

Université Ferhat Abbas Sétif 1
Institut d'Architecture et des
Sciences de la Terre
Département des Sciences de la Terre

جامعة فرحات عباس - سطيف 1
معهد الهندسة المعمارية وعلوم الأرض
الأرض قسم علوم



Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de
Master en Géosciences

Titre du mémoire

Analyse multi approche de la stabilité d'un encaissant
souterrain creusé dans un massif rocheux fracturé cas
du tunnel de Sidi Aich (wilaya de Bejaia).

Option : Géologie de l'Ingénieur

Par

Ouchene Abdeslam

DEVANT LE JURY:

Président: Zighmi Karim	MCB	Université de Sétif -1-
Encadreur: Zahri Farid	MAA	Université de Sétif -1-
Examineur: Molley Chabou Charef	MCA	Université de Sétif -1-

Promotion : 2015/2016

SOMMAIRE

DEDICACE	I
REMERCIEMENT.....	II
RESUME.....	III
LISTE DES TABLEAUX.....	V
LISTE DES FIGURES.....	VII
LISTE DES ABRIVIATIONS.....	X
SOMMAIRE.....	XI
INTRODUCTION GENERALE.....	1

CHAPITRE I

GENERALITES SUR LES TUNNELS

Introduction.....	3
1- Critères de choix de la méthode.....	3
2- Exécution en souterrain.....	3
3- Méthodes de creusements.....	4
3-1-Méthode à pleine section.....	4
3-2-Méthode de la demi-section.....	4
3-3- Méthode de la section divisée.....	4
4- Techniques de creusement.....	5
4-1- Exécution du creusement dans les terrains meuble.....	5
a) Les boucliers.....	5
4-2- Exécution du creusement dans les terrains dur.....	6
a) Creusement mécanique.....	6
4-3- Creusement à l'explosif.....	7
5- Le soutènement.....	8
5-1- Le but de soutènement.....	8
5-2- Mode d'action des soutènements.....	9
b) Les soutènements agissant par supportage.....	10
c) Les soutènements agissant par consolidation	10
6- Définition de quelques types de soutènements	10
6-1- Les cintres métalliques.....	10

6-2- Les tubes perforés.....	11
6-3- Boulonnage	11
6-4- Béton projeté.....	13
6-4- Voussoirs préfabriqués.....	13
7- L'étanchéité.....	14
8- Le revêtement.....	14
8-1- Types de revêtements.....	15
Conclusion.....	15

CHAPITRE II

CLASSIFICATION GEOMECHANIQUE DES MASSIFS ROCHEUX

Introduction.....	16
1- Les systèmes de classification des massifs rocheux.....	16
2- Les avantages de classifications géomécaniques.....	17
3- Les systèmes de classification.....	17
3-1- RQD (Rock Quality Designation).....	17
3-2- Approche de Terzaghi.....	19
3-3- Approche de Protodiakonov.....	19
3-4- Approche de Lauffer.....	19
3-5- La classification de Barton : Q-system.....	20
3-5-1- Limitations du système.....	21
3-6- La classification Bieniawski: Rock Mass Rating (RMR).....	23
3-6-1- Limitations du système RMR.....	23
3-7- La classification GSI.....	24
3-8- Recommandation AFTES.....	24
4- Estimation de la stabilité des ouvrages par les méthodes empiriques.....	24
5- Structure des massifs rocheux.....	25
5-1- Types de discontinuités.....	26
5-2- Lever structural d'un massif rocheux.....	27
5-3- Orientations des familles de discontinuités.....	27
5-4- Morphologie des épontes.....	30
5-5- Étendue ou extension.....	30
5-6- Ouverture.....	31

5-6-Remplissage.....	31
5-7- Comportement mécanique des discontinuités.....	31
5-8-Présence d'eau.....	31
6- Déformabilité d'une discontinuité.....	32
7- Comportement des discontinuités.....	32
7-1- Modèles de résistance au cisaillement au pic.....	32
a) Modèle bilinéaire de Patton.....	33
b) Modèle de Ladanyi et Archambault.....	34
c) Modèle empirique JRC-JCS de Barton.....	35
Conclusion.....	35

CHAPITRE III

ÉTUDE DE LA STABILITE DES OUVRAGES SOUTERRAINS

Introduction.....	36
I-1-Situation géographique.....	36
1- Situation géomorphologique.....	37
2- Climat.....	37
3- Hydrogéologie.....	38
4- Réseau hydrographique.....	39
II- Géologie du site.....	40
II-1- Contexte géologique.....	40
II-2- Principales unités structurales.....	42
a) Le socle et sa couverture.....	42
b) Unités épitelliennes.....	43
II-2-La lithostratigraphie.....	44
II-3-Tectonique.....	49
a) Esquisse structurale.....	49
II-5- Reconnaissance géologique du tunnel..... ;	50
1) Les colluvions, Quaternaire.....	51
2) Les marnes schistes noirs du Crétacé.....	51
3) Les marnes schistes blancs et marno-calcaires en plaquettes du Crétacé.....	51
4) Les marnes grises schisteuses du Crétacé.....	51

5) Les flyschs grés-argileux du Crétacé.....	52
II-6-Description de tunnel.....	53
II-6-1- Dimension du tunnel de Sidi Aich.....	53
a) Profil en long.....	54
b) Tracé en plan.....	55
II-6-2- La reconnaissance géologique et essais géotechnique effectués dans la zone d'étude.....	55
1- La stabilité des pentes.....	60
a) La tête nord de tunnel.....	61
b) La tête sud de tunnel.....	61
2- Classification du site d'étude traversée par le tunnel de Sidi Aich.....	61
6-3- Application de la classification géomécanique à la zone d'étude.....	61
6-3-1-Le système de classification RMR.....	62
6-3-1-1- Interprétation des résultats de RMR.....	62
6-3-1-2- Le soutènement recommandé par la classification de système RMR.....	62
6-3-3- Le système de classification Q.....	63
6-3-3-1- L'interprétation des résultats.....	64
6-3-3-2- Le type de soutènement selon l'index de classification Q.....	64
6-3-3-3- Le types de soutènement selon les valeurs obtenues de Q système.....	65
6-3-4- Description.....	66
6-3-4- Comparaison entre les deux systèmes de classification.....	66
Conclusion.....	66

CHAPITRE IV

LA METHODE ANALYTIQUE D'EQUILIBRE LIMITE

Introduction.....	67
1- La théorie des blocs.....	67
2- Le principe de la théorie des blocs.....	67
3- Description du logiciel Unwedge.....	68
4- Limites du modèle.....	68
5- Dimension et modèle.....	69

6- Étude des discontinuités.....	69
a) Les familles de discontinuités.....	70
b) Les propriétés de massif rocheux.....	73
7- La stabilité du front de taille.....	73
a) Le coefficient de sécurité avant le soutènement.....	74
b) après l'installation de soutènement.....	77
c) Description de la courbe.....	79
Conclusion.....	80

CHAPITRE V

ANALYSE EN ELEMENTS FINIS DE LA STABILITE DES OUVRAGES SOUTERRAINS

Introduction.....	81
1- Les méthodes numériques.....	81
2- Présentation générale Pour les milieux continus.....	81
3- Bref historique.....	82
4- Principes généraux de la méthode.....	82
5- Les principales étapes d'une analyse par la méthode des éléments finis.....	82
a) Le maillage et les conditions aux limites.....	82
5-1- Loi rhéologique des matériaux.....	83
5-2- Les étapes de chargement.....	84
6- Modèle Mohr-Coulomb.....	86
7-Codes de calcul par éléments finis.....	86
7-1- Modélisation par éléments finis.....	86
7-2- Dimensions du modèle.....	86
7-3-Loi de comportement choisi pour le terrain et le soutènement.....	87
9-3- Propriétés physico-mécaniques du terrain.....	88
9-4- La répartition des boulons d'ancrage.....	89
9-5- La contrainte effective de l'état initiale.....	92
9-7- La pression interstitielle.....	93
9-8- Le calcul.....	94
a) Excavation de la calotte.....	94
b) Excavation de stross.....	94

c) Excavation et soutènement de radier.....	94
8- Calcul des déformations qu'accompagne le creusement du tunnel.....	95
10-1-Calcul et comparaison des déplacements U_{tot} totaux entre les phases	97
10-2- Calcul de la contrainte effective et totale.....	100
10-3- La déformation de soutènement.....	103
10-4- Les courbe de déplacement en fonction des étapes de creusement.....	105
10-5- Comparaison entre les déformations dans les zones fracturées et les déformations dans schistes.....	106
Conclusion.....	107
CONCLUSION GENERALE.....	108
BIBIOGRAPHIE.....	110
Annexe A.....	112
Annexe B.....	120
Annexe C.....	123

Conclusion générale

L'évaluation adéquate de la stabilité d'une excavation dans une masse rocheuse fracturée et médiocre, caractérisée par des plans de faiblesse inhérent est irréfutablement une des plus grandes préoccupations auquel est confronté l'ingénieur, par leur comportement anisotrope la masse rocheuse excavée impose un comportement de convergence préférentielle selon l'orientation de l'axe directionnel de tunnel l'égard aux plan de grandes failles (zone de broyage).

Dans le présent travail nous avons montré la variété et la diversité des cas qui se présentent pour un massif rocheux. Parmi les types de massifs certains peuvent s'accéder à des calculs analytiques. D'autres, présentant des propriétés variées et extrêmement complexes, excluent la possibilité d'être facilement imposent le recours à des méthodes empiriques approchées. Nous avons exposé le comportement mécanique des roches ainsi que la plage de variation de leurs propriétés mécaniques. Le comportement mécanique des discontinuités a été présenté et la difficulté de normaliser le choix de leurs paramètres de déformabilité a été soulignée.

En l'absence de reconnaissance et d'essai géotechnique permettant d'évaluer les caractéristiques mécaniques de massif rocheux, il est possible d'avoir une estimation de la qualité de ce dernier et un prédimensionnement de soutènement à utiliser grâce aux classifications de massif rocheux et aux recommandations.

C'est le cas par exemple de critères tels que l'analyse géologique ou la perméabilité du massif. Mais les différences existent surtout dans les critères relatifs à l'état de sollicitation. Le RMR de Bieniawski ne fait intervenir que des critères intrinsèques au massif alors que, pour le système Q de Barton, l'état de contrainte initial et la géométrie de l'ouvrage sont pris en compte.

Les principales critiques que l'on peut faire aux classifications résident dans la difficulté de quantifier certains paramètres et dans le caractère arbitraire et subjectif des pondérations qui servent à donner une note au massif rocheux. La valeur du RQD par exemple à une grande importance alors que sa mesure dépend des conditions de sondage (emplacement, orientation).

De manière générale, il ne faut pas oublier le contexte pour lequel ces classifications ont été établies. Si les discontinuités du massif ont tant d'importance, c'est parce que ces classifications sont destinées à des massifs rocheux fracturés et non pas à des massifs de

roches tendres déformables. Il convient donc d'être prudent pour éviter toute utilisation exagéré de cette méthode.

Les problèmes majeurs rencontrés dans le tunnel de Sidi Aich sont

- L'eau a d'influence sur le tunnel de Sidi Aich parce que le niveau hydrostatique est en dessus de la zone d'excavation.
- L'étude stéréographique du massif rocheux de Sidi Aich à montre que ce massif est formé par trois à quatre familles de discontinuités avec présences de discontinuités aléatoires.

La méthode de classification RMR classe le massif rocheux de Sidi Aich comme étant un massif formé de roche de mauvaise qualité, Le système de classification Q, classe le massif rocheux de Sidi Aich comme un massif formé de roche de mauvaise et médiocre qualité suivant l'indice de qualité de la roche étudiée.

La méthode analytique à l'équilibre limite a montré la répartition des blocs instables qui sont susceptibles à se détacher au tour de l'excavation, due à l'intersection de réseau de discontinuités avec la surface du tunnel, après avoir appliqué le soutènement (boulon d'ancrage et béton projeté) où on a obtenu des coefficients de sécurités qu'assure la stabilité de ces blocs.

L'analyse numérique, au moyen de la méthode des éléments finis, montre que les faibles déformations coïncidentes bien avec les résistances élevées, par contre les formations rocheuses caractérisées par une qualité médiocre estimée par les méthodes empiriques (faible résistance mécanique) montrent de grandes déformations. Après avoir appliqué les différents systèmes de soutènements (boulonnage, cintres métallique et béton projeté) on a remarqué une diminution considérable des valeurs des déformations cependant le soutènement a pratiquement d'effet sur les formations rocheuses de mauvaise qualité.

Le but essentiel de ce travail est de faire une première approche entre les méthodes empiriques, analytiques et numériques pour l'estimation des déformations et ruptures des ouvrages souterrains dans les tunnels.

ملخص

إنّ دراسة استقرار المنشآت الفنية الكبرى كالأنفاق الكائنة بالتكتلات الصخرية المشققة تحضي باهتمام كبير من طرف المهندسين الجيولوجيين، فبالنسبة للدراسات الجيوتقنية المتعلقة بالمحاجر والأنفاق، فإنه لا توجد حالياً منهجية عامة للتحاليل الكمية للأضرار المرتبطة بالمخاطر غير المتوقعة لهذه المنشآت (الانهيارات وسقوط الكتل الصخرية)، ومن الأسباب الأساسية لذلك عدم الدقة في المعطيات المتاحة أو عدم معرفة قيم الوسائط المطلوبة لهذه التحاليل.

وعليه فقد تم في هذا العمل دراسة التشوهات والانكسارات بالكتلة الصخرية المشققة باستخدام طريقة العناصر المنتهية، وكذا طريقة النهايات المتوازنة وطريقة التقسيمات الجيوميكانيكية التي تدخل ضمن إطار دراسة مجموعة المشاكل التقنية التي تنتج عن استعمال طرق تقييم التشوهات والانكسارات في الأنفاق المحفورة في الكتلة الصخرية المشققة هذا من ناحية، ومن ناحية أخرى معالجة التساؤلات المصدمة باستعمال الطرق التجريبية والتحليلية لحل الاشكالات المطروحة. وبالتالي حاولنا في هذه المذكرة أخذ خطوة أولى لربط استعمال الطرق التجريبية والرقمية وطرق النهايات المتوازنة وتطبيقها على الانفاق، وتنصب هذه الدراسة على نفق "سيدي عيش".

الكلمات المفتاحية: نفق، الاستقرار، الصدعات، العناصر المنتهية، الكتل الصخرية.

Résumé

L'étude de la stabilité des tunnels dans les massifs rocheux fracturés et médiocre est la préoccupation majeure de l'ingénieur exploitant.

La méthode analytique d'équilibre limite montre que le réseau de discontinuités gère la répartition des blocs instables autour de l'excavation, et le soutènement agissant par confinement assure la stabilité de front de taille de l'excavation (les blocs qui risquent de se chuter).

Dans une autre approche l'étude de la déformation des massifs rocheux fissurés par la méthode des éléments finis entre dans le cadre de la résolution de l'ensemble des problèmes techniques rencontrés dans l'utilisation des méthodes d'évaluation des déformations des tunnels dans les massifs rocheux fracturés et médiocres d'une part et aussi de traiter les épineuses questions de l'utilisation des méthodes empiriques et analytiques pour la résolutions de ces problèmes.

Mot clé : stabilité, discontinuités, unwedge, éléments finis, massif rocheux, tunnel, plaxis.

Abstract

The study of the stability of tunnels in massive fractured rocks is the major concern of the engineer manager.

The discontinuities may be the most important factors controlling the stability of massive rocks, this work have two goals: first of all, is to improve and validate a generation model of the fracturing of the rock mass in three dimensions. Second, is to develop innovative design methods and excavations in the ground based modeled discontinuities networks.

In another approach, the study of the deformation and the fracture of massive rocks cracked by the finite element method in the context of the resolution of all technical or practical problems encountered in the use of evaluation methods. Firstly, deformations and breakings of tunnels in the massive fractured rocks and also the handling of the thorny issues of the use of the empirical and analytical methods for the resolution of these problems.

Key words: stability, discontinuities, Unwedge, finite elements, massive rocks, tunnel, Plaxis.