



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 Esheikh Larbi Tebessi – Tébessa
معهد المناجم
Institut des mines
قسم المناجم والجيوتكنولوجيا
Département des mines et de la géotechnologie



MEMOIRE

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

Filière : Génie minier

Option : Géotechnique

Analyse de la stabilité et caractérisation d'un massif rocheux

-cas de la mine de Ain Mimoun-

Présenté par :

HEMAIDIA ABD EL WAHAB

Devant le jury :

Président :	BERRAH Yacine	MCB	Université Echahid Esheikh Larbi Tebessi – Tébessa
Encadreur :	HAMDANE Ali	MAA	Université Echahid Esheikh Larbi Tebessi – Tébessa
Examineur :	AMRANI Dounia	MAA	Université Echahid Esheikh Larbi Tebessi – Tébessa

Promotion 2022-2023



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



مقرر رقم : مؤرخ في : 2023/05/29

يتضمن تعيين لجنة مناقشة مذكرة الماجستير

إن مدير جامعة العربي التبسي بتبسة،
- بموجب القرار الوزاري رقم 318 و المؤرخ في 05 ماي 2021 المتضمن تعيين السيد "قواسمية عبد الكريم" مديرا لجامعة العربي التبسي - تبسة،
- وبمقتضى المرسوم التنفيذي رقم : 12-363 مؤرخ في 8 أكتوبر 2012، يعدل و يتم المرسوم التنفيذي رقم 09 - 08 المؤرخ في : 04 جانفي 2009 و المتضمن إنشاء جامعة العربي التبسي بتبسة،
- وبمقتضى المرسوم التنفيذي رقم 08-265 المؤرخ في 17 شعبان عام 1429 الموافق 19 غشت سنة 2008 الذي يحدّد نظام الدراسات للحصول على شهادة الليسانس وشهادة الماجستير وشهادة الدكتوراه، لاسيما المادة 9 منه،
- وبموجب القرار رقم 362 المؤرخ في 09 جوان 2014 الذي يحدّد كفايات إعداد ومناقشة مذكرة الماجستير، لاسيما المادتان 10 و 11 منه،
- وبموجب القرار رقم 1380 المؤرخ في 09 أوت 2016 والمتضمن مواءمة التكوينات في الماجستير بعنوان جامعة تبسة في ميدان "علوم وتكنولوجيا".
- وبموجب القرار رقم 375 المؤرخ في 15 جوان 2020 المعدل للمحق القرار 1080 المؤرخ في 13 أكتوبر 2015 والمتضمن تأهيل ماستر الفروع ذات تسجيل وطني بجامعة تبسة، اختصاص جيوتقني
- وبعد الاطلاع على محضر المجلس العلمي لمعهد المناجم المؤرخ في.....،
يقرر ما يأتي:

المادة الأولى: تُعيّن بموجب هذا المقرر لجنة مناقشة مذكرة الماجستير المحضّرة من طرف الطالب (ة):

حميدة عبد الوهاب، المولود (ة) بتاريخ 2000/07/28 ب قاييس - خنشلة،

والموسومة ب Analyse de la stabilité et caractérisation d'un massif rocheux- cas de la mine de Ain Mimoun

والمسجل (ة) بمعهد المناجم

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

رقم	الاسم واللقب	الرتبة	مؤسسة الانتماء	الصفة
1	براح ياسين	أستاذ محاضر - ب	جامعة العربي التبسي - تبسة	رئيسا
2	حمدان علي	أستاذ مساعد - أ	جامعة العربي التبسي - تبسة	مشرفا
3	عمراني دنيا	أستاذة مساعدة - أ	جامعة العربي التبسي - تبسة	ممتحنة

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

المادة 4: تحفظ نسخة عن هذا المقرر في الملفّ البيداغوجي للطالب المعني، وينشر في النشرة الرسمية لجامعة العربي التبسي.

حُزّر ب تبسة، في: 2023/05/29

عن المدير، وبتفويض منه

مدير معهد المناجم

عالم زويير
مدير معهد المناجم



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة الشهيد الشيخ التعليم العالي و البحث العلمي
جامعة العربي التبسي - تبسة



مقرر رقم: مؤرخ في: 2023/05/30

يتضمن الترخيص بمناقشة مذكرة الماستر

إن مدير جامعة العربي التبسي بتبسة،
- بموجب القرار الوزاري رقم 318 و المؤرخ في 05 ماي 2021 المتضمن تعيين السيد "قواسمية عبد الكريم" مديرا لجامعة العربي التبسي - تبسة،
- وبمقتضى المرسوم التنفيذي رقم: 12-363 مؤرخ في 8 أكتوبر 2012، يعدل و يتم المرسوم التنفيذي رقم 09-08 المؤرخ في: 04 جانفي 2009 و المتضمن إنشاء جامعة العربي التبسي بتبسة،
- وبمقتضى المرسوم التنفيذي رقم 08-265 المؤرخ في 17 شعبان عام 1429 الموافق 19 غشت سنة 2008 الذي يحدد نظام الدراسات للحصول على شهادة الليسانس وشهادة الماستر وشهادة الدكتوراه، لاسيما المادة 9 منه،
- وبموجب القرار رقم 362 المؤرخ في 09 جوان 2014 الذي يحدد كفايات إعداد ومناقشة مذكرة الماستر، لاسيما المادة 7 منه،
- وبموجب القرار رقم 1080 المؤرخ في 13 أكتوبر 2015 والمتضمن تأهيل ماستر الفروع ذات تسجيل وطني بجامعة تبسة.
- وبموجب القرار رقم 375 المؤرخ في 15 جوان 2020 المعدل للملحق القرار 1080 المؤرخ في 13 أكتوبر 2015 والمتضمن تأهيل ماستر الفروع ذات تسجيل وطني بجامعة تبسة، اختصاص جيوتقني
- وبموجب المقرر رقم المؤرخ في 2023/05/29 والمتضمن تعيين لجنة مناقشة مذكرة الماستر،
- وبعد الاطلاع على مقرر تعيين لجنة مناقشة مذكرة الماستر المؤرخ في

يقرر ما يأتي:

المادة الأولى: يُرخصُ للطالب (ة) حمايدية عبد الوهاب، المولود (ة) بتاريخ 2000/07/28 ب قاييس - خنشلة، بمناقشة مذكرة الماستر والموسومة بـ

Analyse de la stabilité et caractérisation d'un massif rocheux- cas de la mine de Ain Mimoun

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

المادة 3: تُحفظ نسخة عن هذا المقرر ضمن الملف البيداغوجي للطالب المعني وينشر في النشرة الرسمية لجامعة

العربي التبسي.

حُرر ب تبسة، في: 2023/05/30

عن المدير، وبتفويض منه

مدير معهد المناجم



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

مؤسسة التعليم العالي: جامعة الشهيد الشيخ العربي التبسي - تبسة

تصريح شرفي
خاص بالالتزام بقواعد النزاهة العلمية لانجاز بحث

أنا الممضي أدناه،

الصفة : طالب ماستر 2

السيد : حمائدة عبد الوهاب

الحامل لبطاقة التعريف الوطنية رقم: 403698352 والصادرة بتاريخ 2022.11.22

قسم : المناجم والجيوتكنولوجيا

المسجل بمعهد المناجم

والمكلف بإنجاز أعمال بحث (مذكرة التخرج، مذكرة ماستر)، عنوانها:

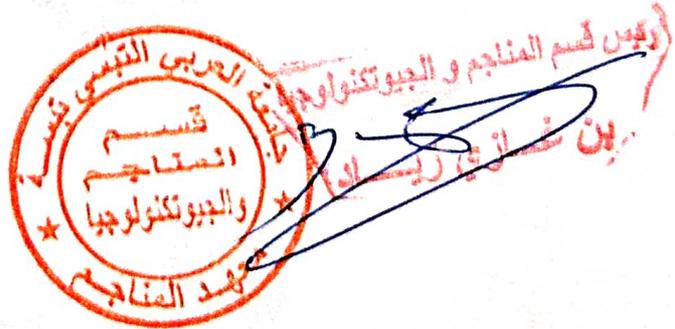
Analyse de la stabilité et caractérisation d'un massif rocheux

-cas de la mine de Ain Mimoun -

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

التاريخ 2023.06.08

إمضاء المعني (ة)





Année universitaire : 2022-2023

Tébessa le : 08.06.2023

Lettre de soutenabilité

Noms et prénoms de l'étudiant :

Hemaidia Abdelouahab

Niveau : 2^{ème} année Master Option : Géotechnique

Thème : Analyse de la stabilité et caractérisation d'un massif rocheux

-cas de la mine de Ain Mimoun -

Nom et prénom de l'encadreur : HAMDANE Ali

Chapitres réalisés	Signature de l'encadreur
Chapitre 1 : Généralités sur les ouvrages souterrains	
Chapitre 2 : Généralités sur la mine de Ain Mimoun	
Chapitre 3 : Contexte géologique de la mine	
Chapitre 4 : Classifications géomécaniques	
Chapitre 5 : Modélisation numérique	



REMERCIEMENT

*Nous remercions ALLAH qui nous a donné le courage
et la force pour compléter ce modeste travail*

*Nous exprimons nos gratitudees et nos reconnaissances
envers*

Notre encadreur

HAMDANE.A

*A pour M'avoir encadré, suivi et dirigé pendant la
durée de ce travail*

*Mes remerciements vont également à tous les
membres du département des mines*

*je remercie également, à tous mes enseignants, qui
nous ont donnée les bases de la science*

*je remercie enfin à toute personne qui a participé de
près ou de loin pour la réalisation de ce travail*

Dédicace

*Je dédie ce modeste travail à ceux qui sont toujours
présents dans mon cœur*

A ma très chère mère, A mon très cher père

A mes frères

A toute ma famille

A tous mes professeurs

A tous mes collègues et mes amis sans exception

A ma promotion (2023)

Résumé

Ce travail traite la stabilité de la galerie du filon 04 au niveau de la mine de Ain Mimoun. Pour étudier la stabilité de l'ouvrage, on a effectué une étude géotechnique en appliquant les méthodes géomécaniques RQD, RMR et AFTES, à partir des quelles on a estimé la qualité du terrain traversé par la galerie, et nous avons choisi le type de soutènement à appliquer. Afin de justifier les choix effectués, on a fait recours à la modélisation numérique par éléments finis au moyen du logiciel Plaxis 2D .La modélisation a permis de mieux prévoir le comportement du massif rocheux.

Mots clés : Soutènement, galerie minière, modélisation numérique, éléments finis, Stabilité.

ملخص :

تتناول هذه المذكرة استقرار نفق العرق 04 في منجم عين ميمون. لدراسة استقرار الهيكل الكلي للنفق، تم إجراء دراسة جيوتقنية عن طريق تطبيق طرق التصنيف الجيوميكانيكية : RQD و RMR و AFTES، والتي يتم من خلالها تقدير جودة الصخور المخترقة بواسطة النفق، و تم اختراعنا نوع الدعامات المنصوح تطبيقها. ومن أجل تبرير الاختيارات التي تم اتخاذها، فقد لجأنا إلى النمذجة الرقمية بواسطة برنامج Plaxis 2D. تتكون النمذجة سمحت بالتنبؤ بشكل أفضل بسلوك الكتلة الصخرية.

الكلمات المفتاحية: دعامة، نفق منجمي، النمذجة الرقمية، العناصر المنتهية، استقرار.

Sommaire

Page de garde	
Remerciement	
Dédicace	
Résumé	
Sommaire	
Listes des figures	
Liste des Tableau	
Abréviation	
Introduction Générale	1
Chapitre I : Généralités sur les ouvrages souterraines	
I.1 les ouvrages souterrains	
I.1.1 Introduction	2
I.1.2 Qu'est ce qu'un ouvrage souterrain	2
I.1.3 Importance des ouvrages souterrains	2
I.1.4 Historique des ouvrages souterrains	3
I.1.5 Les problèmes majeurs liés à la construction des ouvrages souterrains	3
I.1.6 Classification des ouvrages souterrains	4
I.1.7 Techniques de construction des ouvrages souterrains	4
I.1.8 Techniques de creusement souterrain	6
I.2 Mine Souterraine	
I.2.1 Définition	9
I.2.2 L'exploitation souterraine	9
I.2.2.1 Introduction	9
I.2.2.2 Caractéristiques d'une mine souterraine	9
I.2.2.3 L'ossature d'une mine souterraine	10
I.2.2.4 Modes d'ouverture	10
I.2.2.5 Travaux préparatoires	11
I.2.2.6 Travaux d'abattage	11
I.2.2.7 Les méthodes d'exploitation souterraine	12
I.2.2.8 Le soutènement	13
I.2.2.8.1 Introduction	13
I.2.2.8.2 Définition	13
I.2.2.8.3 Classification des modes de soutènement	13

Sommaire

I 2.2.8.4	Classification des soutènements	17
I.2.2.8.4.1	Soutènement métallique	17
I.2.2.8.4.2	Soutènement en béton	21
I.2.2.8.5	Choix d'un type de soutènement	23
I.3	Conclusion	23
Chapitre II : Généralité sur la mine de Ain Mimoun		
II.1 Généralité sur la mine d'Ain Mimoun		
II.1.1	Introduction	24
II.1.2	Présentation de l'unité d'Ain Mimoun	24
II.1.3	Organisation	24
II.1.4	Cadre géographique du champ minier d'Ain Mimoun	25
II.1.5	Production du minerai de baryte	26
II.1.6	Caractéristiques physico-chimiques et Domaines d'utilisation de la Baryte	27
II.2- Exploitation Souterraine		
II.2.1	PRINCIPALE ETAPES D'UNE EXPLOITATION SOUTERRAINE	28
II.2.1.1	Ouverture du gisement	28
II.2.1.2	Préparation des chantiers d'abattage	28
II.2.1.3	« Dépilage » ou production du minerai	28
II.2.2	Choix du mode d'ouverture	29
II.2.3	Facteurs qui influent sur le choix du mode d'ouverture	29
II.2.4	Description des filons du champ minéralisé	30
II.2.5	Choix des méthodes d'exploitation en souterrain	31
II.2.6	Méthodes d'exploitation utilisée au niveau d'Ain Mimoun	32
II.2.7	Travaux d'infrastructures	34
II.2.8	Travaux préparatoires:	35
II.2.9	Paramètres de creusement	36
II.2.10	La foration	38
II.2.11	Chargement et tir	38
II.2.12	Chargement et transport	39
II.3	Conclusion	41
Chapitre III : Contexte Géologique de la mine		
III.1	Introduction	42

Sommaire

III.2	Historique des travaux de prospection	42
III.3	Cadre géographique	42
III.4	Cadre géologique du Gisement d'Ain Mimoun	45
III.4.1	Stratigraphie	45
III.4.2	Tectonique	48
III.4.3	Mode génétique de la minéralisation barytique	48
III.4.4	Hydrogéologie	50
III.4.5	Climat	50
III.4.6	Couverture végétale	51
III.4.7	Etudes minéralogiques	52
III.5	Généralités sur la barytine	55
III.6	Conclusion	58
Chapitre IV : Classification géomécaniques		
IV.1	Introduction	59
IV.2	les classifications géomécaniques	59
IV.2.1	Méthode de TERZAGHI	59
IV.2.2	L'indice RQD (Rock Quality Designation)	62
IV.2.3	La classification de Bieniawski RMR (Rock Mass Rating)	63
IV.2.4	Classifications de l'AFTES	66
IV.3	Etude de la galerie du filon 4	68
IV.3.1	Application de TERZAGHI	69
IV.3.2	Désignation de la qualité de la roche (RQD)	69
IV.3.3	Application de la méthode de RMR	70
IV.3.4	Application de la méthode de AFTIS	72
IV.4	Interprétation des résultats	76
IV.5	Conclusion	76
Chapitre : Modélisation numériques		
V.1	Introduction	77
V.2	Code de calcul Plaxis	77
V.3	Les sous programme de Plaxis	77
V.4	Etapes de modélisation avec PLAXIS	78
V.5	Modélisation numérique résultats et interprétations	84
V.5.1	Présentation du projet	84
V.5.2	Caractéristiques géotechniques du massif	84

Sommaire

V.5-3	la géométrie	84
V.5.4	Conditions aux limites	85
V.5.5	Les couches du terrain	85
V.5.5	Maillage	86
V.5.6	Conditions initiales	86
V.5.7	Calcule	87
V.5.8	Calcul de la déformation (déplacements) dus à l'excavation de la section	89
V.6	Conclusion	99
	Conclusion Générale	100

Listes des figures

Chapitre I : Généralité sur les ouvrages souterraines

Figure I.1	Creusement à pleine section	5
Figure I.2	Creusement en demi-section	5
Figure I.3	étapes de réalisation d'un ouvrage	6
Figure I.4	Machine à attaque ponctuelle	7
Figure I.5	Creusement au tunnelier	8
Figure I.6	creusement à l'explosif	8
Figure I.7	Un exemple d'une ouverture par le mode combiné	11
Figure I.8	Béton projeté seul	14
Figure I.9	Béton projeté avec les cintres	14
Figure I.10	boulons à encrage	15
Figure I.11	cintres	16
Figure I.12	machine d'injection de consolidation	16
Figure I.13	congélation	16
Figure I.14	soutènement par boulonnage	18
Figure I.15	Boulon à ancrage ponctuel	18
Figure I.16	Boulon à ancrage repart	19
Figure I.17	Exemple de boulon à friction	19
Figure I.18	Cintre réticulé	20
Figure I.19	Blindage	21
Figure I.20	Cintre lourd	21
Figure I.21	Mise en œuvre du béton projeté	22
Figure I.22	revêtement par voussoirs en béton	23

Chapitre II : Généralité sur la mine d'Ain Mimoun

Figure II.1	Schéma d'organisation de l'unité d'Ain Mimoun	24
Figure II.2	Situation géographique de l'unité Ain Mimoun	26
Figure II.3	Ouverture par galerie au jour avec cheminée verticale.	30
Figure II.4	Schéma de la méthode d'exploitation -sous-niveaux abattus	33
Figure II.5	Galerie au jour	34
Figure II.6	Galerie de roulage	36
Figure II.7	Cheminée boisée	36
Figure II.8	Entonnoir de soutirage	37
Figure II.9	Front de Taille foré	38

Listes des figures

FigureII.10	Pelle chargeuse	39
FigureII.11	Pelle sur rail déchargement	39
FigureII.12	Loco tracteur (diésel)	40
Figure II.13	Camion du Transport	40
Figure II.14	Soutènement jointif	41
FigureII.15	Cadre en bois de soutènement appliqué dans la mine d'Ain Mimoun	41
Chapitre III : Contexte géologique de la mine		
FigureIII.1	Localisation géographique d'Aïn Mimoun (extrait de la carte touristique de l'Algérie).	44
Figure III.2	Affleurement du Miocène en discordance angulaire sur les faciès du Crétacé Inférieur dans la région dite TAKALIAT (Aux environs du filon N°4).	46
FigureIII.3	Carte Géologique du Champ minier du Mizab au 1/10 000ème	47
FigureIII.4	Coups schématiques à travers le champ minier de Mizab	47
Figure III.5	Carte géologique au 1/500 000ème	49
Figure III.6	Le climat en hiver et en printemps (2017)	51
FigureIII.7	La couverture végétale (2017)	51
Figure III.8	Situation géographique de la mine d'Ain Mimoun	52
Figure III.9	Minéral de la baryte de la mine de Vierves	55
Chapitre IV : Classification géomecaniques		
Figure IV.1	Zone décomprimée au-dessus d'une cavité (K. Terzaghi 1946)	60
Figure IV.2	Estimation de la valeur RQD.	62
Figure IV.3	Type de soutènement en fonction de RQD.	63
Figure IV.5	Déférents critères de classification selon AFTES	67
Chapitre V : Modélisation numérique		
Figure V.1	Organigramme des sous-programmes de code disponibles	78
Figure IV.2	Création du model (structure et terrain)	79
Figure IV.3	Création des couches de terrain	80
Figure IV.4	Fenêtre des paramètres pour la loi the soft soil model	81
Figure IV.5	Création du tunnel circulaire	82

Listes des figures

Figure IV.6	Fenêtre des contraintes effectives dans le sol	82
Figure IV.7	Fenêtre de phase de calcul du logiciel	83
Figure V.8	géométrie de model	84
Figure V.9	Génération des conditions aux limites	85
Figure V.10	Création des couches de terrain	85
Figure V.11	Maillage de model	86
Figure V.12	conditions hydrauliques	86
Figure V.13	Le champ des contraintes effectives	87
Figure V.14	Phases des calculs	88
Figure V.15	déplacement totale sans soutènement	89
Figure V.16	déplacement totale avec soutènement	89
Figure V.17	déplacement horizontale sans soutènement	90
Figure V.18	déplacement horizontale avec soutènement	90
Figure V.19	déplacement verticale sans soutènement	91
Figure V.20	Déplacement verticale avec soutènement	91
Figure V.21	Déplacement volumétrique sans soutènement	92
Figure V.22	Déplacement volumétrique avec soutènement	92
Figure V.23	Contraintes de Cisaillement sans soutènement	93
Figure V.24	Contraintes de Cisaillement avec soutènement	93
Figure V.25	Déplacement totale sans soutènement	94
Figure V.26	Déplacement totale avec soutènement	94
Figure V.27	Déplacement horizontale sans soutènement	95
Figure V.28	Déplacement horizontale avec soutènement	95
Figure V.29	Déplacement verticale sans soutènement	96
Figure V.30	Déplacement verticale sans soutènement	96
Figure V.31	Déplacement volumétrique sans soutènement	97
Figure V.32	Déplacement volumétrique sans soutènement	97
Figure V.33	Déformation maximale de cisaillement sans soutènement	98
Figure V.34	Déformation maximale de cisaillement sans soutènement	98

Liste des tableaux

Chapitre I : Généralité sur les ouvrages souterrains		
Tableau I.1	Classification des ouvrages souterrains	4
Chapitre II : Généralité sur la mine d'Ain Mimoun		
Tableau II.1	Le choix des différentes méthodes d'exploitation adéquate	32
Chapitre III : Contexte géologique de la mine		
Tableau III.1	Les coordonnées UTM de périmètre 1.	42
Tableau III.2	Les coordonnées UTM de périmètre 2	43
Tableau III.3	Composition chimique du minerai d'Ain Mimoun	4
Tableau III.4	Caractéristiques physico-chimique de baryte	56
Tableau III.5	État de réserve de Groupe 01	57
Tableau III.6	État de réserves de groupe 2	58
Chapitre IV : Classification géomecaniques		
Tableau IV.1	Hauteur de terrain décomprimée au-dessus d'une cavité	61
Tableau IV.2	Classification de la roche suivant R.Q.D	62
Tableau IV.3	La classe et la qualité du massif selon RMR	64
Tableau IV.4	Classes et propriétés globales des massifs rocheux (selon Z.Bieniawski)	64
Tableau IV.5	Caractéristiques physiques de mènèrai et de stérile	68
Tableau IV.6	Application de TERZAGHI	69
Tableau IV.7	les valeurs RQD des massifs rocheux d'Ain Mimoun	69
Tableau IV.8	Propriétés mécaniques du mènèrai et du stérile	71
Tableau IV.9	Classification selon la méthode d'AFTIS	72
Tableau IV.10	Classification selon la méthode d'AFTIS (Baryte)	73
Tableau IV.11	Classification selon la méthode d'AFTIS (Calcaire)	74
Tableau IV.12	Recommandation Soutènement par RQD+RMR+AFTIS	75
Chapitre V : Modélisation numérique		
Tableau V.1	Paramètres géotechniques du massif	84
Tableau V.2	Paramètres du soutènement	84

Liste d'abréviation

Liste d'abréviation

ENOF : Entreprise nationale des produits miniers non ferreux et des substances utiles

SOMIBAR : Société des Mines de Baryte d'Algérie

W : la teneur en eau.

ID : l'indice de discontinuité du massif rocheux.

E : module de Young.

C : la cohésion du sol.

Rc : la résistance à la compression.

RT : la résistance à la traction.

ϕ :Angle de frottement interne

Sr : le degré de saturation.

Hg : la hauteur du gradin.

I : l'indice d'altération.

RQD : Rock Quality Désignation

RMR : Rock Mass Rating

AFTES : Association Française des Tunnels et de l'espace souterraine

γ_h : le poids volumique naturel.

γ_d : le poids volumique sec.

γ_{sat} : le poids volumique sature.

Introduction Générale

Introduction Générale

La sécurité est un facteur important qui doit être pris en compte lors de l'exécution de tout type de travaux souterrains. Pour assurer la sécurité des travaux pendant et après l'excavation ou les travaux souterrains (tunnels, excavations, etc.), les ingénieurs font des études spécifiques sur la stabilité de la masse rocheuse.

Lors de l'excavation de structures souterraines dans le substratum rocheux, l'état de contrainte et la déformation du sous-sol changent, ce qui peut nuire à la stabilité de l'excavation. Alternativement, cela peut causer des perturbations indues à proximité du massif ou de la structure elle-même.

Dans ce cas, des méthodes et des procédés ont été développés pour étudier différents aspects des phénomènes d'interaction terrain-structure associés à l'excavation. Ces méthodes sont destinées à évaluer le soutènement et les caractéristiques dimensionnelles des excavations souterraines. Elles passent d'une étape purement empirique à une étape dans laquelle des modèles numériques sophistiqués sont utilisés pour rendre compte de la complexité du problème à résoudre.

Le présent travail vise à classer empiriquement le massif rocheux traversé par la galerie de la mine de AIN MIMOUN, dont le but est la détermination de la qualité du terrain et obtenir des recommandations du soutènement adéquat. Puis, une analyse numérique de l'état actuel doit être effectuée pour identifier les risques géotechniques potentiels liés à la galerie sans soutènement et l'effet du soutènement par boisage appliqué effectivement dans la mine.

Pour aboutir à ces objectifs, ce travail est structuré suivant le plan ci-dessous :

- **Le premier chapitre** : Généralité sur les ouvrages souterrains ;
- **Le deuxième chapitre** : Généralité sur la mine d'Ain Mimoun ;
- **Le troisième chapitre** : Contexte géologique de la mine ;
- **Le quatrième chapitre** : Classifications géomécaniques
- **Le cinquième chapitre** : Modélisation numérique

Enfin, ce travail sera clôturé par une conclusion générale.

I.1 - les ouvrages souterrains**I.1.1- Introduction**

Les ouvrages souterrains constituent un domaine important et en plein développement de la géotechnique. En effet, l'extension des voies de communication (routes, autoroutes et voies ferrées) impose souvent des franchissements difficiles, qui conduisent généralement à la construction de tunnels. De même, l'encombrement de la surface du sol des villes rend nécessaire la construction en souterrain des nouvelles voies de circulation (voirie, métros) et de nouveaux équipements urbains (parkings, réseaux d'assainissement, etc.). Ces derniers ouvrages sont généralement construits à faible profondeur. L'utilisation des cavités souterraines pour le stockage de différents produits constitue également un domaine d'activités conséquent.

Les ouvrages souterrains sont donc de types d'usages et de dimensions très diverses, on distingue deux grandes catégories :

Les ouvrages souterrains et structures enterrées (usines et gare souterraines, parkings, lieux de stockage, excavations minières).

Les ouvrages de section plus ou moins régulière (tunnels, buses, galeries, tuyaux, canalisations).

I.1.2- Qu'est ce qu'un ouvrage souterrain

On entend par "travaux souterrains " tous travaux exécutés en dessous de la surface du sol dans des excavations ayant une configuration complexe et évolutive. Donc, un ouvrage souterrain est une construction réalisée sous le sol. La réalisation de celle-ci nécessite des travaux de déblais. Ces ouvrages sont souvent destinés:

- ▶ à la circulation des personnes, des véhicules et des marchandises (tunnels routiers et autoroutiers, tunnels ferroviaires, métro,);
- ▶ au stockage des déchets dangereux ou différents produits, en particulier des hydrocarbures;
- ▶ à la production d'énergie (central nucléaire, central thermique..);
- ▶ à l'évacuation des eaux usées ou l'approvisionnement en eau potable (aqueduc). [1]

I.1.3- Importance des ouvrages souterrains

Les ouvrages souterrains constituent la solution la mieux adaptée à la création de nouvelles infrastructures en zone urbaine et au franchissement des zones montagneuses. En zone urbaine, le sous-sol devient une alternative quasi incontournable aux problèmes d'occupation et d'encombrement de surface. La réalisation des travaux en souterrain permet de s'affranchir des obstacles, d'utiliser au maximum l'espace

souterrain quasi illimité et de libérer la surface au sol. [1]

I.1.4- Historique des ouvrages souterrains

Les ouvrages souterrains ont une longue histoire qui remonte à des milliers d'années. Voici quelques exemples d'ouvrages souterrains célèbres.

1- Les catacombes de Rome : un réseau de tunnels souterrains qui s'étend sur plus de 300 kilomètres et qui a été utilisé comme cimetière pour les premiers chrétiens.

2- Les aqueducs romains : un système complexe de canalisations souterraines qui acheminaient l'eau dans les villes romaines

3- Les mines de sel de Wieliczka en Pologne : un réseau de tunnels souterrains de plus de 300 kilomètres utilisés pour l'extraction de sel.

4- Le tunnel sous la Manche : un tunnel ferroviaire de 50 kilomètres qui relie la France et le Royaume-Uni.

5- La base de données géologique souterraine de l'Andra en France : un réseau de galeries souterraines de plus de 170 kilomètres qui stockent des déchets radioactifs à haute activité et à vie longue.

Il existe bien sûr de nombreux autres exemples d'ouvrages souterrains dans le monde, mais ceux-ci sont quelques-uns des plus connus et des plus impressionnants. [1]

I.1.5- Les problèmes majeurs liés à la construction des ouvrages souterrains

La construction d'ouvrages souterrains peut être complexe et présenter des défis uniques. Voici quelques-uns des problèmes majeurs associés à la construction des ouvrages souterrains:

- ▶ La stabilité de terrain pendant les travaux notamment au front de taille
- ▶ Le choix de type de soutènement et de revêtement à mettre en œuvre pour assurer la tenue des parois à court terme, puis à long terme
- ▶ La maîtrise des mouvements engendrés en surface par le creusement particulier lorsque l'ouvrage est construit à une faible profondeur ou à proximité d'autres structures (en site urbain)
- ▶ Maîtrise les problèmes hydrauliques (présence d'une nappe phréatique).
- ▶ Les tassements provoqués en surface (ouvrages à faibles profondeurs).
- ▶ Les déformations liées aux interfaces (sol-structure).
- ▶ Les efforts repris par le soutènement. [1]

I.1.6-Classification des ouvrages souterrains [1]**Tableau I.1 : Classification des ouvrages souterrains**

Type d'ouvrage souterrain	Classification
Galerie	Excavation horizontale souterraine permettant la circulation de personnes ou de matériel
Tunnel	Excavation souterraine permettant le passage de personnes ou de véhicules
Puits	Excavation verticale permettant l'accès à une cavité souterraine
Caverne	Cavité souterraine créée par l'homme pour stocker des produits
Souterrain technique	Ouvrage souterrain destiné à accueillir des installations techniques
Stations de traitement des eaux souterraines	Type de traitement (physique, chimique, biologique), capacité, taux de traitement, etc.
Réseaux d'énergie souterrains	Type de conduite (câble électrique, conduite de gaz, etc.), diamètre, matériau de construction, profondeur d'enfouissement, etc.

I.1.7-Techniques de construction des ouvrages souterrains

Le choix de la méthode de creusement est un point décisif du projet d'un point de vue financier et planification. Les différents procédés d'excavation peuvent se faire suivant différent mode d'attaque, en fonction de la qualité du terrain rencontré :

- **Creusement à pleine section** : est bien adapté aux terrains homogènes sur une grande longueur, nécessitant un soutènement léger tel que le boulonnage et le béton projeté.

[2]

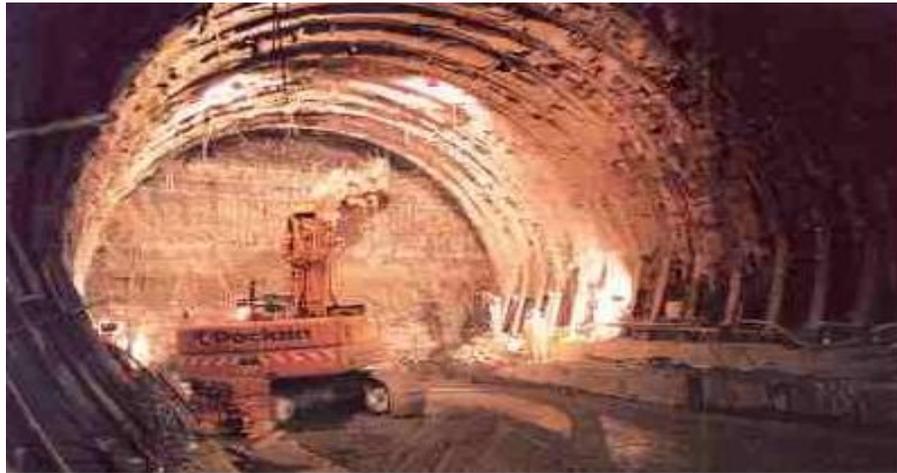


Figure I.1 : Creusement à pleine section [1]

● **Creusement en demi-section** : plutôt adapté en présence de terrains hétérogènes nécessitant l'emploi d'un soutènement important. Pour ce type de creusement, on réalise d'abord le creusement de la partie supérieure de la section, la partie inférieure étant réalisée avec un décalage dans le temps. [2]

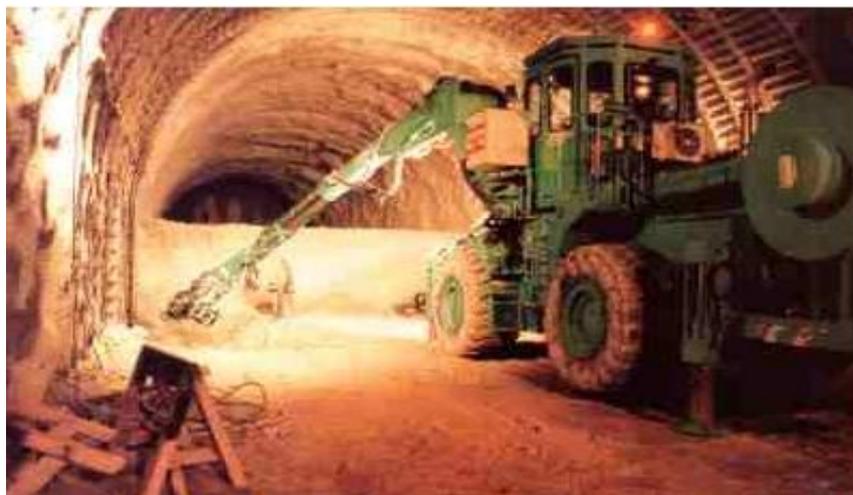


Figure I.2 : Creusement en demi-section [1]

● **Creusement en section divisée** : est choisi quand les caractéristiques du terrain sont insuffisantes pour assurer un soutènement du front de taille dans une ouverture en pleine ou demi section. Cette technique consiste en l'ouverture préalable d'une ou de plusieurs galeries de petite section dont une partie du soutènement participe au soutènement final. Cette méthode a pour conséquence importante de retarder le moment où toute la section du tunnel sera exécutée. Chaque étape du creusement doit être parfaitement contrôlée de façon à maîtriser l'évolution du terrain plusieurs manières de diviser la section sont

possibles. [2]

I.1.8 -Techniques de creusement souterrain

On distingue de types de méthodes de creusement:

- ▶ Les méthodes mécanisées;
- ▶ Les méthodes classiques (conventionnelles), à l’explosif. [2]

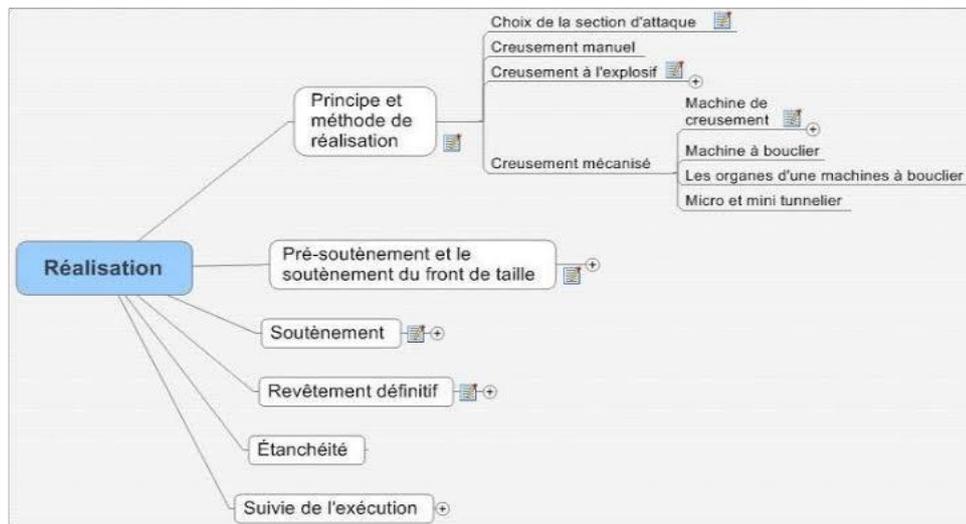


Figure I.3 : étapes de réalisation d’un ouvrage. [2]

I.1.8.1 - méthodes mécanisées

a- Abatage par machine à attaque ponctuel

Cette méthode de creusement est une technique mécanique, est exécutée par l’emploi d’une machine à attaque ponctuelles permet de creuser n’importe quel profil de dimension variable.

L’usage est généralement fait dans les roches tendres ou altérées de dureté moyenne, l’exécution se fait par les haveuses avec un bras mobile équipé d’une tête fraiseuse gratte et balaie une surface de front.

Dans les machines à attaque radiale, la fraise tourne autour d’un axe situé en prolongement du bras.

Dans les machines à attaque transversale, la fraise appelée aussi tambour, tourne autour d’un axe perpendiculaire au bras et attaque tangentiellement la surface du front ou bien par des machines à attaque ponctuelle qui abattent le terrain de manière sélective et par partie. Un Brise-Roche Hydraulique (B.R.H) et une pelle retro de chantier. Le rendement de cette méthode est bien meilleur que l’explosif. [2]



Figure I.4 : Machine à attaque ponctuelle. [2]

b- Creusement au tunnelier : Ces machines se sont considérablement développées ces dernières années et ont gagné en vitesse d'avancement, en fiabilité en capacité d'adaptation aux terrains et en augmentation de diamètre d'excavation. L'abattage est effectué à l'aide d'une roue de coupe munie de molettes (roches) ou de pics (sols). Dans le cas des sols, le creusement est réalisé à l'aide d'un (bouclier), assurant la protection des parois de l'excavation entre le front de taille et la partie revêtue de l'ouvrage. La stabilité du front de taille est alors assurée par diverses techniques.

Donc le système du tunnelier est complété par l'application d'une pression au front de taille et par l'injection d'un coulis de bourrage à l'arrière de la jupe destiné à remplir l'espace annulaire laissé entre le terrain excavé et le revêtement.

Il existe différents modes de soutènement du front de taille dans les massifs de faible résistance, l'avancement du tunnelier est assuré par des vérins longitudinaux qui s'appuient sur le soutènement déjà installé en général constitué de voussoirs en béton préfabriqués. Sur le chantier, l'utilisation d'un bouclier est devenue très courante mais dépend de plusieurs critères comme la nature des terrains, la proximité de la surface, le mode de soutènement utilisé. A partir de ces critères on distingue deux grandes catégories de boucliers.

- Les boucliers ouverts, à front pressurisé ou non
- Les boucliers fermés, à front pressurisé ou non [2]



Figure I.5 : Creusement au tunnelier [2]

I.1.8.2-Méthode traditionnelle à l'explosif : Cette méthode est adaptée à une roche saine et homogène aux caractéristiques géotechniques élevées. L'abattage à l'explosif nécessite la perforation préalable de trous de mine (constituant la volée) à l'aide de marteaux perforateurs (robots de foration assistés par ordinateur permettant une automatisation intégrale des opérations). Après excavation, la galerie est généralement renforcée par un soutènement provisoire à l'avancement des travaux, puis définitif lorsque l'ouvrage est entièrement creusé. [2]



Figure I.6 : creusement à l'explosif [2]

I.2- Mine Souterraine

I.2.1-Définition

Une mine souterraine est une excavation profonde creusée sous la surface terrestre pour extraire des minerais ou des matières premières. Contrairement aux mines à ciel ouvert, les mines souterraines sont construites en forant des tunnels et des galeries à travers la roche pour accéder aux gisements de minerai.

Selon le site web de la Chambre des Mines du Québec, une mine souterraine est définie comme suit : « Une mine souterraine est une mine où l'on accède aux gisements de minerai en creusant des galeries et des puits. Les travaux d'excavation et d'exploitation sont effectués à l'intérieur de la roche. Les mines souterraines sont utilisées pour extraire des minéraux tels que l'or, l'argent, le cuivre, le plomb et le zinc, ainsi que des minéraux industriels comme le sel, le charbon et les diamants. » [3]

I.2.2-L'exploitation souterraine

I.2.2.1-Introduction

Le choix de la méthode d'exploitation dépend des dimensions et de la configuration du gisement, de la valeur des minéraux qu'il renferme, de la composition, de la stabilité et de la résistance de massif rocheux et des impératifs de production et de sécurité. Les méthodes d'exploitation minière ont connu une évolution ininterrompue depuis l'antiquité. Il sera surtout question ici des méthodes mises en œuvre dans les mines partiellement ou entièrement mécanisées dans la dernière partie du XXe siècle. Chaque mine est un cas particulier, mais toutes en commun la recherche de la rentabilité et de la sécurité. [4]

I.2.2.2-Caractéristiques d'une mine souterraine

Les caractéristiques qui distinguent une mine souterraine sont les suivantes :

- ▶ Taux de roche excavée souvent moindre qu'une mine à ciel ouvert.
- ▶ La teneur de la minéralisation est souvent modérée à très haute.
- ▶ Profondeur de 200 m à plus de 3 000 m.
- ▶ Investissements généralement plus élevés que les mines à ciel ouvert.
- ▶ Superficie de l'opération en surface plus petite.
- ▶ Récupération possible de la roche stérile pour remblayage souterrain. (Diminution des rejets à la surface et augmentation coûts production)
- ▶ Coûts de production la tonne généralement plus élevée que les mines à ciel ouvert
- ▶ Échéancier de mise en production plus longue
- ▶ Risque plus élevé (plus de pièges). [8]

I.2.2.3-L'ossature d'une mine souterraine

Une mine souterraine est une usine localisée dans le soubassement à l'intérieur du sous-sol, dans lequel les mineurs travaillent pour soutirer des minéraux ayant une valeur économique. [8]

I.2.2.4-Modes d'ouverture

On entend par exploitation d'un gîte, l'extraction du minerai qu'il contient. Pour cela, on construit une série d'ouvrages miniers dans les terrains morts et dans le minéral d'après un plan bien défini.

Ces ouvrages en roches stériles s'appellent ouverture d'un gîte et permettent d'atteindre le minéral à partir du jour. Les excavations qu'il est indispensable d'exécuter pour l'ouverture d'un gîte et les travaux relatifs à la construction de ces dernières sont qualifiés comme travaux de base.

Ces derniers comprennent le creusement des ouvrages donnant l'accès au gisement à partir du jour (surface), cela doit assurer :

- ▶ Une entrée d'air.
- ▶ Une sortie d'air.
- ▶ Des voies de transport pour les produits à extraire, pour le matériel, ainsi qu'aux personnels.

Les modes d'ouverture sont classés suivant les types des ouvrages principaux donnant l'accès au gisement. On distingue quatre (4) modes :

- ♣ L'ouverture par galeries au jour.
- ♣ L'ouverture par puits vertical.
- ♣ L'ouverture par puits ou galeries inclinés.
- ♣ L'ouverture combinée. [9]

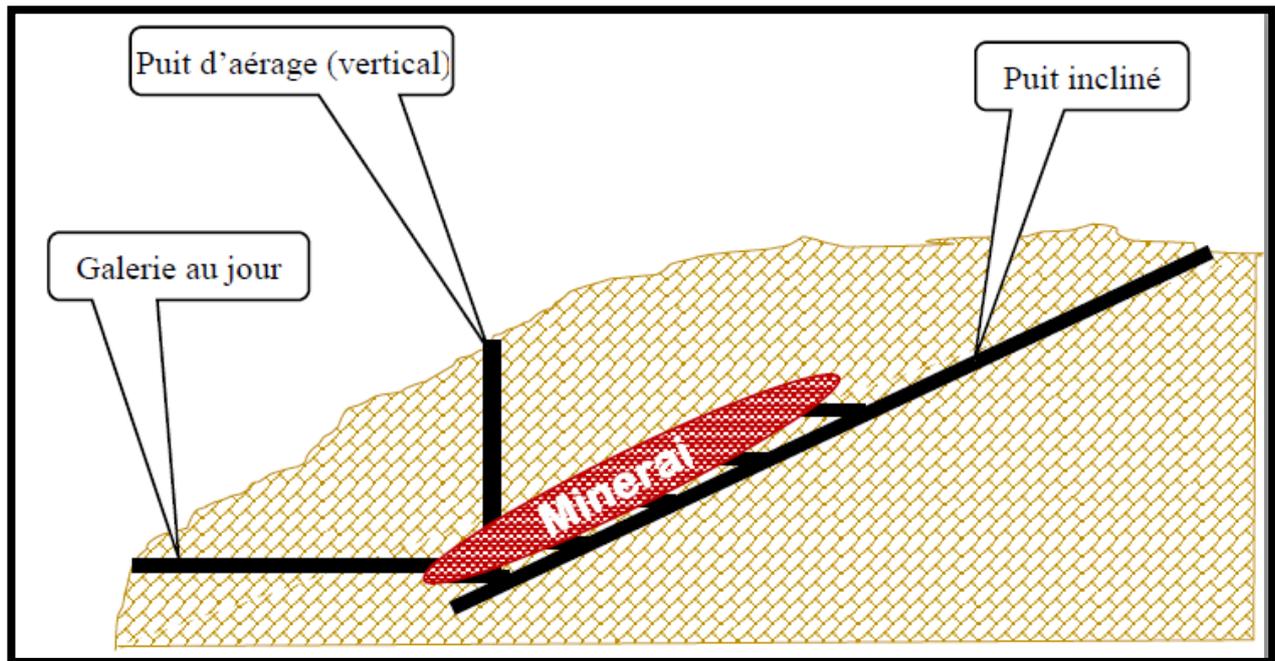


Figure I.7 : Un exemple d'une ouverture par le mode combiné [9]

I.2.2.5- Travaux préparatoires

Après l'ouverture du gîte par les ouvrages capitaux, on creuse des ouvrages (galeries, plans inclinés, descenderies, montages, etc.) dans le minerai lui-même ou dans le stérile, destinés à l'extraction du minerai. Ces ouvrages et les travaux qu'ils nécessitent portent le nom de préparatoires.

Dans les projets de mines, il est indispensable de déterminer le type, les dimensions des champs miniers et d'extraction, le nombre et l'emplacement des puits, la profondeur de l'étage. [9]

I.2.2.6-Travaux d'abattage

L'opération d'abattage dans une mine consiste à détacher la roche à extraire du massif soit au moyen d'outils à main (pic, marteau-piqueur), soit mécaniquement (haveuse, rabot, mineur continu), soit par l'action de l'explosif, soit hydrauliquement (par un jet d'eau sous pression) et à la réduire en éléments plus petits pour la manutentionner et la transporter [9]

I.2.2.7-Les méthodes d'exploitation souterraine

Une fois que le gisement est raisonnablement bien défini en ce qui concerne ses limites, sa forme et son caractère, il peut être envisagé de choisir une méthode d'exploitation appropriée.

Le choix de la méthode d'exploitation d'un gisement dépend de plusieurs facteurs dont les principaux sont :

- ▶ La forme du gîte ;
- ▶ Les dimensions du gîte (puissance, dimensions comptées en direction et au pendage)
- ▶ Les conditions de gisement ;
- ▶ Les propriétés des minerais et des roches avoisinantes en ce qui concerne la stabilité, le caractère de leur effondrement, le tassement après effondrement, etc. ;
- ▶ La répartition des teneurs en métal dans le gîte. [9]

Il existe plusieurs méthodes d'exploitation souterraine qui sont applicable à ces types des gisements :

•pour les gites métallifères

- 1)-Méthode d'exploitation par chambres vides ;
- 2)-Méthode d'exploitation par chambres boisées ou charpentées ;
- 3)-Méthode d'exploitation par chambres-magasins ;
- 4)-Méthode d'exploitation par chambres foudroyées ;
- 5)-Méthode d'exploitation par chambres remblayées.

•Pour les gites en plateure

- 1)-L'exploitation par chambres et piliers.
- 2)-L'exploitation par longue taille. [9]

I.2.2.8-Le soutènement**I.2.2.8.1-Introduction**

Chaque année, plusieurs accidents se produisent dans les mines souterraines, souvent en raison d'un soutènement inadapté, basé sur une caractérisation incorrecte de la masse rocheuse.

Pour cela, les auteurs proposent plusieurs méthodes de conception de soutènement qui tient compte de la taille des blocs rocheux des parois de l'excavation. Cet outil devrait aider les ingénieurs miniers et géologues à concevoir des soutènements qui peuvent prévenir la chute de blocs rocheux instables, offrant ainsi aux travailleurs un milieu de travail plus sécuritaire. [3]

I.2.2.8.2-Définition

Le soutènement est un système de protection et d'assurance de la stabilité de l'ouvrage contre tous les incidents d'instabilité survenue pendant l'exécution des travaux en exerçant une certaine pression contre le terrain et en supportant le poids du toit de la galerie creusé .

Le soutènement a pour but :

- ▶ de garantir la sécurité du personnel travaillant dans la galerie ;
- ▶ d'assurer la stabilité des parois de celle-ci dès la phase d'abattage du terrain et, si nécessaire, d'en limiter les déformations ;
- ▶ de protéger le terrain dans le cas où celui-ci est susceptible de subir une évolution défavorable (altération, déconsolidation, etc...) après ouverture, conduisant à une diminution inacceptable de ses caractéristiques. [10]

I.2.2.8.3-Classification des modes de soutènement

1) Les soutènements agissant comme supports :

C'est le soutènement seul qui doit résister aux différents efforts, dans le cas où le terrain a des caractéristiques géo mécaniques faibles.

Les éléments employés sont essentiellement :

- ▶ Les cintres (lourds et légers) ;
- ▶ Plaques métalliques assemblées ;
- ▶ Tubes perforés ;
- ▶ Voussoirs en béton ;
- ▶ Bouclier ; [10]

2) Système de soutènement provisoire

Le soutènement provisoire peut se définir comme un quelconque système conçu et mis en œuvre pour soutenir le périmètre d'une ouverture souterrain entre l'excavation initiale et la mise en place d'un revêtement permanent.

Dans certaines circonstances, le soutènement provisoire peut également être utilisé à titre permanent, comme par exemple dans le cas des voussoirs préfabriqués en béton mis place par un tunnelier. [10]

On distingue quatre principales catégories de soutènement.

❖ Les soutènements agissant par confinement du terrain encaissant:

Le soutènement développe le long des parois une contrainte radiale de confinement généralement faible, c'est le terrain qui joue le rôle essentiel. Il y a généralement deux types essentiels :

- Le béton projeté seul
- Le béton projeté associé à des cintres légers. [10]



Figure I.8 : Béton projeté seul [2]



Figure I.9 : Béton projeté avec les cintres [2]

❖ **Les soutènements agissant à la fois confinement et comme armature du terrain encaissant :**

Il s'agit boulonnage sous diverses formes, qu'il soit ou non associé au béton projeté, aux cintres légers ou aux deux dispositifs simultanément :

- Boulons à ancrage ponctuel (à coquille ou à la résine)
- Boulons à ancrage réparti (scellés à la résine ou au mortier)
- Barres foncées. [2]



FigureI.10 : boulons à encrage [2]

❖ **Les soutènements agissant comme supports:**

- Cintres lourds
- Cintres légers
- Plaque métalliques assemblées
- Voussoirs en béton
- Tubes perforés (voute parapluie)
- Boucliers [6]



Figure I.11: cintres [2]

❖ Les soutènements agissant par consolidation du terrain et modification de ses caractéristiques géotechniques ou hydrologiques

- Injections de consolidation
- Air comprimé
- Congélation [2]



Figure I.12 : machine d'injection de Consolidation [2]



Figure I.13 : congélation [2]

I.2.2.8.4-Classification des soutènements

Le premier type de soutènement utilisé dans les ouvrages souterrains, c'est le soutènement métallique. [2]

I.2.2.8.4.1- Soutènement métallique

Le soutènement métallique comprend deux catégories principales ;

- ▶ soutènement par boulonnage
- ▶ soutènement par cintres métalliques :

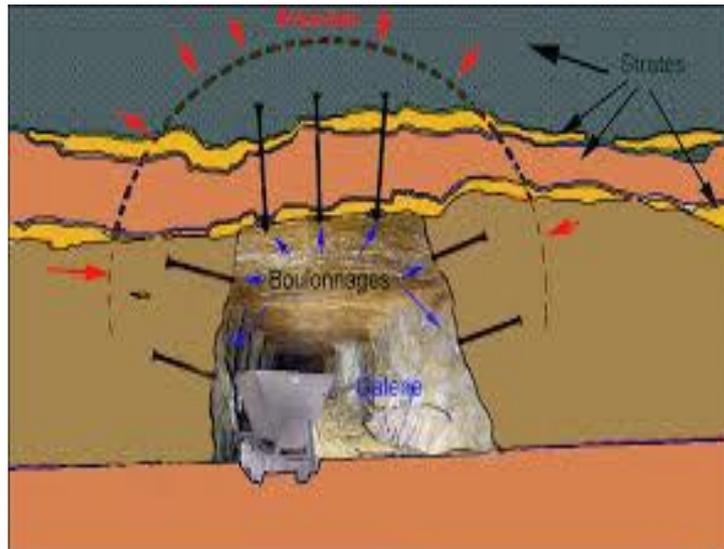
I.2.2.8.4.1.A- Soutènement par boulonnage

On appelle boulonnage le renforcement du terrain encaissant au moyen de barres généralement métalliques, de longueur comprise entre 1.50 à 10m, à l'intérieur du terrain à partir de la surface libre, les boulons se distinguent des tirants par deux caractères principaux : leur longueur dépasse généralement 10 m, et ils sont mis en traction volontairement à une fraction importante de leur charge de rupture.

Les tirants (qui sont des éléments actifs) par opposition aux boulons qui sont passifs.

Contrairement aux cintres qui agissent comme des supports, les boulons agissent surtout par confinement, c'est-à-dire qu'ils développent, le long de la paroi du tunnel, une contrainte radiale qui même si elle est faible, permet d'augmenter dans des proportions très importantes la résistance du terrain dans la direction tangentielle. Même s'il a localement dépassé sa limite de rupture, le rocher est ainsi capable de retrouver un nouvel état d'équilibre grâce à la formation de voutes de décharge tout autour de l'excavation. Les boulons agissent également comme armatures en améliorant la résistance au cisaillement du terrain fracturé et en lui conférant une sorte de cohésion fictive.

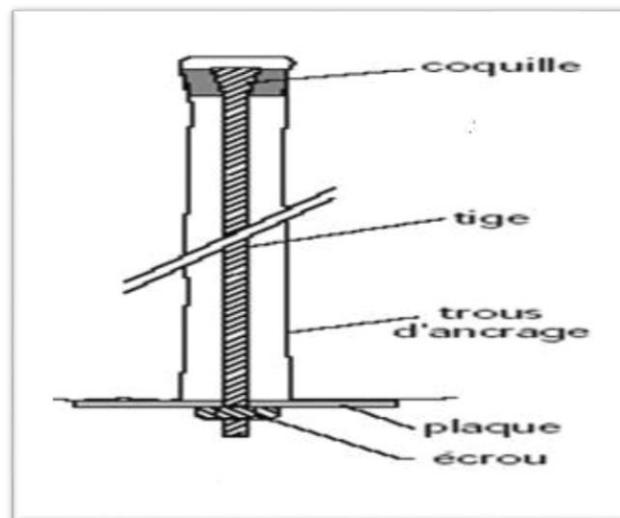
Ceux-ci sont de deux types : boulons à ancrage ponctuel, boulons à ancrage réparti. Le choix entre ces deux types est essentiellement lié à la nature du terrain. [2]



FigureI.14 : soutènement par boulonnage [2]

❖ Les boulons à ancrage ponctuel

Ce sont les plus anciens : ils comportent une tige fixée au rocher à leur extrémité par une coquille qui s'écarte lorsqu'on visse la tige sur la paroi. Puis on serre l'écrou de tête du boulon sur une plaquette. [3]



FigureI.15 : Boulon à ancrage ponctuel. [3]

❖ Les boulons à ancrage réparti

Le boulonnage à scellement réparti est constitué à la paroi, d'une plaque métallique servant d'appui et d'un système de serrage par écrou. Le contact à l'intérieur du trou est assuré par une gaine de scellement sur toute la longueur du boulon. Le produit de scellement est soit du mortier de ciment, soit de la résine. La longueur de ces boulons est comprise entre 1 et 8 m. [3]

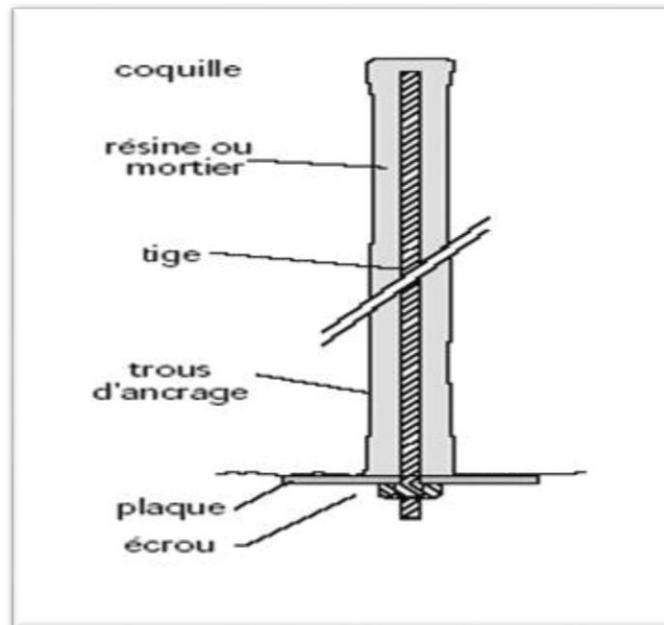


Figure I.16 : Boulon à ancrage reparti. [11]

❖ Les boulons à friction :

Ce type de boulon fonctionne par interaction avec le terrain encaissant pendant sa mise en œuvre [3]

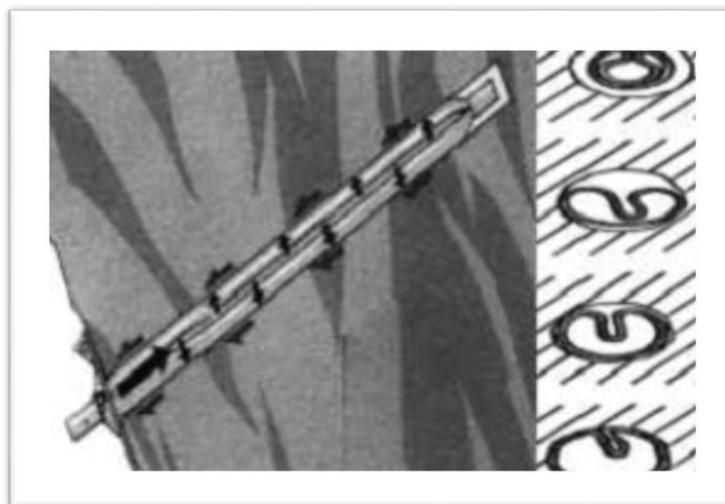


Figure I.17: Exemple de boulon à friction. [3]

I.2.2.8.4.1.B. Soutènement par cintres métalliques

Il y a trois types des cintres : cintres réticulés, cintres lourds et cintres coulissants sont donnés comme suit :

Cintres à armature réticulée :

Le cintre réticulé a été développé pour renforcer le béton projeté-boulonné par des armatures beaucoup plus résistantes qu'un simple treillis soudé, utilisé principalement avec les méthodes de creusement faisant intervenir le béton projeté comme moyen de limiter les déformations des terrains, les cintres réticulés permettent de suppléer la faiblesse de résistance des bétons aux jeunes âges. L'amélioration par rapport aux cintres traditionnels (HEB, TH) vient du fait que les cintres réticulés un élément intégré dans le béton projeté. Ils évitent par leur forme les zones de cavité et facilitent la mise en place du béton projeté, permettent de diminuer ainsi l'affaissement des terrains. Dans cette méthode, la cohésion entre le béton projeté et le cintre joue un rôle prépondérant. [9]

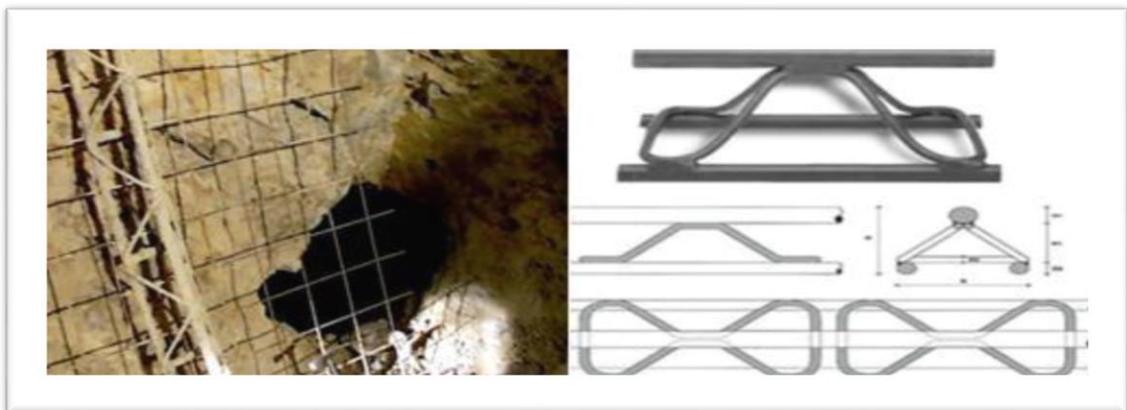


Figure I.18: Cintre réticulé. [9]

Cintres lourds et blindage :

Il s'agit de soutènement plus important pour les terrains de faibles caractéristiques physiques et géo mécaniques, pouvant être placés provisoirement ou définitivement en étant insérés dans le revêtement. Ce type de soutènement lourd (HEB), est l'un des plus utilisé quand la contrainte est élevée car il déforme moins et reprend aussi bien des efforts de compression que des efforts de traction, il permet de résider à des moments de flexion importants.

Les plaques de blindage sont mises jointives entre cintres et le terrain. Elles peuvent parfois être tenues par des boulons, ou également être liaisonnées entre elles. Elle sert

pour éviter l'éboulement du terrain et l'effondrement du front de taille, la répartition des charges quand n'avoir pas un effet de voûte efficace. [9]



Figure I.19 : Blindage. [9]



Figure I.20 : Cintre lourd. [9]

Cintres coulissants

Les cintres légers, généralement coulissants et agissants par confinement ou comme simple protection : constitués d'un profilé spécial en forme de U évasé, les différents éléments disposés en recouvrement sur une quarantaine de centimètres sont assemblés par serrage de deux étriers. Ces cintres, sous l'action de la poussée du terrain peuvent se déformer par glissement des éléments l'un par rapport à l'autre.

Dans le cas de cintres coulissants, les boulons des étriers doivent être serrés suivant les indications du fabricant. [8]

I.2.2.8.4.2-Soutènement en béton

Les types de soutènement utilisant le béton sont les suivants :

❖ Béton projeté:

L'utilisation de béton projeté comme mode de soutènement souterrain avec le boulonnage et/ou les cintres légers, il constitue ce que l'on appelle la méthode de construction avec soutènement immédiat par béton projeté et boulonnage et qui est également connue sous le nom de nouvelle méthode autrichienne (NATM).

Le béton projeté est constitué par un mélange de ciment, d'eau et de granulats (diamètre

maximum 25mm). Un additif accélérateur de prise (environ 5%) peut être ajouté lorsqu'une résistance élevée initiale pour la prise est requise. la gunité présente la même composition que le béton projeté, mais le diamètre maximal des agrégats est de 50 mm. [3]



FigureI.21 : Mise en œuvre du béton projeté. [9]

La mise en oeuvre du béton projeté peut être réalisée selon deux techniques :

- Par voie sèche :

Les composants solides sont malaxés, puis le mélange sec est expulsé par un flux d'air comprimé jusqu'au gicleur de la pompe. Ou l'eau est ajoutée avant la projection. Les premières applications de cette technique, appelée guniter (de l'anglais to gun), datent de 1910. [3]

- Par voie mouillée (humide) :

Tous les composants, y compris l'eau, sont malaxés, puis le mélange humide arrive jusqu'au gicleur de la pompe, ou il est projeté. Les premières applications de cette technique, appelée shotcrete (de l'anglais to shotcrete), datent des années 1960. [8]

❖ Voussoirs en béton préfabriqué

Un voussoir est une écaille de béton armé qui est préfabriquée à poser par un assemblage précis, plusieurs voussoirs forment un anneau. Les voussoirs sont mis en place par anneaux cylindriques successifs et servent d'appui longitudinal pour la progression du boulier au moyen de vérins hydrauliques dont les patins reposent sur la face avant du dernier anneau posé. [2]



Figure I.22 : revêtement par voussoirs en béton. [10]

I.2.2.8.5-Choix d'un type de soutènement

Le choix raisonné de d'un type de soutènement comprend deux phases successives :

1. Une phase d'analyse technique du problème qui aboutit à l'élimination d'un certain nombre de types de soutènement n raison de leur incompatibilité avec certaines des données techniques du projet qui peuvent être d'ordre géotechnique, géométrique ou liées à l'environnement.

2. Une phase complémentaire d'analyse économique qui fait intervenir :

- ▶ D'une part le dimensionnement du soutènement qui est l'un des éléments de calcul du cout.

- ▶ D'autre part les éléments de prix de revient propres à l'organisation du chantier considéré : plus au moins grande mécanisation, longueur du tunnel et un délai à respecter. [12]

I.3-Conclusion

Dans ce chapitre nous avons donne une généralité sur les ouvrages souterraines et abordé la nécessité de déterminer la méthode d'exploitation d'une mine souterraine pour l'extraction de minerai en toute sécurité ainsi que le rôle principal du soutènement pour assurer la sécurité des excavations pratiquées dans les roches et dans le sol.

II.1-Généralité sur la mine d'Ain Mimoun

II.1.1-Introduction

La mine d'Ain Mimoun (wilaya de Khenchela), fait partie de l'une des unités de l'ENOF en Algérie.

Dans ce chapitre, nous allons donner une vision globale sur la zone d'étude et une généralité sur le baryte.

II.1.2-Présentation de l'unité d'Ain Mimoun

L'unité de SOMIBAR Ain Mimoun a été créée en 1973 pour exploiter, traiter et commercialiser la baryte du champ filonien d'Ain Mimoun destinée principalement pour les forages pétroliers, en raison de sa densité élevée. En 1985 et en vue de répondre aux nouvelles exigences qualitatives, l'unité a renforcé son procédé de traitement par un jig qui consiste à une classification et une séparation pour élever sa densité jusqu'à 4, 20 au minimum. En 1999 l'unité a renforcé son laboratoire d'analyse par de nouveaux équipements de contrôle qualité. En 1985, l'unité, dans l'objectif de diversifier sa gamme de production, a connu une extension pour traiter et à commercialiser la dolomie ($\text{Ca Mg}(\text{CO})_2$) destinée à l'industrie du verre. [13]

II.1.3- Organisation

L'organigramme de l'unité Ain Mimoun est représenté sur la figure :

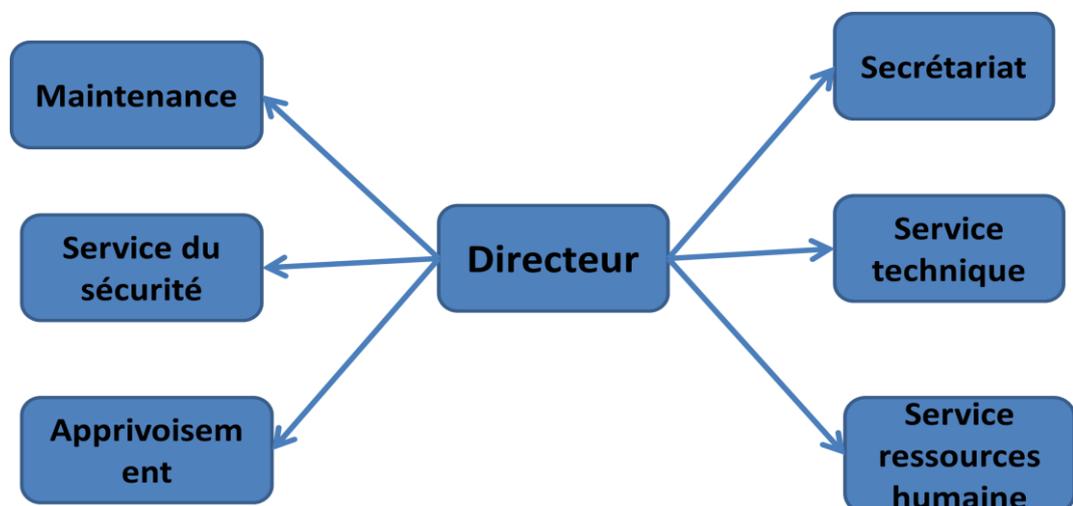


Figure II.1 : Schéma d'organisation de l'unité d'Ain Mimoun [13]

II.1.4-Cadre géographique du champ minier d'Ain Mimoun

Le gisement barytique d'Ain Mimoun est situé à 26 km à l'Ouest de Khenchela (Figure II.2).

Le champ minier d'Ain Mimoun est situé dans la partie orientale des monts des Aurès dont les sommets culminent à plus de 2000m. Ces monts fortement accidentés constituent une partie de l'Atlas Saharien Oriental.

Hydro graphiquement, l'anticlinal de Khenchela est sillonné par des vallées profondes à versants assez rapides, et constituant le lit des cours d'eau saisonniers.

Le climat de la région est de type continental, sec en été avec des températures élevées en été et froid en hiver avec des chutes de neige assez fréquentes ; l'écart saisonnier en température est en moyenne de 15°C à 20°C.

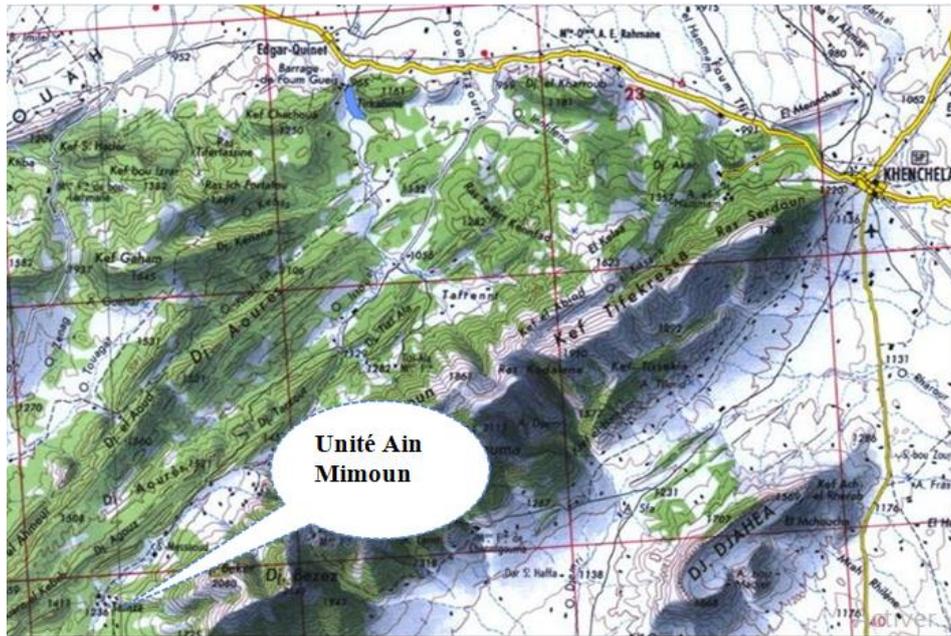
La couverture végétale est très dense, formée de vastes et denses forêts de pins et d'Alep, de chênes.

Une usine de traitement du minerai de barytine est située au niveau de village d'Ain Mimoun.

Les filons de barytine sont reliés à l'usine de traitement par des pistes partiellement asphaltées et goudronnées. Ces dernières sont plus au moins éloignées de l'usine.

Les filons n° : 3, 7, 8, 9, 15, 16, 17, 18, 19, 21, kissan1, 2,3 sont situés respectivement de 6 à 18 km à l'Est de l'usine de traitement.

Les filons n° : 1, 2, 5, 10, 11, 12, 13, 14 sont situés de 4 à 16 km au sud Ouest de l'usine de traitement. [13]



Extrait institut géographique national echelle 1/5000

Figure II.2: Situation géographique de l'unité Ain Mimoun. [13]

II.1.5-Production du minerai de baryte

L'unité a produit durant la période 1973-2009 :

- 1239423 tonnes de tout venant.
- 779813 tonnes baryte de forage (traité).

L'extraction du minerai est passée en deux périodes :

Une exploitation exclusivement en carrière durant la période 1972 à 1985 du minerai de barytique des filons proches de l'usine avec une capacité de production moyenne annuelle de 40000 tonnes.

Une exploitation souterraine à partir de 1985 des filons plus éloignés menée conjointement avec l'exploitation en carrière avec une capacité de production moyenne 28000 tonnes. [13]

II.1.6- Caractéristiques physico-chimiques et Domaines d'utilisation de la Baryte

La barytine est un minéral composé de Sulfate de baryum $BaSO_4$. Il est appelé communément baryte dans le domaine pétrolier. La baryte possède les caractéristiques suivantes :

- ▶ Cristallise dans le système orthorhombique.
- ▶ Densité 4,48 La baryte est remarquable par son poids exceptionnel et la perfection de ses cristaux.
- ▶ Dureté 3 à 3,5 sur l'échelle de Mohs.
- ▶ Clivage Parfait dans une direction, faible dans les autres. La barytine grossière constitue divers agrégats, en général clivables.

La baryte est insoluble dans l'eau et dans l'acide chlorhydrique (HCl) et peu soluble dans l'acide sulfurique.

Comme propriétés physiques la baryte ne peut être traversée par les rayons X utilisés dans la radioscopie.

La baryte est un minerai qui trouve son utilisation essentiellement dans le domaine pétrolier, où les pétroliers utilisent cette matière dans la boue de forage grâce à sa densité très importante (4,20) ; elle fait partie de la composition de la boue de forage, essentielle.

Elle est utilisée aussi dans la fabrication de la peinture et les bétons lourds antiradiation.

[13]

II.2- Exploitation Souterraine

II.2.1- Principales étapes d'une exploitation souterraine

L'exploitation souterraine d'un gisement comprend trois (3) étapes principales :

II.2.1.1-Ouverture du gisement

Les travaux d'ouverture d'une mine consistent à creuser les ouvrages qui composent l'ossature de la mine. L'ossature est l'ensemble des ouvrages principaux qui permettent d'accéder aux différentes parties du gisement. [17]

-Exigences

L'ouverture d'une mine doit obligatoirement assurer :

- l'entrée d'air
- la sortie d'air
- voies de transport du personnel, du minerai, des stériles et des matériels. [17]

Les ouvrages du complexe d'ouverture se divisent en deux groupes :

A- groupes des ouvrages principaux

Ils ont une liaison directe avec le jour : ce sont les puits, les galeries au jour, les descenderies.

B- Groupes des ouvrages secondaires

Ils assurent la liaison entre le gisement ou le jour avec les ouvrages principaux : ce sont les travers-bancs, les cheminées, les puits aveugles...

Ces ouvrages peuvent être disposés dans le gisement lui-même, au toit ou au mur du gisement et dans les roches de recouvrement

II.2.1. 2- Préparation des chantiers d'abattage

La préparation consiste à la réalisation de l'ensemble des travaux de pénétration et de réalisation du découpage du gisement pour en permettre l'exploitation. Cette étape constitue une poursuite des travaux de développement. [17]

II.2.1. 3. « Dépilage » ou production du minerai

Le dépilage est la principale phase de l'exploitation. Il comprend l'abattage et l'enlèvement de la plus grande partie du minerai ainsi que le maintien des vides créés. [17]

II.2.2. Choix du mode d'ouverture

L'ouverture d'un gisement c'est le creusement des excavations minières donnant l'accès à ce gisement à partir de la surface et assurer la possibilité de réaliser le creusement des ouvrages miniers préparatoires. Dans tous les cas, ces ouvrages doivent assurés : une entrée d'air, une sortie d'air et des voies de transport de matériel et pour les produits à extraire ainsi que aux personnels.

L'ouverture d'un filon consiste au choix du type, de l'endroit d'emplacement et de la position de l'ouvrage. Le mode d'ouverture rationnel doit assurer :

- ▶ La sécurité des travaux ;
- ▶ Bonne économique ;
- ▶ Les investissements et frais d'exploitation et le degré, d'utilisation des réserves du gisement ;
- ▶ Intensité et commodité nécessaire des travaux. [18]

II.2.3- Facteurs qui influent sur le choix du mode d'ouverture

Il existe plusieurs facteurs qui influent sur le choix du mode d'ouverture souterrain dont les principaux sont :

- ▶ La topographie et la nature de massif ;
- ▶ La nature du terrain et du corps minéralisé ;
- ▶ Les conditions de transports au fond et au jour ;
- ▶ La méthode d'exploitation du gisement ;
- ▶ Les conditions économiques. [18]

II.2.3. Types d'ouvertures des gisements :

II.2.3. 1- Ouverture par galerie au jour :

Application : gisement des montagnes ; Ce mode d'ouverture est rationnel pour les gisements filoniens, cette galerie traverse le minerai et les rochers. [17]

● Les avantages d'ouverture par galerie au jour :

- Simplicité du schéma d'ouverture
- Absence de dépense pour la construction des installations de culbutage, d'exhaure, ... etc.
- Possibilité d'emploi de transport sous –peux
- un cout réduit de creusement et d'entretien
- rapidité de la mise en œuvre de la mine. [17]

● **Les inconvénients :**

● Les galeries au jour ne permettent pas souvent d'atteindre l'étage inférieur de gisement

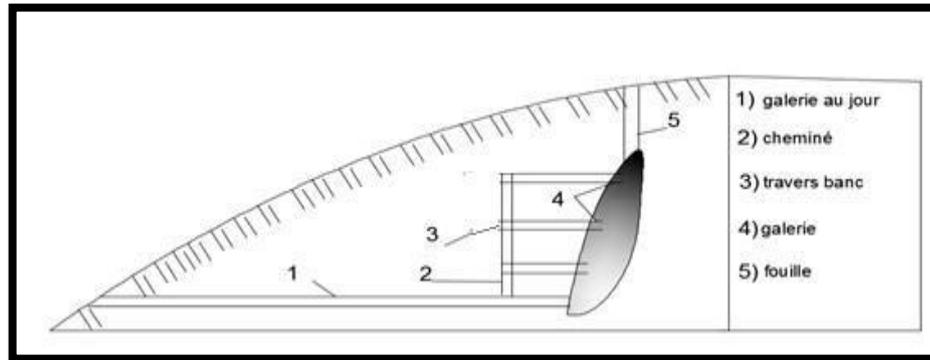


Figure II.3 : Ouverture par galerie au jour avec cheminée verticale. [17]

II.2.4-Description des filons du champ minéralisé

L'étendu des filons de baryte en direction varie largement de (20-50) m, 1400 m, d'après l'étendue se distingue les grands filons plus de 400 m de longueur, [N°= 01.02.03.04.05.10 et 11] ; les filons moyens de 100 m à 400 m, de [N° 5.06.07.08.09.12] et les filons menus de premières dizaines de mètres jusqu'à 100m en profondeur les filons s'entendent jusqu'à 50 – 100 m. [19]

Filon n 04

Situé à 11 km au Sud- Est de l'usine de traitement, filon découvert par 27 tranchées en surface et 20 sondages en profondeur.

La maille utilisée est de 100 à 120m pour les tranchées et de 110 à 120 m, 50×60m pour les sondages.

- 1-Longueur du filon: 1450m
- 2-Profondeur du filon: 40 à 100 m
- 3-Puissance change en moyenne 2,11m
- 4-Pendage du filon : 65°- 83°au Sud est de direction Nord
- 5-Partie centrale 45°-64°au Sud
- 6-partie Ouest 47°-68°au Sud Ouest
- 7-Teneur en BaSO₄ en moyenne 81,9
- 8-Teneur en SiO₂ ; 10,04 %
- 9-Les travaux miniers réalisés au 31-12-1999 : 3220m
- 10-Tout venant extrait au 31-12-2002 : 130291t

Filon n 10 :

Situé à 15km au Sud- Est de l'usine de traitement, filon découvert par 13tranchées en surface et 08sondages en profondeur.

La maille utilisée est de 40 à 60m pour les tranchées et de 100×120m pour les sondages.

1-Longueur du filon:900m avec une interruption de 150

2-Profondeur du filon: 80 m

3-Puissance change de 0,2m à 5,6 en moyenne 2,1m

4-Pendage au Sud-Ouest est: 87,26%.

5- SiO₂varie de 2,86 à 53,41° en moyenne 16%

6 -Tout venant extrait au 31-12-1983 : 26800t. [20]

II.2.5-Choix des méthodes d'exploitation en souterrain

Le choix de la méthode d'exploitation des gites métallifères dépend de plusieurs facteurs dont les principaux sont :

- ▶ La forme du gite ;
- ▶ Les dimensions du gite (puissance, dimensions comptées en direction et au pendage) ;
- ▶ Les conditions de gisement ;
- ▶ Les propriétés des minerais et des roches avoisinantes en ce qui concerne la stabilité,
- ▶ Caractère de leur effondrement, le tassement après effondrement etc ;
- ▶ La répartition des teneurs en métal dans le gite.
- ▶ Les différentes méthodes d'exploitation adéquate pour chaque type de gisement, en tenant compte de pendage du gisement et la résistance de minerai et desépontes sont représentées dans le (Tableau II.1) ci-dessous. [14]

Tableau II.1 : Le choix des différentes méthodes d'exploitation adéquate

Type du gisement	Pendage	Résistance du minerai	Résistance des épontes	Méthode d'exploitation Applicable
filon mince (de 1 à 5 m environ)	Forte	Bonne	Bonne	- Gradins droits ou renversés (chambres vides) - Chambre magasins - Sous-niveaux abattu - Sous-niveaux foudroyé - Chamber montante remblayée

Le choix de la méthode d'exploitation doit répondre aux exigences suivantes :

- Sécurité du personnel
- Sécurité des ouvrages miniers.
- Meilleur rendement.
- Prix de revient minime.
- Perte et salissure minimal. [14]

II.2.6- Méthodes d'exploitation utilisée au niveau d'Ain Mimoun

La décision à prendre en matière de choix de la méthode est une situation fréquente, puisqu'elle se présente non seulement pour un gisement nouveau, mais à chaque fois un paramètre important connaît une variation sensible exigeant pour le moins une adaptation de la méthode précédente.

En se basant sur les propriétés physico-mécaniques du minerai et des roches encaissantes, le pendage des filons qui varie de 28°- 80°, ainsi que des possibilités techniques de la mine, les méthodes retenues sont :

- **Le sous-niveau abattu** pour le filon N° 4 ,10 et 11 qui sont en cour d'exploitation; [14]

II.6.1-Description du gisement de Ain Mimoun

Le gisement barytique d'Ain Mimoun est de type filonien, encaissé dans un complexe carbonaté d'âge crétacé représenté par des calcaires, dolomies, marnes et argiles de dureté égale à 8-10 selon échelle PROTODIAKONOV.

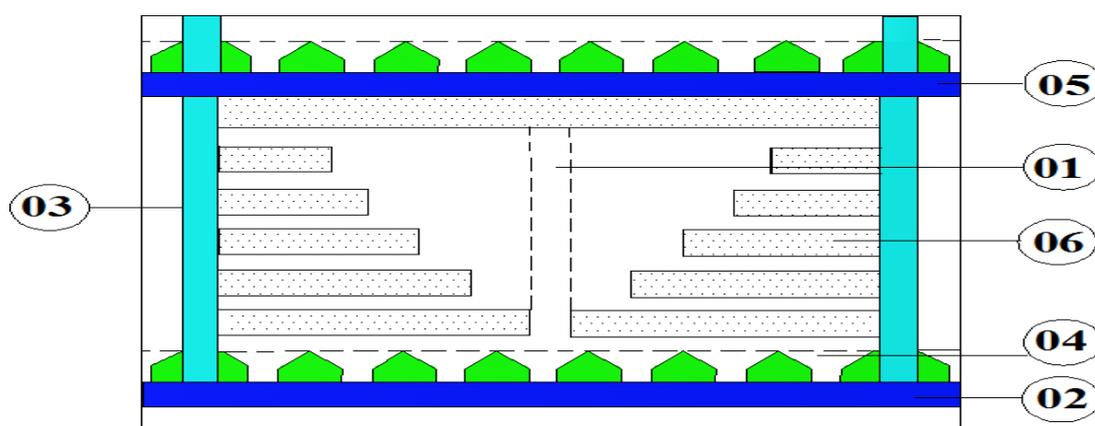
Le programme d'exploitation de l'année 2018 est basé sur le filon n°4 qui regroupe trois niveaux d'exploitation 1770 m, 1730 m et 1690 m.

Le programme de développement de l'unité de Ain Mimoun à court terme sera basé sur plusieurs filons à savoir filon 10, filon 2 Est et filon 15 niveau 1395 m, les deux derniers nécessitent des travaux de confirmation par des travaux de recherche. [13]

II.6.2-Méthode d'exploitation par Sous-niveaux abattus

Vu la morphologie et les conditions géologiques du gisement, l'exploitation souterraine est la mieux appropriée. Vu la diversité des méthodes souterraines qui dépendent directement des caractéristiques géométriques des corps minéralisés, la méthode retenue pour l'exploitation des filons 4, 10 et 11 durant les exercices précédents est celle par sous niveaux abattus qui est basée beaucoup plus sur les travaux préparatoires par rapport aux autres méthodes d'exploitation. Le choix de cette méthode est défini en fonction des paramètres suivants :

- Morphologie du corps minéralisé : gisement filonien
- Encaissant : complexe marno-calcaire (bonne tenue des épontes)
- Pendage : 60° à 80°
- Puissance 1 à 4 m. [13]



- 1 : Cheminée coupante 2 : Galerie de roulage 3 : Cheminée latérale
 4 : Entonnoir 5 : Galerie d'aération 6 : Minerai en place

Figure II.4 : Schéma de la méthode d'exploitation -sous-niveaux abattus.[13]

Cette méthode nécessite un grand volume de travaux préparatoires, et vu la non rentabilité du produit explosif TEMEX dans les travaux préparatoires (une seule surface de dégagement), le recours à la méthode d'exploitation par gradins droits fut imposé du fait que cette méthode ne nécessite pas un volume de travaux préparatoires important. [14]



Figure II.5 : Galerie au jour [14]

- Avantage :
 - ✓ Aisance des travaux de forage.
 - ✓ Bon rendement.
 - ✓ Dépenses minimales. [14]

II.2.7- Travaux d'infrastructures

Les travaux d'infrastructures au niveau de la mine de Ain-Mimoun consistent à : L'entretien des pistes d'accès vers les différents niveaux d'exploitation du fait que ces dernières sont intensément dégradables sous l'action des facteurs climatiques, il s'agit donc du revêtement et de construction des rigoles de part et d'autre sur une longueur d'environ 16 kms. [13]

II.2.8- Travaux préparatoires

Les travaux préparatoires sont des ouvrages destinés à diviser un gisement en blocs ou chambres d'exploitation de dimensions définies, et que chaque bloc doit être limité par des cheminées destinées pour le déplacement du personnel et des équipements, et qui servent aussi à l'aération des chantiers. Ces ouvrages comportent :

- ✓ La galerie de roulage (ou de base) ;
- ✓ La galerie de tête (dans notre cas, il s'agit de la galerie de base du niveau Supérieur) ;
- ✓ Les cheminées ;
- ✓ Les recoups ;
- ✓ Les entonnoirs. [13]

II.2.9- Paramètres de creusement**1- Galerie de roulage de section trapézoïdale**

- Longueur, elle est égale à l'extension longitudinale de la partie à exploiter
- Grande base : 3.2 m
- Petite base : 2.2 m
- Hauteur : 2.7 m²
- Section : 7.2 m² [13]



Figure II.6 : Galerie de roulage [14]

2- Cheminée de section carrée :



Figure II.7: Cheminée boisée [14]

- Longueur, elle est égale à l'extension longitudinale de la partie à exploiter.
- Coté : 2.0 m
- Section : 4.0m² [14]

3- Recoupe de Section carrée

- Longueur, elle est égale à l'extension longitudinale de la partie à exploiter
- Coté : 2.0 ml
- Section : 4.0 m [14]

4- Entonnoirs :

Creusés au niveau du toit de la galerie de roulage à forme

Conique, servant pour le stockage et le soutirage du tout-venant abattu. [14]



FigureII.8 : Entonnoir de soutirage [14]

II.2.10- La foration

C'est l'action de creuser des cavités dans un front appelées trous de mine selon un plan de tir approprié à l'aide des marteaux perforateurs type T21, et T28 avec des fleurets monobloc de 1.2m de longueur et 40 mm de diamètre. L'énergie pneumatique est assurée par : Trois compresseurs diesel type ATLAS COPCO :

- 02 compresseurs de marque Atlas Copco type XRHS506 d'une capacité de 35 m³/mn et une Pression minimum effectif de réservoir 12.5 bar, Pression maximum 22 bar en bon état

- 01 compresseur de marque Atlas Copco type XRHS 506 d'une capacité de 35 m³/mn et une Pression minimum effectif de réservoir 7 bars, Pression maximum 16 bars dans un état moyen [14]



Figure II.9: Front de Taille foré [14]

II.2.11-Chargement et tir

une fois les travaux de foration sont terminés et les trous sont bien nettoyés (soufflage) on procède au chargement de ces derniers par l'introduction de la matière explosive de type TEMEX de 30 mm sous forme de cartouches de 250g à l'aide d'un bourroir en bois en commençant d'abord par la cartouche amorce puis le reste de la charge .l'amorçage des charges explosive est effectué par des détonateurs électrique type D E R. par la suite intervient le bourrage des trous à l'aide de l'argile ainsi le chargement étant terminé on effectue la connexion des détonateurs (connexion en série), les relier à la ligne de tir qui est relié à son tour à la source d'explosion (exploseur). [14]

II.2.12- Chargement et transport

1- Chargement

Les excavateurs et les chargeuses sont des engins destinés à l'excavation et au chargement des roches dans les chantiers et à leur déplacement vers le lieu de déchargement. L'efficacité des travaux de chargement des roches dépend des résultats des travaux d'abattage (tir et forage).

Les engins d'excavation et de chargement employés dans l'exploitation souterraine sont principalement chargeuse à pelle sur rail, scrapers, chargeuses lourds.

La détermination ou le choix du type d'engin d'excavation et de chargement est basé sur les facteurs principaux suivants :

- La matière des roches
- La méthode d'exploitation
- Les mesures de sécurité
- la production envisagée L'adoption des engins de grandes capacités est conditionnée par les dimensions et les réserves du gisement. [14]

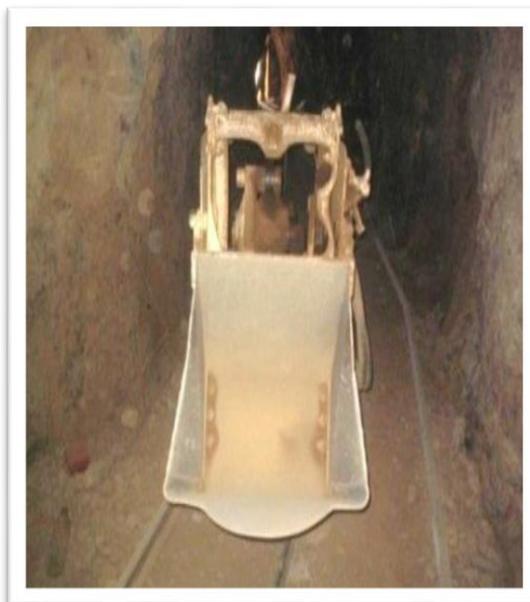
Dans la mine d'Ain- Mimoun les travaux de chargement se subdivisent suivant deux étapes

Chargement fond : Se fait à l'aide de la pelle retro marque EMICO de capacité 0,5 m³.

Chargement au jour : Se fait par chargeuse de capacité 2,5m³



FigureII.10: Pelle chargeuse [14]



FigureII.11 : Pelle sur rail déchargement [14]

2-Le transport

L'un des processus principaux dans les mines souterraines est le transport des minéraux utiles et des roches stériles, dont le pourcentage dans le prix de revient total exploitation atteint 30-70%.

Le transport dans les mines souterraine dépend généralement de la distance séparent la mine et l'usine de traitement, les équipements miniers, la méthode d'exploitation etc.....

Le but principal du transport est le déplacement de la masse minière des chantiers aux points de déchargement qui sont les usines de traitement le lieu de vente. Dans la mine d'Ain- Minoune les travaux de Transport se subdivisent suivant deux étapes :

Transport fond : L'opération de transport fond se fait à l'aide des locotracteurs type ZITRO et des wagons de 3t vers le jour puis vers la Trémie de réception. Transport

Transport au jour : Se fait par les camions IVECO de capacité 10 t et autre camion de marque Nissan de 14t vers l'usine de traitement. [14]



Figure II.12 : Loco tracteur (diésel) [14]



Figure II.13: Camion du Transport [14]

Mode de soutènement appliqué

Plusieurs types de soutènement des excavations minières sont appliqués dans le filon N
° 4

Un soutènement jointif par cadre en bois dans les endroits instables (zone faillée) ;

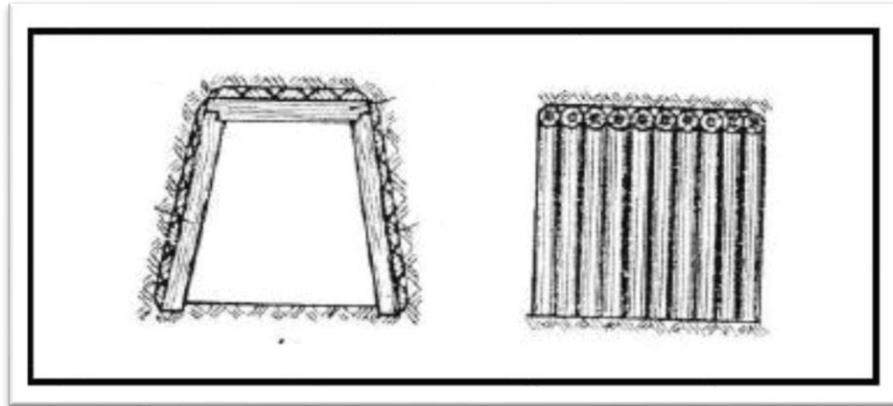


Figure II.14: soutènement jointif [21]

Le matériel utilisé pour les travaux de soutènement est le bois de mine de type Eucalyptus.



Figure II.15 : Cadre en bois de soutènement appliqué dans la mine d'Ain Mimoun. [21]

II.3-Conclusion

Dans ce chapitre on a donné une généralité sur la mine d'Ain Mimoun et méthodes d'exploitation au niveau de la mine.

III.1. Introduction

La mine d'Ain Mimoun (wilaya de Khenchela), fait partie de l'une des unités de l'ENOF en Algérie.

Dans ce chapitre, nous allons donner une vision globale sur la géologie de la zone d'étude et une généralité sur la baryte.

III.2. Historique des travaux de prospection

► Les premières lignes directrices de la géologie des Aurès ont été définies par Balbaye : Officier de l'état-major français en 1840. Où il a pu signaler l'existence de calcaire à nummulites.

► En 1859 furent découverts les premiers indices de blende, galène cinabre à Taghit par Bacrie.

► En 1860 Coquand parcourut le Sud de la province constantinoise et le massif de l'Aurès. Tissot en tant qu'ingénieur des mines établit les levés géologiques au 1/800.000 eme.

► En 1939, R.Laffite publia sa thèse sur le massif de l'Aurès.

► En 1968 Chadrin et Jarrikov menèrent des travaux de prospection dans la région des Aurès.

► En 1977 J.M.Villa publia les cartes géologiques au 1/50 000 de Khenchela, Dalaa, Tazoult et Touffana.

► En 1986, D. Bureau. Publia sa thèse sur l'évolution du mésozoïque et son orogénèse dans les monts de Belezma et proposa un nouveau modèle tectono-sédimentaire. [22]

III.3. Cadre géographique :

Le gisement barytique de Ain Mimoun « champs minier de MIZAB s'étend sur le flanc septentrional (NW) de l'Anticlinal de Khenchela, sur une superficie globale de 614 hectares. [22]

Le champ minier est subdivisé en deux périmètres :

Périmètre 1 (6182 PM): avec une superficie de 464 Ha et dont coordonnées UTM sont :

Tableau III.1 : Les coordonnées UTM de périmètre 1. [22]

Points	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
X	316 400	316 400	316 800	316 800	317 500	317 500	316 400	316 400	315 100	315 100
Y	3 197 700	3 197 000	3 197 000	3 195 400	3 195 400	3 194 600	3 194 600	3 195 300	3 195 300	3 197 700

Périmètre 2 (6183 PM): avec une superficie de 150 Ha et dont les coordonnées UTM sont :

Tableau III.2: Les coordonnées UTM de périmètre 2. [22]

Points	1	2	3	4	5	6	7	8
X	320 000	320 000	321 100	321 100	319 600	319 600	319 300	319 300
Y	3 920 200	3 919 900	3 919 900	3 919 100	3 919 100	3 919 600	3 919 600	3 920 200

Le gisement se situe à environ 10 km au Nord de la commune de Tamza, à 08 km au Sud-Ouest de la Daira d'El Hamma et à environ 16 km à l'Ouest de la ville de Khenchela dont il est lié administrativement. A l'Ouest, il est limité par la chaîne montagneuse « Djebel Ferraoun ». Les altitudes maximales culminent à plus de 2000 m « Djebel IchentGouma : 2119m».

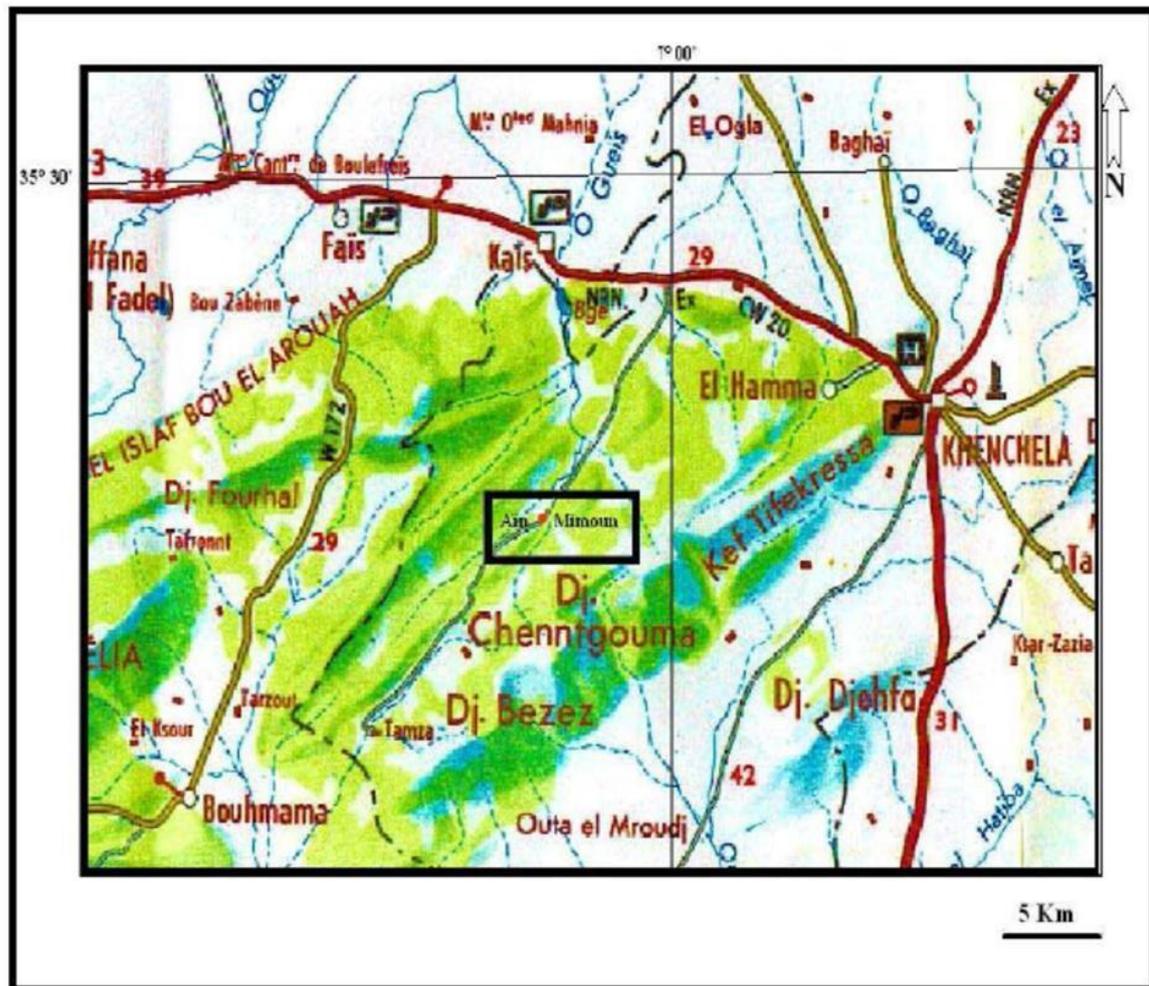


Figure III.1: Localisation géographique d'Aïn Mimoun (extrait de la carte touristique de l'Algérie). [22]

III.4. Cadre géologique du Gisement d'Ain Mimoun

III.4.1- Stratigraphie

Les séries stratigraphiques rencontrées dans la région du gisement de MIZAB sont comme suit :

III.4.1.1- Crétacé :

a) Crétacé inférieur

► Barrémien

Affleure dans le sud de la charnière de l'anticlinal, il est à prédominance de grès quartzeux blancs à stratification entrecroisée caractéristiques d'un faciès continental à intercalations de lits calciques de dolomies et d'argilites. Il a une épaisseur pouvant atteindre 900 m.

► Aptien

- **Aptien inférieur** : grès avec des lits de marnes et de calcaires (épaisse de 80 m).

- **Aptien moyen** : Se subdivise en deux assises :

► **Assise Inférieur** : (120 m d'épaisseur) calcaires gris foncé alternant avec des marnes.

► **Assise Supérieur** : dolomies massives (épaisseur : 90 m).

- **Aptien Supérieur** : Se subdivise en deux assises :

► **Assise Inférieur** : (90 m d'épaisseur) grès quartzeux des intercalations marno- calcaires.

► **Assise Supérieur** : il est formé de dolomies massives.

► Albien

► **Albien Inférieur** : Ces dépôts sont marqués par une diversité de faciès sur 70 m environ : argilites, grès, marnes, calcaires et dolomies.

► **Albien Moyen** : Faciès plus ou moins carbonaté marqué par des argilites et des grès mais les calcaires et les dolomies sont les plus dominants (80 m d'épaisseur).

► **Albien Supérieur** : Le toit de l'albien devient généralement carbonaté sur 100 m ; les calcaires récifal, les calcaires dolomitismes et les dolomies sont largement développées avec des passages de grès et de marnes.

b) Crétacé supérieur

► **Cénomaniens** : Il est caractérisé par une absence totale de sédimentation détritique. Son épaisseur peut atteindre 1000 m par endroits.

► **Cénomaniens inférieur** : Ces dépôts affleurent à l'extrême NW du champ minier ; faciès marneux sur 300 m, renfermant des passages de petits bancs de calcaires marneux.

► **Cénomaniens Supérieur** : (400 m d'épaisseur) remplacement rapides des marnes par des calcaires avec toujours des passages marneux.

III.4.1.2-Néogène

Il représente par des dépôts continentaux : conglomérats, poudingues, grès, argiles ; reposant en discordance oblique sur le Crétacé ; leur puissance varie de 250 à 300 m, ce faciès est reporté au Miocène supérieur et au Pliocène. Cependant le Miocène inférieur est formé de conglomérats et de poudingues, c'est des massifs de l'Aquitainien.

III.4.1.3-Quaternaire

Ce sont des formations largement répandues dans l'Aurès. Elles sont surtout représentées par les éboulis nappant les pentes des reliefs, et alluvions qui se développent dans les zones basses des terrasses. Vers le Sud-ouest, ce sont les dunes constituées d'argiles sableuses qui se forment dans les environs de Biskra et le long de la flexure sud atlasique.

[22]



Figure III.2 : Affleurement du Miocène en discordance angulaire sur les faciès du Crétacé Inférieur dans la région dite TAKALIAT (Aux environs du filon N°4). [22]

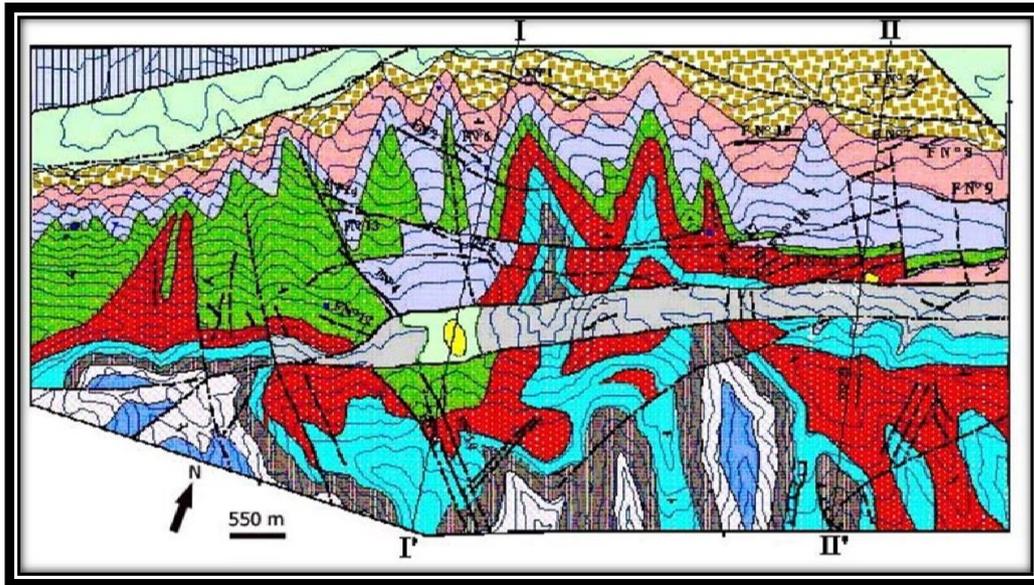


Figure III.3 : Carte Géologique du Champ minier du Mizab au 1/10 000ème [22]

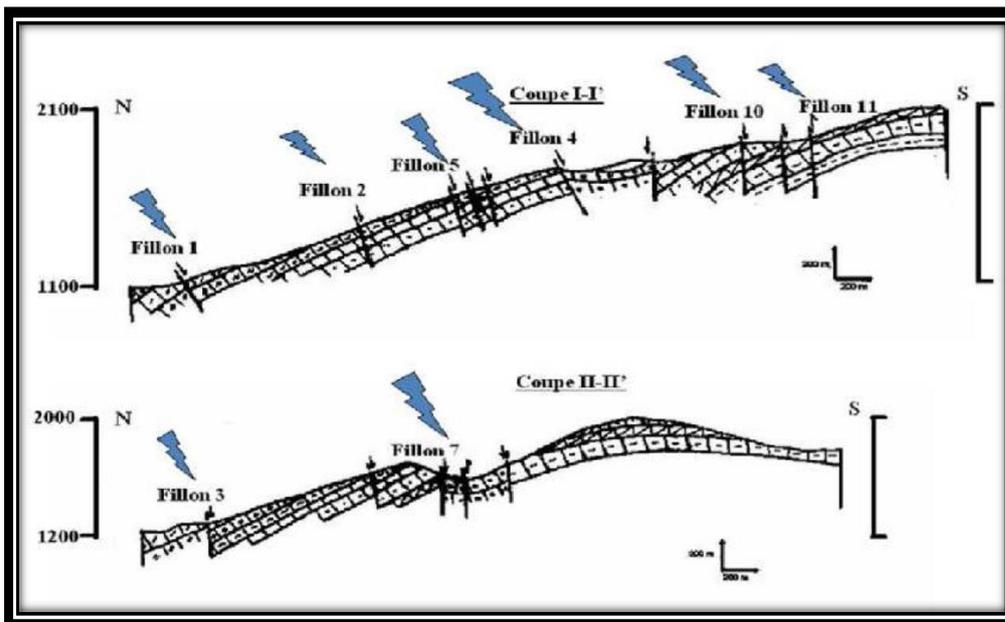


Figure III.4 : Coupes schématiques à travers le champ minier de Mizab [22]

III.4.2. Tectonique

III.4.2 .1. Tectonique régionale

Le massif de l'Aurès, étant un ensemble du domaine atlasique, qui se caractérise par une direction générale NE-SW, présente un style tectonique souple essentiellement constitué de plis vastes assez réguliers. Cependant, il faut remarquer qu'ils existent dans divers points du massif, des étranglements ou des dilatations brusques des plis. Ce phénomène significatif de certaines anomalies, traduit au niveau de la couverture post-triasique des rejets d'accidents profonds (R Guiraud-1990).

Les nombreuses cassures qui caractérisent le massif de l'Aurès se répartissent suivant les directions :

- Nord-Ouest Sud-Est : les plus fréquentes)
- Sublatitudinales à latitudinales
- Nord-Est
- Subméridiennes (rares). [15]

III.4.2 .2 .Tectonique locale

L'anticlinal de Khenchela occupe la partie extrême Est du massif Aurésien. Il s'étend en direction NE-SO, sur environ 35 km et 7 km de large. Il se présente sous forme d'un pli coffré en voute subhorizontale de 10° et naît dans les terrains nummulitiques aux environs de T'kout. Vers le Nord Est, l'anticlinal subit un abaissement d'axe, ce qui cause la disparition des terrains du Crétacé inférieur aux environs de la ville de Khenchela.

Dans cette région, il faut noter aussi la présence de failles longitudinales qui ont fait disparaître les terrains du Crétacé inférieur sur le flanc Nord de l'anticlinal. Sur terrain (flanc Nord de l'anticlinal), le gisement filonien barytique d'Ain Mimoun est caractérisé par un réseau de failles dense et désorganisé, formé essentiellement de nombreux accidents cassants et décrochant ou d'un mouvement combiné (décrochant et mouvements inverses – M.Douhasni, 1975).

Au Sud Ouest, l'axe de l'anticlinal s'élève en gradins et la disposition spatiale des couches se complique par des cassures transversales de flexures.

Ces accidents transversaux sont intensivement développés en créant des zones d'élévation aussibien à l'Est qu'à l'Ouest.

Quatre groupes d'accidents disjonctifs se sont développés dans le champ minier de Ain Mimoun (l'étude géologique du gisement Mizab, R.Zeddami, 1998)

Le groupe 1 : englobe les accidents dits directionnels (150° à 60° NE) et sont les plus importants parmi lesquels deux qui sont subparallèles jalonnant la voûte de l'anticlinal sur une distance d'environ 8 km. Ils délimitent un bloc d'effondrement dans lequel se sont disloquées des roches de l'Albien, du Cénomaniens et du Miocène. Les rejets de ces deux accidents atteignent 350 m au niveau de la rupture nord et 250 m au niveau de la rupture sud. Ces accidents ont probablement suivi de très près la formation des grands plissements. D'autres failles analogues de moindre amplitude se développent le long du flanc nord du pli.

Le groupe 2 : les accidents de ce groupe sont les accidents obliques et ont une direction Nord-Ouest-Sud Est (NW-SE) (110° - 130°). Ils sont bien développés et se caractérisent par le fait qu'ils soient orthogonaux à l'axe du pli et le coupant en bloc transversaux. Ce groupe de failles semble intervenir beaucoup plus tardivement puisqu'il recoupe toutes les autres indifféremment, leurs rejets varient de 20 à 100m.

Le groupe 3 : ce sont les accidents sublatitudinaux, orientés Est-Ouest (E-W), profonds et se sont contemporains aux accidents obliques.

Le groupe 4 : ces accidents sont orientés suivant le Nord Est-Sud Ouest (NE-SW varient de 30° à 40° par 45° à 50°) et s'étendent sub parallèlement à l'axe du pli. Ils présentent par endroits des zones de dislocations surtout dans les bancs de roches dures. Ces accidents sont également contemporains des accidents obliques (NW-SE). [8] [9]

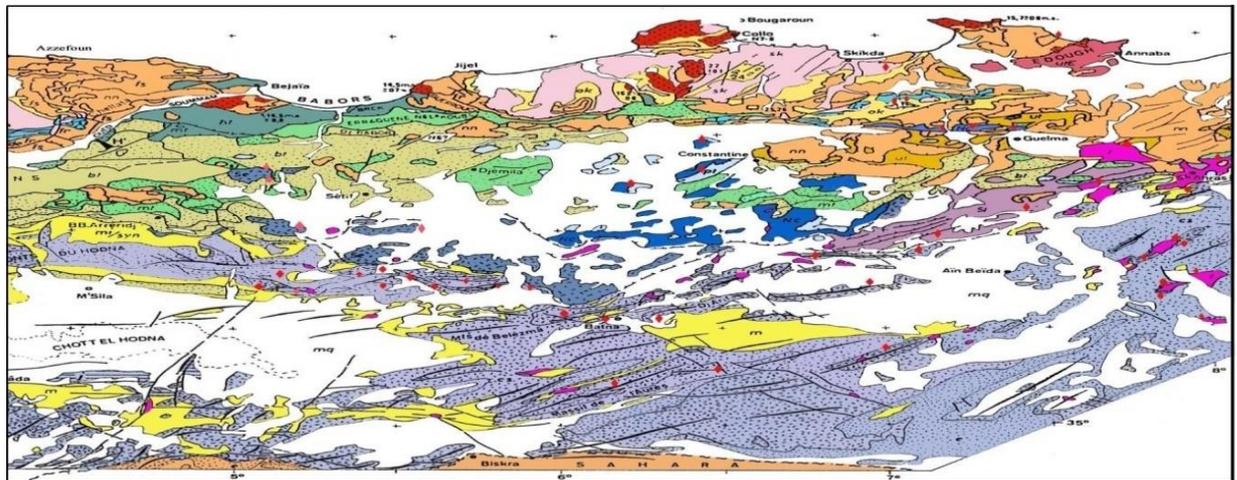


Figure III.5 : Carte géologique au 1/500 000ème [22]

III.4.3. Mode génétique de la minéralisation barytique

Les contraintes compressives génératrices des structures plicatives ont donné naissance à des fractures qui ont permis la circulation des eaux chaudes chargées de minéraux métallifères et siliceux.

La minéralisation barytique dans le Champ Minier de Mizab et sa mise en place se rapportent au phénomène de l'hydrothermalisme, qui se manifeste par le biais de la circulation d'eau chaude liée à la fin d'une éruption volcanique ou à celle de la cristallisation d'un magma, ou encore aux sources qui peuvent éventuellement en résulter. Les solutions hydrothermales dites aussi « hydrothermalites » à 100-400 °C et sous pression, contiennent divers corps avec : Fe, Ti, Cu, Pb, Zn, Sn, Hg ; ainsi que plusieurs autres éléments volatils. Ces corps issus du magma lui-même, ou encore prélevés des roches encaissantes peuvent ensuite précipiter et se concentrer en filons ; c'est le cas de notre champ de Mizab. [22]

III.4.4. Hydrogéologie

Les conditions hydrogéologiques du gisement d'Ain Mimoun sont assez simples, on distingue :

- ▶ Les eaux de fissures bancs dans les dépôts carbonatés ;
- ▶ Les eaux dans de fissures filons dans les accidents techniques ;
- ▶ Les eaux de fissures sol ;
- ▶ L'afflux d'eau maximal dans les galeries et de l'ordre de 100 m³/jour à 270 m³/jour, lors des pluies torrentielles. [22]

III.4.5. Climat

Le climat de la région est de type continental : sec en été avec des températures élevées et froid en hiver avec des chutes de neiges assez fréquentes. [22]



Figure III.6 : Le climat en hiver et en printemps (2017). [22]

III.4.6. Couverture végétale

La couverture végétale est relativement pauvre, formée par de vastes et denses forêts de pins d'Alep, de chênes, de cèdres et quelques végétations rares supportant les conditions climatiques subarides de la région. La région du champ minier et surtout vers sa partie ouest est occupée par de petites agglomérations d'habitat rural dont l'activité est limitée à l'agriculture et l'élevage. [22]



Figure III.7 : La couverture végétale(2017). [22]



Figure III.8: Situation géographique de la mine d'Ain Mimoun. [22]

III.4.7. Etudes minéralogiques

Outre les filons de baryte, on rencontre plusieurs indices comme la minéralisation de cuivre, de plomb, de quartz, de calcite, etc.

- **La baryte ($BaSO_4$)**

Est enfermée de deux espèces, l'un à cristaux grisèrent donne des émanations allongées et à agrégats d'une structure fibreuse, l'autre à cristaux fins forme de grains isométriques.

- **Le quartz(SiO_2)**

Est en deux générations grés en forme de séparation allotriomorphe se développent en cristaux prismatiques.

- **Le diopside ($CuSiO_3, H_2O$)**

(Cuivre gris) se présente sous l'aspect de grains arrondis et angulaires disséminés dans la baryte.

- **La chalcopirite ($CuFeS_2$)**

Se rencontre en forme de séparation irrégulière le long des fissures dans la baryte.

- **La sphalérite (ZnS)**

Se présente sous forme de grains arrondis.

- **Le cinabre (HgS)**

Est représentée en dissémination dans la paragneiss base.

- **La calcite (CaCO₃)**

Donne des séparations à contact irréguliers.

- **Les hydroxydes de fer (Fe₂O₃, H₂O)**

Sont disposés irrégulièrement dans le contact le long des fissures.

- **La malachite et l'azurite (Cu₂CO₃(OH)₂)**

Se rencontrent en forme de séparation et nids isolés. Tous ces indices métallifères sont en quantités négligeables et ne présentent aucun intérêt économique. [22]

Composition chimique du minerai d'Ain Mimoun

Le tableau ci-dessus nous montre les différentes compositions chimiques de la baryte d'Ain Mimoun. [22]

Tableau III.3 : Composition chimique du minerai d'Ain Mimoun[22]

Minerai	Composition	Densité g/cm ³	Dureté	Couleur
Baryte	BaSo4	4,4	3,5	Blanche
Calcite	CaCo3	2,72	2,5 - 3	Incolore ou blanc Opaque
Quartz	SiO2	2,5 - 2,6 - 5	7	Blanche
Hématite	Fe2O3	5,26	5-6	Gris ou noir
Galène	PbS	7,58	2,5	Gris de plomb
Covelline	CuS	4,6 - 4,76	1,5 - 2	Bleu
Malachite	Cu2Co3(OH)2	3,9 - 4,05	3,5 - 4	Vert brillant
Feldspath	KAISi3O3	2,5 - 2,6	6 - 6,5	Incolore
Bauxite	Al2O3	2,5	Friable	Gris bleuté

III.5. Généralités sur la barytine

III.5. 1- Définition

La baryte est un minéral tendre mais lourd, légèrement teinté de blanc, gris, jaune ou brunâtre. Elle présente un éclat vitreux à nacré. Sa poussière est blanche. La baryte, dont la formule est $BaSO_4$, est un minéral, extrait brut du sol, de sulfate de baryum (aussi appelé baryte sulfatée). C'est une des principales sources de baryum. Elle est opaque aux rayons X, Son véritable nom français est « barytine ». Dans ce texte le mot Baryte peut indifféremment être remplacé par Barytine.

D'origines hydrothermales, la baryte présente des compositions variées. La richesse en Plomb, en Strontium, en Calcium, en radium, ou en plusieurs de ces éléments associés entre eux ou à d'autres, la dédient à des utilisations multiples. Le terme général auquel répondent les minéraux du même type que la baryte, est $A(SO_4)$. Dans cette formule, « A » désigne le Plomb ou le Strontium, ou le Calcium, ou le Baryum, etc. [23]



Figure III.9 : Minéral de la baryte de la mine de Vierves. [23]

III.5.2-Caractéristiques physico-chimiques

Les Caractéristiques physico-chimiques de la baryte sont représentées dans le tableau suivant:

Tableau III.4 : caractéristiques physico-chimique de baryte. [15]

Composition chimique	BaSO₄ (Sulfate de Baryum)
Classe minéralogique	Sulfates
Système cristallin	Orthorhombique
Pyramide	Sphénoïde
Densité	4,48 La baryte est remarquable par son poids exceptionnel et la perfection de ses cristaux.
Dureté	3 à 3,5 sur l'échelle de Mohs
Clivage	en général clivables.
Fracture	Conchoïdale (comme celle du verre).
Couleur	Elle est de couleur claire. Pure, elle est incolore ou blanche, mais aussi rouge, bleu, vert et noir.
Trace	Blanche.
Eclat	Vitreux.
Fluorescence	La baryte n'est pas ou très peu fluorescente, par contre, chauffée, elle devient luminescente

III.5. 3-Historique des recherches et réserves géologiques

Le gisement barytine d'Ain Mimoun est découvert en 1968 au cours des travaux géologiques de révision de la région de l'anticlinal de Khenchela par la base (B) de l'ex SONAREM (Chadrin et Jarrikov1968).

Les travaux spéciaux de recherche suivant les filons barytines avec évaluation des réserves ont été réalisés de 1968 à 1970.

La prospection des filons de barytes par la catégorie C-1 a été effectuée par tranchées en surface et par sondage carotté en profondeur. Pour la catégorie B, la prospection en surface et par sondage carotté en profondeur. Les réservés dans la catégorie C2 sont évaluées par extrapolation de 20 à 30 m.

Avant le début de l'exploitation, les réserves étaient de l'ordre :

Total : 2147500 tonnes à 86% de BaSO₄.

Cat. B : 276500 tonnes à 90% de BaSO₄.

Cat. C1 : 1372600 tonnes à 85.9% de BaSO₄.

Cat. C2 : 499400 tonnes à 84.0% de BaSO₄. [16]

III.5. 4- Définition des limites de blocs de minerai

Les conditions exigées par l'entreprise pour l'exploitation sont :

- Teneur minimale exploitable : 40%
- Epaisseur minimale exploitable : 0,7m
- Densité minimale exploitable : 3,6t/m³ . [16]

III.5. 5-Etat des réserves

Le tableau des réserves arrêtées au 31/12/09, en annexe, fait ressortir que le bilan général des ressources basé sur 26 filons inventoriés est de :

1977546 tonnes de réserves géologiques.

1310421 tonnes de réserves exploitables (avec un taux de perte de 15% et un taux de salissage de 10%).

Sur la base du degré de connaissance des réserves exploitables on peut distinguer trois groupes de filons :

Groupe 1 : filons avec des réserves exploitables connues avec un pourcentage élevé en C1 ; ils'agit des filons 4, 10, 2 Est et 15 (niveau 1395);

Ce groupe contient 711 850 tonnes de réserves en C1 et 104 000T en C2 décomposées commesuit :

Tableau III.5 : état de réserve de Groupe 01 . [13]

	B	C1	C2	Total	Te BaSO ₄	Te Si O ₂
Filon 4	33890	299200	52423	385513	62,83	13%
Filon 10	-	189658	51585	241243	78,20	
Filon 15	-	120000	-	-	-	
Filon 2 Est	-	102992	-	102992	82,38	
Total	33890	711 850	104008	849758	-	

Groupe 2 : Filons avec des réserves exploitables connues en catégorie C2 seulement ; il s'agit des filons 11, Igni 1. Ce groupe renferme 348 100 tonnes de réserves en C2. [13]

Tableau III.6 : état de réserves de groupe 2 [13]

	B	C1	C2	Total	Te BaSO ₄
Filon 11	-	-	150983	150983	71,78
Filon Igni 1	-	-	197125	197125	71 76
Total	-	-	348108	348 108	-

Groupe 3 : Ce groupe est composé de gisements de faibles tailles entre 10000 et 60 000 Tonnes de réserves reconnues uniquement en C2. Il s'agit des filons 12, 13, 14, etc. [13]

III.6- Conclusion

Le gisement d'AIN MIMOUN est sous forme d'une structure filonienne, avec des réserves de barytine importantes (ressources géologiques de 1.86 MT et des réserves exploitables estimées à 1.25 MT) et avec une teneur moyenne de 70% en BaSO₄.

IV-1-Introduction :

Il existe de nombreuses méthodes de classification se basant sur différents paramètres géotechniques. C'est le choix de ces paramètres et la façon de les utiliser pour le dimensionnement de l'ouvrage qui font la différence d'une méthode à l'autre.

La classification géomecanique consiste à quantifier un massif rocheux par une note empirique décrivant sa qualité par une série de termes allant d'un très bon rocher à un rocher très médiocre. Les buts principaux de ces classifications se résument comme suit :

- ▶ Estimer indirectement les propriétés mécaniques à grande échelle d'un massif fracturé, en particulier son module de déformation, sa résistance à la compression simple, sa cohésion et son angle de frottement interne ;
- ▶ Estimer le temps durant lequel le massif rocheux peut tenir sans soutènement (standup time). C'est un indice très essentiel dans la détermination de la portée d'excavation ;
- ▶ Donner des recommandations de soutènement des ouvrages.

IV.2-les classifications géomecaniques :**IV.2.1-Méthode de TERZAGHI :**

En 1946, Terzaghi a proposé une classification par blocs simple, dans le but d'estimer les charges agissant sur les arcs en acier dans les tunnels (Figure IV.1). Cette méthode et ses développements ultérieurs ont été pendant de nombreuses années à la base de la conception des tunnels aux États-Unis.

Pour l'estimation de la charge, Terzaghi suppose qu'une quantité donnée de roche ou de sol appuyant sur le support est alors donnée par la formule générale: [24]

$$\mathbf{HP} = \mathbf{K B} + \mathbf{Ht} \dots\dots\dots\mathbf{IV.1}$$

HP: Hauteur de la surcharge de terrain uniformément répartie suivant l'horizontale.

B : Largeur de la galerie.

Ht : Hauteur de la galerie.

K : représentant un coefficient multiplicateur dont la valeur dépend de la catégorie de terrain rencontrée.

La formule est théoriquement applicable aux tunnels à moyenne profondeur pour lesquels la hauteur de couverture H est supérieur à **1.5 B + Ht**. [26]

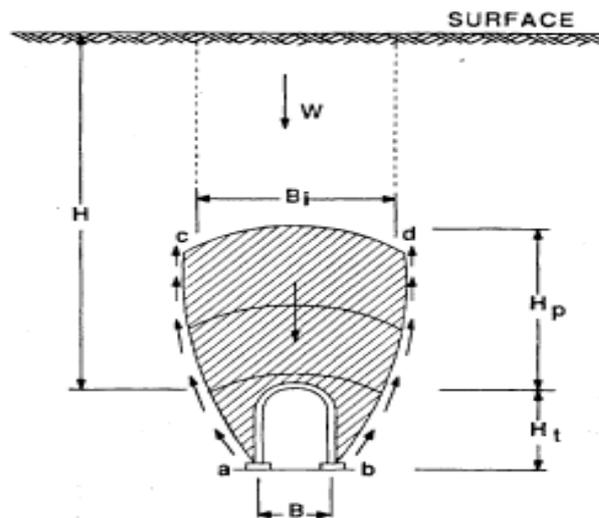


Figure IV.1 : Zone décomprimée au-dessus d'une cavité (K. Terzaghi 1946) [26]

Sur l'imprécision de la valeur donnée, Terzaghi affirme « Même si des programmes de calcul peuvent donner des valeurs plus correctes vis-à-vis de situations précises, ils ne donnent que des valeurs peu pratiques pour un pré-dimensionnement, au vu de l'incertitude des conditions de roches voisines à l'excavation ». [24]

Tableau IV.1: Hauteur de terrain décomprimée au-dessus d'une cavité [25]

Nature de la roche	Charge H_p	Remarques
Dure et intacte	0 à 0.25 B	Quelques ancrages s'il y a chute de pierres
Dure et stratifiée	0 à 0.5 B	Soutènement léger
Massive avec quelques joints	0 à 0.25 B	La charge peut changer brusquement d'un point à l'autre
Modérément ébouleuse	0.25 à 0.35 (B+Ht)	Pas de pression latérale
Très ébouleuse	0.35 à 1.1 (B+Ht)	Peu ou pas de pression Latérale
Complètement broyée Chimiquement inerte	1.1 (B+Ht)	Pression latérale considérable
Roche fluant à profondeur modérée	1.1 à 2.1 (B+Ht)	Grande pression latérale Cintres circulaires recommandés
Roche fluant à grande profondeur	2.1 à 4.5 (B+Ht)	Grande pression latérale Cintres circulaires recommandés
Roche gonflante	jusqu'à 75 m indépendant de (B+Ht)	Cintres circulaires Dans les cas extrêmes, cintres coulissants

IV.2.2-L'indice RQD (Rock Quality Designation)

Le (RQD) a été développé par DEERE et al. (1967) afin de donner une estimation quantitative de la fracturation influençant le comportement de la masse rocheuse à partir de l'examen de carottes obtenues par des forages. Le RQD est défini comme le pourcentage de morceaux intacts de longueur supérieure à 10 cm, sur la longueur totale du forage. : Méthodes de classification des masses rocheuses fracturées.

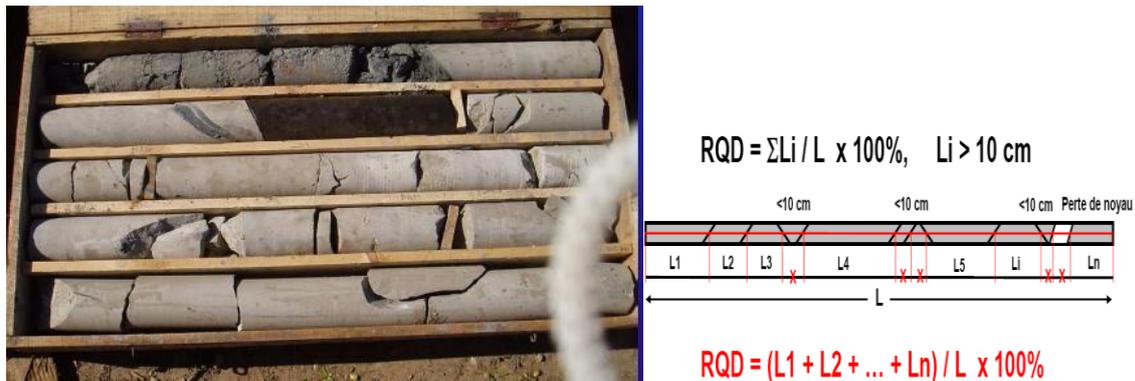


Figure IV.2 : Estimation de la valeur RQD. [24]

$$RQD = \frac{\sum \text{Longueur} \geq 10 \text{ cm}}{\sum \text{Longueur totale}} * 100 \% \dots\dots\dots IV.2$$

On utilise la valeur du R.Q.D. pour classer la roche suivant sa qualité:

Tableau IV.2: Classification de la roche suivant R.Q.D [25]

RQD (%)	Qualité du massif rocheux
<25	Très pauvre
25 – 50	Pauvre
50 – 75	Moyenne
75 – 90	Bonne
90 – 100	Excellente

Le type de soutènement est donné en fonction du RQD et de la portée du tunnel, (Figure IV- 3). Pour notre cas la portée de tunnel est B=16m et d'après le rapport de sol le RQD pour les trois zone est 25 % < R.Q.D. < 50 % donc La roche est de classe(Mauvaise) et d'après la figure suivante

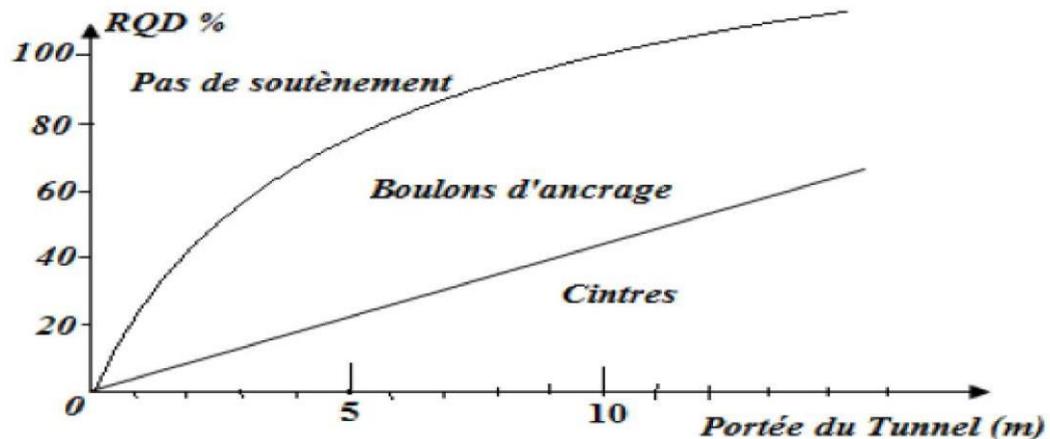


Figure IV.3: type de soutènement en fonction de RQD. [24]

IV.2.3-La classification de Bieniawski RMR (Rock Mass Rating)

Bieniawski entre 1972 et 1973. Il combine les paramètres d'influence géologiques les plus significatifs et les représente avec un seul indice global complet de la masse rocheuse. qualité, qui est utilisé pour la conception et la construction de fouilles dans la roche, telles que tunnels, mines, pentes et fondations.

Cette méthode est basée sur cinq critères principaux :

- Résistance de la roche,
- Fracturation : RQD,
- Espacement des joints (tous types de discontinuités : diaclases, fractures, schistosité, stratification),
- Nature des joints,
- Venues d'eau,
- Ajustement pour tenir compte de l'orientation de la fracturation,

Chaque critère reçoit une note,

- La somme de ces notes est la valeur de RMR. (voir Annexe) [25]

Tableau IV.3 : La classe et la qualité du massif selon RMR [24]

RMR	Classe du massif	Qualité de la masserocheuse
< 20	A	Très pauvre (très médiocre)
21 – 40	B	Pauvre (Mauvaise)
41 – 60	C	Moyenne
61 – 80	D	Bonne
81 – 100	E	Très bonne

Tableau IV.4 : Classes et propriétés globales des massifs rocheux (selon Z.Bieniawski)[28]

Valeur de RMR	81 à 100	61 à 81	41 à 60	21 à 40	0 à 20
Classe	I	II	III	V	IV
Description	Très bon rocher	Bon rocher	Rocher moyen	Rocher médiocre	Rocher très médiocre
Cohésion Cm (Kpa)	> 400	300 à 400	200 à 300	100 à 200	< 100
Angle de frottement interne (°)	> 45	35 à 45	25 à 35	15 à 25	< 15

La signification des indices du RMR sont définis comme suit :

-A1 (Strength of intact rock material) : la résistance à la compression simple de la matrice rocheuse est obtenue, soit par procédure d'écrasement d'un échantillon, soit par procédure de chargement ponctuel (note : de 0 à 15).

-A2 (Rock Quality Designation RQD, Deer [1964]): il caractérise la qualité des carottes de sondage en calculant le rapport entre la longueur cumulée des carottes supérieures à dix centimètres et la longueur totale considérée (note : de 3 à 20).

-A3 (Spacing of discontinuities) : dans le cas de plusieurs familles de fractures le minimum des notes attribuées à l'espacement des fractures est considéré (note : de 5 à 20).

-A4 (Conditions of discontinuities) : cet indice caractérise l'extension, l'ouverture, la rugosité, le matériau de remplissage et l'altération des épontes des discontinuités (note : de 0 à 30).

-A5 (Groundwater conditions) : Il est en rapport avec les conditions hydrogéologiques et consiste à réaliser des mesures de flux d'eau ou de pressions interstitielles des joints (note : de

0 à 15).

-B (Adjustement for joint orientation) : c'est un facteur correctif qui est en rapport avec l'effet de l'azimut et du pendage des familles de discontinuités sur la stabilité de l'ouvrage (note : de 12 à 12 pour les tunnels, de 25 à 0 pour les fondations et de 60 à 0 pour les talus).

-Les sommes des cinq premiers indices caractérisent le RMR de base. Quant aux travaux souterrains, il faut ajouter l'effet du facteur correctif. Le RMR89 s'écrit alors :

$$RMR_{89} = A1 + A2 + A3 + A4 + A5 + B..... IV.3$$

Cette classification ne prend pas en considération l'état de contrainte in-situ ni la rugosité des fractures et l'angle de frottement du matériau de remplissage ; les roches gonflantes n'y sont pas non plus traitées. L'application de cette classification est limitée aux cas des massifs dont la matrice a une bonne résistance et dont le comportement est régi par les discontinuités. La version 1976 du système de classification (RMR76) l'utilisation du RMR se repose sur la simplicité à déterminer les différents paramètres suivants et leurs pondérations.

- **A1 :** Résistance en compression uniaxiale de la roche intacte.
- **A2:** Rock Quality Index (RQD).
- **A3 :** Espacement des diaclases.
- **A4 :** Condition des joints.
- **A5 :** L'état d'infiltration d'eau souterraine.
- **A6 :** Orientation des discontinuités.

$$RMR_{76} = A1 + A2 + A3 + A4 + A5 + A6.....IV.4$$

IV.2.4- Classifications de l'AFTES

L'Association Française des Travaux en Souterrain (AFTES) a été créée en janvier 1972 pour répondre aux recommandations de la Conférence Internationale sur les travaux souterrains tenue à Washington en 1970 qui préconisaient la mise en place dans chaque pays d'un organisme regroupant les différents acteurs intervenant, à des titres divers, dans les travaux souterrains.

La principale activité de l'AFTES consiste à diffuser des recommandations techniques dans le domaine des travaux souterrains. Ces recommandations sont préparées au sein de Groupes de Travail qui ont permis de constituer une classification, dite de l'AFTES. Les paramètres à la description du massif :

- 1-Les conditions géologiques générales.
- 2-Les conditions hydrogéologiques.
- 3-Les discontinuités du massif rocheux.
- 4-Les caractéristiques mécaniques du terrain.
- 5-Les contraintes naturelles et la hauteur de couverture de l'ouvrage.
- 6-La déformabilité du massif.

En plus de ces critères relatifs au massif rocheux, l'AFTES prend en considération.

- ▶ Des critères relatifs à l'ouvrage et à son mode d'exécution
 - Les dimensions et la forme de la cavité.
 - Le procédé d'excavation, qui peut être soit à l'explosif en utilisant ou non la technique du prédécoupage, soit purement mécanique.
- ▶ Des critères relatifs à l'environnement
 - La sensibilité de l'environnement aux tassements.
 - Les effets d'une modification de l'équilibre hydrologique.

Recommandation de L'AFTES

Les groupe de travail n° 1 de l'AFTES (géologie-géotechnique) a établi en 1987 un texte pour chaque critère de classification et pour tous les types de soutènement un tableau indique en fonction de la valeur du paramètre qui caractérise le critère en question, mal adapté ou en principe impossible.

Utilisation de la classification AFTES pour le choix d'un soutènement Différents tableaux correspondants aux différents critères importants, et précisant si tel type de soutènement est plus ou moins bien adapté vis-à-vis de ce critère. [30]

- Soit particulièrement recommandé (nettement favorable)
- Soit possible à condition que d'autres critères soient particulièrement favorables(plutôt favorable)
- Soit très mal adapté bien qu'éventuellement possible
- Soit en principe impossible (nettement défavorable). [30]

Exemple n° 1 Tunnel ø 12 m dans les schistes fracturés sous forte ouverture ($\sigma_v/\sigma_o < 2$) hors d'eau		Pas de soutènement	Béton projeté	Boulons			Cintres		Voussoirs		Tubes préforés	Bouclier ou pousse tube	Procédés spéciaux		
				à ancrage ponctuel	à ancrage repart	barres foncées	lourds	légers coulissants	plaques métal assemblées	béton			injection	air comprimé	congélation
Critères	Classes														
1 Comportement mécanique	R3a		●	●	●	⊗		●	⊗	⊗	⊗	⊗		⊗	
2 Discontinuités	N3 S4	⊗	●	Gr ou Bp	Gr ou Bp	⊗	●	●			⊗		⊗	⊗	
3 Altérabilité	Délitage	⊗	●	Gr ou Bp	Gr ou Bp	Gr ou Bp	●	●	●	●					
4 Hydrologie	Hors d'eau														
5 Couverture	CN3	⊗	⊗	●	●	⊗	⊗					⊗			
6 Dimensions	D > 10		●	●	●		⊗	Bo ou Rev				⊗			
Synthèse		⊗	⊗	●	●	⊗	⊗	●	⊗	⊗	⊗	⊗		⊗	⊗

Figure IV.5 : Déférents critères de classification selon AFTES [30]

IV.3-Etude de la galerie du filon 04

On a étudié le niveau 1690m (niveau préliminaire) de la galerie de filon 04

► Caractéristiques physiques

Les propriétés physiques de la mine au niveau de la galerie de filon 04 sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau IV.5 : Caractéristiques physiques de mènèrai et de stérile

Propriétés physiques	Baryte	Calcaire
Masse volumique ρ (g/cm³)	3,2	2,5
Dureté	3,5	2,1

Application des classifications géomécaniques

On a appliqué :

- Application de TERZAGHI
- Désignation de la qualité de la roche (RQD)
- La méthode de RMR
- la méthode de AFTIS

IV.3.1- Application de TERZAGHI

On a ;

HP: Hauteur de la surcharge de terrain uniformément répartie suivant l'horizontale.

B : Largeur de la galerie. 4 m

Ht : Hauteur de la galerie. 3,m

K : représentant un coefficient multiplicateur dont la valeur dépend de la catégorie de terrain

$$H_P = K (B + H_t)$$

Tableau IV.6 : Application de TERZAGHI

Type de la roche	Nature de la roche	K	Charge HP	Remarque
Calcaire	Massive avec des joints	0.25	1.75 m	La charge peut changer brusquement d'un point à l'autre
Baryte	Massive avec des joints	0.25	1.75 m	Quelques ancrages s'ily a chute de pierres

IV.3.2-Désignation de la qualité de la roche (RQD)

Les résultats de RQD sont donnés dans le tableau suivant :

Tableau IV. 7: les valeurs RQD des massifs rocheux d'Ain Mimoun

	Longueur de l'échantillon (cm)	Somme des >10cm	RQD (%)
Calcaire	120	24-14-11-18-16	69
Baryte	135	10-15-18-15-14-12-14	72

IV.3.3-Application de la méthode de RMR

Les RMR est la somme des note $RMR=R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5+B$

Les résultats de calcul du RMR des trois stations sont présentés dans les tableaux suivant :

Tableau IV.8 : Classification de massif rocheux de galerie de filon 04 par le RMR

Paramètre		Baryte	Calcaire
A1	Resistance a la compression(MPa)	165	80
	Indice de cotation	12	7
A2	RQD (%)	72.6	69.16
	Indice de cotation	13	13
A3	Espacement des discontinuités	0.6m-2m	0.6m-2m
	Indice de cotation	15	15
A4	Etat générale des discontinuités	Surface légèrement rugeuses, ouverture < 1mm, épontes légèrement altères	Surface légèrement rugeuses, ouverture < 1mm, épontes fortement altères
	Indice de cotation	25	20
A5	Conditions hydrogéologiques	sec	humide
	Indice de cotation	15	10
RMR de base		80	65
B (ajustement)		-12	-12
RMR 89		68	53
Classification		Bonne Roche	Roche moyenne

IV.3.3.1-Estimation des caractéristiques mécaniques a partir de RMR

Les propriétés mécaniques de la mine au niveau de la galerie de filon 04 sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau IV.8 : propriétés mécaniques du mènèrai et du stérile

Propriétés mécaniques	Baryte	Calcaire
Cohésion C(MPa)	340	265
Angle de frottement interne ϕ (°)	35	27
Résistance a la compression Rc (MPa)	165	80
Module du Young E (MPa)	14500	10750

Avec :

$$\phi = 0.5 \text{ RMR} + 8.3 - 7.2$$

$$C = 5 \text{ RMR}$$

$$E = \frac{10(\text{RMR} - 10)}{40}$$

IV.3.4-Application de la méthode de AFTIS :

Les résultats résumés dans le tableau suivant :

Tableau IV.9 : Classification selon la méthode d’AFTIS

	Classification	Baryte	Calcaire
Classification Géologiques	L'état d'altération du massif rocheux	AM1 pas de signe visible d'altération limitée aux surfaces des discontinuités principales	AM2 les surfaces des discontinuités principales sont altérées mais la roche n'est que très légèrement altérée
	L'intervalle entre les discontinuités	ID2 faible 60-200 cm	ID2 faible 60-200 cm
	L'orientation des discontinuités	OR 2a 20 to 90° avec le pendage	OR 2a 20 to 90° avec le pendage
	Nombre de familles de discontinuités	N 2a une famille principales	N 2b une famille principales et les discontinuités diffuses
	L'intervalle entre les discontinuités de chaque famille	S2E2 60 à200 discontinuités espacées	S2E2 60 à200 discontinuités espacées
Classification Hydrogéologiques	La charge hydraulique	H1 faible <10m	H1 faible <10m
	La perméabilité	K1 Très faible à faible	K2 Faible à moyenne
Classification Géotechnique	L'indice de continuité	Ic2 haute	Ic3 moyenne
	La résistance a la compression simple	R2a Roche de résistance élève	R3a Roche de résistance moyenne
	L'état des contraintes naturelles en fonction R_c / σ_0	CN1 >4	CN1 >4
	La déformabilité	DM1 Très faible déformation	DM2 Faible déformation

IV.4.1-Recommandation de L’AFTES

Les résultats résumés dans le tableau suivant :

Tableau IV.10: Classification selon la méthode d’AFTIS (**Baryte**)

Baryte		Pas de soutènement	Béton projeté	Boulons			Cintres		Voussoirs		Tubes pétrolées	bouclier	Procèdes spéciaux			
				Encrege ponctuelle	Encrege réparti	Barres foncées	lourds	Légères coulissantes	Plaques métal assemble	béton			injection	Air comprime	congélation	
Com portement méca nique	R2a	•		•		×				×	×	×	×		×	×
Disc ontin uités	N2a	•				×				×	×	×	×	×	×	×
Altér abilit é	Gon flant	×	•	×	BP	BP	BL BP	BL BO			•					
hydr ologi e	H1 K1		Dr	•	•	×	•	•						×		
Couv erture	R2C N1	•				×						×				
Dim ensi ons	2.5< D< 10m											(1)				
Synthèse		×	• Dr	×	• BP	×	• BL BP	• BL BO		×	×	×	×	×	×	×

Conclusion : Béton projeté avec drainage+ Boulons a Encrege réparti ou cintre lourds ou Légères coulissantes avec blindage bois ou métallique ou boulonnage obligatoire.

Tableau IV.11: Classification selon la méthode d'AFTIS (Calcaire)

Calcaire		Pas de soutènement	Béton projeté	Boulons			Cintres		Voussoirs		Tubes pétrolées	bouclier	Procèdes spéciaux		
				Encrage ponctuelle	Encrage réparti	Barres foncées	lourds	Légères coulissantes	Plaques métal assemble	béton			injection	Air comprime	congélation
Com portement mécanique	R3a		•	•	•	×		•	×	×	×	×		×	
Disc ontinuités	N2b	•				×			×	×	×	×	×	×	×
Altér abilité	Gon flant	×	•	×	BP	BP	BL BP	BL BO		•					
hydr ologie	H1 K2		Dr	•	•	×	•	•					×		
Couv erture	R2C N1	•				×						×			
Dim ensions	2.5< D< 10m											(1)			
Synthèse		×	• Dr	×	• BP	×	• BL BP	• BL BO	×	×	×	×	×	×	×

Conclusion : Béton projeté avec drainage+ Boulons a Encrage réparti ou cintre lourds ou Légères coulissantes avec blindage bois ou métallique ou boulonnage obligatoire

Avec :

- Bp : avec béton projeté
- Bl : avec blindage bois ou métallique
- Dr : avec drainage
- Bo: avec boulonnage obligatoire

Tableau IV.12: Recommandation Soutènement par RQD+RMR+AFTIS

Type de Roche	Système de Classification	Les types de Soutènement			
		Boulons D'ancrage	Béton projeté	Cintres Métallique	Additionnel Support
Calcaire	RQD=69%	Espacement : 0,9 à 1,5 m+ treillis soudés	10 cm ou plus en voute et en parement	Poid : léger a moyen Espacement : 1,2 a 1,5	Boulons D'ancrage
	RMR=53	Espacement : 1-1,5m	100m en La voute	Cintres legers	Occasionnellement Treillis et boulons si nécessaire
	AFTES	Boulons D'ancrage reparte	béton projeté avec drainage	cintres lourds ou coulissants	blindage bois ou métallique ou boulonnage obligatoire
Baryte	RQD=72%	Espacement : 0,9 à 1,5 m+ treillis soudés	10 cm ou plus en voute et en parement	Poid : léger a moyen Espacement : 1,2 a 1,5	Boulons D'ancrage
	RMR=68	Espacement : 1,5-2m	50m en La voute	Non rentable Espacement : 1,5 a 2m	
	AFTES	Boulons D'ancrage reparte	béton projeté avec drainage	cintres lourds ou coulissants	blindage bois ou métallique ou boulonnage obligatoire

IV.5-Conclusion

Les massifs rocheux sont présentés comme un milieu discontinu, composé de discontinuités et de la matrice rocheuse. L'analyse des conditions de stabilité commence par une description et une représentation des surfaces de discontinuités. La présence des discontinuités peut avoir une grande influence sur le comportement et la structure du massif. L'étude des massifs rocheux ne sont donc pas seulement basée sur la caractérisation de la roche saine, mais on doit se basé sur la caractérisation géométrique des discontinuités. Les systèmes de classifications des massifs rocheux sont des méthodes empiriques qui déterminent les propriétés du massif en fonction de plusieurs facteurs affectent sa stabilité.

V.1.-Introduction

Plaxis est un programme d'éléments finis en deux dimensions ou en trois dimensions spécialement conçu pour réaliser des analyses de déformation et de stabilité pour différents types d'applications géotechniques. Les situations réelles peuvent être représentées par un modèle plan ou axisymétrique. Le programme utilise une interface graphique pratique permettant aux utilisateurs de générer rapidement un modèle géométrique et un maillage d'éléments finis basés sur la coupe verticale de l'ouvrage à étudier.

L'algorithme général du code Plaxis consiste à résoudre un système d'équations algébriques non linéaire selon un processus itératif pour déterminer les champs de déplacements aux différents noeuds du maillage, les champs contraints et les états de rupture du sol.

V.2. Code de calcul Plaxis

L'utilisation de lois de comportement complexes dans des modèles éléments finis pour l'ingénierie est délicate. Elle demande pour la détermination des paramètres des études spécifiques lourdes sortant du cadre des projets d'ingénierie. L'intégration de telles lois dans des codes éléments finis est difficile. Le coût de ces calculs est généralement important et peu de codes sont actuellement opérationnels (LEVASSEUR, S (2007)).

Pour notre problème, on a choisi d'utiliser le code de calcul Plaxis.

La démarche suivie dans le développement de Plaxis est de fournir à l'utilisateur un code éléments finis qui soit à la fois robuste et convivial, permettant de traiter des problèmes géotechniques réels, dans un délai raisonnable en utilisant un modèle de comportement de sols. dont les paramètres puissent être déterminés à partir d'une étude géotechnique normale. Différents modèles de comportement, plus ou moins sophistiqués, ont été implémentés dans Plaxis : élastique linéaire, Mohr-Coulomb, modèles de sol avec écrouissage ou spécifiques aux sols mous, etc.

Enfin, les options simplifiées (initiation des contraintes, pressions interstitielles) permettent d'aller droit au but (prévoir le comportement d'un ouvrage).

V.3. Les sous-programmes de Plaxis

L'interface d'utilisation de PLAXIS se compose de quatre sous-programmes (Input, Calculations, Output et Curves) (Figure V.1). [32]

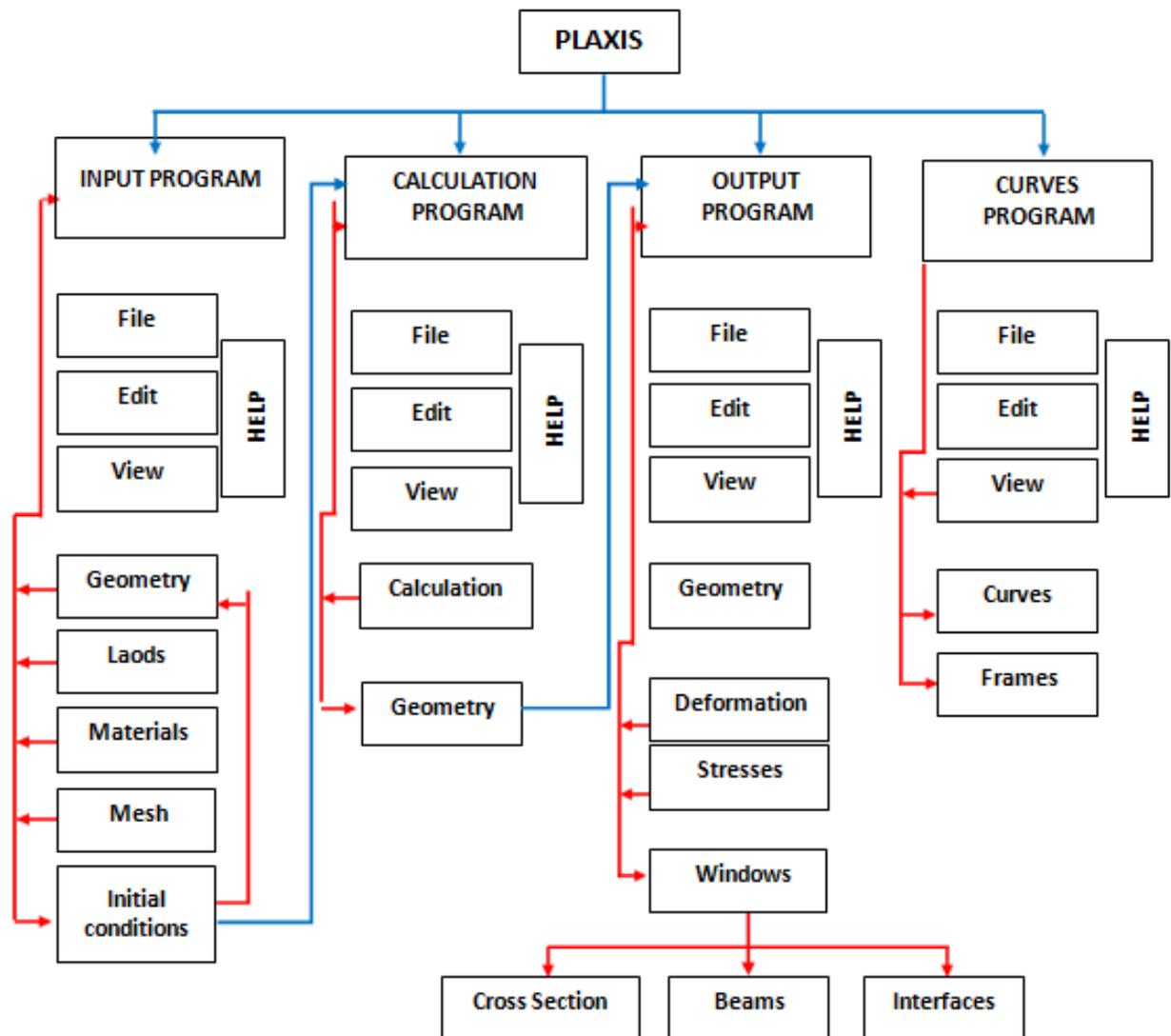


Figure V.1 : Organigramme des sous-programmes de code [32]

V.4-Etapes de modélisation avec PLAXIS

a) Géométrie

La première étape sous Plaxis est la définition de la géométrie. Un certain nombre de propriétés sont disponibles :

- les lignes géométriques qui sont là pour dessiner l'organisation du sol.
- L'outil << plates >> permet de dessiner et de définir des structures élancées, qui possèdent une résistance en traction compression et une résistance en flexion. Cet outil est principalement utilisé pour modéliser des murs, des poutres des coquilles, des plaques pour modéliser les murs et les zones rigides. (Surtout les éléments ayant une forte extension selon l'axe perpendiculaire au plan de modélisation.
- << anchor >> qui sert à modéliser les liaisons entre les éléments. Ces ont des ressorts,

qu'on utilise pour modéliser les batardeaux ou plus exactement la liaison entre les différents éléments d'un batardeau.

- l'outil << géogrid >> sert à dessiner des structures élancées avec une résistance en compression ou traction, mais qui ne possèdent aucune résistance de flexion.

- ▶ cet outil est généralement utilisé pour modéliser les géogrilles et ancrages. Sur Plaxis, il y a également un outil tunnel qui permet de modéliser un tunnel prenant en compte les facteurs qui concernent ce type d'ouvrage.

b) Conditions aux limites

Une fois la géométrie définie, il faut entrer les conditions limites, c'est-à-dire les déplacements et les contraintes imposées aux limites extérieures de la géométrie. Si aucune condition limite n'est fixée sur un tronçon, par défaut le logiciel considère que l'élément n'est soumis à aucune force extérieure et est libre de se déplacer dans toutes les directions.

Les conditions limites pouvant être imposées sont celles qui imposent un déplacement dans une direction donnée ou celle qui impose une force dans une direction donnée. Plusieurs outils permettent de créer une large gamme de conditions limites (force répartie, force ponctuelle, encastrement, glissement, etc.).

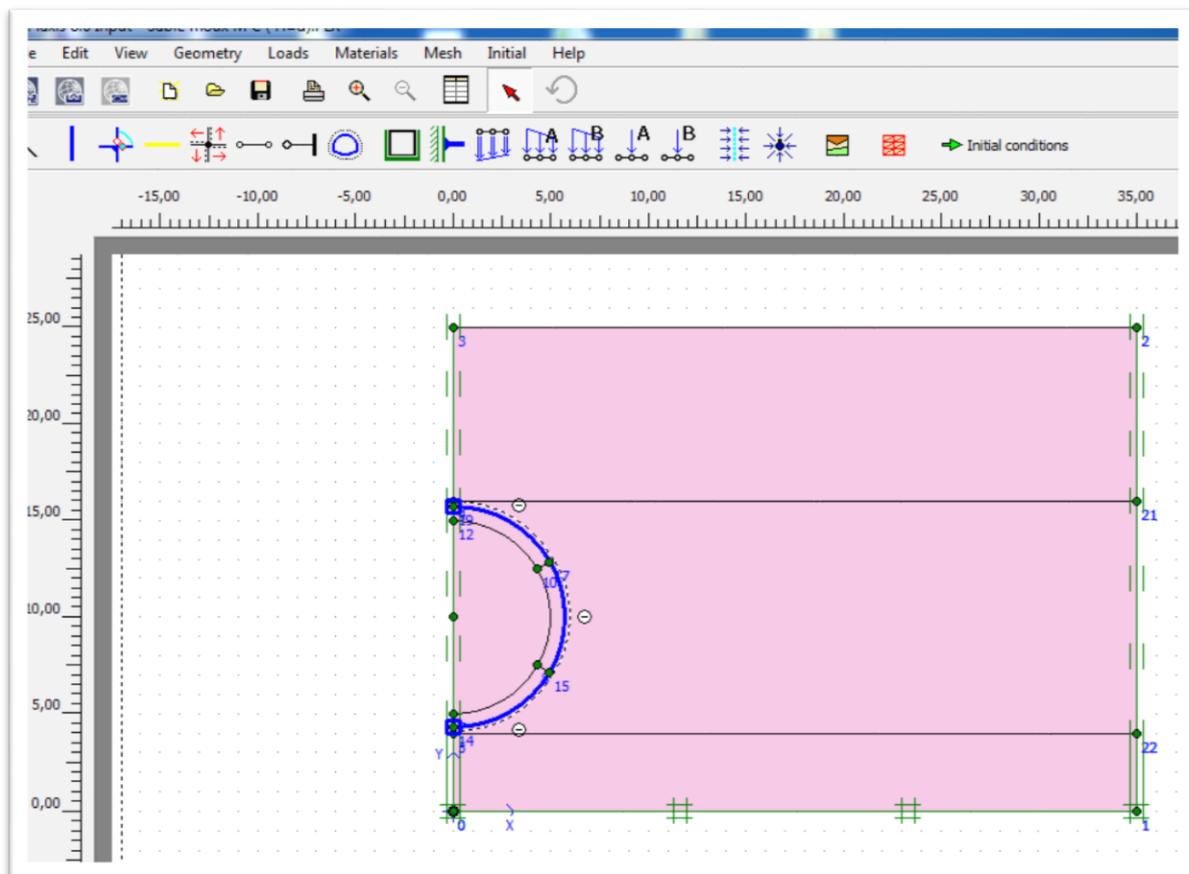


Figure V.2 : création du model (structure et terrain).[6]

c) Les couches du terrain :

Les limites des couches constituant le sous-sol sont dessinées à l'aide des lignes géométrique de l'outil « géométrie line », leurs paramètres sont introduit dans le PLAXIS par l'option « matériel sets ». Dans cette étude on a choisis d'utiliser le critère de Mohr- Coulomb, ce modèle bien connu est utilisé généralement comme une première approximation du comportement d'un sol. Ce modèle comporte cinq paramètres : le module d'Young (E), le coefficient de poisson (ν), la cohésion (C) l'angle de frottement (ϕ), et l'angle de dilatance(ψ). [6]

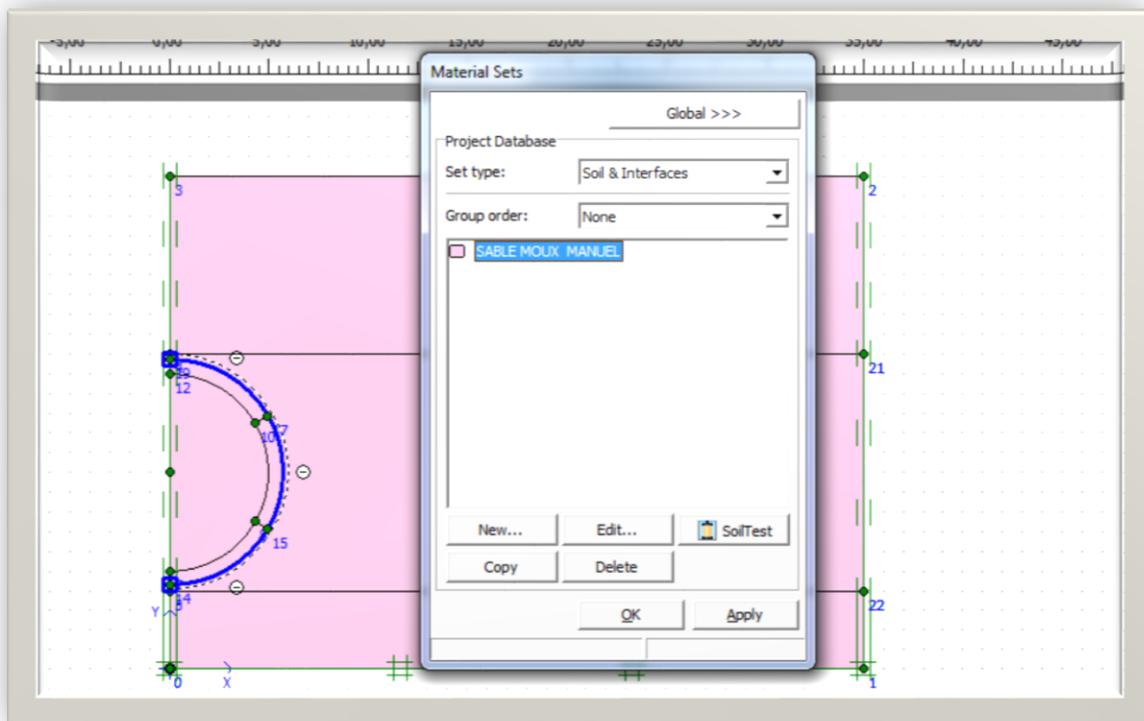


Figure V.3: Création des couches de terrain. [6]

d) Propriétés mécaniques des matériaux :

Cliquer sur l'icône « matériel set » pour insérer les propriétés mécaniques des différentes couches de terrain, ainsi que celles du revêtement du tunnel. Le comportement mécanique est supposé drainé puisque nous nous intéressons aux déformations à long terme. [6]

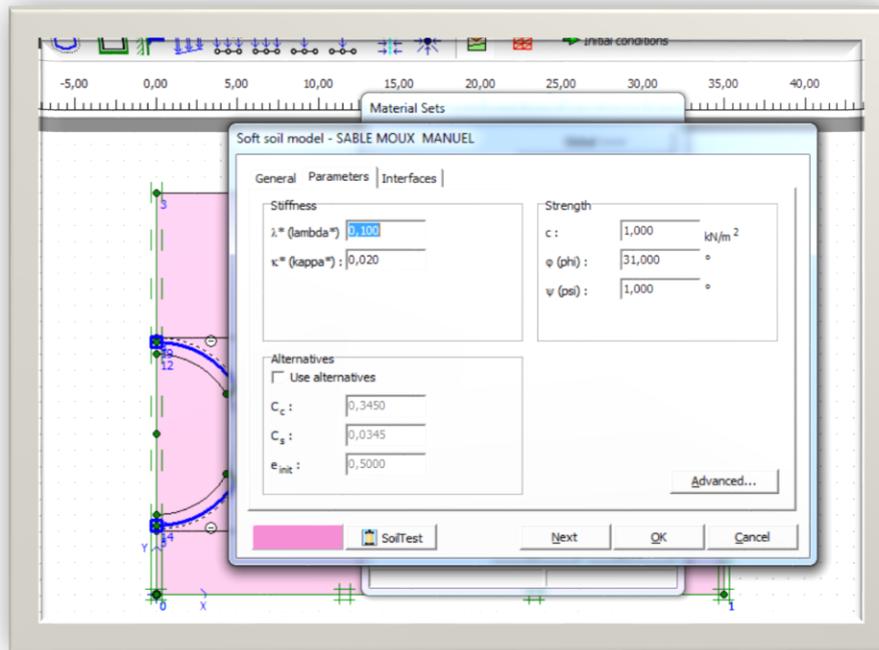


Figure V.4 : Fenêtre des paramètres pour la loi the soft soil model. [31]

► Le tunnel

PLAXIS offre une option qui facilite la création des tunnels circulaires ou non circulaires composés d'arcs successifs. Cliquer sur l'icône « tunnel » dans la barre des outils. Une fenêtre apparaît avec 3 options pour la création de la forme du tunnel.

Après l'insertion du tunnel dans le modèle géométrique, on définit les caractéristiques de l'élément plaque qui constitue le tunnel. Les plaques sont des éléments de structure utilisés pour modéliser des structures élancées dans le terrain et ayant une rigidité de flexion et une raideur normale significatives. Les plaques peuvent être utilisées pour modéliser l'influence de murs, plaque coques ou soutènement. Dans un modèle géométrique, les plaques sont des « lignes bleues ». [6]

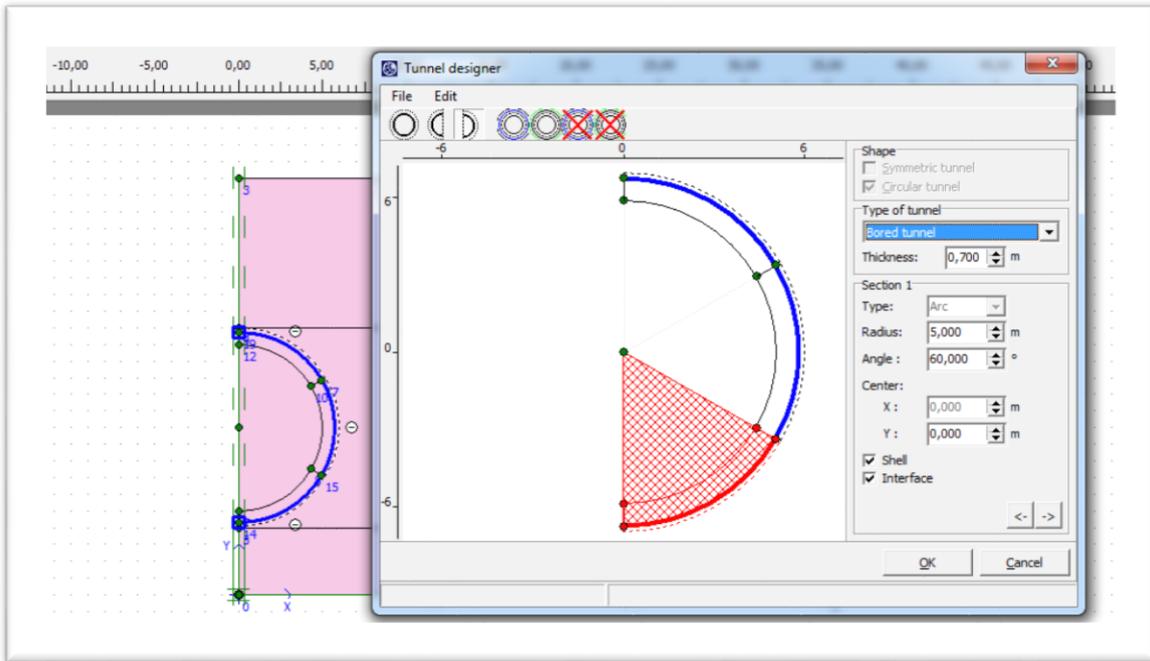


Figure V.5 : création du tunnel circulaire. [6]

e) Maillage:

Les paramètres et les données sont introduits dans le modèle (sols, plaque), l'option « mesh » permet de générer le maillage d'éléments finis avec des options pour raffiner le maillage. Le maillage peut contenir des milles d'éléments. [32]

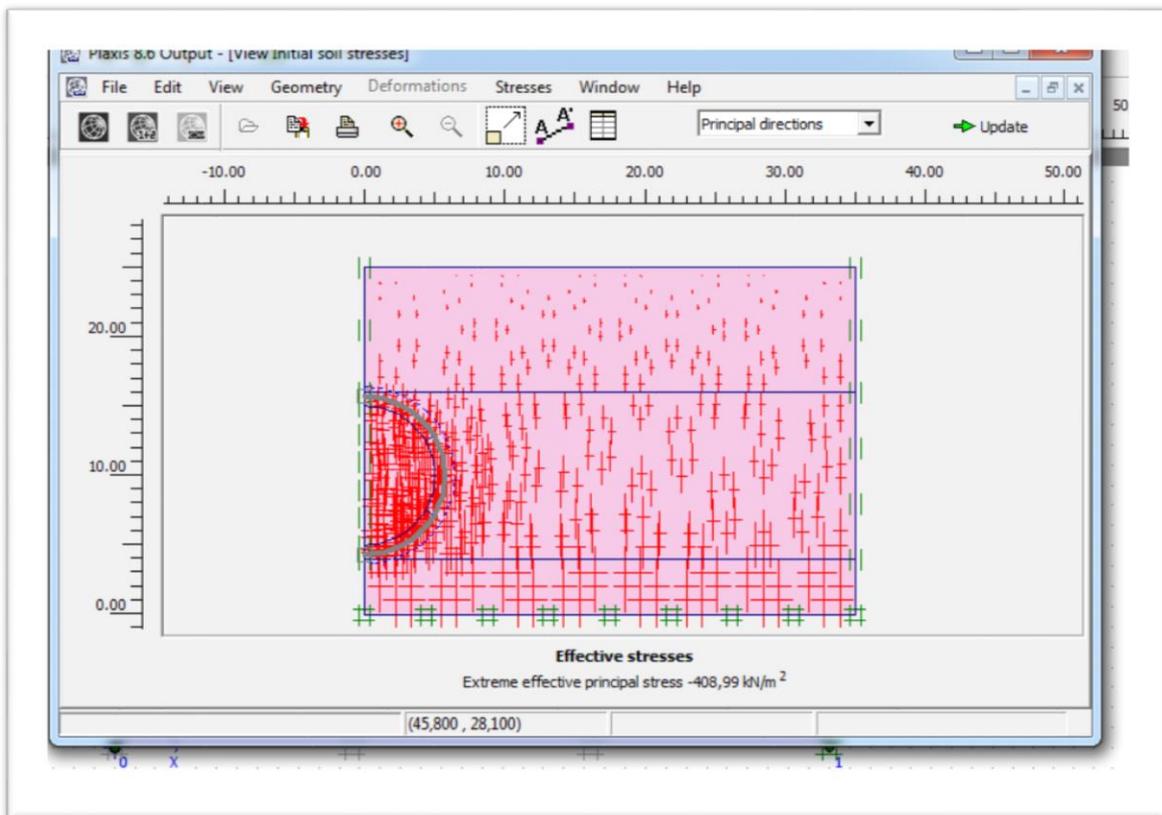


Figure V.6 : Fenêtre des contraintes effectives dans le sol. [6]

f) Conditions hydrauliques :

L'étude hydrogéologique a montré qu'il n'y a pas une nappe bien déterminée sous le niveau du terrain naturel. Le logiciel PLAXIS permet de dessiner le niveau aquifère, et le degré de saturation dans le massif. [6]

g) Contraintes initiales :

Les contraintes initiales dans le sol sont influencées par le poids de terrain et par l'histoire de sa formation. Cet état de contrainte est caractéristique généralement par une contrainte effective verticale initiale, et autre contrainte horizontale calculé par le coefficient de pression des terres au repos K_0 ($\sigma_h = K_0 \sigma_v$), La valeur par défaut de K_0 est obtenue par la formule de Jaky ($K_0 = 1 - \sin \phi$) . le logiciel utilise donc la formule de Jacky pour la génération des valeurs de K_0 . [6]

h) La phase de calcul :

Après la définition du modèle d'élément finis, on peut faire le calcul par déformation plastique. Le calcul est fait en deux phases :

Dans une 1ere phase, on désactive les éléments de sol à l'intérieure du tunnel et l'on active le revêtement.

C'est la seconde phase de calcul qui va nous ramener à la réalité lors de la construction d'un tunnel nécessitant un coffrage, le volume de sol excavé est habituellement plus important que le volume du tunnel. Cette perte de volume peut être simulée en imposant une contraction radiale de lamproie du tunnel. Le volume de sol (perdu) à imposer est défini dans PLAXIS, comme un pourcentage du volume total du tunnel. [6]

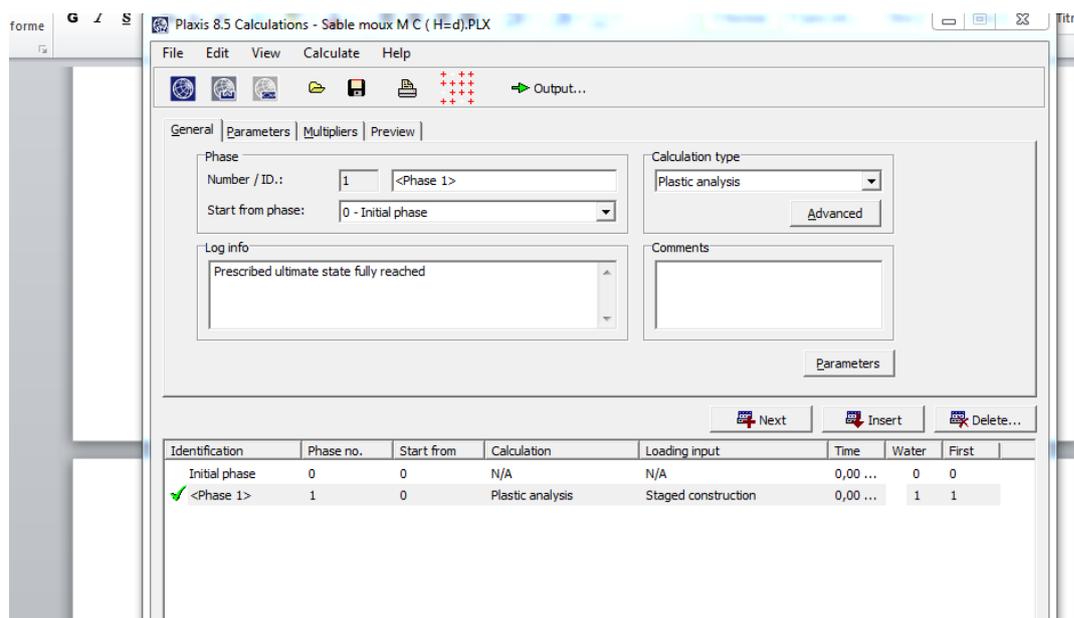


Figure V.7 : Fenêtre de phase de calcul du logiciel. [32]

V.5- Modélisation numérique résultats et interprétations

V.5.1-Présentation du projet

Ce travail consiste à étudier la galerie de filon 4, cette galerie est de forme trapézoïdale de largeur de 4m et hauteur de 3 m.

V.5.2-Caractéristiques géotechniques du massif

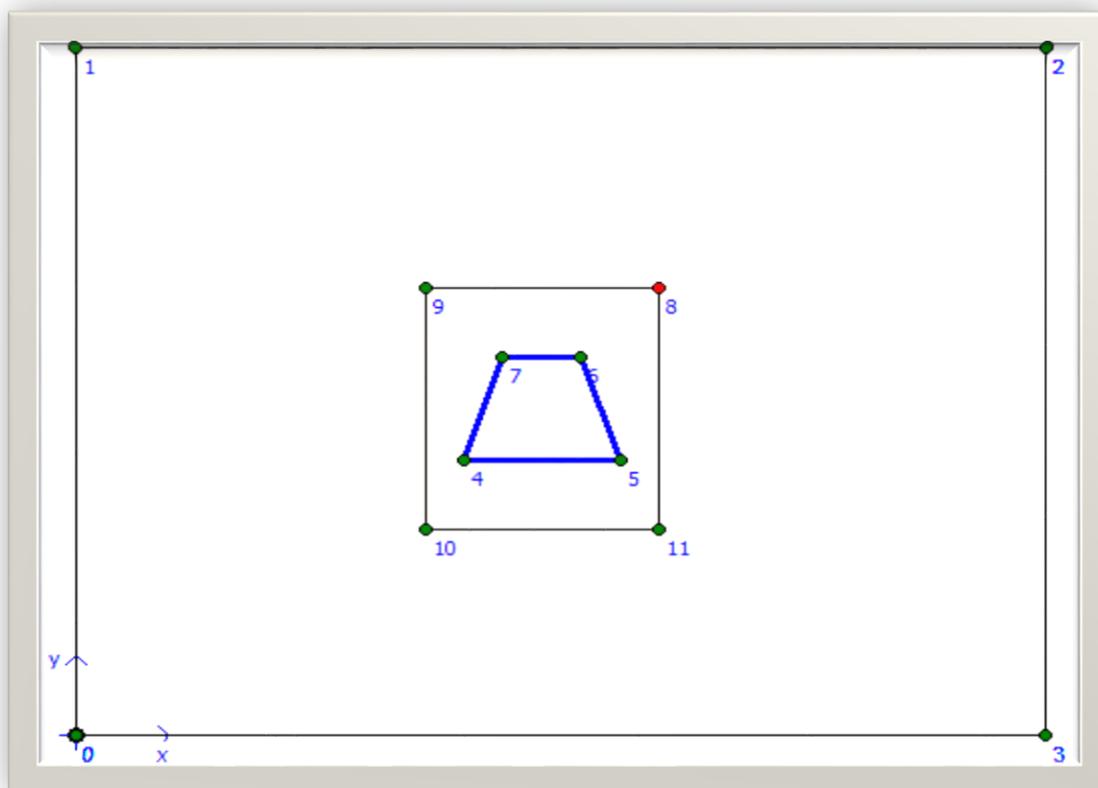
Tableau V.1: Paramètres géotechniques du massif [32]

	Poids volumique apparent [KN/m ³]	Poids volumique Sature(KN/m ³)	Module de Young (KN/m ²)	Cohésion (KN/m ²)	φ (°)	Ψ °	Coefficient de poisson
Baryte	32	34	14500	340	35	0	0.3
Calcaire	25	27	10750	265	27	0	0.3

Tableau V.2: Paramètres du soutènement [32]

Soutènement	EA (KN/m)	EI (KNm ² /m)	w(KN.m/m)	Coeff de poisson	D(m)
bois	$4,945 \cdot 10^7$	$2,4 \cdot 10^6$	82	0,3	0.763

V.5-3-la géométrie :



FigureV.8: géométrie de model

V.5.4-Conditions aux limites

Pour tenir compte de l'évolution des déplacements avec la profondeur et minimiser l'influence des conditions aux limites, le front du modèle numérique est bloqué dans les trois directions (X, Y, Z), en utilisant la fonction « Standard Fixities ».

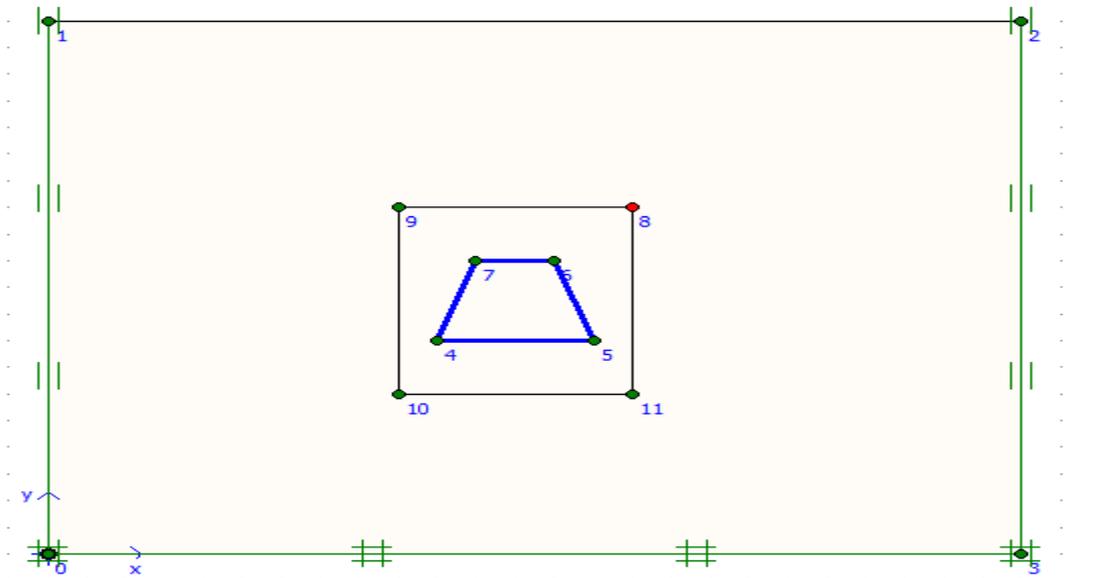


Figure V.9: Génération des conditions aux limites

V.5.5- Les couches du terrain

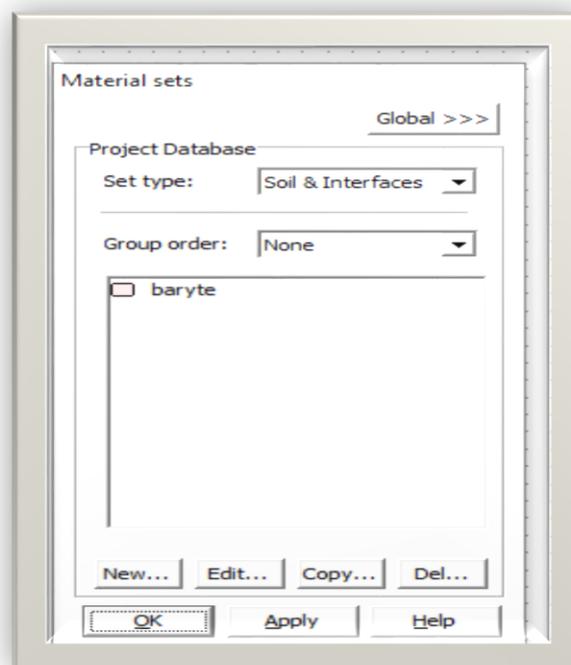


Figure V.10: Création des couches de terrain.

V.5.5- Maillage

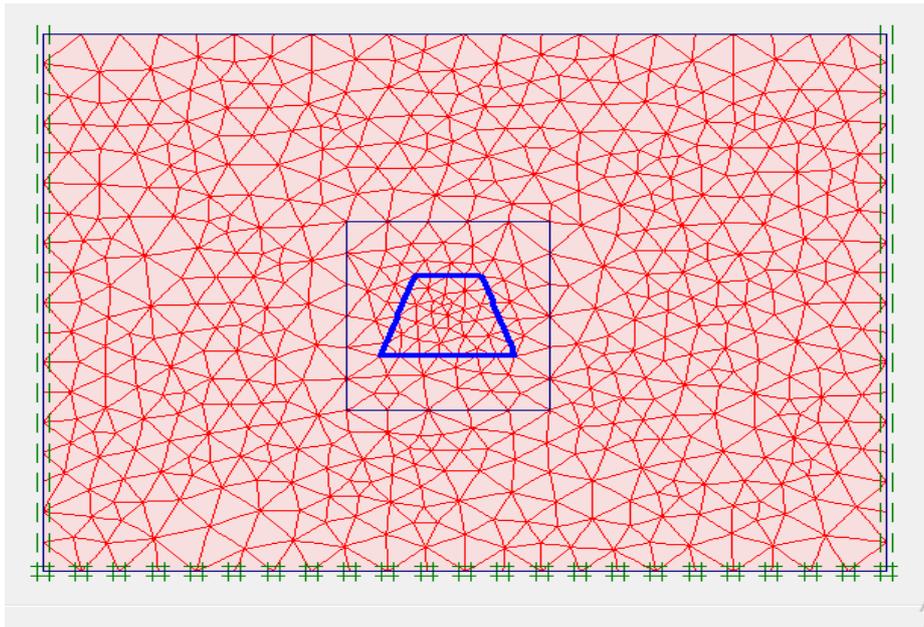


Figure V.11: Maillage de model

V.5.6-Conditions initiales

On doit spécifier les conditions initiales

- Aucune nappe n'indique au niveau de la zone du tunnel.
- Le poids volumique de l'eau: $W_{\text{water}} = 10 \text{ KN/m}^3$;
- Ce paramètre permet de distinguer les contraintes effectives et pressions interstitielles;
- La pression interstitielle $P = 0.00 \text{ KN/m}^2$

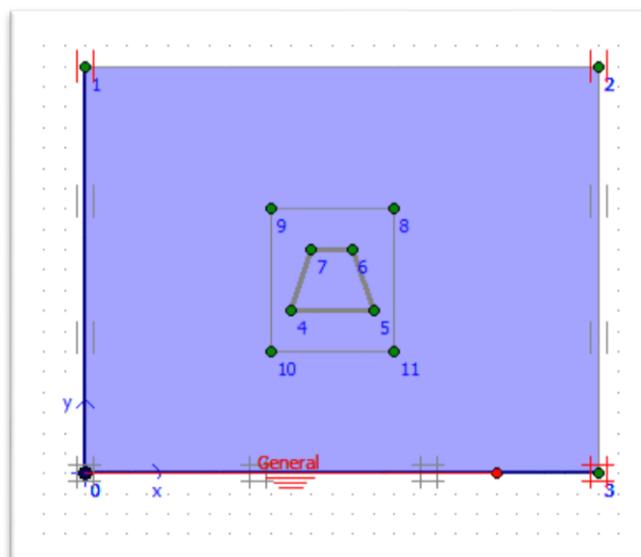


Figure V.12: conditions hydrauliques

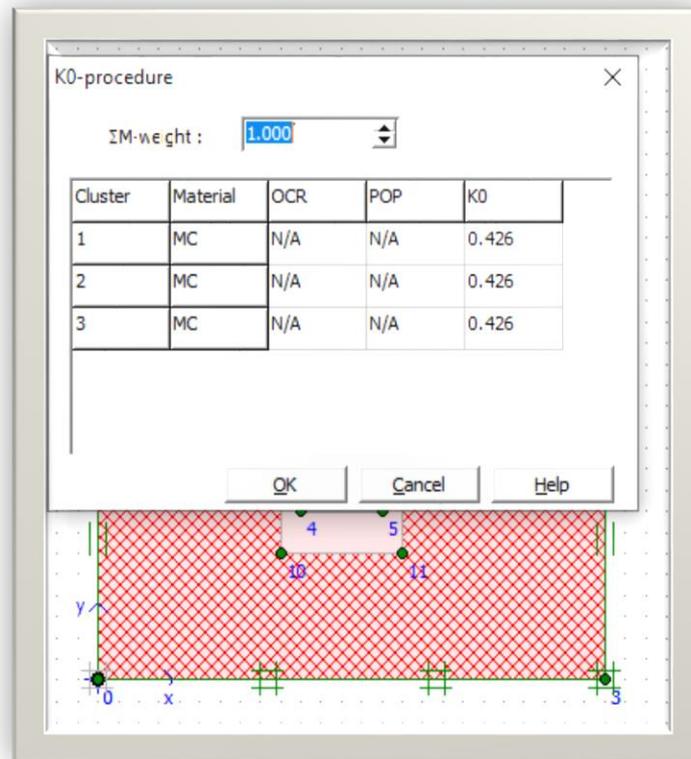


Figure V.13: Le champ des contraintes effectives

V.5.7-Calcul

Après avoir introduit tous les paramètres de l'ensemble (sol+structure), on lance l'application des calculs « calculassions »: les calculs se font selon plusieurs phases, chacune représente un pas d'avancement.

- Phase 1 : état initial (avant les travaux d'excavation).
- Phase 2 : Excavation de la section galerie.

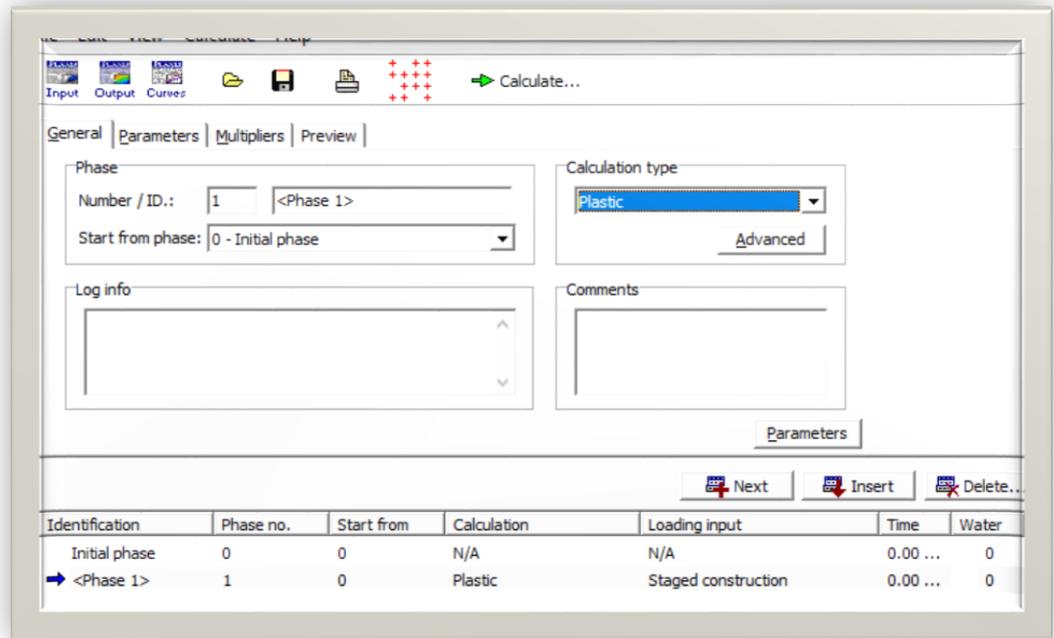


Figure V.14: Phases des calculs

V.5.8-Calcul de la déformation (déplacements) dus à l'excavation de la section
a-pour le Calcaire

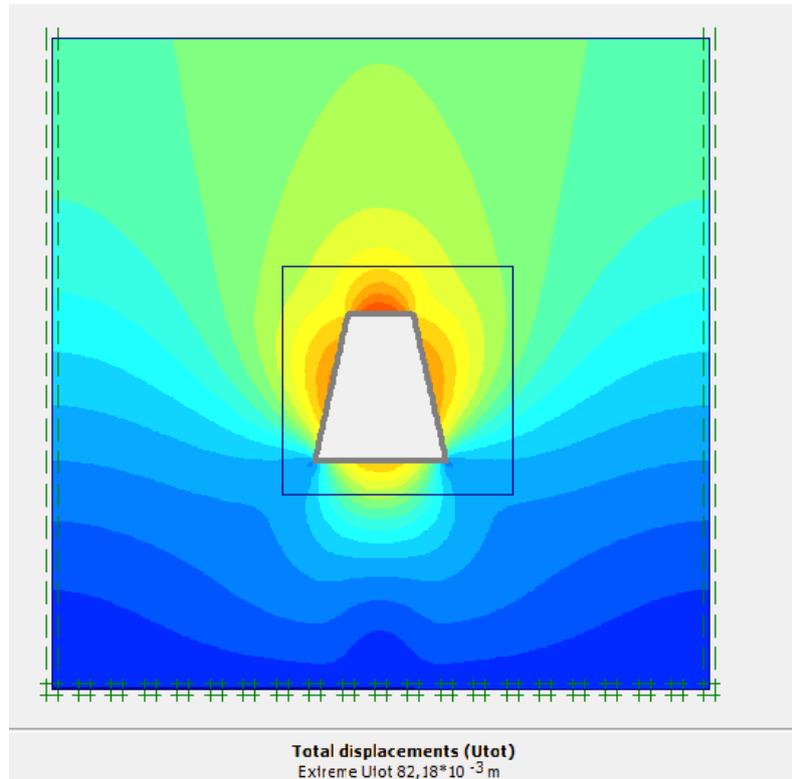


Figure V.15: déplacement totale sans soutènement

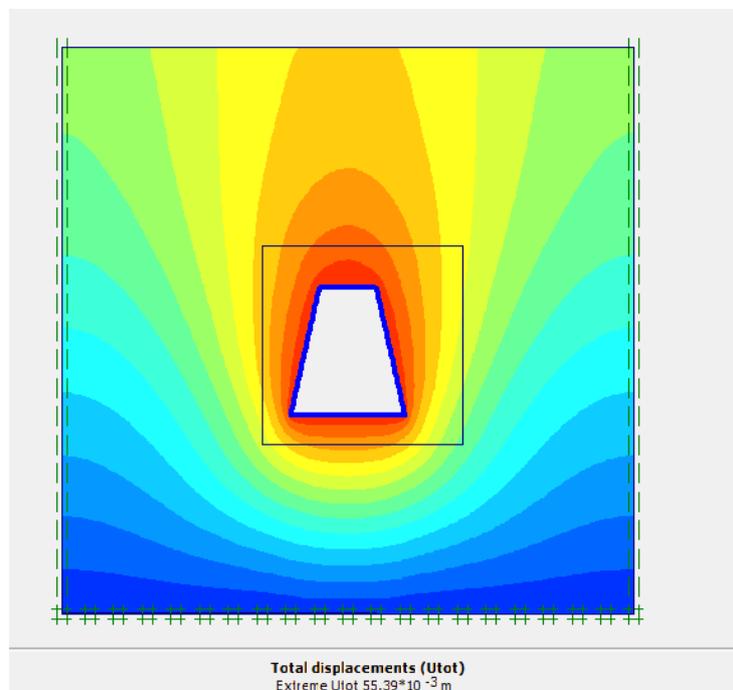


Figure V.16: déplacement totale avec soutènement

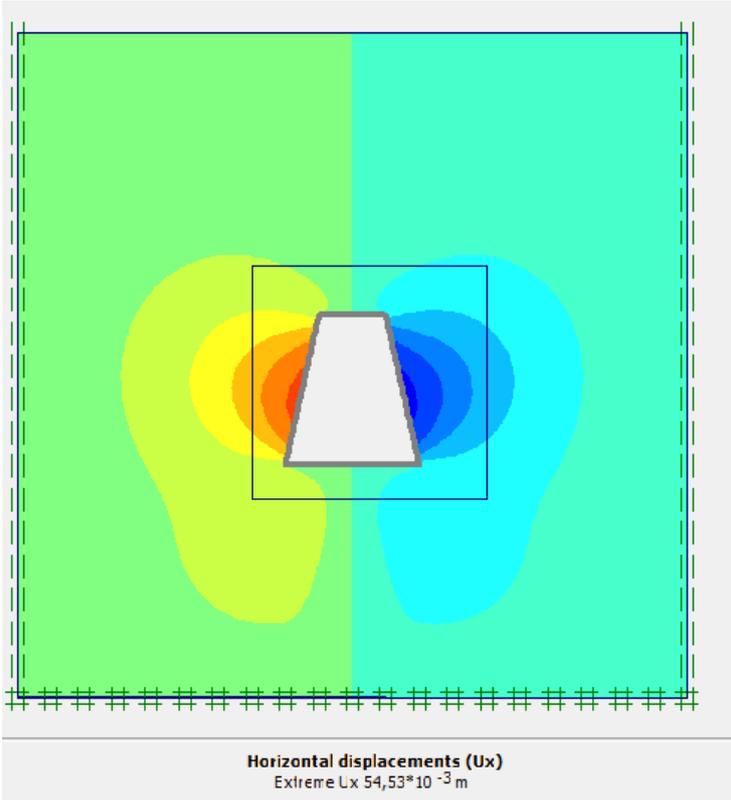


Figure V.17: déplacement horizontale sans soutènement

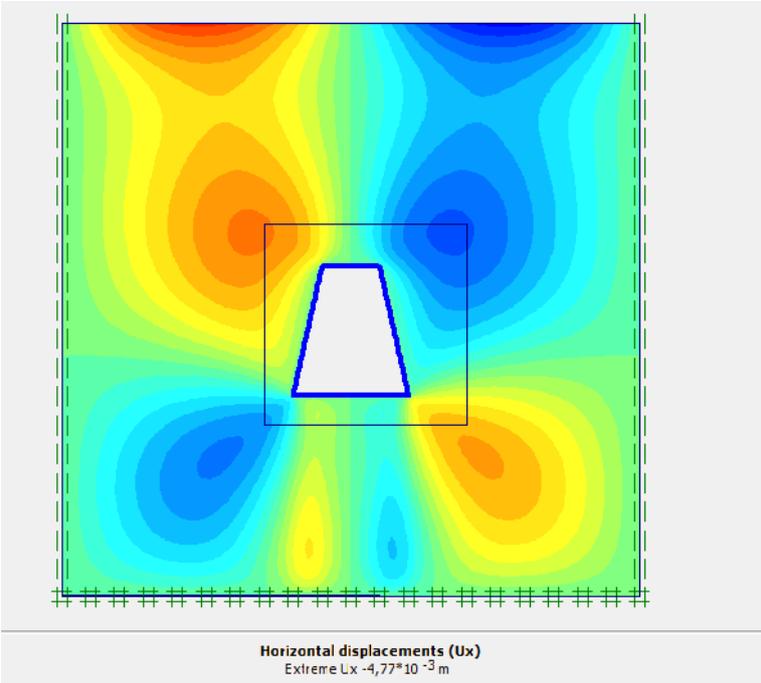


Figure V.18: déplacement horizontale avec soutènement

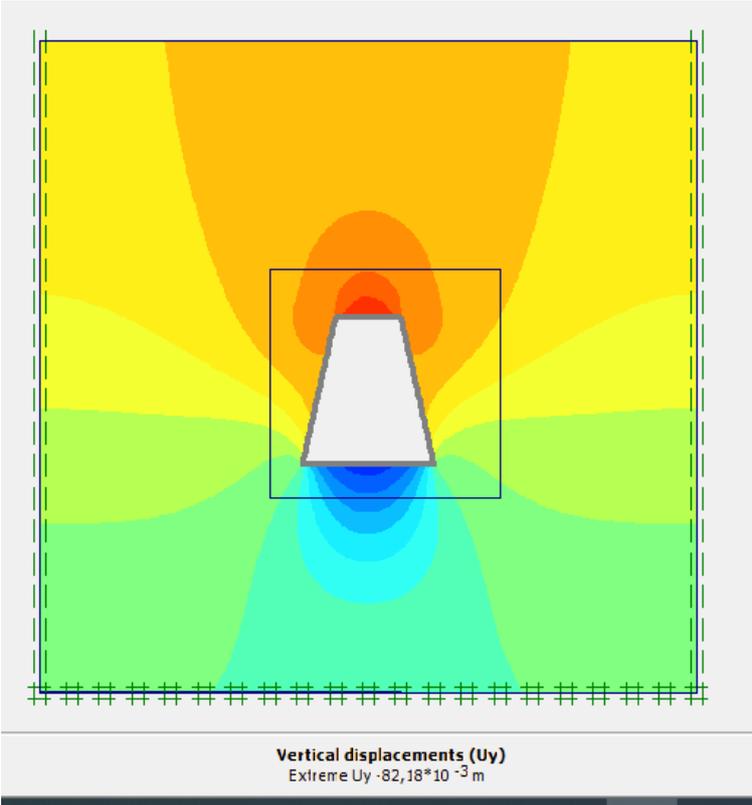


Figure V.19: déplacement verticale sans soutènement

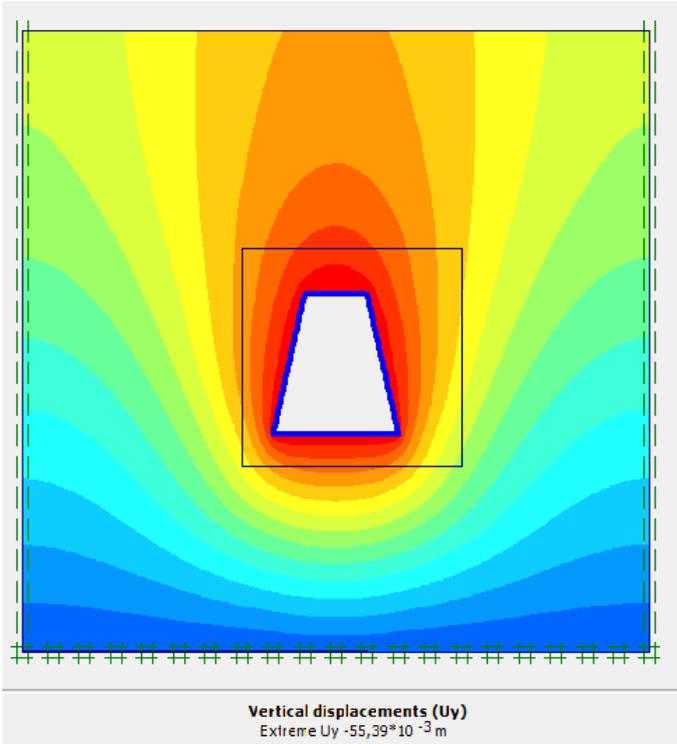


Figure V.20: déplacement verticale avec soutènement

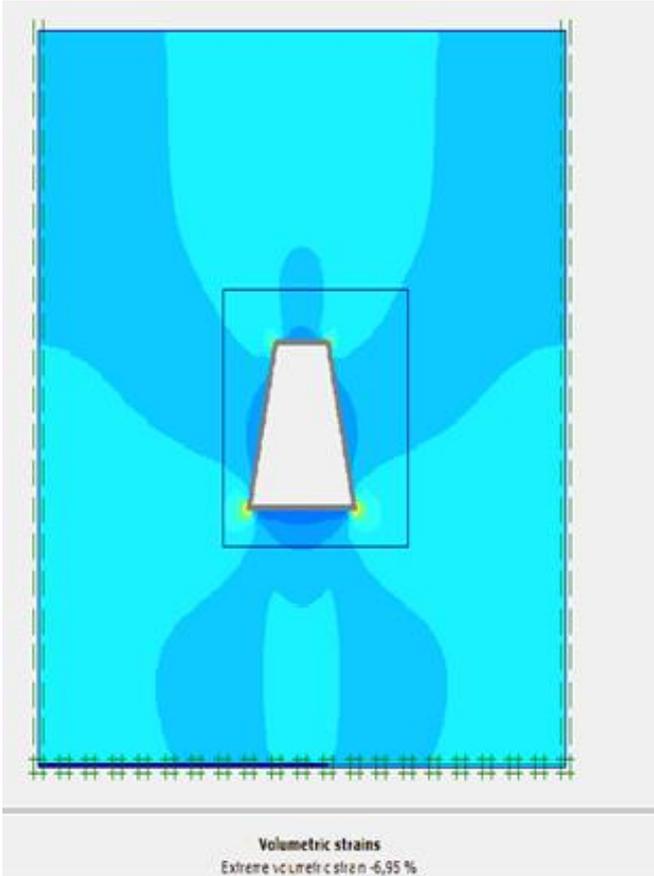


Figure V.21: déformation volumétrique sans soutènement

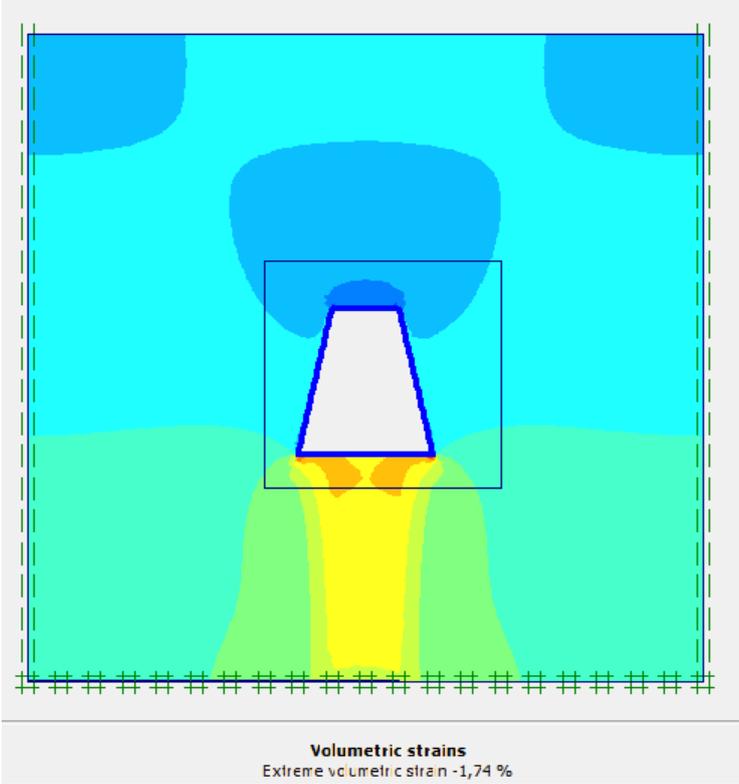


Figure V.22: déformation volumétrique avec soutènement

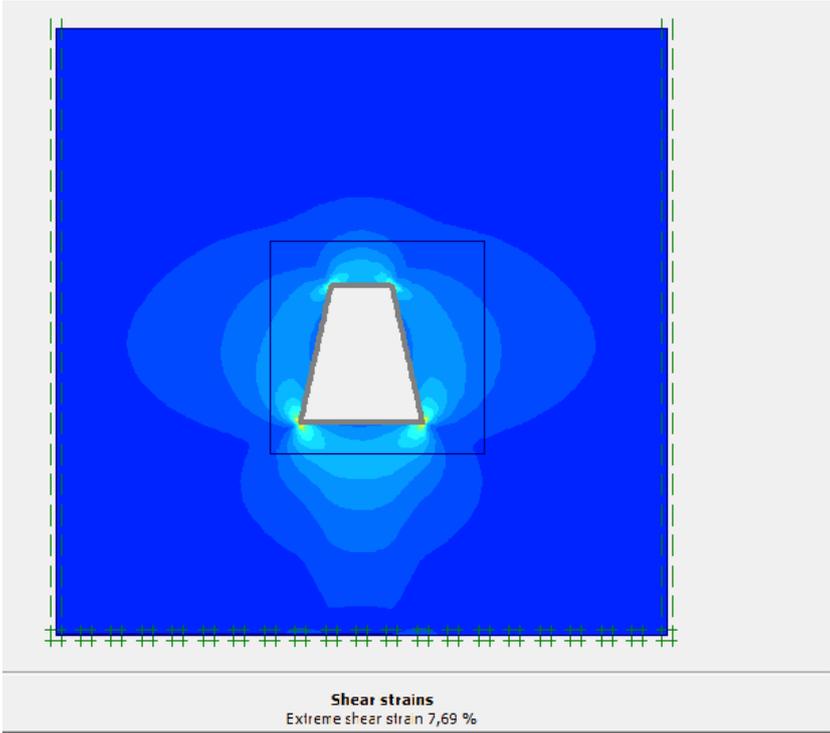


Figure V.23: Contraintes de Cisaillement sans soutènement

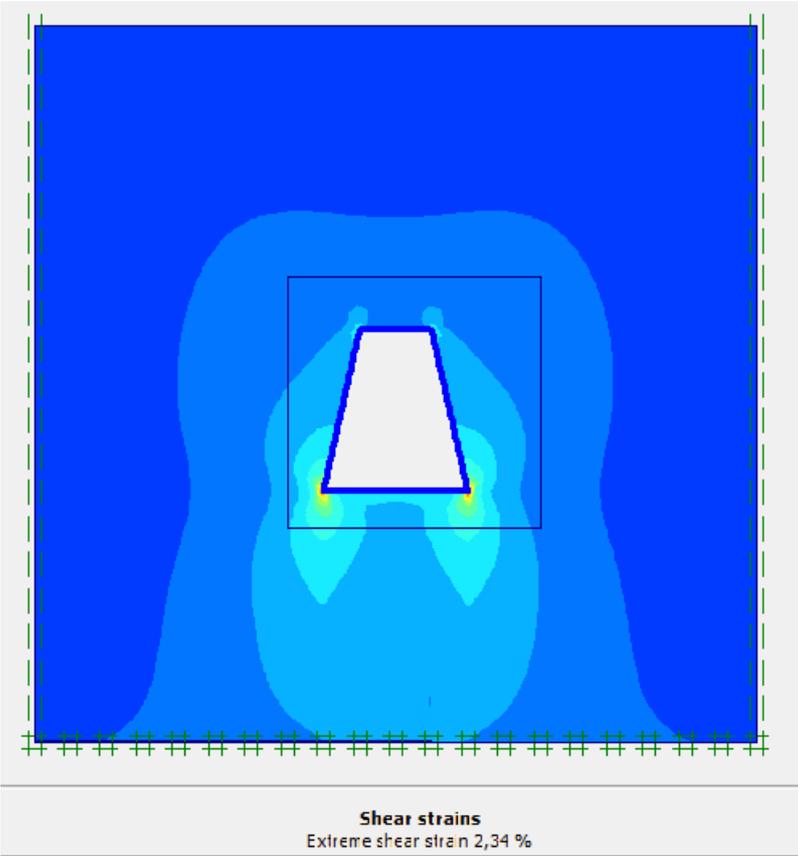


Figure V.24: Contraintes de Cisaillement avec soutènement

2- pour la baryte :

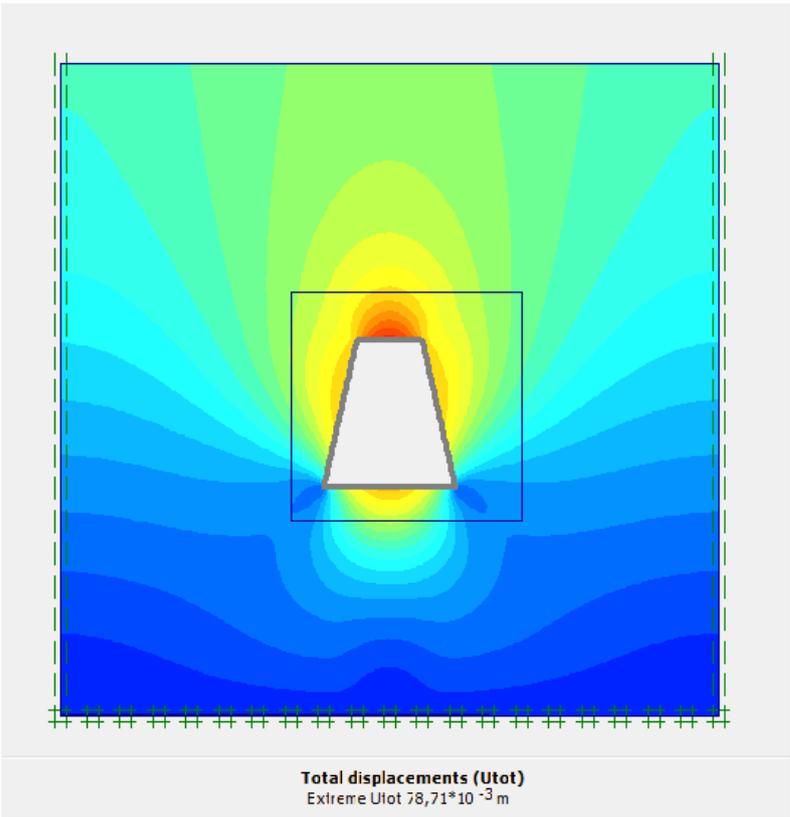


Figure V.25 déplacement totale sans soutènement

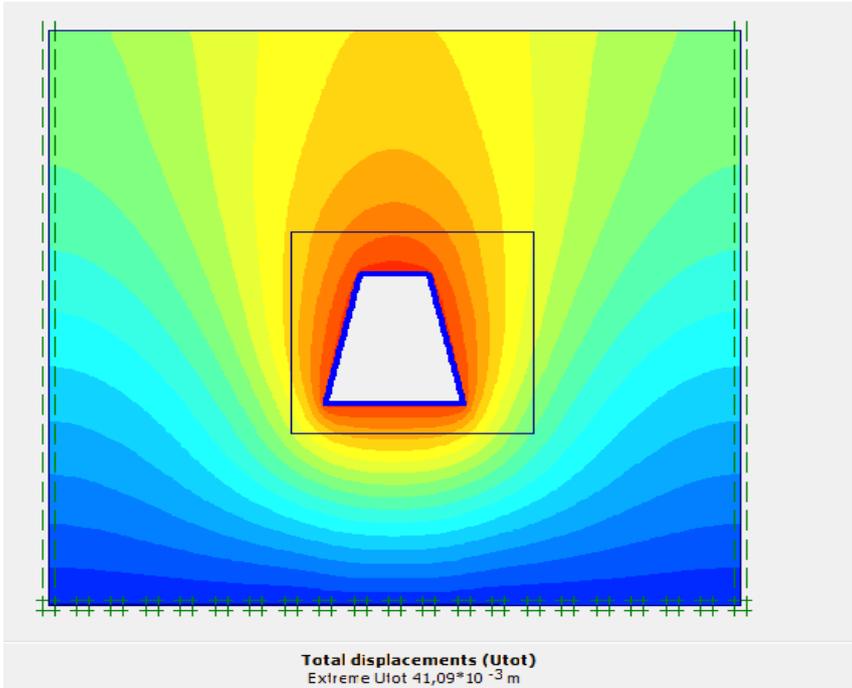


Figure V.26 déplacement totale avec soutènement

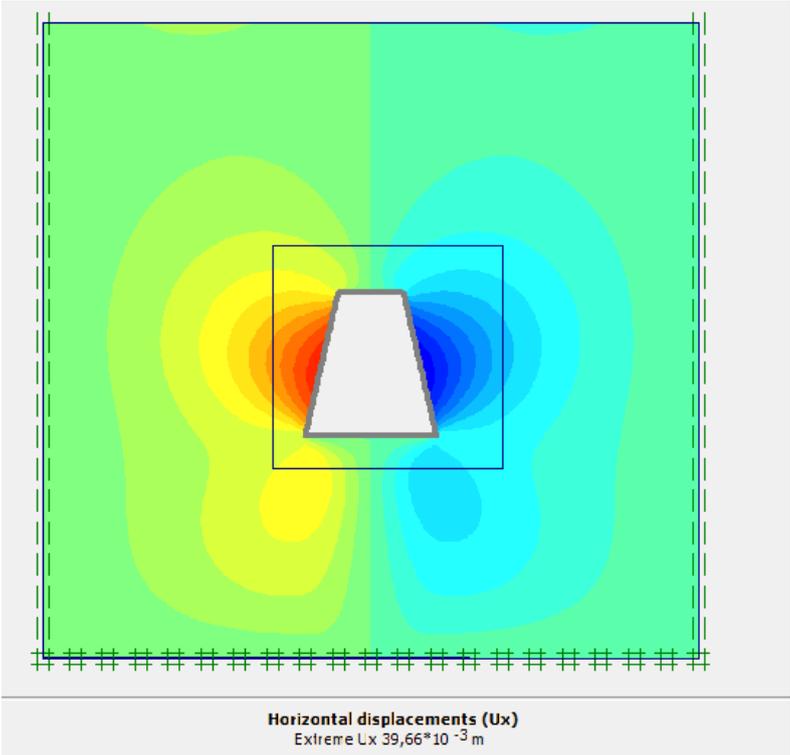


Figure V.27 : déplacement horizontale sans soutènement

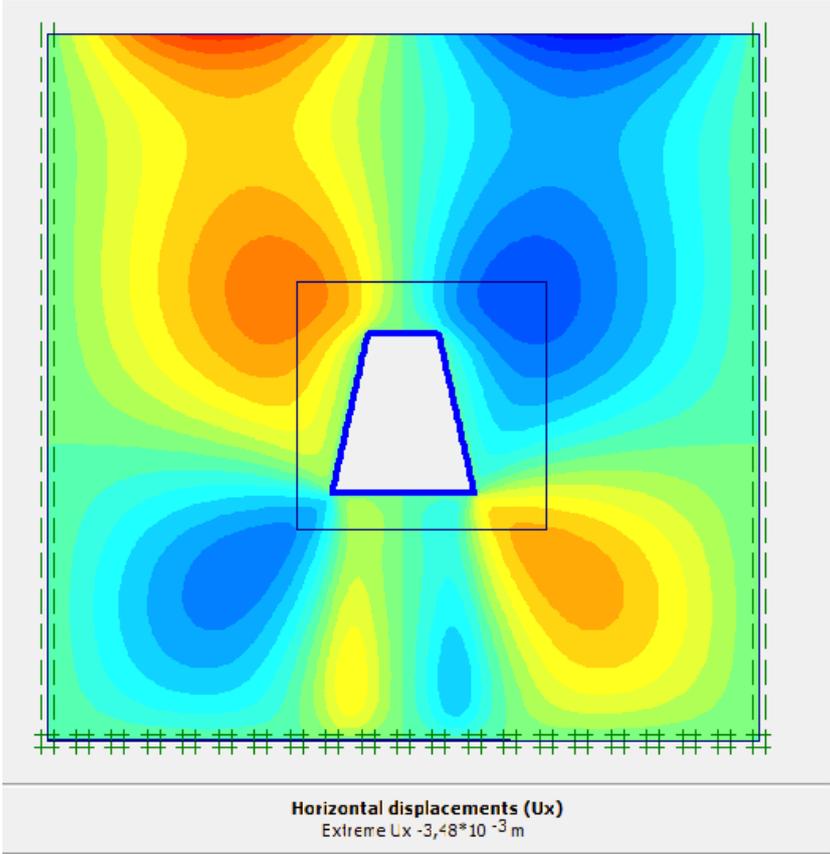


Figure V.28 : déplacement horizontale avec soutènement

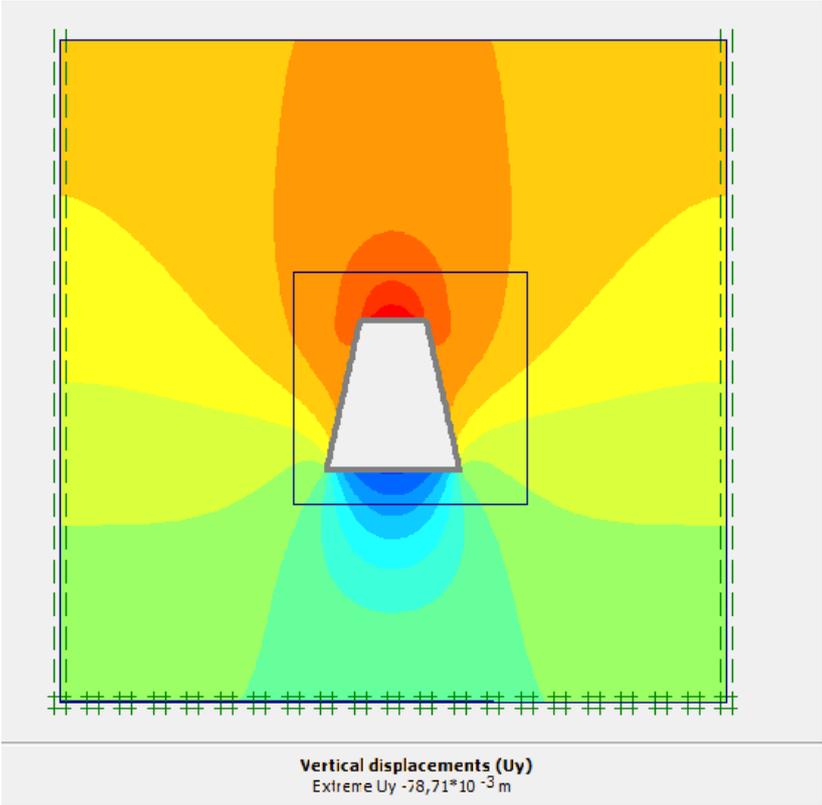


Figure V.29: déplacement verticale sans soutènement

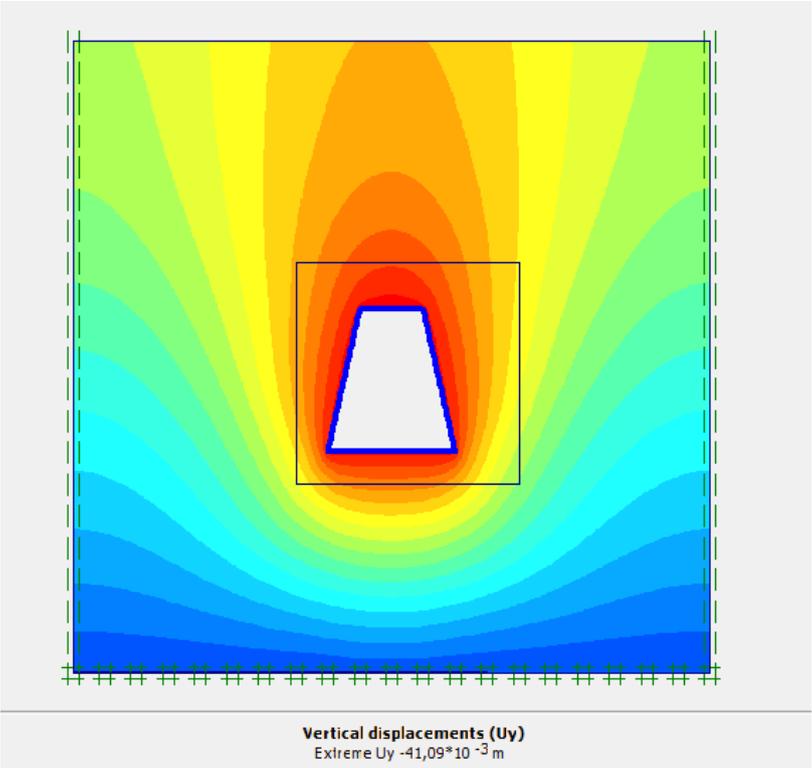


Figure V.30: déplacement verticale avec soutènement

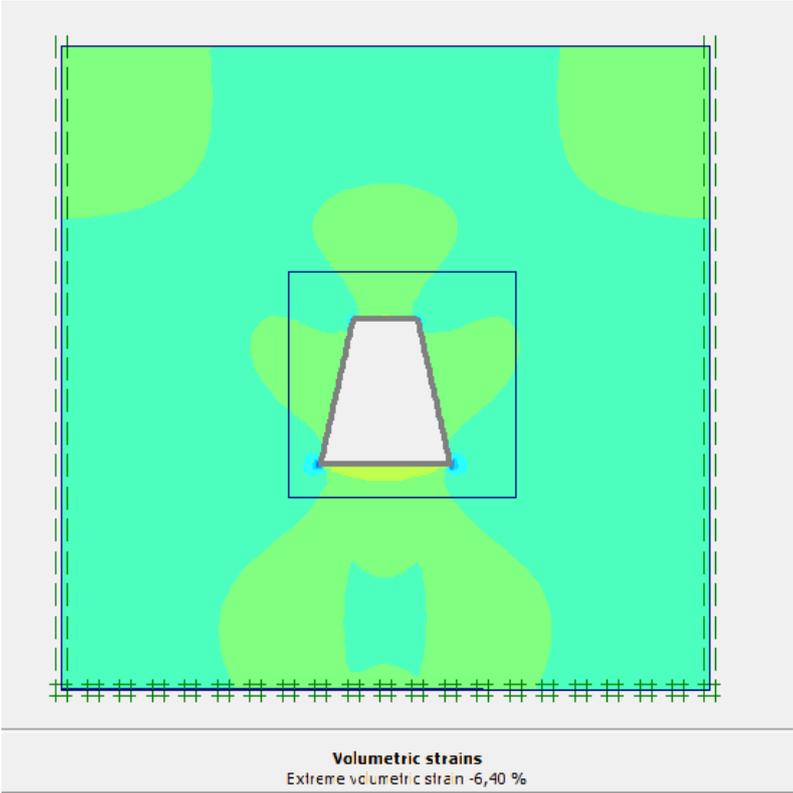


Figure V.31: déformation volumétrique sans soutènement

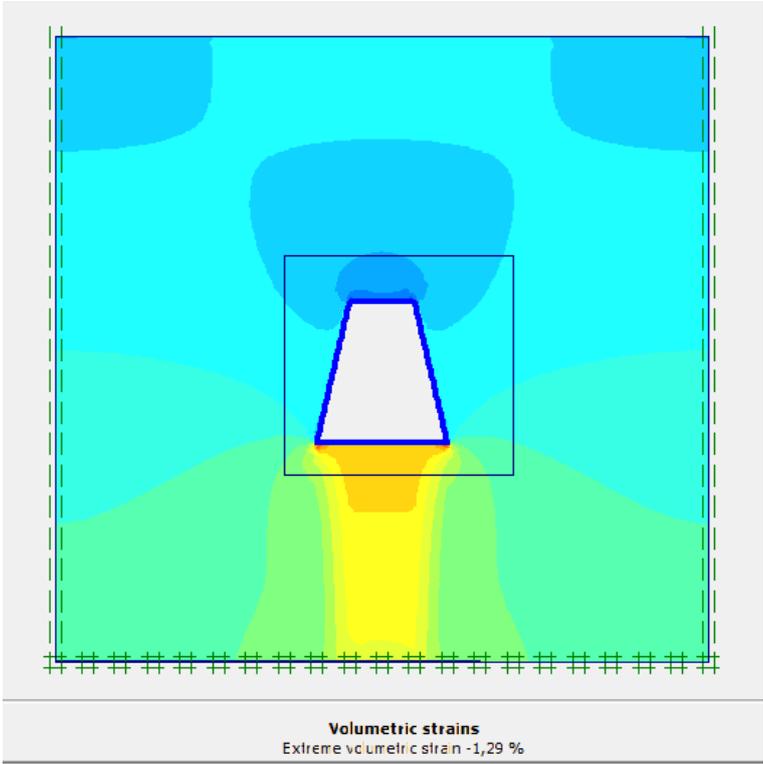


Figure V.32: déformation volumétrique avec soutènement

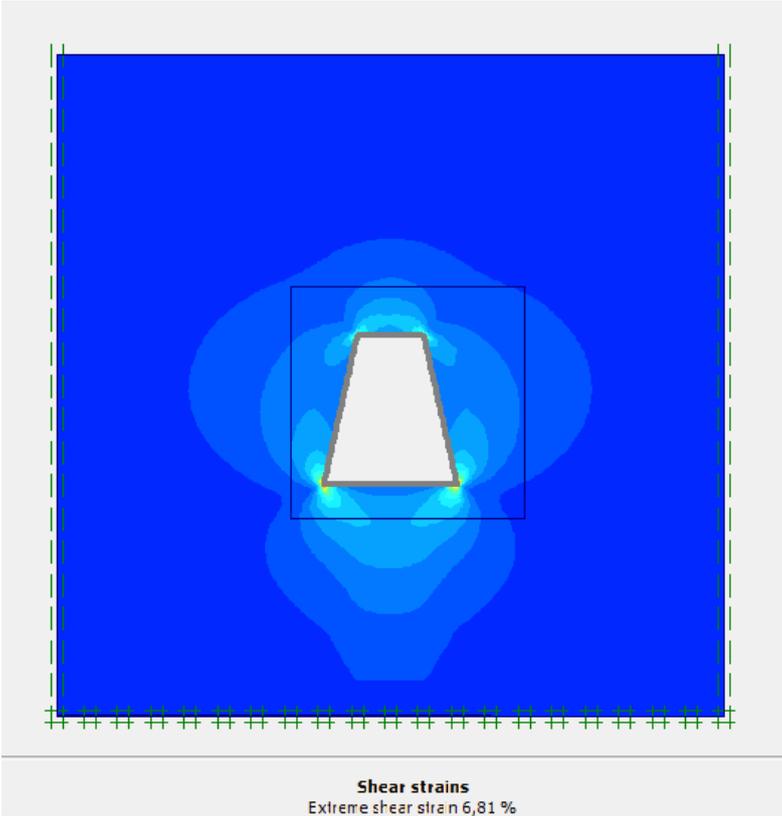


Figure V.33: Contraintes de Cisaillement sans soutènement

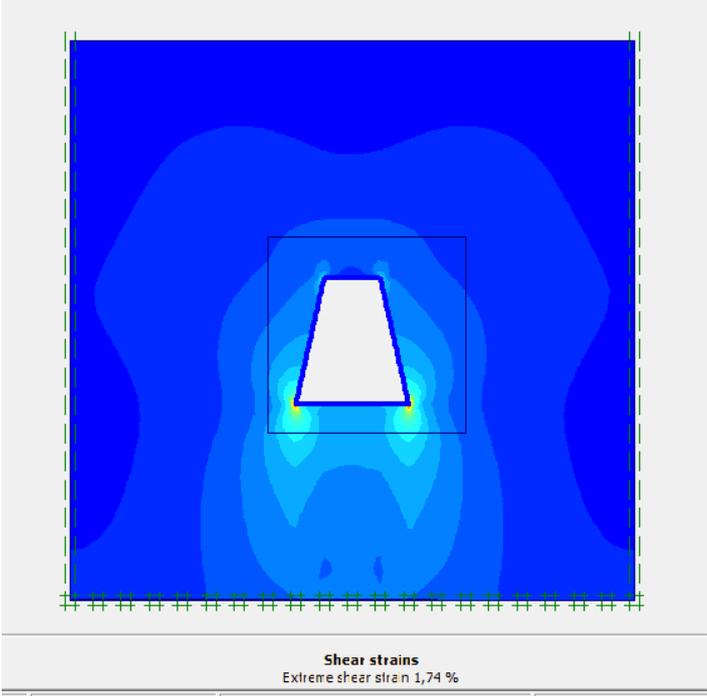


Figure V.34: Contraintes de Cisaillement avec soutènement

V.6. Conclusion

La modélisation numérique des ouvrages géotechniques réalisée à l'aide du logiciel PLAXIS est une approche simplifiée de la réalité géométrique de l'ouvrage.

Les modèles introduits dans les codes de calcul en éléments finis permettent la résolution des problèmes liés aux tassements, à la consolidation et à la rupture des sols.

Conclusion Générale

Conclusion générale

La caractérisation géotechnique des massifs des mines souterraines, avec la connaissance du contexte géologique et hydrogéologique de ces massifs, permettent de comprendre leur comportement mécanique et de prévenir de graves accidents soit sur le personnel ou sur l'environnement en général, suite à l'apparition de plusieurs phénomènes tels que les affaissements, les effondrements et les chutes de blocs.

La mine souterraine de Baryte de AIN MIMOUN (wilaya de Khenchela) fait partie de l'une des unités de l'ENOF et représente l'une des richesses de l'Algérie ; dans le but de sa préservation et dans le cadre du développement durable, une prévention des risques géotechniques est très importante pour garantir le bon fonctionnement de la mine. Ainsi que le choix de la méthode d'exploitation d'une mine souterraine a une immense influence sur la stabilité des ouvrages miniers et la continuité des travaux d'extraction de minerai en toute sécurité.

Les méthodes empiriques constituent un outil efficace pour le prédimensionnement des systèmes de soutènement des tunnels. L'application de plusieurs systèmes de classification (méthode de TERZAGHI, méthode de BIENIAWSKI, RQD, et AFTES), en plus qu'elle a abouti à des recommandations de soutènement adéquat à la galerie, elle nous a poussé à constater que le massif de Ain Mimoun a de bonnes caractéristiques mécaniques, ce qui indique que les problèmes de stabilité remarqués sur le site sont liés à d'autres facteurs tels que la méthode d'extraction du minerai appliquée ou bien les travaux de forge et de tir ce qui conduit à la nécessité d'effectuer plus d'études sur le sujet au future.

Référence bibliographique

- [1] : **TOUAMRIA SABRI** : " Modélisation numérique traditionnelle de l'effet de creusement d'un tunnel sur le comportement superstructures sous-jacents " ; Mémoire du diplôme de Master ; juin 2012, Institut des Sciences et de Technologie – Souk-Ahras; Algérie ;
- [2] : **LATRECHE AICHA, KHALFI ASMA** " Etude de l'influence des lois de comportement et de la surcharge sur l'interaction sol-tunnel pour différents types de terrain encaissant; Mémoire du diplôme de Master ; juin 2019, UNIVERSITE BADJI MOKHTAR – ANNABA ; Algérie ;
- [3] : **Meghellet Lounis, Belaid Mourad** : " Etude géotechnique de la stabilité d'une mine souterraine cas de la mine Bou-caïd (Tissemssilt)" ; Mémoire du diplôme de Master ; juin 2019, Université Abderrahmane Mira – Bejaia; Algérie ;
- [4] : **Ait Kaid Yassine** : " Etude économique de l'Exploitation de la partie inférieure du gisement de Zn de Chaâbet El-Hamra et sensibilité des paramètres production, teneur, tout venant, cours métal et investissement" ; Mémoire du diplôme de Master ; juin 2009 ; ÉCOLE NATIONALE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE– Qustantaine ; Algérie ;
- [5] : **DREHMOUNE Saliha** " Modélisation numérique de creusement par tunnelier – Cas de métro d'Alger –Tronçon 05" ; Mémoire du diplôme de Master ; juin 2020, ECOLE NATIONALE SUPERIEURE DES MINES ET DE LA METALLURGIE AMAR LASKRI– Annaba; Algérie ;
- [6]. **Hans Hamrin, [2018]** « Les méthodes d'exploitation souterraines», Groupe Géologie Minière.
- [7] **F. Kitchah (2012)**: Etude numérique de la stabilité d'une section du Tunnel T4 de L'autoroute Est-Ouest. , mémoire magister de l'université EL Hadj Lakhdar-Batna.
- [8] : **ADKHIS Brahim** : " Ouverture et exploitation du filon 10 du gisement de baryte de Tamza (Ain Mimoun W Khenchela)" ; Mémoire du diplôme de Master ; juin 2010, ÉCOLE NATIONALE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE – El-Harrach ; Algérie ;
- [9] : **ISMAIL CHAKHRIT** " Optimisation des paramètres d'abattage à l'explosif pour améliorer les résultats de tir « la mine de ain Mimoun a khenchela »" ; Mémoire du diplôme de Master ; juin 2020 ; DEPARTEMENT DE GENIE MINIER – Annaba ; Algérie ;
- [10] : **KHALDOUN Younes , CHANDAD Ismail** " Etude de l'exploitation souterraine du gisement de la baryte d'Ain Mimoun -Khanchela" ; Mémoire du diplôme de Master ; juin 2018, Université Larbi Tebessi–Tébessa ; Algérie ;

Référence bibliographique

- [11]: **BERKAN A**,comportement des tunnels lors du creusement en zone instable. Thèse de doctoras, 2020, université Batna 2 mostfa-ben boulaïd, faculté de technologie, algerie.
- [12]: " **BALADAH Fares** " REVALORISATION DES REJETS BARYTIQUES ISSUES DES JIGS ET IMPACT ENVIRONNEMENTAL: CAS DE LA MINE D'AIN MIMOUNE/KHENCHLA " ; Mémoire du diplôme de Master ; juin 2012 ; DEPARTEMENT DE GENIE MINIER – Annaba ; Algérie ;
- [13] : **Khettar Meziane et Lyes Krim**, «Conception et Etude d'un tunnel autoroutier bitube situé sur la pénétrante de TIZIOUZOU» Mémoire Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'Etat ;(Travaux Publics) ENSTP, Alger ; 2016.
- [14] : mémoire de magister en mine 2011-2012. Revalorisation des rejets barytique issues des jigs et impacts environnementales : cas de la mine de Ain Mimoun. BALADHA FARES
- [15] : **Kitchah Fethi**, «Etude numérique de la stabilité d'une section du Tunnel T4 de l'autoroute Est-Ouest», Pour obtenir le diplôme de Magistère en Génie Civil, Université El Hadj Lakhdar –Batna.
- [16]:**BENHAMMOU A., ZIRAR A.**, simulation numérique de l'influence du creusement des ouvrages souterrains en milieu urbain. Thèse de master, 2019, université abou bekr belkaid, faculté de technologie, algérie,
- [17]: **Amara Idir**, 2018, «Etude de comportement d'un tronçon du tunnel d'Ait Yahia Moussa.», Mémoires De Fin D'étude En vue de l'obtention du diplôme de Master En Génie Civil, Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou.
- [18] : **BELOUAAR Hadjer** / (L'ouverture et l'exploitation du filon N° 10 Cas de la mine de Ain Mimoun-Khenchela).2016-2017 .univ Bejaïa.
- [19]: **Deere, D. U.**, (1988), «The Rock Quality Designation (RQD) index in practice », In Rock classification systems for engineering purposes, edition Kirkaldie L., Philadelphia.
- [20] : **KERROUM Kamel** «Plan d'exploitation du gisement de baryte de djebel Ichemoul wilaya de Batna». Mémoires De Fin D'étude En vue de l'obtention du diplôme de Master En Génie Civil, univ.Bejaïa mémoire2016-2017
- [21] : " Creusement des ouvrages souterrains" ; Mini projet du 3ème année licence; juin 2018, Université Larbi Tebessi – Tébessa – ; Algérie ;

Référence bibliographique

- [22] : Poulard F, Daupley X, Didier C, Pokryska Z, D'Hugues P, Charles N, Dupuy J-J, Save M [2017], «Exploitation minière et traitement des minerais», Collection (La mine en France).
- [23] : B. BOKY [1968], «Exploitation des mines», traduit du russe par -A. GORODISKI, B. de TREZVINSKY, Y. VASSILEVSKY.
- [24] : Jaques Fines, [1998], « le soutènement des galeries minière », Ecole des Mines de paris.
- [25] : Cour de mine souterrain PDF document sur internet 2013
- [18]: BELLADAH, F. « Revalorisation des rejets barytiques issus des jigs et impact /
- [26]: Plan d'exploitation 2016 de Ain Mimoun. W. Khenchela (géologie et développement,
- [27] : Rapport de Stage
- [28] : Plans d'exploitation de la mine d'Ain-Mimoun ; document interne (2017).
- [29] : A.BOUVARD-LECOANET, G.COLMBET, F.ESTEULLE, 2008: «ouvrages souterrains b.conception, réalisation entretien.».
- [30]: Bieniawski, ZT., (1989), « Classifications des masses de roches techniques », manuel complet à l'intention des ingénieurs et des géologues en génie minier, civil et pétrolier. Wiley-Interscience.
- [31]: Bieniawski, Z. T., (1973), «Engineering classification of jointed rock masses », Trans. S. Afr. Instn. Civil Engrs.
- [32]:Aftes (2003) recommandation relative a la caractérisation des massifs rocheux
- [33]: AMOROSI, A., BOLDINI, D., (2009): numerical modelling of the transverse dynamic behaviour of circular tunnels in clayey soils. soil dynamics and earthquake engineering,

Annexe

Chapitre I :

LES RESERVES

PERIODE 1968-1970 :

En 1968, SONAREM mena des travaux de prospection sur le champ minier de MIZAB, ces travaux ont permis la mise en évidence de douze filons barytiques (filon n°1 jusqu'à filon n°12) avec un potentiel réserves de l'ordre de 2 179 700 tonnes dont le calcul de réserves se présente comme suit : [22]

Filons	Catégories	Surface (m2)	Epaisseur (m)	Coef.de min.	Volume (m3)	Poids vol. (t/m3)	Réserves minerais (t)	Teneur BaSO4(%)
1Est	B	18 400	2,1	0,84	32 458	4.04	131 100	88,68
2Ouest	C1	20 500	1,7	1	34 850		140 800	88,91
2Est	C1	26 260	1,4	1	36 764		148 500	92,07
3	B	11 170	3,2	1	35 744		144 400	91,54
	C1	16 300	3,1	1	50 530		204 100	90,91
	C2	10 200	2,3	0,5	11 730		47 400	88,01
	Total filon	37 670	8,6	0,89	97 663		395 900	90,79
4	C1	16 900	2	1	33 800		136 600	81,64
	C1	20 900	2,6	1	54 340		219 500	81,52
	C1	16 900	1,8	1	30 420		122 900	85,47
	C2	7 300	1,7	1	12 410		50 100	70,23
	Total filon	62 000	8,1		130 970		529 100	81,4
5 Ouest	C1	16 400	1,5	1	24 600		99 400	76,38
5Est	C1	8 300	2,2	1	18 260		73 800	89,06
9	C2	8 891	2,5	1	22 228		44 900	93,88
	C2	7 000	0,8	1	5 600		11 300	95,52
	Total filon	15 891	3,3	1	27 828		56 200	94,19
10	C1	30 400	2,1	0,88	56 179		227 000	85,97
	C2	8 400	1,6	1	13 440		54 300	92,68
	Total filon	38 800	3,7	1	69 619		281 300	87,27
10 app	C2	8 800	1,1	1	9 680	39 100	75	
11	C2	5 600	3	1	16 800	67 900	82,23	
	C2	12 800	1,4	1	17 920	72 400	75	
	C2	2 800	2,5	1	7 000	28 300	88,83	
	Total filon	21 200	6,9	1	41 720	168 600	80,23	
12	C2	7 200	2,1	1	15 120	61 100	86,2	
7 Est	C2	2 506	2,1	1	5 263	20 000	84,67	
8 Est	C2	4 997	1,83	1	9 145	34 800	86,3	
Total				B		4.04	275 500	90,18
				C1			1 372 600	86,24
				B+C1			1 648 100	86,88
				C2			531 600	85,5
				B+C1+C2			2 179 700	86,3

Annexe

PERIODE 1998-2011 :

Les travaux de recherche menés par le service géologique de la mine de Ain Mimoun ont permis par la suite de mettre en évidence 17 filons barytiques il s'agit des filons :13,14,15,16,17,18,19,21,kissan1,kissan2,kissan3,Igni1,Igni2,Igni3, 1 Ouest,7 Ouest et 8 Ouest avec un potentiel réserves de l'ordre de 847 074 tonnes en catégorie C2 ,car il s'agit d'extrapolations de surfaces dont le calcul de réserves se présente comme suit [22]

Filons	Catégories	Surface (m ²)	Epaisseur (m)	Coef.de min.	Volume (m ³)	Poids vol. (t/m ³)	Réserves minerais (t)	Teneur BaSO ₄ (%)
7 Ouest	C2	4 000	1,4	1	5 600	4,04	22 600	84,01
8 Ouest	C2	2 128	2,56	1	5 448	3,8	20700	93,39
13	C2	5 060	1,16	1	5 870	3,8	22 300	86,32
14	C2	3 421	2,37	1	8 108	3,8	30 800	86,73
15	C2	37 051	2,01	1	74 472	3,8	282 994	93,17
16	C2	4 386	1,8	1	7 895	3,8	30 000	91,00
17	C2	4 316	2,04	1	8 805	3,8	33 500	95,40
18	C2	1 508	1,3	1	1 960	3,8	7 450	98,40
19	C2	2 870	1,64	1	4 707	3,8	17 900	90,64
21	C2	9868	1,58	1	15 591	3,8	59 250	92,78
Kiss-1	C2	3 571	1,44	1	5 142	3,8	19 600	82,87
Kiss-2	C2	3 541	1,89	1	6 692	3,8	25 430	78,68
Kiss-3	C2	1 349	1,2	1	1 619	3,8	6 150	92,12
Igni-1	C2	36 549	1,5	1	54 824	3,8	208 300	80,20
Igni-2	C2	982	1,5	1	1 473	3,8	5 600	80,84
Igni-3	C2	2 368	1	1	2 368	3,8	9 000	79,05
1 Ouest	C2	6 766	1,77	1	11 976	3,8	45 500	89,94
Total							847 074	88,22

Moyens mis en œuvre pour le service Géologie- Topographie

- **Moyens humains [22]**

Fonctions	2018		
	Existant	Besoin	Ecart
Chef de service Géo-topo	0	1	-1
Ingénieur géologue	1	1	0
Topographe	0	1	-1
Aide topographe	1	1	0
Echantillonneur	0	1	-1
Total	2	5	-3

- **Paramètres de tir : [22]**

Type d'ouvrage	Galerie	Recoupe	Cheminée
Type de la roche	Calcaire ou	Calcaire ou	Calcaire,
Section de fronts, m2	7,2	4	4
Nombre de trou de mine	20	14	12
Avancement par volet	1	1	1
Longueur de trou de mine	1,2	1,20 m	1,2
Quantité d'explosif dans un trou de	0,500 Kg	0,500 Kg	0,500 Kg
Quantité de détonateur	1,00	1,00	1,00
Quantité total d'explosif dans un volet	10 Kg	07Kg	06Kg
Quantité total de détonateur	20 p	14	12
Volume de la roche abattue	7 m3	4 m3	4 m3
Coefficient de foisonnement	1,5	1,5	1,5

ORGANISATION DE TRAVAIL : [22]

L'organisation du travail dans la mine dépend en grande partie de l'alimentation en substances explosives, l'autorisation d'utilisation dès réception, le nombre de fronts, et la capacité d'extraction, obligent l'unité à travailler en un seul (01) poste de 07 heures.

- TRAITEMENT de minerai :

Le procédé de traitement du minerai de la mine de Ain Mimoun se base sur le principe suivant :

La séparation de deux minéraux de poids spécifique différents dans un fluide (eau).

Le traitement de minerai de barytine passe par les étapes suivantes :

1. **Concassage.**
2. **Jiguage.**
3. **Séchage.**
4. **Broyage et conditionnement. [23]**

- Concassage et criblage :

Le minerai acheminée de la mine par des camions de **20 tonnes** de capacité vers un air de stockage de tout-venant au niveau de la station de concassage est repris par une pelle chargeuse qui le dirige dans une trémie réceptrice installée au dessus du concasseur primaire dont la granulométrie des roches est de **350mm.**

Le concasseur primaire a mâchoire est alimenté au fond de la trémie réceptrice les produits obtenus après fragmentation ont une granulométrie inférieure à **60 mm.**

Le minerai de granulométrie inférieure à **60mm** est acheminée à l'aide d'une bande transporteuse sur un crible vibrant muni d'une toile tissée à maille carrée de **25 mm** d'ouverture.

Le refus du crible passe dans un concasseur à mâchoire secondaire après fragmentation le minerai retourne vers la sortie du concasseur primaire est passé une autre fois dans le crible.

Le minerai sorti du crible dont la granulométrie est inférieure à **25 mm** est acheminée à l'aide d'une bande transporteuse est dirigée dans un concasseur à cylindre, le minerai est réduit à une granulométrie inférieure à **8 mm**, le produit ainsi concassé est acheminée par une bande transporteuse vers une trémie intermédiaire de capacité de **100 t.** [23]



Figure : Le concasseur [23]

- Jiguage :

Le minerai réduit à la grosseur de **8mm** subit un enrichissement gravimétrique humide dans un jig d'une capacité théorique de **30T/h**. le produit léger ,représente les rejets ,est acheminé avec l'eau vers la surface là ou il seront évacués des deux coté transversaux de la machine .le produit lourd représente le concentré, est récupéré du bas et de coté frontal de la machine pour aller vers le classificateur à vis sans fin pour la décantation .le concentré issu de classificateur est mis en stock pour égouttage. [23]



Figure : le Jiguage [23]

- Séchage :

Après les analyse du concentre au laboratoire de l'unité et son contrôle suivant l'exigence des normes (**densité > 4.20**) le concentre est diverse par une pelle chargeuse dans une trémie de capacité **40 Tonnes**, qui se trouve avant le sécheur ce dernier est alimente par une bande transporteuse qui se trouve entre la trémie et le sécheur rotatif de longueur 14 m et 2m de diamètre , pour se débarrasse de l'humidité (humidité maximale de 1%), après cela notre concentre passe dans une trémie installée entre le broyeur et le sécheur, ce produit (concentre) est achemine par une élévateur a godet qui se trouve entre le sécheur et la trémie qui a une capacité de 30 Tonnes. Un système de dépoussiérage est place pour cela. [23]



Figure : Séchage [23]

a. Broyage

Le broyeur pendulaire est alimenté par la trémie de produit sèche ce dernier est broyé jusqu'à une finesse de 3 % MAX refus de classe 74 μ m le produit broyé passe à une trémie de stockage par voie d'air (aspiration par un ventilateur à grande capacité), les schlamms du broyeur sont aspirés et stockés dans des filtres. [23]

b. Conditionnement :

Le produit broyé (produit fini) stocké dans la trémie est conditionné dans des big-bags de 1,5 Tonnes à l'aide d'une ensacheuse [23]



Figure : produit broyé [23]

Les Indices qualitatifs :

1. Teneur du tout venant : 50% en BaSo₄ en moyenne
2. Grosseur maximale à l'alimentation du tout venant : 350mm
3. Grosseur du produit issu de l'installation de concassage : 0-8 mm.
4. Teneur du concentré : 84% en BaSo₄.
5. Densité du concentré : 4,20 minimal.
6. Humidité du concentré : 12% maximal
7. Densité du produit fini : 4,20 minimal.
8. granulométrie du produit fini : 97% à 74 microns minimal. [23]

DONNEES DE BASE :

- Quantité du produit fini en tonne : 18 000
- Densité du produit fini en g/cm³ : 4,20
- Finesse du produit fini en microns : 74μm
- Quantité du concentré en tonne : 18 000
- Teneur moyenne du concentré en BaSO₄: 84%
- Teneur moyenne du tout-venant en BaSO₄ : 50% **[23]**



Figure : cycle de traitement [23]

Annexe

Chapitre IV :

Tableau IV.: Paramètres de classification des roches et notes de pondération [25]

PARAMETRES			COEFFICIENTS						
1	Résistance de la roche	Indice Franklin	> 8 MPa	4 - 8 MPa	2 - 4 MPa	1 - 2 MPa	Indice Franklin non utilisable		
		Résistance à la compression	> 200MPa	100-200MPa	50-100MPa	25-50MPa	10-25 MPa	3-10 MPa	1-3 MPa
	Note		15	12	7	4	2	1	0
2	R.Q.D.		90 - 100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	< 25		
	Note		20	17	13	8	3		
3	Espacement des joints		> 3 m	1 - 3 m	0,3 - 1 m	50 - 300 mm	< 50 m		
	Note		30	25	20	10	5		
4	Nature des joints		Surfaces très rugueuses non continues Epontes en contact Epontes non altérées	Surfaces légèrement rugueuses Epaisseur < 1 mm Epontes non altérées	Surfaces légèrement rugueuses Epaisseur < 1 mm Epontes altérées	Surfaces lustrées ou remplissage < 5 mm ou Joint ouvert 1 à 5 mm Joints continus	Remplissage mou > 5 mm ou Joints ouverts > 5 mm Joints continus		
	Note		25	20	12	6	0		
5	Venues d'eau	Débit sur 10 m	Aucune venue d'eau		< 25 l/min	25-125 l/min	> 25 l/min		
		Pression d'eau contrainte principale	0		0,0 - 0,2	0,2 - 0,5	> 0,5		
		Hydro-géologie	Complètement sec		suintements (eau interstitielle)	pression d'eau modérée	problèmes sérieux de venues d'eau		
	Note		10		7	4	0		

Annexe

Tableau IV : Note d'ajustement pour l'orientation des joints [25]

Direction perpendiculaire à l'axe du tunnel				Direction parallèle à l'axe du tunnel		
Creusement du tunnel dans le sens du pendage		Creusement du tunnel dans le sens inverse du pendage		Pendage 45 – 90°	Pendage 20 – 45°	Pendage 0 – 20°
Pendage 45 – 90 °	Pendage 20 – 45°	Pendage 45 – 90°	Pendage 20 – 45°			
Très favorable	Favorable	Moyen	défavorable	Très défavorable	moyen	défavorable
Orientation des joints	Très favorable	Favorable	Moyen	défavorable	Très défavorable	
Note d'ajustement	0	-2	-5	-10	-12	