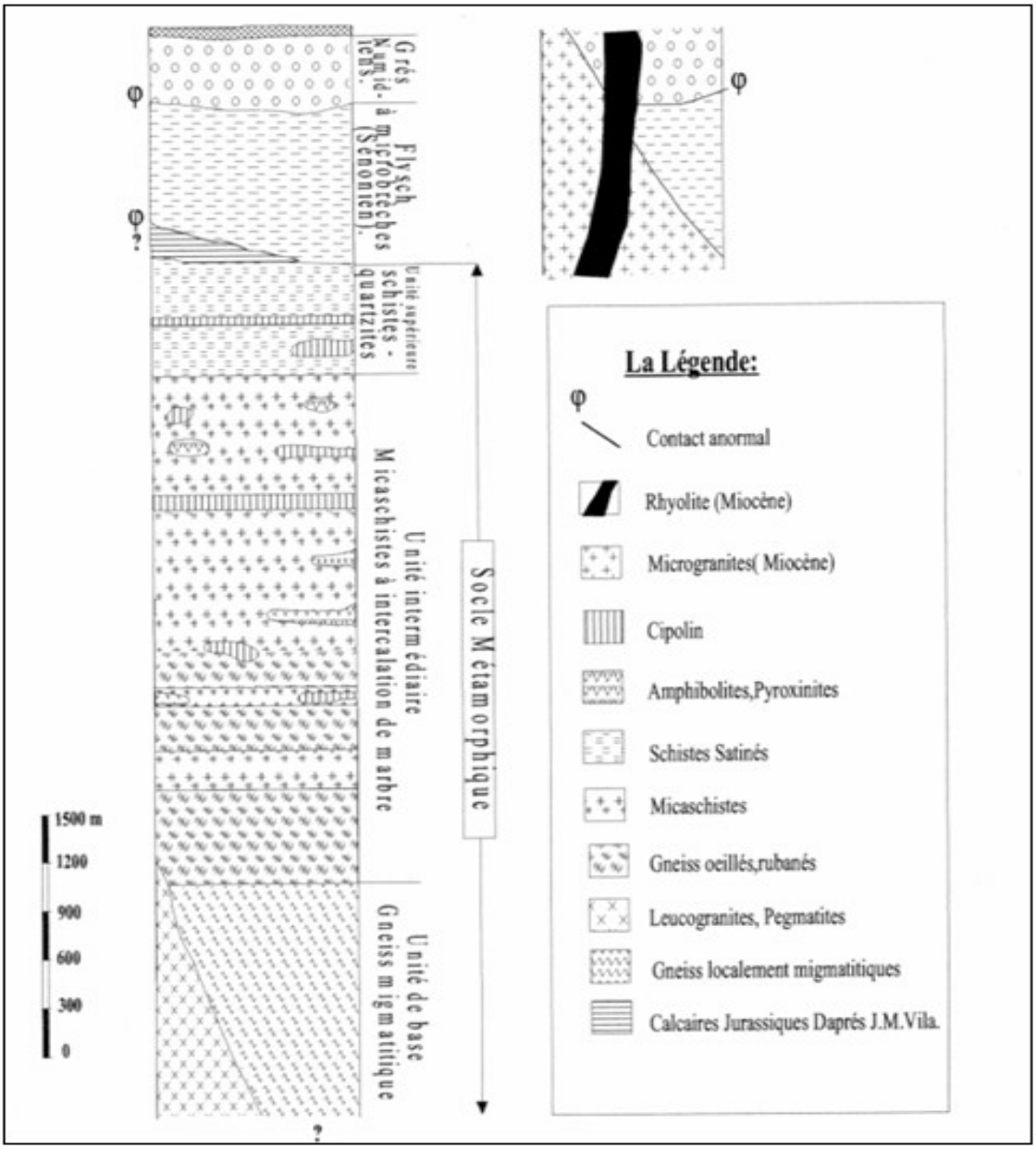


Fig I .3 : Colonne lithologique schématique du massif de l'Edough d'après les travaux et sondage de l'EREM (1973-1976) : Hilly, 1962 ; Vila, 1970

1.4. Pétrographie et Gitologie

Les feldspaths représentent le groupe de minéraux le plus abondant de la croûte terrestre , Ils constituent les principaux composants des roches magmatiques ainsi que de nombreuses roches métamorphiques. En revanche, leur présence dans les roches sédimentaires est plus limitée en raison de leur faible résistance à l'altération en surface .

Associés à d'autres minéraux, les feldspaths alcalins – en particulier ceux riches en potassium, tels que l'orthose – entrent dans la composition modale des roches magmatiques acides,

notamment les syénites et les granites (à texture grenue), ainsi que les trachytes et les rhyolites (à texture microlithique). Les plagioclases, quant à eux, sont caractéristiques des roches basiques telles que les diorites, les gabbros, les andésites et les basaltes .

Dans le domaine industriel, les roches ignées considérées comme sources potentielles de feldspath sont généralement des roches leucocrates appartenant à la famille des granites (telles que les leucogranites alcalins, les pegmatites, les aplites et les rhyolites). Ces roches se distinguent par l'absence de minéraux ferromagnésiens et se composent principalement de quartz et de feldspaths alcalins (albite, microcline, orthose), souvent associés à des micas alumineux comme la muscovite ou la lépidolite. Leur faible teneur en fer est parfois accompagnée de minéraux accessoires tels que la biotite, le grenat ou la tourmaline .

On distingue deux grandes catégories de gisements feldspathiques :

1.4.1. Les gisements primaires

Ils sont constitués de roches en place où le feldspath est le constituant principal, voire exclusif, comme dans certaines pegmatites. Ces dernières contiennent fréquemment de très gros cristaux (pouvant atteindre plusieurs décimètres) et se présentent sous forme de filons, d'amas ou de petits massifs localisés autour des intrusions granitiques.

a) **Pegmatites simples** : formées essentiellement de microcline et de quartz.
b) **Pegmatites complexes** : enrichies en albite et en divers autres minéraux tels que les micas, le spodumène ou la tourmaline. Ces formations peuvent s'étendre sur plusieurs kilomètres de long et plusieurs centaines de mètres de large.

1.4.2. Les gisements secondaires

Ils proviennent de dépôts détritiques (sables alluviaux ou littoraux) renfermant une proportion significative de feldspath, souvent accompagnée d'une fraction kaolinique variable. Ces dépôts sont issus de la désagrégation, de l'altération, de l'érosion et du transport de roches feldspathiques d'origine variée, notamment les granites[2].

1.5. Genèse du gisement

1.5.1. Origine et formation du gisement

Le gisement est une intrusion magmatique rhyolitique formée lors d'une phase tectonique d'extension post-collisionnelle alpine, avec mise en place le long d'une faille normale active.

Le magma rhyolitique, riche en silice et potassium, s'est cristallisé en dyke dans les formations sédimentaires encaissantes.

1.5.2. Étapes d'évolution géologique

- Dépôts sédimentaires crétacés et oligo-miocènes dans un bassin océanique profond.
- Collision Afrique-Europe et orogenèse alpine avec déformation et chevauchements.
- Phase magmatique miocène (17-15 Ma) avec intrusion du dyke rhyolitique.
- Activation tectonique cassante postérieure avec mouvement de faille normale contrôlant la géométrie du dyke[2, 3].

1.6. Condition hydrogéologique

La région est quasiment dépourvue de cours d'eau permanents, à l'exception de l'oued Ouider, situé à l'ouest du gisement, dont le débit atteint 2 L/s mais qui demeure à sec durant l'été. On y observe occasionnellement de petites sources, avec des débits modestes variant entre 0,1 et 0,2 L/s. Par ailleurs, des eaux souterraines sont présentes dans les galeries de l'ancienne mine de plomb-zinc, située à environ 800 mètres du site. Il convient également de noter que la zone est délimitée au nord par le littoral méditerranéen, à environ 5 km du gisement[1].

3. Historique de la mine d'Aïn Barbar (Annaba)

3.1.Phase de prospection et d'évaluation

- **1971** : Élaboration d'une carte géologique au 1/50 000 par Boltenkov pour le compte de SONAREM (feuille Seraïdi).
- **1974–1976** : Mise en évidence du gisement de feldspath par la division recherche de la SONAREM.
- **1976** : Première évaluation des réserves en felsite réalisée par SONAREM.

3.2. Développement et exploitation

- **1979** : Lancement des travaux préparatoires pour l'ouverture de la carrière.
- **1984** : Fermeture de la mine voisine de Cuivre-Plomb-Zinc.
- **1987** : Démarrage de l'exploitation de la mine à ciel ouvert de feldspath à Aïn Barbar.

3.3. Arrêtd'activité et liquidation

- **1995** : Arrêt de l'exploitation pour des raisons sécuritaires.
- **Début des années 2000** : Dissolution de SOFELD et liquidation du patrimoine industriel (vente des équipements de la carrière et des installations de traitement : concassage, criblage, broyage).

3.4. Relance du projet

- **2012–2017** : Le projet de réouverture de la mine est inscrit dans le plan quinquennal de l'ENOF.
    - Prévision de la mise en place d'une nouvelle unité de traitement d'une capacité de 60 000 tonnes/an, pour le marché local et éventuellement l'export.
- **Mai & Août 2018** : Réception de 19 conteneurs contenant les équipements de la future usine de traitement du feldspath.
    - Ces équipements sont en cours de montage sur le site d'Aïn Barbar (Annaba)

3.5. Contexte géologique du massif d'Edough

- Depuis **1840**, le massif de l'Edough est reconnu pour ses indices de minéralisations polymétalliques (cuivre, plomb, zinc).
- **1962** : Publication des travaux de thèse de Hilly, l'étude la plus détaillée sur la région.
- La région de la mine d'Aïn Barbar présente des formations du Crétacé et du Paléogène, traversées par des roches magmatiques acides, notamment en amont de l'oued Ouider.

4. L'estimation des réserves du gisement d'Aïn Barbar

L'évaluation initiale des réserves du gisement de feldspath d'Aïn Barbar a été réalisée par SONAREM en 1976, sur la base de trois tranchées et cinq sondages inclinés à 70° vers le sud-est, sur le bloc 5. Les sondages, longs de 41,5 m en moyenne, visaient une profondeur de -40 m. Cette étude a permis de calculer des réserves en catégorie **B** de **340 144 tonnes** et, par extrapolation jusqu'à -50 m, des réserves en catégorie **C1** de **1 613 993 tonnes**. Le BRGM a validé ces estimations en 1996, tout en soulignant que les réserves certaines étaient insuffisantes sans exploration complémentaire sur les autres blocs (1, 2, 3, 4, 6 et 7), qui n'ont été étudiés que par échantillonnage de surface.

Dans le cadre d'une étude plus récente Au 30 septembre 2023 menée par GEOFIELD, une tranchée et un sondage (S AB1bis) ont été réalisés sur le bloc 5, interceptant la felsite entre 9,4 m et 48 m de profondeur. Ce qui a permis d'estimer les réserves à 340 144 tonnes. Par ailleurs, les réserves en catégorie C1, qui s'élèvent à 1 613 993 tonnes L'analyse critique des données historiques montre que les estimations de SONAREM utilisaient le système de classification russe (catégories B, C1, C2), où les termes "réserves" et "ressources" sont souvent interchangeables. Pour se conformer aux standards internationaux, le code **JORC** (Joint Ore ReservesCommittee) a été adopté dans les rapports récents.

Le code JORC distingue clairement les ressources mesurées, indiquées, et présumées, selon la précision géologique, et les réserves prouvées et probables, selon la viabilité économique. Ainsi, les réserves B du SONAREM sont considérées comme ressources mesurées selon le code JORC, tandis que les C1 sont des ressources mesurées ou indiquées, et les C2 correspondent aux ressources déduites, trop incertaines pour être classées comme réserves exploitables[1, 4] .

Tableau1 : les reserves

Tableau les reserves Géologiques et les reserves exploitable

	Réserves Géologiques clôturées au 30/09/2023				Réserves exploitable clôturées au 30/09/2023			
FELDSPATH	**B (ts)**	**C1(t)**	**C2(t)**	**B+C1+C2 réserve géologique**	**B (ts)**	**C1(t)**	**C2(t)**	**B+C1 Réserve exploitation**
BLOC 01	0	435 740	547 983	983 723	0	435 740	547 983	435 740
BLOC 02	0	179 903	238 110	418 013	0	179 903	238 110	179 903
BLOC 03	0	494 197	438 207	932 404	0	494 197	438 207	494 197
BLOC 04	0	312 279	84 361	396 640	0	312 279	84 361	312 279
BLOC 05	340 144	110 628	799 891	1 250 663	340 144	110 628	799 891	450 772
BLOC 06	0	81 246	0	81 246	0	81 246	0	81 246
Total Mine	**340 144**	**1 613 993**	**2 108 552**	**4 062 689**	**340 144**	**1 613 993**	**2 108 552**	**1 954 137**

4.1 Caractéristiques des blocs

Tableau 2 : Caractéristiques des blocs

Bloc	**Longueur (m)**	**Puissance réelle (m)**	**Puissance horizontale (m)**	**Pendage (°)**	**Azimut de Direction (°)**
1	97	10.3	13.7	50	55
2	231	15	17.5	60	60
3	125	19	23.8	55	65
4	62	14.8	16.6	60	55
5	**238**	15.5	16.1	75	80
6	134	14.8	16.7	65	70
7	300	22.5	__	__	__
Moyenne	169.57	15.1	17.4	61	67

5. La roche encaissante (schistes)

La roche encaissante du dyke Felsique est principalement constituée de schistes, une roche métamorphique reconnaissable à sa structure feuilletée appelée schistosité. Celle-ci résulte de l'alignement parallèle de minéraux plats (phyllosilicates) ou allongés (inosilicates), formés sous l'effet du métamorphisme, ce qui confère à la roche une certaine fragilité. La couleur du schiste varie du noir au blanchâtre, en passant par des teintes verdâtres et brunâtres. Les cassures suivant les plans de schistosité présentent généralement un aspect lustré, et les minéraux métamorphiques qui les composent sont visibles à l'œil nu. Sur l'échelle du métamorphisme, le schiste se situe entre l'ardoise, dont il est plus métamorphisé, et le gneiss, auquel il reste inférieur. Il se distingue également par sa dureté, son éclat, l'absence de fossiles ou d'hydrocarbures, ainsi que par la taille observable de ses minéraux.

Les roches encaissantes du dyke présentent en outre des caractéristiques lithologiques spécifiques : ce sont des formations semi-rocheuses de stabilité moyenne, essentiellement constituées d'argilites schisteuses à composition aléuro-pélitique et à structure lamellaire, parfois feuilletée. Selon J. Hilly, leur composante argileuse est majoritairement formée d'illite (80 %) et de chlorite (20 %). Du point de vue physique, ces roches possèdent une densité spécifique comprise entre 1,9 et 2,10 g/cm³, une capacité d'absorption d'eau allant de 2 à 5,1 %, et un taux d'humidité variant de 0,4 à 2,7 %[1, 5].

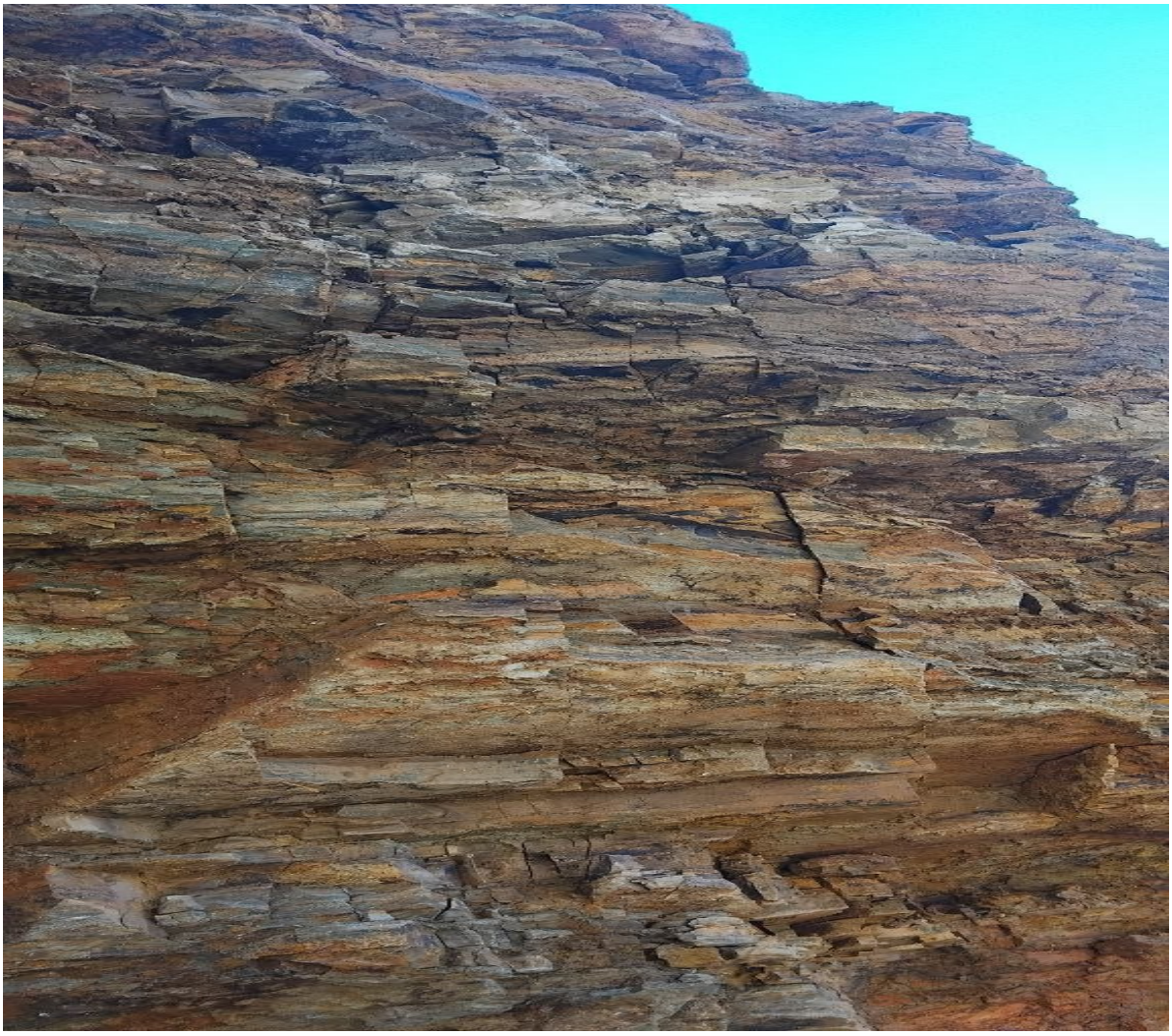


Fig I .3 : Schiste satiné d'Ain-Barbar

Chapitre II



Conditions minières

II.1. Données générales

Le gisement de Felsite d'Ain Barbar (commune de Seraidi) est situé dans la partie septentrionale du massif de l'Edough, amont de l'Oued Ouider. Le centre administratif est représenté par la ville de Annaba (Daïra de Annaba ; Wilaya de Annaba) qui se trouve à 35 km du gisement et il est accessible par la route W16.

II.2. Ressources du gisement

Les réserves du gisement de felsitede Ain Barbar ont fait l'objet d'une première évaluation par sonarem en 1976 (voir tableau 1), puis un deuxième calcul dans le cadre de l'étude de faisabilité du projet est fait par SOFELD qui a confirmé les résultats obtenus par sonarem. En plus une évaluation des réserves du bloc 7a été faite et ils l'ont estimé en catégorie C2

Tableau1: réserve calculée par sonarem 1976 (rapport géologique sonarem)

BLOC	Epaisseur (m)	B1(tonnes)	C1 (tonnes)	C2 (tonne)	B+C1 (tonnes)s)
1	13,20	_	179.903	238.110	179.903
2	17,50	_	494.192	438.207	494.192
3	23,80	_	313.099	_	313.099
4	16,60	_	110.628	84.361	110.628
5	15,16	382.351	435.740	547.983	818.091
6	16,70		263.481	799.891	263.481
TOTAUX	_	382.351	1.797.043	2.108.552	2,179.394

Tableau 2: réserve calculée par SOFELD 1998 (rapport d'expertise Mr : IDIR 1998)

BLOC	Epaisseur (m)	B1(tonnes)	C1 (tonnes)	C2 (tonne)	B+C1 (tonnes)s)
1	13,20	_	211,750	211,750	238,110
2	17,50	98,238	392,954	491.12	438,207
3	23,80	187,860	125,239	313,099	_
4	16,60	_	110,68	110,628	84,361
5	15,16	366,628	435,740	802,368	547,983
6	16,70	110,182	257,091	367,273	1,173,940
7	_	_	_	_	2.000.000
TOTAU X	_	762,908	1.533.402	2,296,310	4.482.601

II.3. Estimation des réserves

Dans le rapport SONAREM 1976, il y a des estimations des réserves des blocs de 1 à 6 à travers la méthode des blocs

Les réserves sont classées avec le Système Russe. Les réserves de catégorie B ont été calculées uniquement sur le bloc 5 et sont délimitées à la surface par les tranchées et les traces d'échantillonnage et en profondeur par les sondages.

Les réserves de la catégorie C l'ont été calculées sur tous les blocs et sont délimitées à la surface dans les tranchées et les traces d'échantillonnage et en profondeur à la cote de -50m ; dans le bloc 5, les réserves C1 sont présentées au-dessous de celles de catégorie B jusqu'à -50. Les ressources/réserves de la catégorie C2 ont été calculées dans tous les blocs à partir de -50m jusqu'à 350m au-dessus du niveau de la mer (la plus faible proportion d'affleurement du dyke felsitique).

Dans le rapport SOFELD-BRGM 1998, ils ont donné des évaluations des "réserves fortement probables" pour les blocs de 2 à 5 et des "réserves possibles" pour les blocs 6 et 7.

La compagne d'évaluation (SONAREM en 1976) a été menée à l'aide de (03) tranchée set cinq (05) sondages inclinés sur le bloc 5. Les sondages ont une longueur moyenne de 41.5 m incliné de 70° vers le Sud-est, afin d'intercepter la minéralisation au niveau de -40m en moyenne à partir de la surface topographique. La maille des sondages est 50 à 60m. Tandis que les tranchées T1 et T2 séparé de 60m et la distance entre T2 et T3 est de 120m. voir **tabelau 3**

Tabelau 3 :les réserves possibles

	RéservesGéologiquesclôturées au 30/09/2023				Réserves exploitable clôturées au 30/09/2023			
FELDSPATH	**B (ts)**	**C1(t)**	**C2(t)**	**B+C1+C2 réserve géologique**	**B (ts)**	**C1(t)**	**C2(t)**	**B+C1 réserve exploitation**
BLOC 01	0	435 740	547 983	983 723	0	435 740	547 983	435 740
BLOC 02	0	179 903	238 110	418 013	0	179 903	238 110	179 903
BLOC 03	0	494 197	438 207	932 404	0	494 197	438 207	494 197
BLOC 04	0	312 279	84 361	396 640	0	312 279	84 361	312 279
BLOC 05	340 144	110 628	799 891	1 250 663	340 144	110 628	799 891	450 772
BLOC 06	0	81 246	0	81 246	0	81 246	0	81 246
Total Mine	**340 144**	**1 613 993**	**2 108 552**	**4 062 689**	**340 144**	**1 613 993**	**2 108 552**	**1 954 137**

Au30/09/2023Les réserves en catégorie B ont été calculées uniquement sur le bloc 5 et sont délimitées à la surface par les tranchées et les traces d'échantillonnage et en profondeur par les sondages allant jusqu'à - 40m en moyenne de la surface topographique, qui ont fait ressortir 340144t tandis que les réserves en catégorie C1 qui s'élève à 1 613 993 t ont été extrapolés à -50m au-dessous des réserves en catégorie B. Dans le cadre de l'étude confiée au BRGM en 1996, ce bureau aconfirmé la validité de l'estimation des réserves faite par le SONAREM et ils ont considéré que les réserves certaines sont insuffisantes pour projeter une durée de vie économiquement exploitable en l'absence de sondages sur les Bloc1, 2, 3,4,6 et 7 qui ont été reconnus uniquement par échantillonnage des affleurements. Sur l'ensemble des sondages planifiés par la compagne BRGM1996, il était possible d'effectue trois tranchées dans chaque bloc. Dans le cadre de l'étude de faisabilité technique et économique pour la valorisation du gisement de feldspath d'Ain-Barbar confiée à GEOFIELD, ce dernier a réalisé une tranchée et un seul sondage sur le bloc5 en vue d'analyse et essais de traitement. Le sondage (S AB1bis) a intercepté la felsite entre les profondeurs de 9,4 m et 48 m à partir du niveau du sol.

II.3.1. Caractéristiques des blocs

Tabelau4 : Caractéristiques des blocs

Bloc	Longueur (m)	Puissance réelle (m)	Puissance horizontale (m)	Pendage (°)	Azimut de direction (°)
1	97	10.3	13.7	50	55
2	231	15	17.5	60	60
3	125	19	23.8	55	65
4	62	14.8	16.6	60	55
5	**238**	15.5	16.1	75	80
6	134	14.8	16.7	65	70
7	300	22.5	—	—	—
Moyenne	**169.57**	**15.1**	**17.4**	**61**	**67**

II.4. Qualité du felsite

II.4.1. Caractéristiques physiques

Le felsite est une roche de couleur blanche, souvent rosâtre et quelques fois brune, car elle est riche en oxyde de fer. Elle est compacte et souvent microcristalline avec une dureté élevée. Sa teneur élevée en silice lui donne la qualité d'une roche abrasive qui use les outils de foration, de concassage et de broyage.

Son poids volumique varie de 2,04 à 2,60 g/cm3. La moyenne du gisement est de 2,31 g/cm3.

II.4.2. Analyse minéralogique

- Quartz : 39,60%
- Feldspath potassique(orthose) : 53,20%
- Feldspath calco-sodique: 2,10%
- Micas (biotite 2,2%, séricite=2,9%) : 5,10%

Analysemoyenne des blocs :

Tableau 5 :analyse moyenne des blocs

BLOCS	SiO2	TiO2	Al2O3	Fe2o3	MgO	CaO	K2O	Na2O	PAF
1	74 ,55	0,04	12,50	**1,02**	0,08	0,56	9,19	0,28	1,10
2	74,55	0,04	13,18	**0,90**	0,06	0,64	9,22	0,27	0 ,76
3	74,22	0,03	13,27	**0,78**	0,01	0,57	9,61	0,31	0,70
4	74,69	0,06	12,85	**0,87**	0,06	0,56	9,07	0,29	0,75
5	74,67	0,05	12,66	**0,82**	0,04	0,56	9,35	0,28	1,20
6	74,93	0,05	12,00	**0,60**	0,06	0,59	9,65	0,26	0,75

II.5. régime de travail de la mine de Ain Barbar

Le régime de travail de la mine d'ain Barbar est présente comme suite :

- Nombre de jour ouvrable par an : 252 jours
- Nombre de jour ouvrable par semaine : 5 jours
- Nombre de postes par jour : 1 poste
- Nombre d'heures de travail par poste : 8h

II.6. EXPLOITATION MINIERE DU FELDSPATH DE AIN BRBAR

Tenant compte des conditions géologiques et minières du gisement tel que :

- Réserves géologique, exploitable, récupérable (selon la méthode d'exploitation
- Longueur du gisement, puissance, profondeur
- Angle d'inclinaison

Dans le cas du gisement de felsite de Ain Barbar et vu le relief montagneux l'exploitation se fait de haut vers le bas entre le niveau supérieur 600m et le niveau inférieur 300m pour les blocs (7,6,5,4,3) et le niveau 500 m et 300m pour les blocs (1,2).

On distingue deux phases d'exploitation l'une sur une hauteur de 50 M avec des gradins répartis de 10 mètres de hauteur (chaque gradin a une piste d'accès gardant toujours le pendage de 6% pour le transport du minerai.

Les travaux de découverture des roches encaissantes sont nécessaires car le coefficient de découverture varie entre 1,4 et 1,6 pour les filons (6,7) et 2,8 et 4,9 pour les filons (2,3,4). Alors les réserves récupérables sur une hauteur de 50 m sont de l'ordre de : 1.100.000 tonnes dont 400.000 T (1,2) et 700.000T (3,4,5,6,7).

L'autre phase se fait sur une profondeur de 250 m pour les filons (3,4,5,6,7) pour atteindre le niveau 300 m. Les réserves récupérables sont de l'orde de 4.100.000T et 1.200.000 T pour une hauteur de 150m pour les filons (1,2)

II.7. Plans d'exploitation du gisement d'Ain-Barbar :

Pour atteindre les objectifs de la production projetée de manière rationnelle, il a été décidé d'élaborer un plan d'exploitation du gisement de felsite pour guider les travaux d'extraction et assurer l'approvisionnement de la nouvelle usine en tout-venant. Les données de base disponibles et nécessaires à l'élaboration du projet sont :

- L'objectif de la production qui s'élève à 110 000 T/an en produits fini.
- Le rapport géologique SONAREM avec les données graphiques
- Plans topographiques du gisement au 1/1000 et 1/2000 établis par l'entreprise.

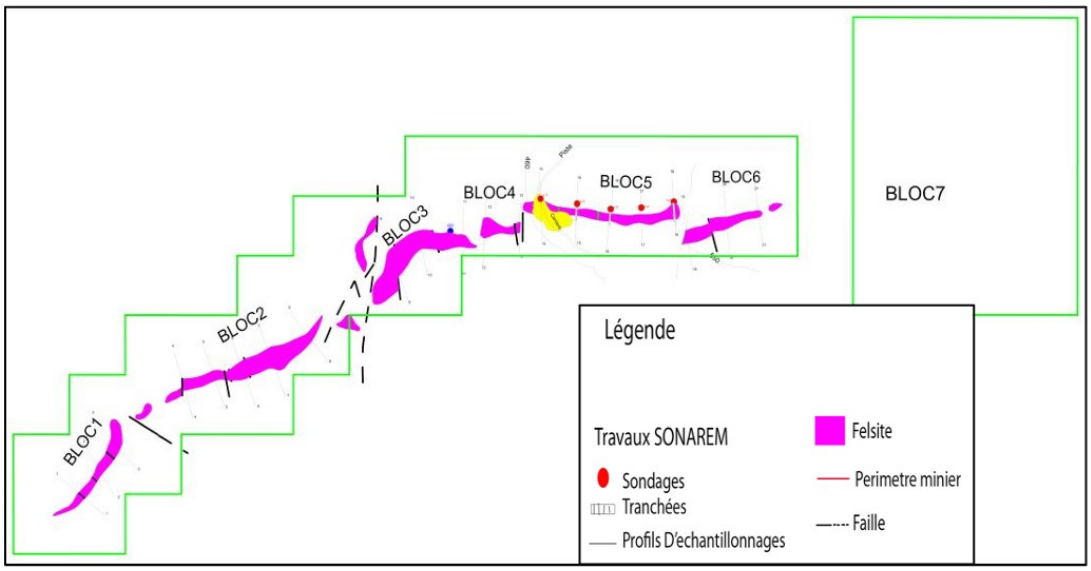
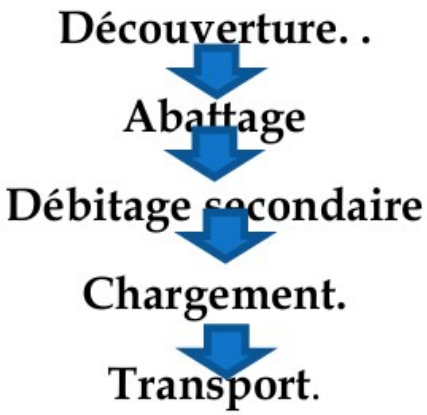


Fig II.5: les blocs de felsitedeainbarbar

II.7.1. Choix et paramètres de la méthode d'exploitation :

Le choix de la méthode d'exploitation dépond de la géomorphologie du gisement. Dans le cas d'Ain-Barbar les trois blocs 4,5 et 6 de dyke felsique encaissé dans schistes-argileux, sont alignés sur une longueur de 350 m suivant la pente topographique avec une dénivelée de 200m et un pendage sub-verticale de 60° à 78° vers le nord, ce qui rend leur exploitation assez complexe. Enfin, l'exploitation à ciel ouvert s'impose vu que la minéralisation affleure. Dans cette méthode, le coût d'extraction dépend des moyens utilisés, du volume et de la dureté des

roches encaissantes à enlever à partir d'une certaine profondeur (à -50m). Cependant, seul un plan d'exploitation permettra de cerner la profondeur de la fosse d'exploitation par le biais de rapport de découverture (stérile/minerai). Les travaux d'exploitation dans la carrière suivent le schéma technologique suivant :



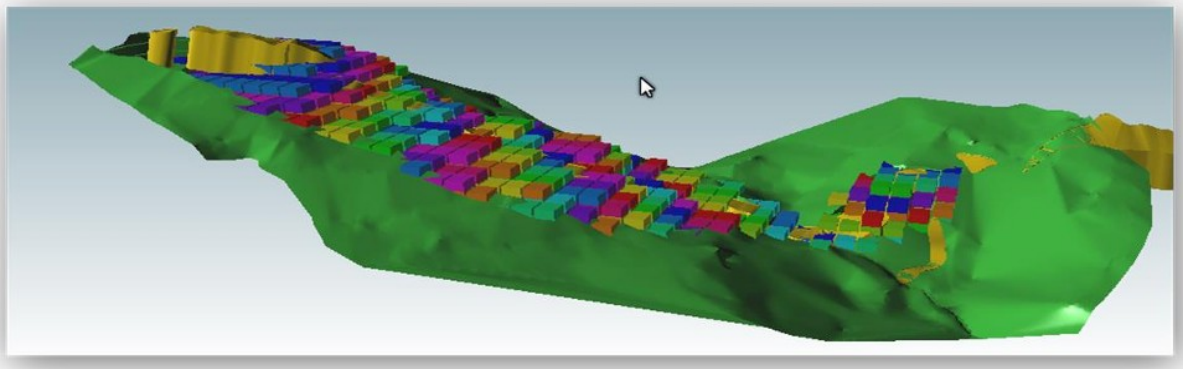


Fig II.6 :forme 3D des blocs

II.7.2. Conditions d'accès au gisement :

Les blocs de felsite peuvent être classés dans l'ordre croissant de difficulté d'accès comme suit :

- Blocs 5,4 en exploitation.
- Bloc 3, travaux préparatoires.
- Blocs 6 (proches de la route godronnée reliés à celle-ci par deux accès de 900 m et 700 m depuis le mois de Juin 2018
- Bloc 2, site éloigné relié par une piste carrossable.
- Bloc 1, site accidenté éloigné et isolé.

Soulignons enfin que le bloc 3, situé en aval du bloc 4 est à cheval sur un oued, ne pourra pas être exploité entièrement à cause de cet obstacle. Les trois blocs 6et 5,4 sont accessible par plusieurs pistes d'environ 2750 m, qui sont héritées de l'ancienne exploitation, reliées par deux pistes principales à la route glodronnée W16 répartis comme suit :

Tableau 6 : les niveux

Bloc	Accèsprincipale	Pistessecondaires	Niveau	Position
2	1000 m	200m	460m	En aval
		250m	455m	Au milieu
4	500m	525m	420m	En aval
		400m	450m	En amont
5		230m	470m	En aval
5	470 m	340m	480m	Au milieu
		300m	530m	En amont
6	900 m	500m 700m	570m 580m	En amont En amont

Les pistes d'accès au bloc VI ont été réalisées au mois de Juin 2018. Les pistes d'accès au bloc II et III ont été réalisées au mois de Juin 2023.

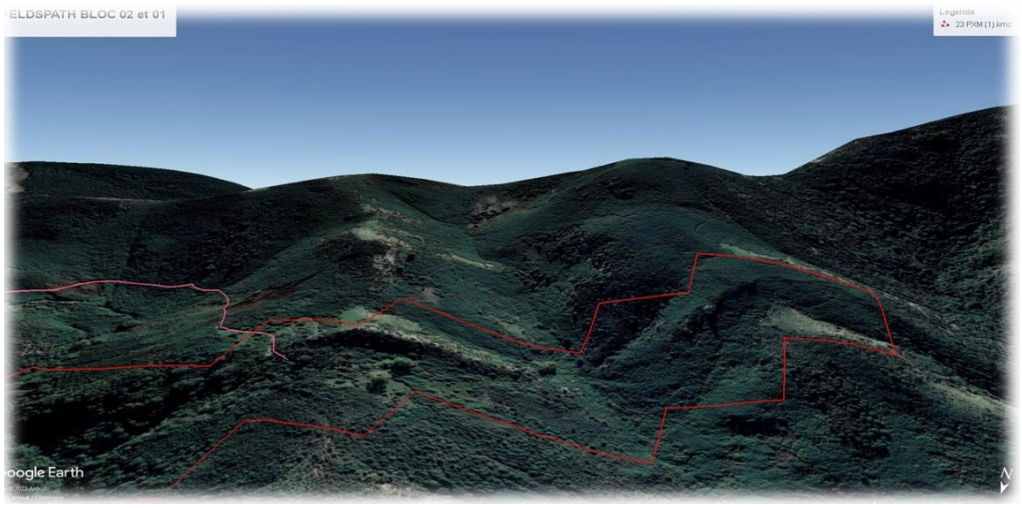


Fig II.7 : le giment de Feldspath

II.7.3. Etat actuel des travaux miniers :

L'exploitation du gisement a débutée en 1986 avec l'ouverture par l'ENOF d'une carrière sur le bloc 5, qui au fil des années s'est étendue aux blocs 4 et 3, situés dans le prolongement l'un de l'autre en aval. Ainsi la carrière s'étend aujourd'hui du niveau 570 qui constitue l'extrémité amont du bloc 6 jusqu'au niveau 420(bloc 04) qui est situé dans la partie nord du bloc 3. L'exploitation actuelle se résume comme suit :

- Les travaux de découverture des blocsII,III , VI et V sont en cours de réalisation.
- La découverture a débuté à partir du sommet du bloc VI (niveau 580m)



Fig II.8 : ouverture du bloc 02

II.7.4. Paramètres de configuration de la carrière

Pour assurer une exploitation dans de bonnes conditions de sécurité sans condamnés les autres de blocs de part est d'autre ainsi que les réserves sous-jacentes il est primordial de définir les caractéristiques géométriques de la carrière.

La limite d'exploitation est fixée à la profondeur des réserves B et C1 des deux blocs 5.4 et 4 à 50 m de la surface topographique.

La hauteur des gradins est de 10 m avec un talus de 70° et une banquette de 5 m pour la partie - La méthode des gradins verticaux sera maintenue pour l'extraction de minerai, avec des gradins verticaux de 10 m et banquette de 5m, ou d'un auteur de 5m pour simplifier l'abattage par brise-roche qui sera adopté dans ce plan.

Pour des mesures de stabilités, le talus de liquidation de la carrière est fixé a>50° par rapport à l'horizontale pour les argilites-schisteuses qui sont des roches moyennement cohérentes que la felsite.

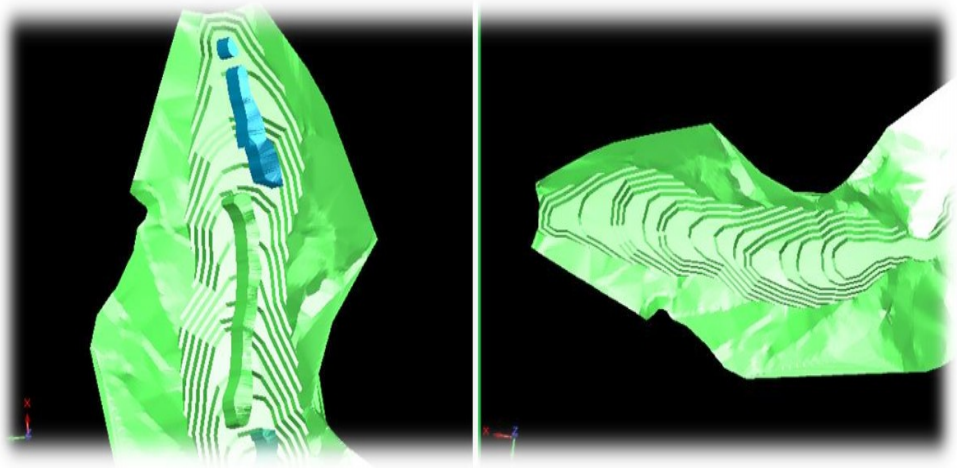


Fig II.9 : La phose final du bloc 6,5,4,3

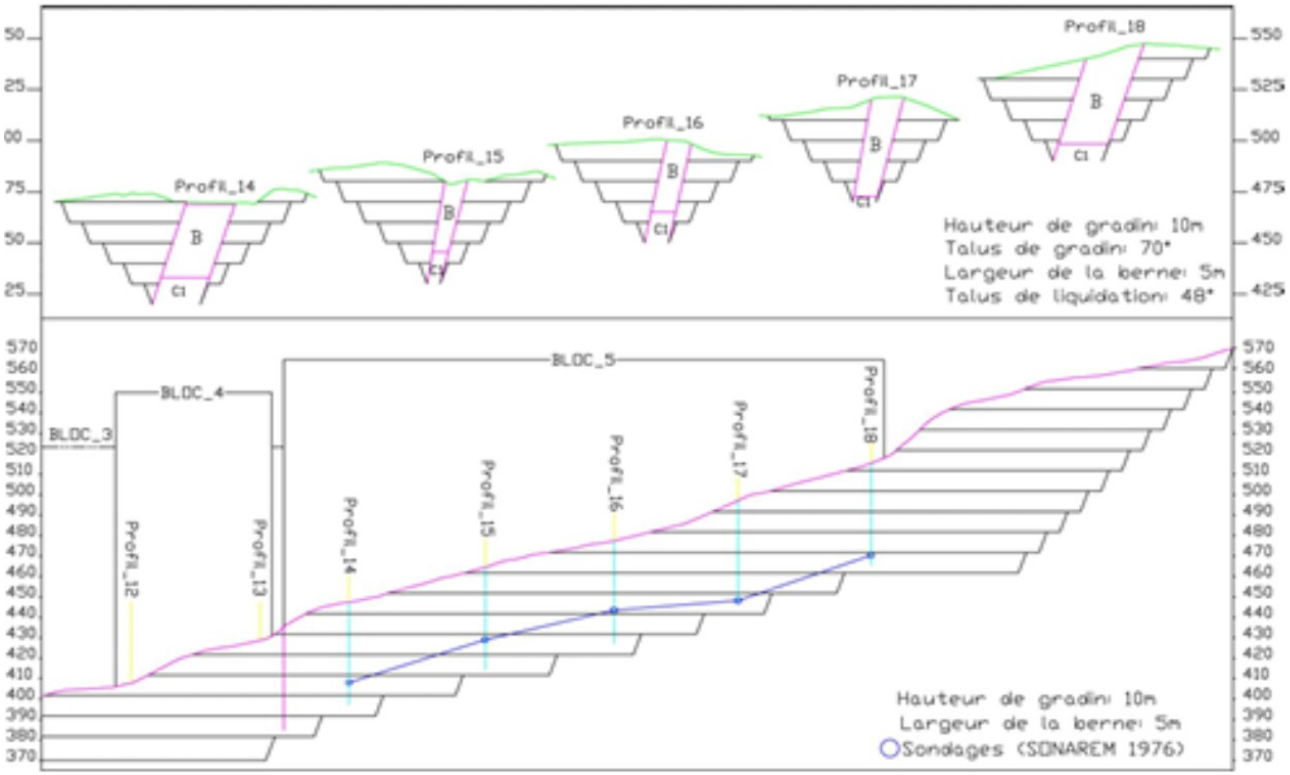
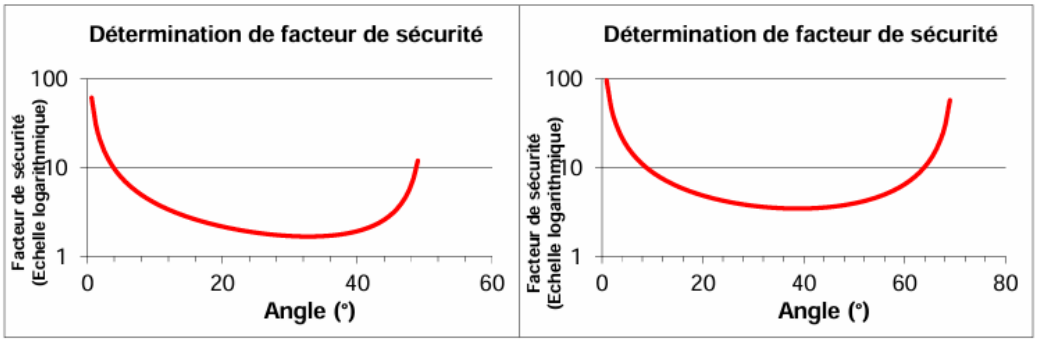


Fig II.10 : les niveaux des blocs

Tableau : Paramètres de stabilité de la fosse finale

Paramètres	*Un seulgradin (stérile)*	*Talus final*
Angle du talus⇨$_g$	70°	50°
Densité.→(Tonnes/m^3)	2	2
Angle de frottement↖	25°	25°
Coefficient de cohésionC	10 Mp	10 Mp
Hauteur du gradin h_g	*10 m*	*50 m*
Facteur de sécurité	*3,47*	*1.68*

L'angle de stabilité de talus de liquidation de la fosse finale qui est estimé à 50° est calculé en fonction des propriétés physiques de la roche encaissante notamment la densité, l'angle de frottement interne et la cohésion, qui montrent un facteur de sécurité acceptable de l'ordre de 1.68 qui ne doit pas être inférieure à 1.5. D'où le talus des gradins ne doit pas dépasser les 70°.



Facteur de sécurité de du talus de liquidation *Facteur de sécurité du gradin*

Fig II.11 :Facteurs de sécurite

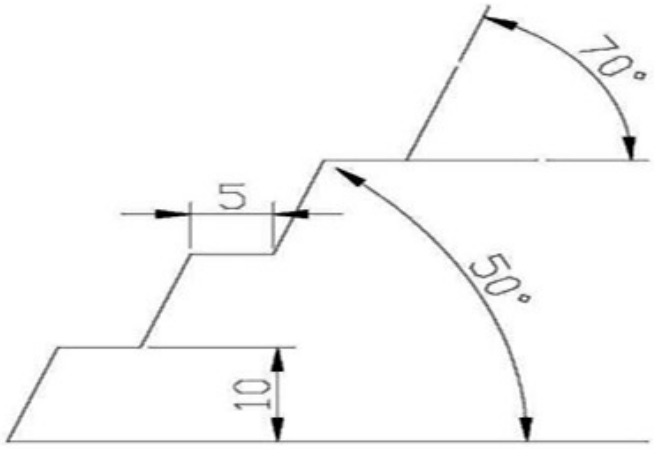


Fig II.12 : Caractéristiques géométriques des gradins.

II.8. Plan d'exploitation de blocs 6,5 et 4

II.8.1. Réserves exploitables et volume des stérile de découverture

Le cubage des réserves du minerai et du stérile sont estimées par la méthode Bloc-Model en utilisant les données de sondages et tranchées combinées avec le levé topographique au 1/1000, toute en tenant compte des paramètres suivant :

- Puissances des blocs de felsite en surface et des données de sondages
- Limite des réserves exploitable B et C1.
- La profondeur de la fosse finale
- Taille de la banquette, l'angle de talus et hauteur des gradins de la carrière.
- Poids volumique du minerai (3.2 T/m3).
- Poids volumique du stérile (2T/m3).

Cubage des réserves exploitables de blocs 5 et 6minerais et stérile :

Tableau : Cubage des réserves exploitables de blocs 5 et 6minerais et stérile

Niveaux	Stérile		Minerai		Rapport (stérile/minerai)
Altitude (m)	**volume m3**	**tonnes**	**volume m3**	**tonnes**	**Volume (m3)**
540- 550	24391	41464	129094	258188	5,2
550 - 560	28078	47732	131781	263563	4,6
560 - 570.	23419	39419	110125	220250	4,7
570 - 580	16250	27625	69078	138156	4,2

Pour les réserves de minerai, le volume de stériles de découverture est défini par les limites définitives d'exploitation de la carrière. Le taux global de découverture pour l'ensemble des réserves exploitables à 50 m de profondeur est de 5. Ce rapport correspond à la moyenne des différents niveaux d'exploitation.

Toutefois la profondeur d'exploitation est régie par le taux de découverture critique qui dépond de facteur économique.

En l'absence d'une étude de marché détaillée, il est difficile de définir le taux de découverture optimal pour une exploitation rationnelle du gisement. Pour une exploitation à

petite échelle 110 000 T/an, il est recommandé d'adopter un taux de découverture de 5 pour une première phase d'exploitation.

II.8.2. Travaux préparatoires

Tenant compte de l'importance de taux de découverture il sera nécessaire de commencer les travaux de découverture tout le long des deux fronts en amont tr la capacité projetée et d'éviter des ruptures d'alimentation car il y'a une quantité de stérile à découvrir pour d'assurer de bonnes conditions de sécurité pour l'exploitation.



Fig II.13:les traveaux préparatoire

II.8.3. Découverture

Le taux de découverture moyen fixé à une profondeur de -50m est de1/4



Fig II.14 :découverture

II.9. Moyens matériel nécessaires

Les moyens nécessaires à long terme d'extraction seront arrêtés sur la base de l'objectif de la production annuelle projetée du minerai marchand qui est de 110 000 T/an, et ont tenant compte du taux de découverture moyen estimé à 1/4 jusqu'à l'épuisement des réserves exploitables B+C1 des Trois blocs 4,5 et 6.

II.9.1. Pour l'abattage et la Découverture

NB : Camion TEREXTA300 en panne, prévision de réparation pour le transport du Tout Venant de la carrière à la Station.

II.9.1.1. Pour le Schiste

Tableau 9 : besoin et manqued'equipement

Equipement	Capacité	Disponible	Besoins	Manque
Pelle excavatrice à godet	2,2 m^2	00	01	-01
01 Bulldozer	700 m3 /par jour	01	01	00

OBSERVATIONS :

Suite aux rendements des équipements de production de la carrière, le besoin en moyens matériels s'exprime comme suit :

- 01 pelle excavatrice 2,2 m3 ou plus pour l'extraction.
- 01 pelle excavatrice 2,2 m3 pour assurer le chargement du Schiste



Fig II.15: Pelleexcavatrice

a) Caractéristiques d'unepelleexcavatrice

- Marque : DOOSAN.
- Type : DX420LCA
- Capacité du godet : 2,2 M3.

b) Rendementannueld'unepelle

- RAC = 3600.EG.D.NJ.NP.NH.KU.KR / Kf.TC (Tonnes /an).
- RAC : rendement annuel de la pelle (Tonnes/ an).
- EG : capacité du godet de la pelle' = 2.2 m3
- D : densité du tout-venant = 1,7 T/m3
- NJ : nombre de jours ouvrables par an = 366 j /an
- NP : nombre de postes par jour = 1 p /jour
- NH : nombre d'heures par poste = 11 h /poste
- KU : coefficient d'utilisation du pelle = 0,9
- KR : coefficient de remplissage de godet = 0,8
- Kf : coefficient de foisonnement = 1,2
- TC : durée d'un cycle de la pelle = 120 secondes.

RAP = 135 717.12

II.9.2. Transport

II.9.2.1. Transport de Stérile

- Rendement Annuel du Moyen de Transport de Stérile :

RAT1 = 3600.Eb.NJ.NP.NH.KU.KR/TC

- Eb : capacité de la benne = 18 Tonnes
- NJ : Nombre de jours ouvrables par An = 366 J/An.

- NP : Nombre de postes par jour= 1 P/Jour.
- NH : Nombre d'heures travaillées par poste = 11 H/Poste.
- KU : coefficient d'utilisation = 0,9
- KR : coefficient de remplissage de la benne = 0,8
- TC : Durée d'un cycle de transport = 720 secondes.

RAT1 = 171 360 t

- Le cycle de rotation camion : T.chareg+t.aller+t.décharg+t.retour = 12 minutes. (Pour un Camion)

II.9.2.2. Transport de minerai :



Fig II.16: chargement et transport de menerai

a) Caractéristiques du Camion de 18 tonnes :

- Marque du camion : TEREX
- Type du camion : TA 300
- Capacité de la benne : 18Tonnes.
- Nombre : 02.

Rendement Annuel du Moyen de Transport de 18 tonnes

RAT1 = 3600.Eb.NJ.NP.NH.KU.KR/TC

- Eb : capacité de la benne = 18 Tonnes
- NJ : Nombre de jours ouvrables par An = 252 J/An.

- NP : Nombre de postes par jour = 1 P/Jour.
- NH : Nombre d'heures travaillées par poste = 8 H/Poste.
- KU : coefficient d'utilisation = 0,6
- KR : coefficient de remplissage de la benne = 0,8
- TC : Durée d'un cycle de transport = 1200 secondes

RAT1 = 52254,72

- Le cycle de rotation camion : t.chareg+t.aller+t.décharg+t.retour = 20 minutes. (Pour un camion)

Remarque

Le coefficient d'utilisation des camions est faible suite à leurs états (des problèmes mécaniques et électriques)

Chapitre III



Traitement de produit

Chapitre III : Traitement des produit

Introduction

La fragmentation est l'une des premières étapes de la préparation mécanique des matériaux solides. Elle consiste à réduire la taille des blocs de roche extraits afin de faciliter leur manipulation, leur transport et leur traitement ultérieur. Cette opération est essentielle pour libérer les minéraux d'intérêt contenus dans la roche mère et permettre une meilleure efficacité dans les processus de séparation et de valorisation.

Dans le cas des matières premières destinées à la production céramique, comme le feldspath, la fragmentation permet d'obtenir une granulométrie adaptée aux exigences du processus de fabrication. Elle se déroule généralement en deux étapes : le concassage, qui assure une réduction grossière, suivi du broyage, qui affine davantage les particules. La qualité de la fragmentation influence directement la performance des étapes suivantes, notamment la purification, le mélange et la cuisson des matériaux.

Ainsi, la maîtrise de la fragmentation représente un enjeu technique et économique majeur dans la chaîne de transformation des ressources minérales.

III. Présentation de l'installation et du procès

III.1. Une ancienne station

Après abattage mécanique par brise roche, le tout-venant carrière de Feldspath, d'une grosseur maximale de 600 mm est acheminé vers les installations de concassage ou se déroulent en deux stades de concassage et une opération de classification.

1.1Concasseur primaire

Le T.V.C est déchargé dans la trémie réceptrice d'une capacité de 18 M3 dans laquelle est installé un alimentateur pré crible, la réduction se fait jusqu'à 0/100 mm)

- **Marque** : Babbytless année 1974
- **Type** : concasseur à mâchoire CMSE 1050 X 800
- **Capacité théorique : 30 - 80 T/h**
- **Etat :** vétuste



Fig III.1 :concasseur à mâchoire CMSE 1050 X 800

1.1.1 Concasseurs à mâchoires

Fonctionnent par compression simple et sont utilisés pour les matières dures. Le produit à traiter est compressé entre une mâchoire fixe striée et une mâchoire mobile disposée en V et animée d'un mouvement alternatif oscillant (excentrique, battement périodique).

Le concassage se produit par compression entre les deux mâchoires et le produit est éliminé par gravité. La mâchoire mobile est maintenue par une tige possédant un ressort de tension permettant le passage des corps plus durs sans risque de détérioration. Le réglage de cette tige permet aussi de modifier la grosseur des produits fragmentés. C'est un appareil robuste qui permet de réduire des roches de plusieurs tonnes en fragments de 100 à 200 cm. Un arrosage de la machine est parfois utilisé pour éviter l'échauffement des parties mécaniques.



Fig III.2 : Principe de la réduction de dimension

1.2 Concassage secondaire

Le produit issu du concasseur primaire (0-100 mm) est réduit à une granulométrie de 0-8mm à l'aide de trois concasseurs giratoire (deux GY36 et GY48).



Fig III.3 : L'ancienne station

1.2.1 Caractéristique du concasseur secondaire

1. GIRATOIRE G48S

- Marque: Garnier année 1978
- Type: à cône gyrasphére 489 S
- Capacité théorique:140-380 T/hselon réglage
- Etat: vétuste

2. GIRATOIRE GY36 (02)

- Marque: Garnier année 1975
- Type : à cône gyrophare
- Capacité théorique: T/h selon réglage
- Etat :vétuste



Fig III.4: Concasseur giratoire

1.2.2. Concasseurs giratoire Et à cône

Sont cependant sensibles à une alimentation comportant des produits collants. Mais c'est le mode de concassage le plus facile pour des produits non argileux et présentant de grandes variations de broyabilité [6]

1.3. Classification

La séparation des particules selon la taille est réalisée par criblage ou tamisage). Cette opération de classement mécanique des particules solides permet de séparer une population de fragments de matière suivant leurs dimensions, au moyen d'appareils appelés cribles ou tamis. Pour cela, on utilise une surface perforée qui laisse passer les fragments de dimensions inférieures aux dimensions des orifices et qui retient les fragments de dimensions supérieures. C'est la méthode de classement mécanique volumétrique des solides la plus simple et la plus efficace qui n'est toutefois pas utilisable lorsque les particules sont trop petites et forment des poussières. Dans ce cas, la classification est effectuée au moyen d'un fluide auxiliaire ou par d'autres méthodes. Les opérations peuvent porter des noms différents selon la grosseur des particules à séparer. Le terme de criblage est surtout utilisé pour des opérations industrielles de classement de gros fragments alors que le synonyme de tamisage est plutôt réservé aux triages de particules plus petites et en particulier, à celles qui sont séparées au laboratoire. Ces opérations de classement direct peuvent être réalisées dans un :

- **Crible** qui est un appareil industriel permettant de séparer les gros grains (dimensions supérieures à 5-10 cm) des particules moyennes et dont la surface de triage est formée par des grilles, des disques ou des cylindres [6] ;

La classification du produit issu du concassage secondaire se fait à travers un crible vibrant à trois (03) étages d'une surface de criblage de 6.5 m².

Ce crible a été modifié pour assurer le classement de (02) gammes de produits 0-8 mm et 0-20 mm issu du criblage et pour assurer une meilleure qualité de produit et éviter toute pollution.

Le produit Supérieur à 20 mm sera recyclé par les Concasseurs secondaire.

Tous les produits sont stockés séparément dans des aires de stockage aménagées à cet effet.

1.3.1 Caractéristique du crible de classification :

- **Marque :**Neyrtec Année 1996
- **Type :** 1450 X 4550
- **Surface de cribbage :** 6.5 m²
- **Etat :** vétuste

2. Rétrospectives des réalisations

La production de produit fini est positivement en évolution comparativement a l'années précédentes. (Au 30sept =30160tonnes)

III.2. Nouvelle station projet Feldspath

La nouvelle station feldspath qui est en phase de finition sera d'une capacité de 80 000 tonne/an.

Répartie en deux produits :

- Feldspath 00-03 : qui représenteras 70% de la production (50 000T/an).
- Feldspath micronisé : qui représenteras 30% de la production (30 000T/an).

II.2.1. Présentation de l'installation et du procès

Après abattage mécanique par brise roche, le tout-venant carrière de Feldspath, d'une grosseur maximale de 600 mm est acheminé vers les installations de concassage ou se déroulent en deux stades de concassage et une opération de classification.

1.1. Concasseur primaire



Fig III.5 : nouvelle station

Le T.V.C est déchargé dans la trémie réceptrice d'une Capacité de 25 M3 .dans laquelle est installé un alimentateur scalpeur à 2 étages.

(La réduction se fait jusqu'à 0/100 mm)

CONCASSEUR A MACHOIRE MODELE BR900

- **Type** : concasseur à mâchoire
- **Capacité théorique : 160à 290 T/h**
- **Etat :** neuve.

1.2. Caractéristique du concasseur graduateur :

Il y a 2 giratoire :

- **Marque :** MEM Année 2018
- **Type** : concasseur granulateur a mâchoire modèle fr75
- **Capacité théorique : 30à 55 T/h**
- **Etat :** neuve

1.3. Caractéristique crible :

Il y a 2 cribles vibrant 1500*4000 à 2 étage

- **Marque** : MEM Année 2018
- **Type** : crible vibrant
- **Capacité théorique :120 M3/h**

- **Etat :** neuve



Fig III.6:2 cribles vibrant

1.4. Caractéristique des broyeurs

Il y a 2 broyeurs :

- **Marque:** MEM Année 2018
- **Type** : broyeur a anneau roulantaro major
- **Capacité théorique : 15 à 25t/h**
- **Etat :** neuve.



Fig III.7: Broyeur

1.5. Caractéristique crible pour fin

Il y a 2 cribles pour fin a 2étage :

- **Marque** : MEM Année 2018
- **Type** : cribles pour fin à 2étage**.**
- **Sélection :**0-700µm/ 700 µm-300mm

2.1. Planification de la production

Tableau 1 : Planification de la production

Désignation	Feldspath 00-0.3	Feldspath 00-0.8	Feldspath micronisé	Production
Objectif 2024	50 000	30 000	30 000	110 000
Jan	3400	1800	1800	7000
Fév	3400	1800	1800	7000
Mars	3400	1800	1800	7000
Avril	4500	2900	2600	10000
Mai	4800	3000	3200	11000
Juin	4800	3000	3200	11000
Juill	4800	3000	3200	11000
Aout	4800	3100	3100	11000
Sept	4800	3100	3100	11000
Oct	4500	2900	2600	10000
Nov	3400	1800	1800	7000
Déc	3400	1800	1800	7000

- **ancienne station :** feldspath 00-08 avec une quantité de 30 000 tonnes.
- **La nouvelle station feldspath :** avec un objectif de 80 000 tonne/an.

Répartie en deux produits :

- -feldspath 00-03 : qui représenteras 70% de la production (50 000T/an).
- -feldspath micronisé : qui représenteras 30% de la production (30 000T/an).

Chapitre IV

Partie expérimental

Chapitre IV: Partie expérimental

IV. 1 La production de céramique en Algérie

La production de céramique en Algérie

1. Définition de la céramique

Le mot céramique désigne essentiellement les poteries, porcelaine, brique. Il représente actuellement l'ensemble des matériaux inorganique non métallique [7].

Les céramiques sont à base d'oxydes (Al2O3, ZrO2, CaO, TiO2, K2O…etc.) Ce sont des matériaux qui conduisent à des températures supérieurs à 900°C à la formation d'un solide macroscopique homogène [8]. La structure et la microstructure sont définies lors du cycle d'élaboration, qui transforme des matières premières le plus souvent pulvérulentes en un matériau dense, idéalement exempt de pores [9]Ce sont des polycristaux qui sont fabriqués par frittage d'un mélange d'oxyde et que leur procédé de fabrication peut être modulé comme leur composition afin d'ajuster leurs performances diélectriques, mécaniques et piézoélectriques. Les propriétés des céramiques vont dépendre de leur microstructure, c'est à dire la morphologie, la nature des phases présente et la qualité de la surface [10].

2. Propriétés générales des céramiques

Les principales propriétés physiques, thermiques et chimiques des céramiques sont dominées par la nature des liaisons interatomiques et leur structure cristalline. Les liaisons ioniques et covalentes étant des liaisons fortes et stables, les températures de fusion des céramiques sont donc généralement très élevées. C'est pour cette raison que certaines sont utilisées comme matériaux réfractaires ou comme conteneurs à hautes températures. Du fait également de la stabilité des liaisons chimiques, les céramiques possèdent une grande inertie chimique et sont donc peu sujettes à la dégradation par corrosion. En ce qui concerne les propriétés mécaniques, les céramiques sont caractérisées par l'absence de plasticité (elles ont un comportement fragile), une dureté et une rigidité élevées, une faible résistance à la traction et une bonne résistance à la compression [11] . Les céramiques techniques sont très dures et résistantes aux températures élevées, mais les composants fabriqués à partir de ces matériaux cassent lorsqu'ils sont soumis à des conditions qui dépassent les valeurs seuils, tandis que les

composants métalliques peuvent subir une déformation plastique avant de se rompre. Ces différences sont déjà présents au niveau atomique : en céramique, des liaisons ioniques ou covalentes se produisent entre les atomes ; ils sont plus forts que les liaisons métalliques, mais ne permettent qu'un faible niveau de ductilité. Les composés ioniques-covalents mixtes jouent un rôle dominant dans les céramiques oxydées. Le plus important de ces matériaux est l'oxyde d'aluminium (Al2O3), également connu sous le nom d'alumine. C'est le matériau de choix dans plus de 80% de toutes les applications, que ce soit dans sa forme la plus pure ou en combinaison avec d'autres oxydes, tels que les silicates. L'Al2O3 joue un rôle clé non seulement grâce à ses propriétés exceptionnelles par exemple, il est résistant à l'usure, isolant électrique et résistant à la corrosion - mais aussi parce qu'il est le troisième composé le plus abondant dans la croûte terrestre, après l'oxygène et le silicium. Les propriétés exceptionnelles et supplémentaires de la céramique, qui compte parmi les membres du groupe non-oxydées, incluent une extraordinaire résistance à des températures extrêmement élevées

3. Classification des céramiques (traditionnelles et techniques)

3.1. Céramiques Traditionnelles

Les céramiques traditionnelles dites aluminosilicates, utilisent comme matières premières essentiellement des composés dont la structure cristalline comporte de l'aluminium et le silicium. Elles sont produites à partir d'argiles ou, dans le cas des céramiques nobles, de la matière constituant les argiles, le kaolin. On obtient les céramiques traditionnelles par cuisson (frittage), à partir d'argiles et les kaolins qui ont pour point commun d'acquérir, par mélange avec l'eau, des propriétés de plasticité qui en permettent la mise en forme d'objets. Ces matières premières sont dites plastiques. A l'opposé, on leur adjoint également des matières premières non plastiques dites également matières dégraissantes.

3.2. Céramiques techniques

À côté des céramiques traditionnelles très largement utilisées dans le bâtiment, on rencontre une grande variété de céramiques techniques indispensables à la réalisation d'un grand nombre d'activités technologiques dans les secteurs des plus divers: mécanique, électrotechnique et électronique, chirurgie, optique, industrie nucléaire, etc. Dans la majorité des cas, ces céramiques sont élaborées avec soin, depuis le choix et le traitement des matières premières (naturelles ou synthétiques) jusqu'aux étapes finales de fabrication, afin qu'on

puisse contrôler parfaitement les microstructures ainsi que la proportion et la morphologie des phases en présence [12]

V.2. L'essai de bleu de méthylène

Introduction

Les argiles occupent une place importante dans de nombreux domaines d'activités humaines, tels que le génie civil, la céramique, ou encore l'environnement. Cet intérêt s'explique par leurs propriétés spécifiques, non seulement d'ordre structural, mais également textural et de surface, notamment leur capacité d'adsorption. Les caractéristiques d'adsorption des argiles jouent un rôle déterminant dans le choix et l'efficacité de leur utilisation selon les applications envisagées.

Parmi les méthodes d'évaluation de ces propriétés, le test au bleu de méthylène est largement utilisé pour déterminer l'activité de surface et la teneur en fraction argileuse d'un échantillon. Il est donc pertinent d'étudier l'influence de certains paramètres expérimentaux sur cette méthode, afin d'évaluer leur impact sur les résultats obtenus et d'optimiser les conditions d'analyse.

1. Valeur de bleu de méthylène d'un sol (VBS)

Le VBS est une grandeur qui exprime globalement la quantité et l'activité de l'argile qui se trouve dans un matériau étudié [13].

2. Définition du bleu de méthylène dans le domaine des argiles

Le bleu de méthylène est un colorant organique utilisé en géologie et en minéralogie, notamment pour évaluer la capacité d'adsorption des argiles. Ce test, appelé test au bleu de méthylène, permet de déterminer la surface spécifique des argiles et de détecter la présence de minéraux argileux gonflants, comme la montmorillonite. Il consiste à ajouter progressivement une solution de bleu de méthylène à un échantillon d'argile en suspension dans l'eau jusqu'à ce que le colorant ne soit plus adsorbé, ce qui indique que les sites actifs de la surface argileuse sont saturés[14].

3. L'essai de bleu de méthylène

L'essai au bleu de méthylène, également appelé « essai au bleu », est un essai utilisé en géotechnique pour déterminer la propreté d'un sable, d'un granulat et plus généralement d'un sol, et les différents types d'argiles qu'il contient. Le bleu de méthylène est en effet adsorbé

préférentiellement par les argiles du type montmorillonites (argiles gonflantes) et les matières organiques. Les autres argiles (Illites et Kaolinites) sont peu sensibles au bleu.



Fig IV.1: L'essai de bleu de méthylène

4. L'Objectif de bleu de méthylène

L'essai au bleu de méthylène a pour objectif de déterminer la teneur en argiles actives dans un échantillon, qui possède une forte capacité d'adsorption. Cet essai repose sur la propriété qu'ont certaines argiles d'adsorber le bleu de méthylène, un colorant cationique, à leur surface. Plus la surface spécifique des particules est grande, plus la quantité de bleu adsorbée est importante.

Il permet ainsi d'évaluer l'activité colloïdale des argiles et leur influence sur les propriétés physiques des matériaux, notamment dans le domaine de la céramique, où la plasticité, le retrait au séchage, et le comportement à la cuisson est fortementLié à la nature des argiles présentes.

5. Le principe de base

Consiste à ajouter progressivement une solution de bleu de méthylène à un échantillon d'argile en suspension dans l'eau, jusqu'à ce que la surface d'adsorption soit saturée, ce qui est observé par l'apparition d'un halo bleu persistant. Cette méthode est particulièrement utile dans le domaine des matériaux de construction, où la présence excessive d'argiles gonflantes peut nuire à la stabilité des bétons ou à la qualité des céramiques. Elle est également utilisée pour contrôler la pureté des matières premières et orienter les choix de traitement ou d'exploitation minière[15].

6. Appareillages



Echantillon tamisé en 0,3



Blue de méthylène en poudre



Bécher



Balance

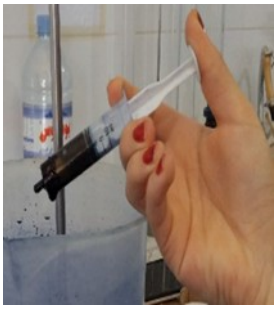




Appareil malaxeur (Ou kit pour essai au bleu)



Des gants



Seringue



Papier filtre



Baguette en verre



Tamis (0-2)

Fig IV.2 : Appareillages

7. L'essai se déroule sur 3 étapes

Etape 1 : Préparation de solution de bleu de méthylène

- On chauffe 1 litre d'eau distillée à 40° C
- Après on pèse 10g de poudre de bleu de méthylène ;
- Entonnoir On verse la poudre dans l'eau distillée et on place dans l'agitateur magnétique pendant un certain temps ;
- Sous l'agitateur ; on ajoute progressivement 1 ml de l'eau distillé pour avoir le dosage 10g/l ;



FigIV.4 : Préparation de solution de bleu de méthylène

Remarque

On cache la solution à l'abri du soleil et de la lumière en général;

La période de validité de la solution, un mois, sera préparée à nouveau à la fin de la période

Etape 2 : Détermination de la VBS

Le principe de l'essai consiste à introduire des quantités croissantes de bleu de méthylène par dose successive, jusqu'à ce que les particules argileuses en soient saturées.

On ajoute 500ml de l'eau distillé au bécher puis on verse 201,8 l'échantillon de la poudre de Feldspath dans le bécher ;

On place le récipient d'essai sous l'appareil ;

On règle l'appareil malaxeur à une vitesse de 600 tr/min de temps pendant 5 min minutes ;

Après on ralentie la vitesse jusqu'à 400tr/ min

On ajoute des doses successives de bleu de méthylène à l'aide d'une Seringue et on démarre l'agitation pendant 1 min

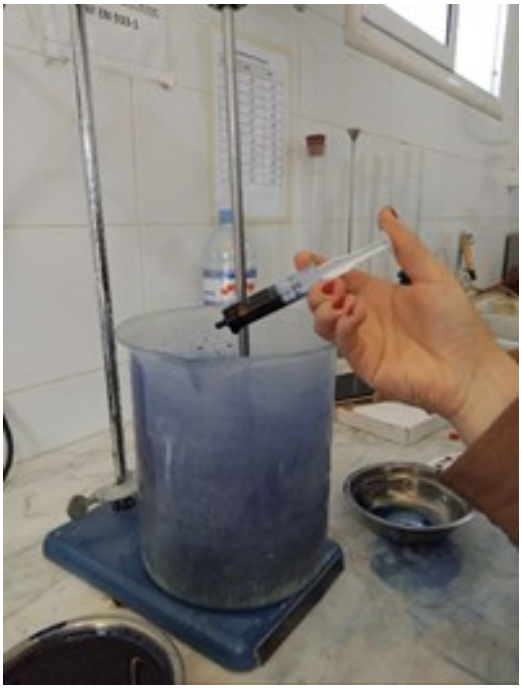


Fig IV.5: L'ajout de solution (bleu de méthylène

Puis à l'aide de la baguette en verre on effectue des tests des taches sur le papier filtre avec des gouttes

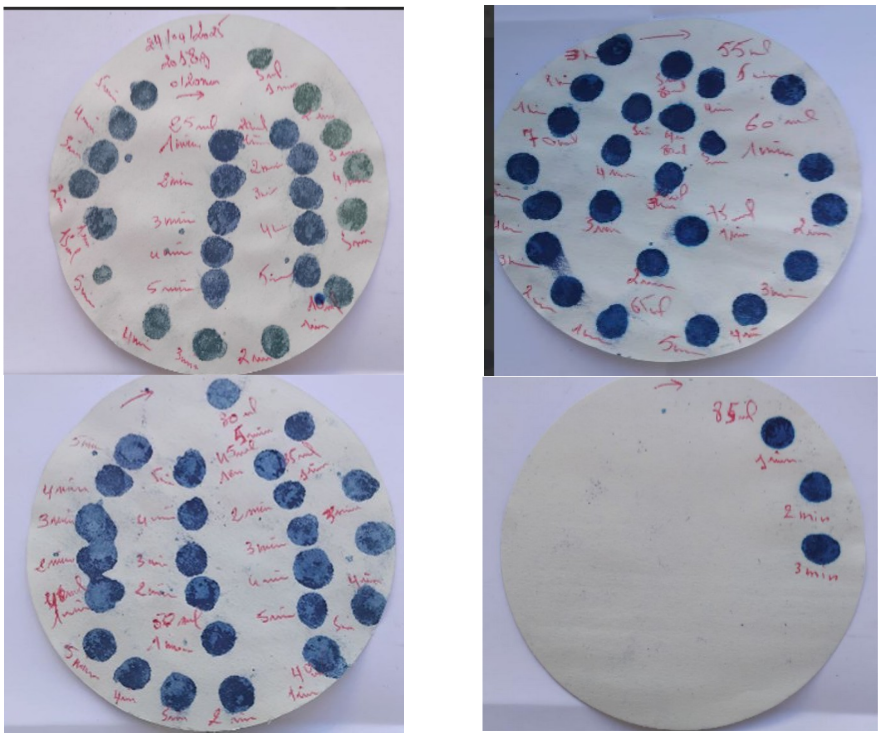


Fig IV.6:Essai à la tache réalisée au laboratoire de SOTRMA-TEBESSA

On répète le processus plusieurs fois jusqu'à l'obtention de la couleur désirée. - Sur le papier :

- La couleur claire : ça veut dire teste Positif (tâche avec auréole) ;
- La couleur sombre: ça veut dire teste Négative ;
- Cette opération sera répétée autant de fois qu'il sera nécessaire jusqu'à ce que le test de la tâche soit positif (tâche avec auréole).

Etape 3 : Calcul de la VBS

Valeur de bleu pour les matériaux

$$VBS = \frac{VB}{M} * 100$$

VB* : *quantit é de bleu ajouté

M: La masse de l'échantillon

$$VBS = \frac{80}{201,8} * 100 = 4$$

Tableau 1: Nature du sol selon le valeur de bleu du sol

Valeur de bleu du sol	Nature du sol
<0,2	Sols sableux
0,2 2,5	Sols Limoneux
2,5 -6	Sols Limoneux-argileux
6-8	Sols argileux
>8	Sols très argileux

8. Interpretation des resultats :

À travers cette étude, nous avons mis en lumière l'importance du feldspath dans la composition des pâtes céramiques, en tant qu'agent fondant permettant de réduire la température de cuisson et d'améliorer les propriétés mécaniques et esthétiques du produit fini. Cependant, cette évolution ne peut être dissociée du rôle fondamental de la matière argileuse, qui constitue la base structurelle de toute production céramique.

La synergie entre l'argile et le feldspath est essentielle : l'argile assure la plasticité et le façonnage, tandis que le feldspath intervient principalement lors de la cuisson pour favoriser la vitrification. L'étude du gisement de feldspath d'Ain Barbar, l'un des plus importants d'Algérie, a permis de mieux comprendre les potentialités locales en matière de ressources naturelles pour l'industrie céramique.

Ainsi, l'exploitation rationnelle et durable de ce gisement, en complément de matières argileuses adaptées, représente un atout stratégique pour le développement d'une filière céramique nationale performante. Investir dans la recherche, la caractérisation et la valorisation de ces matériaux est une voie prometteuse pour renforcer l'autonomie industrielle et améliorer la qualité des produits finis en Algérie

V.2 L'essai de ES (Equivalant de sable)

1. Le but de l'essai

Cet essai consiste à séparer les particules fines contenues dans le sol des éléments sableux plus grossier. Une procédure normalisée permet de déterminer un coefficient d'équivalent de sable qui quantifie la propreté de celui.

2. Principe de l'essai L'essai

Est effectué sur la fraction 0/3 mm 0/1 mm et du matériau à étudier. Le tamisage se fait par voie humide pour ne pas perdre d'éléments fins. (NP, dans cette manipulation on n'aura pas fait de tamisage préalable pour des raisons de temps et on partira d'un échantillon d'éléments fin). On lave l'échantillon selon un processus normalisé et on laisse reposer le tout. Au bout de 20 mn, on mesure les éléments suivants:

- La hauteur h1 : sable propre + éléments fins
- la hauteur h2 : sable propre seulement

On en déduit l'équivalent de sable : ES = (h1/h2) 100 % Il y a 2 façons de mesurer h2, soit visuellement pour déterminer ESV (équivalent de sable à vue), soit avec un piston pour déterminer ES.

Le mode opératoire à une grande influence sur le résultat donc il faut le suivre scrupuleusement.L'essai est effectué avec 120 g de grains.

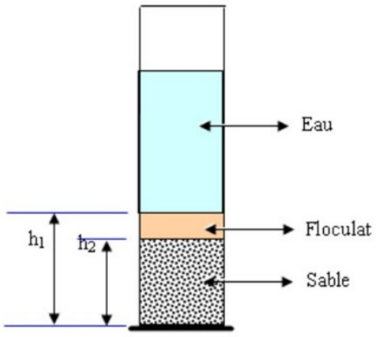


Fig IV.7 : Principe de l'essai

Tableau 2 : La qualité du sable

ESV (%)	ES (%)	Qualité de sable
ESV < 65	ES < 60	Sable argileux : risque de retrait ou de gonflement à rejeter pour des bétons de qualités.
65≤ ESV < 75	60≤ ES < 70	Sable légèrement argileux de propreté admissible pour béton de qualité courante quand on ne craint pas particulièrement le retrait
75≤ ESV < 85	65≤ ES ≤ 80	Sable propre à faible pourcentage de fines argileux convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité.
ESV ≥ 85	ES >80	Sable très propre: l'absence presque totale de fines argileuses risque d'entrainer un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.

3. Matériels utilisés

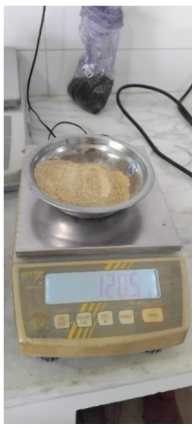
- ✓ Ce matériel est précisé par la norme NF P 08 501 :
- ✓ 04 éprouvettes, en matière plastique, avec 2 traits repères; bouchons.
- ✓ Entonnoir pour introduire le sable.
- ✓ Bonbonne de 5 l.
- ✓ Bouchon pour cette bonbonne, avec siphon et tube souple de 1.5 m environ.
- ✓ Tube laveur, prolongeant le tube souple; métallique.
- ✓ Machine agitatrice; électrique.
- ✓ Règle de mesure.
- ✓ Piston taré, dont la masse mobil est de 100 g : son diamètre d est légèrement inférieur à celui D des éprouvettes.
- ✓ Et aussi le matériel d'usage courant non spécialisé : tamis, spatule, récipients divers, balance, chronomètre.

4. Mode opératoire

En pèse 2 échantillons de feldspath de deux dimensions différents (0-3) (0-1)

Le feldspath préparé, on effectuera les opérations suivantes:

- ✓ La solution lavant est placée dans la bonbonne de cinq litres située à un mètre au-dessus du fond des éprouvettes, le dispositif siphonique est amorcé et il est relié au tube laveur.
- ✓ Pour l'étude, on utilisera 4 éprouvettes propres et on fera la moyenne des deux résultats.
- ✓ Remplir les éprouvettes graduées d'eau.
- ✓ Verser la quantité de sable (environ 120 g), et laisser reposer pendant 10 minutes.
- ✓ Boucher les éprouvettes et les faire agiter 90 fois aller et retour dans le sens horizontal puis remplacer verticalement.
- ✓ Laver le sable avec une solution lavant, et laisser reposer l'ensemble pendant 20 mm
- ✓ Mesurer la hauteur du sable propre (H2) et la hauteur du sable propre + éléments fins (H1).
- ✓ La mesure de(H2), n'est pas toujours aisée, ce qui conduit à faire la mesure la plus précise : [ES]
- ✓ Descendre lentement le piston dans l'éprouvette jusqu'à ce qu'il repose sur le sédiment, l'immobiliser, mesurer (H2).





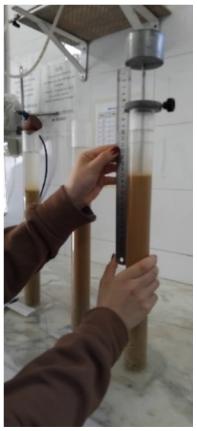




Fig IV.8: Appareillage pour l'essai d'équivalent de sable

5. Equivalent de sable visuel (E.S.V)

Après 20 min de dépôt, lire la hauteur h1, de niveau supérieure de floculat jusqu'au fond de l'éprouvette à l'aide d'une règle.

- Mesurer également avec la règle la hauteur h2 compris entre le niveau supérieur de lapartie sédimentaire du fond de l'éprouvette

  ESV = (h2/h1) 100%

  Avec :

h1 : hauteur du sable plus floculat.

h2 : hauteur du sable.

Equivalent de sable piston (E.S.P)

Introduire le piston dans l'éprouvette et la laisser descendre doucement jusqu'à ce qu'il repose sur le sédiment, à cet instant bloquer le manchon du piston et sortir celui-ci de l'éprouvette.

ESP = (h'2 / h1) 100%

Avec:

- **h1 :** hauteur du sable plus floculat.
- **h'2:** hauteur du sable

2 échantillons tamisés :

Tamis 2 mm	Tamis (0/3)
Echantillon 1:	**Echantillon 3:**
(h1)=30.9 cm	(h1)=27.9 cm
(h2)=8, 4 cm	(h2)=9, 5 cm
(h'2)=6 cm	(h'2)= 7,1 cm
Echantillon 2:	**Echantillon 2:**
(h1)=29.9 cm	(h1) =29.9 cm
(h2)=9, 9 cm	(h2) =9, 9 cm
(h'2)= 5, 5 cm	(h'2) = 5, 5 cm

Es = (h2/h1) * 100 (visuel)

Es = (h'2/h1) * 100 (visuel)

L'ES

1- 27,18 %	2- 30,4 %	3- 35,06 %	4- 32.64 %
1- 19,42 %	2- 18,38 %	3- 24 ,31 %	4- 24 ,31 %

L'impureté : 100 – Es		L'impureté : 100 – Es	
1- 72,82 %	69,6%	1- 64,94 %	67.36 %
2- 80,58	81,61 %	2- 73,8 %	75.69 %

6. Interprétation des résultats de l'essai d'équivalent de sable (Es)

L'essai de l'équivalent de sable (Es) a été réalisé afin d'évaluer la propreté des échantillons prélevés, en mesurant la proportion de fines argileuses indésirables. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau ci-dessus. Il en ressort que les valeurs d'Es varient entre 64,94 % et 81,61 %, ce qui indique une qualité variable des matériaux analysés.

Les échantillons 2 des deux séries présentent les valeurs les plus élevées (Es = 80,58 %, 81,61 %, 73,8 %, et 75,69 %), traduisant une faible teneur en impuretés et donc une bonne propreté du matériau, ce qui les rend particulièrement adaptés à une utilisation dans la fabrication de produits céramiques. En revanche, les échantillons 1, avec des valeurs

comprises entre 64,94 % et 72,82 %, présentent une qualité légèrement inférieure, bien que toujours acceptable selon les normes en vigueur.

De manière générale, un équivalent de sable supérieur à 70 % est considéré comme satisfaisant pour les usages industriels tels que la production de céramique. Ainsi, ces résultats confirment que la matière extraite du gisement d'Ain Barbar possède une qualité granulométrique favorable à son exploitation dans le domaine céramique.

L'essai de FRX

Introduction

La fabrication de produits céramiques repose en grande partie sur la qualité et la composition chimique des matières premières utilisées. Parmi ces dernières, le feldspath joue un rôle essentiel en tant que fondant, facilitant la vitrification lors de la cuisson. La connaissance précise de sa composition est donc indispensable pour évaluer son aptitude à l'utilisation dans l'industrie céramique. Dans cette optique, une analyse par Fluorescence des Rayons X (FRX) sera effectuée sur l'échantillon prélevé afin de déterminer avec exactitude les teneurs en éléments majeurs et en éléments traces. Cette méthode analytique, rapide et non destructive, permet d'obtenir des résultats fiables sur la nature chimique du feldspath et d'orienter ainsi son exploitation selon les exigences de la filière céramique.

1. Définition de FRX (Fluorescence des Rayons)

La XRF est une technique analytique polyvalente qui trouve des applications dans un large éventail d'industries et de domaines scientifiques. Son adaptabilité et sa précision en ont fait un outil indispensable pour comprendre et manipuler la composition élémentaire des matériaux. De l'identification des matériaux et le contrôle qualité dans les industries, à la préservation du patrimoine culturel et l'avancement de la recherche scientifique, la XRF continue de jouer un rôle central dans l'amélioration de notre compréhension du monde élémentaire [16] .



Fig IV.9 : Une machine XRF, ou spectromètre de fluorescence X

2. Avantages de l'analyse XRF

L'analyse par spectrométrie de fluorescence X présente de nombreux avantages comparés à d'autres méthodes chimiques dont. L'aspect méthode non destructive.

La préparation d'échantillons variés : tels que l'analyse de solide (pions), de poudre directe ou en pastille (laitier) voir même liquide (bains de traitement).

Et la stabilité de la calibration.

C'est une technique robuste qui combine haute précision et exactitude. Elle peut être facilement automatisée pour une utilisation dans des environnements industriels à rendement élevé. En outre, la fluorescence X fournit des informations qualitatives et quantitatives sur un échantillon.

3. Mode d'opératoire de l'essai

Pour réaliser un essai de fluorescence des rayons X (FRX ou XRF), on suit généralement les étapes suivantes :

4. Préparation de l'échantillon

1er étape : échantillonnage

Prendre des échantillons tamise en plusieurs diamètre (4mm ; 2mm ; 1 mm ; 500 µm ; 315 µm ; 160 µm ; 63 µm ; schiste)



Fig IV.10: Échantillons prélevés pour l'expérience au niveau de laboratoire de Cimenterie Tébessa

2 ème étape : c'est l'étape deséchage dans l'étuve pour éliminer l'humidité résiduelle des matériaux, car celle-ci peut fausser les résultats FRX Et il est à une température de 110 ° pendant 4 heures.

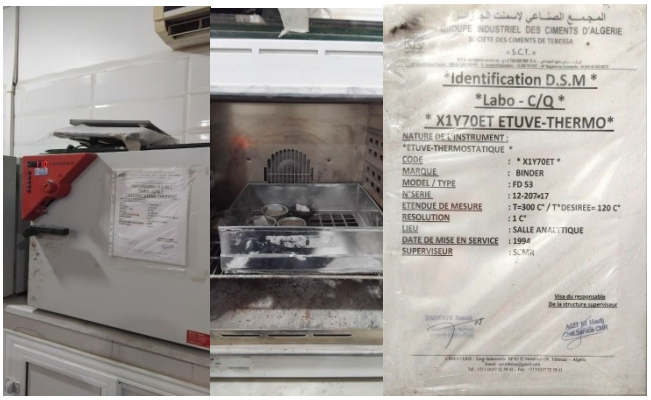


Fig IV.11: séchage dans l'étuve

Apres cette étape en met l'échantillon dans Dessiccateur pour conserver des substances au sec

4.1. Un dessiccateur

Est un équipement servant à protéger des substances contre l'humidité. Au laboratoire, il est constitué d'une cuve circulaire surmontée d'un couvercle ; l'ensemble est en verre épais ou en polycarbonate. La liaison des deux parties peut être réalisée par un rodage en verre ou un joint torique en élastomère. Certains modèles sont équipés d'une prise de vide avec robinet.

La substance à protéger est placée directement ou non sur le disque perforé. Au préalable, une quantité suffisante de desséchant (tel le gel de silice), souvent bleu (présence d'indicateur coloré), est disposée au fond. Lorsque le desséchant change de couleur (virant souvent au rose), il faut le régénérer par étuvage,Le diamètre intérieur d'un dessiccateur de laboratoire varie généralement de 100 à 300 millimètres[17].



Fig IV.12 :dessiccateur

2ème étape : préparation l'échantillon pour placer dans la chambre d'analyse

1. Broyage : consistant à réduire une matière à une dimension de 45 µm, car il dans correspondant à son emploi dans l'essai

4.2. Le broyeur planétaire à billes



Fig IV.13: broyage L'échantillon

Est un puissant modèle de paillasse doté d'une seule station de broyage et d'un contrepoids facile à utiliser qui compense des masses allant jusqu'à 8 kg. Il permet de broyer jusqu'à 220 ml d'échantillon par lot.

Les forces centrifuges extrêmement élevées des broyeurs planétaires à billes se traduisent par une énergie de pulvérisation très élevée et donc par des temps de broyage courts[14].

Remarque:Mélange avec un liant (si la pastille pressée) comme, cire.

3 ème étape : pressage

Presser le mélange sous haute pression pour fermer une pastille solide et lisse





Fig IV.14 :pastille pressée

4 ème étape : placement des échantillons

L'échantillon est placé dans la chambre d'analyse du spectromètre XRF. L'appareil est équipé d'un tube à rayons X qui émet un faisceau primaire dirigé vers l'échantillon.

5. **Analyse des données**

Le logiciel associé interprète le spectre, identifie les éléments et quantifie leur concentration, souvent en se basant sur des étalons ou des bases de données préétablies.

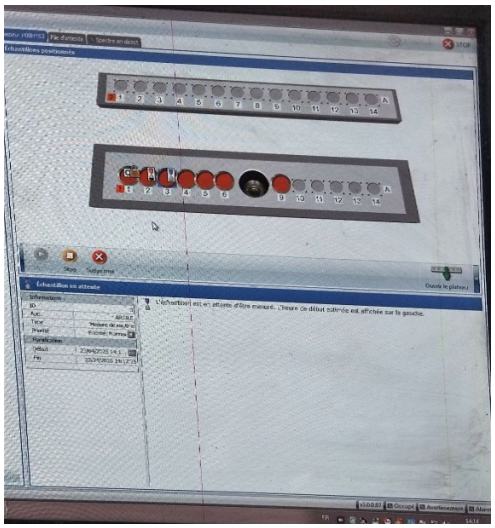


Fig IV.15 : Le logiciel associé

6. **Rapport des résultats**

Les résultats sont sous forme de présentés concentrations élémentaires, souvent en pourcentage ou en ppm, permettant une analyse qualitative et quantitative.

Le Tableauprésente les résultats sous forme de pourcentage

Tableau 3:les résultats d'analyses XRF

L'élément	4	2	1	500	315	160	63	Fond	Schiste
SiO4	79	77,1	78,00	76,00	77,0	77,0	76,6	75,7	50,8
Al2O3	12,4	12,5	11,9	12,5	12	12,4	12	13,3	24,5
Fe2O3	2,28	2,33	2,37	2,72	2,82	3,05	3,03	2,99	7,80
CaO	0,70	1	0,48	0,33	0,25	0,29	0,31	0,39	0,65
CaO	0.3	0,8	00,8	0,3	0,5	0,4	0,4	0,3	0,49
K2O	12,06	12,29	12,14	11,64	11,42	11,09	11,22	11,39	1,70
Na2O	0,28	0,28	0,27	0,26	0,26	0,26	0,26	0,29	0,26
Cl	0,009	0,007	0,007	0,006	0,006	0,007	0,006	0,010	0,008
So3	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,006	0,005	0,005

7. L'interprétation des résultats

Description chimique des échantillons de feldspath (cas de la mine d'Ain Barbar) analysé au n Les analyses chimiques présentées correspondent à différentes fractions granulométriques de feldspath ainsi qu'à deux types de produits distincts : Fond et Schiste. Les concentrations sont exprimées en pourcentage d'oxydes.

a. SiO_2 (Silice) : Majoritaire dans presque tous les échantillons, oscillant entre 75,7 % et 79 %, sauf pour le schiste (50,8 %).Cette forte teneur en silice confirme la nature silicatée des échantillons analysés, typique des feldspaths potassiques.

b. Al_2O_3 (Alumine) : Les valeurs sont stables autour de 12–13 % dans les fractions feldspathiques, mais atteignent 24,5 % dans le schiste. Cette augmentation reflète probablement une forte proportion de minéraux alumineux secondaires (micas, chlorites).

c. Fe_2O_3 (Oxyde de fer) Élevée dans les fractions feldspathiques (~2,3 à 3 %) mais très élevé dans le schiste (7,80 %). Indique la présence de minéraux ferrifères (ex : biotite, hématite, chlorite).

d. K_2O (Oxyde de potassium) : Teneurs élevées (~11 à 12 %) dans tous les échantillons, sauf dans les schistes (1,70 %). Ce résultat confirme que les fractions sont dominées par un feldspath potassique (orthose ou microcline).

e. Na_2O (Oxyde de sodium) : Teneur faible et stable (~0,26 à 0,29 %), ce qui suggère une faible présence de feldspath sodique (albite).

f. Autres oxydes (CaO, MgO, Cl, SO_3) Présents en traces, ils reflètent la présence d'impuretés minérales (ex : carbonates, sulfates ou minéraux argileux).

Le Schiste montre des valeurs un peu plus élevées en Mg et Ca, ce qui est typique des roches métamorphiques.

Conclusion

- Les échantillons feldspathiques sont caractérisés par :

- Une très forte teneur en silice.

- Une présence dominante de K_2O, indiquant un feldspath potassique.
- Le Schiste, par contre, se distingue par :
- Une teneur élevée en Al_2O_3 et Fe_2O_3.
- Une baisse marquée de la silice et du potassium.

IV.5. L'assai de calcination : L'Application de calcination sur Feldspath :

La calcination

Introduction

Est une étape clé dans le traitement thermique des matières premières utilisées dans l'industrie céramique. Ce procédé consiste à chauffer des matériaux solides à des températures élevées, généralement en l'absence d'une quantité importante d'air ou d'oxygène, afin de provoquer des transformations physiques et chimiques. Dans le cas du feldspath, un des composants majeurs des pâtes céramiques, la calcination permet d'améliorer sa réactivité et ses propriétés de fusion. Ce traitement thermique facilite la décarbonatation, élimine l'humidité résiduelle et modifie la structure cristalline du minéral, le rendant ainsi plus apte à réagir avec les autres constituants lors de la cuisson des céramiques. La maîtrise de cette étape

est essentielle pour optimiser les caractéristiques finales des produits céramiques, notamment leur résistance mécanique, leur porosité et leur esthétique. Dans ce contexte, la calcination joue un rôle fondamental dans la valorisation du feldspath comme matière première stratégique pour l'industrie céramique en Algérie

1. Définition

La calcination est le processus de chauffage-cuisson d'une substance à température élevée pour provoquer une décomposition thermique ou un changement d'état dans sa constitution physique-chimique. Le but est de les drainer ou les décomposer, notamment pour les carbonates de calcium et de magnésium[18]

2. Les objectifs de la calcination sont généralement

- Retirer l'eau présente sous forme d'humidité absorbée, " eau de cristallisation " ou " eaux de l'Arctique constitution " (comme dans la conversion de l'hydroxyde ferrique en oxyde ferrique).
- Éliminer le dioxyde de carbone (comme dans la calcination du calcaire dans la chaux dans un four à chaux), le dioxyde de soufre ou d'autres composés organiques volatils.
- Pour oxyder (oxyder la calcination) une partie ou la totalité de la substance (couramment utilisée pour convertir les minerais sulfureux en oxydes dans la première étape de récupération de métaux tels que le zinc, le plomb et le cuivre).
- Pour réduire (réduire) calcination des métaux de leurs minerais (en fonte).

Il existe quelques autres fins pour lesquelles la calcination est utilisée dans des cas particuliers (par exemple, le charbon de bois). Il peut atteindre une température maximale de 1 200 °C. Sa numérotation pour augmenter sa température dépend de 10–10. Pour la protection et les soins, l'échantillon ne doit pas être prélevé directement avec les mains.

Les réactions de calcination peuvent inclure la dissociation thermique, y compris la distillation destructive des composés organiques (c.-à-d. Chauffer un matériau riche en carbone en l'absence d'air ou d'oxygène, pour produire des solides, des liquides et des gaz). Des exemples d'autres réactions de calcination sont la concentration d'alumine en chauffant la bauxite, les changements d'état polymorphe tels que la conversion de l'anatasium en rutile et les recristallisations thermiques telles que la dévitrification des cristaux. Ils sont

généralement soumis à des processus de calcination des matériaux tels que phosphates, alumine, carbonate de manganèse, coke de pétrole et magnésite marine.

La calcination est utilisée dans l'analyse des plastiques renforcés de fibres de verre selon DIN EN ISO 1172 pour déterminer la teneur en verre textile et en charges minérales. Cette méthode est une analyse thermogravimétrique après incinération [18] .

3. Effets généraux de la calcination sur le feldspath

1. **Transformation de la structure cristalline** : La calcination modifie la structure interne du feldspath, le rendant plus réactif.

2. **Élimination des composants volatils** : Elle permet l'élimination de l'eau de cristallisation et d'autres éléments volatils présents dans le minéral.

3. **Augmentation de la réactivité chimique** : Le feldspath calciné devient plus apte à participer à des réactions chimiques, notamment dans la fabrication de ciments et de géopolymères.

4. **Amélioration des propriétés physiques** : La calcination modifie la porosité, la densité et la surface spécifique du feldspath, ce qui est bénéfique pour des applications en céramique et en verrerie.

5. **Préparation à d'autres traitements** : Le feldspath calciné peut être plus facilement broyé ou mélangé à d'autres composants industriels.

6. **Influence sur la couleur** : La calcination peut également modifier la teinte du feldspath, ce qui est utile en céramique décorative [19] .

4. Réalisation de l’expérience de calcination de feldspath au niveau de laboratoire de cimenterie-TÉBEDSSA

La calcination appliquée au feldspath consiste à chauffer ce minéral à haute température (pour 500° – 750°- 900°)

5. Principe de base

La calcination appliquée au feldspath consiste à chauffer ce minéral à haute température afin de modifier ses propriétés physiques et chimiques, souvent en vue d'améliorer sa réactivité ou sa performance dans des applications industrielles[20].

6. Équipements de travail



Balance



Dessisssccateur



L’échantillon tamisé 80 mm



Four de température 900°



Four de températures700 et 500°



pinces



gants



cuillère

Fig IV.15 :Équipements de travail

Les tapes spécifiques de la calcination du feldspath comprennent généralement : Le feldspath est d'abord tamisé dans dimension de 80 mm

- La 1 er l'étape c'est séchage dans l'étuve pour éliminer l'humidité résiduelle des matériaux

- Apres cette étape en met l'échantillon dans Dessiccateur pour conserver des substances au sec

7. Préparation de l'échantillon pour calciner

Peser dans un creuset en platine préalablement séché et tare et en ajout la quantité de feldspath

$$P = M_C + M_F$$

- P_1=31,039 +3,968=35,007 g

- P_2=31,443+3,267=34,659 g

- P3=30,452+4,566=34,659g

Mettre le creuset et son contenue dans le four dont température de 500° – 750°- 900° pendant 30 min

- -Après chauffage, le creuset est transféré dans un dessiccateur pour refroidir à température ambiante afin d'éviter l'absorption d'humidité avant la pesée finale

- -Apres cette étape Peser le creuset avec le contenue

Après calcination :

- P1=34,978 g

- P2=34,659g

- P3 =34,942 g



Fig IV.16 : L'état de creuset après le creuset

Préparation pastille

- En Pese une masse précise de l'échantillon 1 g
- Chargement
- Et en Verse l'échantillon dans un creuset en platine.



Fig IV.17 : creuset en platine chargé par feldspath calciner

- Nous qvons installé le creuset dans le support prévu de la machine.
- En place une moule en platine sous le creuset (là où la pastille sera coulée).

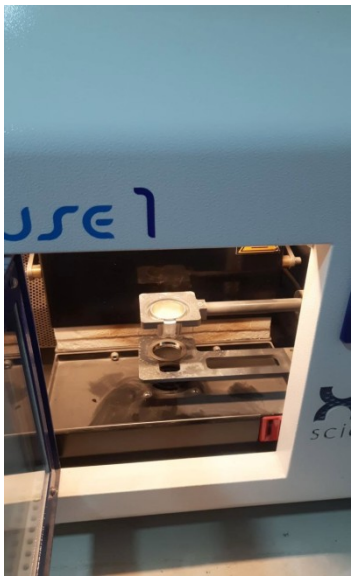


Fig IV.18: placement de creuset

3. Lancement du cycle de fusion

- Ferme la porte de sécurité.
- Choisi un programme de fusion automatique (les paramètres incluent : température de fusion, durée (demi-heure), agitation, température de coulée...).
- Démarrer le cycle. La machine va :
- Chauffer le mélange (souvent jusqu'à 1000–1100 °C).
- Couler le liquide fondu dans le moule.
- Refroidir pour former une pastille solide.

4. Récupération

- Ouvrir la porte après refroidissement.
- Retirer la pastille vitreuse du moule.
- Nettoyer les éléments (creuset, moule) avec soin pour éviter les contaminations.



Fig IV.19: Fuseur automatique de pastilles

Il s'agit effectivement d'un Fuseur automatique de pastilles pour l'analyse XRF (fluorescence X), souvent appelé "Fuseur à induction" ou machine de préparation de pastilles de fusion XRF. Ce type d'appareil sert à préparer un échantillon sous forme de pastille vitreuse homogène à partir de poudres (comme le feldspath), pour permettre une analyse chimique précise par spectrométrie X.

5. Analyse XRF

La pastille peut maintenant être introduite dans un spectromètre XRF pour une analyse chimique précise.

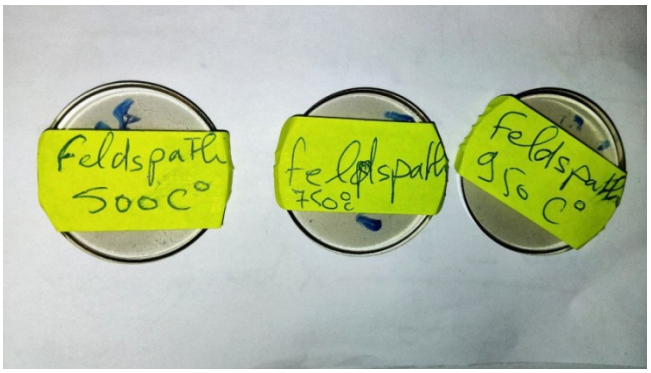


Fig IV.20: perlle

Tableau 4 : Les résultats de l'analyse

Tenneur en % / Temperature en °	SiO_4	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	M_gO	K_2O	Na_2O	Cl	So_3
500	77,28	18,942	1,775	0,00	0,67	1,67	1,183	0,056	0,00
700	77,23	19,057	1,778	0,00	0,67	1,02	0,179	0,059	0,00
950	76,6	19,30	1,750	0,02	0,79	1,28	0,100	0,085	0,05

	2	7							
cru	75,8	10,8	3,08	0,56	0,00	10,48	0,26	0,009	0,005

8. Interprétation des résultats

Notre objectif est atteint, la d'élément(Fe_2O_3) sous l'effet de calcination soit (500 ,700 ,950 C °) (1,77 ; 1,77 ; 1,75)et malgré la réduction d'oxyde de fer mais il est insuffisant par apport aux normes (1 <%) peut-être une autre méthode de séparation est possible pour diminuer aux maximum le taux d'oxyde de fer (1 <%) pour l'utilisation dans de production du céramique

En autre, un grand changement dans les teneurs des compositions chimiques et minéralogique des éléments essentiels de Feldspathà savoir (Al2O3 et K2O), une augmentation de teneur Al2O3 de valeur (18,94 – 19,3) par apport au teneur avant calcination (10 %) expliquer par la perte de la masse d'un échantillon est transformé positivement dans la teneur

Concernant (K2O) diminution en teneur de 10,48 à 1,02 /1,67 est explique par la perte en feu (K^+)Co2 ,Sont des élements volatiles .

Tableau : Importance de K2O dans diver industrie[21]

Industrie	Effet du manque de K2O	Importance du K2O
Industrie de céramique (poterie)	Important	Très élevée
Industrie de la porcelaine fine	Très important	Elevée
Industrie du verre ordinaire	Effet limité	Faible à moyenne (selon le type)
Industrie de cristal (verre fin)	Possible effet négatif notable	Moyenne à élevée
Matériaux de charge (peintures, caoutchouc …)	Aucun efffet notable	Très faible
Isolants électriques	Effet limité	Moyenne
Fabrication des verres industriels	Moyen	Moyenne

Conclusion



Conclusion générale

L’étude de l’évolution de l’exploitation du gisement de feldspath de la mine de Aïn Barbar dans le contexte de la production céramique en Algérie met en lumière l'importance stratégique de cette ressource minérale. Le feldspath, en tant que matière première essentielle dans l'industrie céramique, joue un rôle clé dans l’amélioration des propriétés techniques des produits finis, notamment en termes de résistance, de vitrification et d'esthétique.

À travers l’analyse historique, géologique, économique et industrielle, ce travail a permis de suivre les différentes étapes d’exploitation et de valorisation de ce gisement, depuis une exploitation traditionnelle à petite échelle jusqu’à une orientation plus moderne, visant à répondre aux exigences croissantes du marché national et, potentiellement, international. L’évolution des techniques d’extraction, de traitement et de transport du feldspath témoigne d’une volonté d’optimisation des ressources naturelles dans une logique de développement industriel durable

L’étude a révélé que le feldspath extrait de cette mine présente une composition particulière : les analyses menées au niveau du laboratoire de la cimenterie et de SOTRAMa ont mis en évidence une nature argileuse du minerai, ce qui pourrait influencer son comportement dans les processus de transformation, notamment dans la fabrication de produits céramiques.

Concernant la partie **exploitation :**

Dans le cas du gisement de felsite de Ain barbar et vu le relief montagneux l'exploitation se fait de haut vers le bas entre le niveau supérieur 600m et le niveau inférieur 300m pour les blocs (7,6,5,4,3) et le niveau 500 m et 300m pour les blocs (1,2).

On distingue deux phases d'exploitation l'une sur une hauteur de 50 M avec des gradins répartis de 10 mètres de hauteur (chaque gradin a une piste d'accés gardant toujours le pendage de 6% pour le transport du minerai.

Dans la partie**traitement** :

Notre objectif est atteint, la d’élément(Fe_2O_3) sous l’effet de calcination soit (500 ,700 ,950 C °) (1,77 ; 1,77 ; 1,75)et malgré la réduction d’oxyde de fer mais il est insuffisant par apport aux normes (1 <%) peut-être une autre méthode de séparation est possible pour diminuer aux maximum le taux d’oxyde de fer (1 <%) pour l’utilisation dans de production du céramique

En autre, un grand changement dans les teneurs des compositions chimiques et minéralogique des éléments essentiels de Feldspathà savoir (Al2O3 et K2O), une augmentation de teneur Al2O3 de valeur (18,94 – 19,3) par apport au teneur avant calcination (10 %) expliquer par la perte de la masse d'un échantillon est transformé positivement dans la teneur

Concernant (K2O) diminution en teneur de 10,48 à 1,02 /1,67 est explique par la perte en feu (K^{+})Co2 ,Sont des élements volatiles .

Références



bibliographiques

Références

1. *Entreprise nationnale des produits miniers non-fwereux et des substances utiles . (2024). Plan d'exploitation 2024 – 110 000 tonnes [Document non publié]. UNITE AIN BARBAR Annaba], Algérie.*
2. Nabil, M.A.C.s.E.e.M.M., *Essais d'enrichissement du Feldspath de la mine*

d'Ain BarbarMémoire de Master, Ecole Nationale Polytechnique). 2021

3. *Durand-Delga, M. (s.d.). Algérie – étude géologique [Document non publié]. Document interne.*
4. *Institut National des Matériaux Céramiques. (2012). Feldspato_04_04_12 [Document interne non publié]. Alger.*
5. Entreprise Nationale des Produits Miniers Non Ferreux (ENOF). (2024). Rapport géologique préliminaire pour l'extension de substance [Document non publié]. Alger.
6. Kouider, D.B., *Cours PREPARATION MECANIQUE DES MINERAIS* Mars 2022.
7. *J. Pierre et R. Pierre, Chimie Industrielle, (1998).*
8. *P. Pierre, J. Leblond et Paul. H. E. Meijer, Physique de Transition de Phase, (1999).*
9. *F. Jean-Marie Haussonne, Céramiques pour Composants Electroniques, (1996).*
10. C. Benhamideche, Thèse de Magister, Université de Constantine, (1998).
11. *G.Fantozzi, J.C.Nièpce, G.Bonnefont. "Les céramiques industrielles*

(Propriétés, mise en forme et applications) ". L'Usine Nouvelle, DUNOD,

Paris (2013).

12. *https://elearning.univ-msila.dz/moodle/pluginfile.php/711320/mod_resource/content/1/chapitre%203%20classification%20des%20c%C3%A9ramiques.pdf.*
13. *Norme française : AFNOR, 1990. NF P 94-068 : Sols : reconnaissance et essais — Détermination de la valeur au bleu de méthylène d'un sol ou d'un matériau rocheux. Association Française de Normalisation.*
14. *B. Bérubé & P. Bérubé, Géotechnique des argiles, Presses Internationales Polytechnique, Montréal, 2003. Voir notamment le chapitre sur les propriétés physico-chimiques des argiles.*
15. *Selon AFNOR NF P 94-068 (1998), cette méthode standardisée permet de déterminer l'indice de bleu de méthylène, exprimé en grammes de bleu de méthylène par 100 grammes de matériau sec. .*
16. *https://www.malvernpanalytical.com/fr/products/technology/xray-analysis/x-ray-fluorescence.*
17. *https://fr.wikipedia.org/wiki/Dessiccateur_(verrerie)*
18. *AQUAPORTAIL. Calcination : définition et explications. [en ligne]. 23 juin 2020, mise à jour le 1er septembre 2023. [Consulté le 31 mai 2025]. Disponible sur : https://www.aquaportail.com/dictionnaire/definition/14472/calcination.*
19. *Zhao, Q., Li, X., Wu, Q., & Lyu, Y. (2020). Evolution of mineral phases and microstructure of high-efficiency Si–Ca–K–Mg fertilizer prepared by water-insoluble K-feldspar. Journal of Cleaner Production.*
20. *https://fr.kindle-tech.com/faqs/what-is-calcination-suitable-for.*
21. *Document technique . (2025) . Utilisation du feldspath et importance du K2O dans les indesterie ceramique et verrière*