



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République algérienne démocratique et populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
جامعة العربي التبسي - تبسة
Université Larbi Tebessi - Tébessa
معهد المناجم
Institut des mines
قسم المناجم والجيوتكنولوجيا
Département des mines et de la géotechnologie



MEMOIRE

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

Filière : Génie minier

Option : Géotechnique

Prise en compte des discontinuités dans
l'évaluation de la de la stabilité des gradins
d'une carrière à ciel ouvert : cas de la mine
de fer de l'Est de l'Ouenza.

BENBOULAKHRAS Mohammed Islam

Devant le jury:

	Grade	Etablissement
Président : AMRANI Dounia	MAA	Université Larbi Tebessi - Tébessa
Encadreur : MEBROUK Faouzi	MAA	Université Larbi Tebessi - Tébessa
Examineurs : BERRAH Yacine	MCB	Université Larbi Tebessi - Tébessa

Promotion 2019-2020

Année universitaire : 2019-2020

Tébessa le :

Lettre de soutenabilité

Noms et prénoms des étudiants :

1----- **BENBOULAKHRAS Mohamed Islam** -----

2-----

3-----

Niveau : **MASTER 2** Option : -- ----**GEOTECHNIQUE**-----

Thème : Prise en compte des discontinuités dans l'évaluation de la stabilité des gradins d'une carrière à ciel ouvert : cas de la mine de fer de l'Est de l'Ouenza

Nom et prénom de l'encadreur : **MEBROUK Faouzi**

Chapitres réalisés	Signature de l'encadreur
Chapitre I : GÉNÉRALITÉ SUR LES MOUVEMENTS DES TERRAINS	
CHAPITRE II : ETUDE GEOLOGIQUE, HYDROGEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE	
CHAPITRE III : CARACTERISATION GEOMECAINIQUES DU MASSIF ROCHEUX	
CHAPITRE IV : MODELISATION NUMERIQUE DE LA STABILITE DES GRADINS DE LA MINE	

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

مؤسسة التعليم العالي : جامعة العربي التبسي - تبسة

تصريح شرفي
خاص بالالتزام بقواعد النزاهة العلمية لانجاز بحث

أنا الممضي أدناه،

السيد (ة) : بن بولخراس محمد إسلام
الحامل لبطاقة التعريف الوطنية رقم : 114114458
المسجل بمعهد : المناجم
و المكلف بانجاز أعمال بحث مذكرة ماستر عنوانها :
الصفة : طالب
و الصادرة بتاريخ : 2019/03/23
قسم : مناجم و جيوتكنولوجيا

Prise en compte des discontinuités dans l'évaluation de la de la stabilité des gradins
d'une carrière à ciel ouvert : cas de la mine de fer de l'Est de l'Ouenza.

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

22 ميسير 2020

رئيس المجلس العلمي البلدي
مكتب رئيس المجلس
الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة العربي التبسي - تبسة

التاريخ:

إمضاء المعني (ة)

Dedication

*This work is dedicated to everyone who has contributed
to overcome the difficulties along the path,*

To my dear family, mom, dad and my sisters

*To my friends especially Yahia Remache, Yahia
bouteldja, cheher edin boukaka, Djebli Djouhaina, viki
and Aymen sellai,*

To my colleagues merah Ibrahim, bensaoucha ishak

*Special thanks to djamel doufane, larbenx nemouchi
and their family, hamideche ayssa, meghzili youcef*

Thank you all for making this journey easier.

Best regards,

BENBOULAKHRAS Mohammed Islam

Résumé

Résumé :

L'objectif de ce travail est d'étudier la stabilité des talus des gradins et des bords du quartier CHAGOURA SUD de la mine de l'Ouenza (W. Tébéssa) compte tenu de la discontinuité, en se basant sur l'application des systèmes de classification des massifs rocheux (RQD, RMR et SMR...) et suivre son approche de stabilité.

nous avons utilisé trois logiciels de calcul de stabilité bien adaptés aux problèmes de glissement et la nature de terrain, Le facteur de sécurité a été calculé par les méthodes d'équilibre limite à l'aide de logiciel SLOPE/W, et SLIDE et par la méthode des éléments finis à travers le logiciel PLAXIS.

Les résultats obtenus indiquent que les gradins de la mine sont instables et on a proposé des modifications géométriques qui minimisent le risque et assure la stabilité des personnes et les engins.

Mots clés : Carrière, massifs rocheux, discontinuités, Stabilité, Système de classification.

Abstract :

The objective of this work is to study the stability of the slope of the stands and the edges of the district CHAGOURA SUD of the mine of Ouenza (W. Tébéssa) taking into account the discontinuity, we based on the application of systems of classification of the rock masses (RQD, RMR and SMR...) and follow it approach to stability.

We used three stability calculation software well suited to landslide problems and terrain nature, the safety factor was calculated by limit balance methods using SLOPE/W software, and SLIDE and the finite element method through the PLAXIS software.

The results obtained indicate that the mine stands are unstable and geometric modifications have been proposed that minimize the risk and ensure the stability of the personnel and the machines.

Keywords: Pit, rock massifs, discontinuities, Stability, Classification system.

Résumé

ملخص :

الهدف من هذا العمل هو دراسة الاستقرار لمنحدر المدرجات المنجمية بمنظفة شاقورة الجنوبية بمنجم الونزة (ولاية تبسة)، أهدين بعين الاعتبار التشققات الصخرية، استنادا إلى طرق تصنيفات الكتل الصخرية (SMR و RQD, RMR) وإتباع مقاربتها في تقييم الثبات.

استعملنا ثلاثة برامج متناسبة مع انزلاق المنحدرات ومع طبيعة الموقع. تم حساب عامل الأمان من خلال طريقة التوازن الحدي باستخدام برنامجي SLOPE/W و SLIDE وبطريقة العناصر المنتهية باستخدام برنامج PLAXIS

وتشير النتائج المتحصل عليها إلى أن مدرجات المنجم غير مستقرة لذلك قمنا بإجراء التغييرات الهندسية التي تمكننا من تقليل المخاطر وضمان استقرار الأشخاص والعتاد.

الكلمات المفتاحية: الحفرة ، الصخور ، الانقطاعات ، الاستقرار ، نظام التصنيف.

Table des matières	page
Résumé	I
Table des matières	II
Liste des Figures	III
Liste des tableaux	IV

INTROUCTION GENERALE

Introduction générale

CHAPITRE I : GENERALITE SUR LES MOUVEMENTS DES TERRAINS

I.1 introduction	04
I.2 Définition des mouvements des terrains	04
I.3 Typologie et classification des mouvements de terrain	05
I.3.1 Les mouvements lents et continus	05
I.3.1.1 Les glissements	05
I.3.1.1.1 Les glissements plans ou (translatifs)	05
I.3.1.1.2 Les glissements circulaires ou rotationnels	06
I.3.1.2 Le retrait-gonflement	06
I.3.1.3 Les affaissements	07
I.3.1.4 Le fluage	08
I.3.1.5 Le fauchage	09
I.3.2 Les mouvements rapides et discontinus	09
I.3.2.1 L'éboulement, chutes de blocs et de pierres	09
I.3.2.2 Chutes de pierres et de blocs	10
I.3.2.3 Éboulement	11
I.3.2.4 Les effondrements	11
I.3.2.5 Les coulées boueuses	12
I.4 Glissement rocheux	13
I.4.1 La rupture plane simple	13

I.4.2 La rupture en dièdre le long d'un plan	13
I.4.3 La rupture en dièdre vrai	14
I.4.4 La rupture par basculement de blocs	14
I.4.5 La rupture sur une surface en escalier	15
I.5 Exemples de glissement de terrain En Algérie et dans le monde	15
I.5.1 En Algérie	15
I.5.2 Dans le monde	16
I.6 méthodes de caractérisation des massifs rocheux	17
I.6.1 Types et buts des systèmes de classification	17
I.6.1.1 Rock Quality Designation (RQD)	19
I.6.1.2 Rock Mass Rating (RMR)	21
I.6.1.3 Slope Mass Rating (SMR)	23
I.6.1.4 Système du GSI (<i>Geological Strength Index</i>)	27
I.6.1.5 Indice d'évaluation des talus rocheux (SQI)	27
I.7 Les discontinuités	30
I.7.1 Classification des discontinuités	30
I.7.1.1 Les joints de stratification	31
I.7.1.2 Les diaclases	31
I.7.1.3 Les faille	31
I.7.1.4 Les fracture	31
I.7.2 Paramètre géométrique des discontinuités	31
I.7.2.1 nombre de familles des discontinuités	32
I.7.2.2 L'orientation (direction)	32
I.7.2.3 L'espacement	33
I.7.2.4 La persistance	34
I.7.2.5 rugosité et ondulation	34
I.7.2.6 L'ouverture et remplissage	35
I.8 Conclusion	36

CHAPITRE II : ETUDE GEOLOGIQUE, HIDROGEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE

II.1 Introduction	38
II.2 cadre géographique	38
II.2.1 Situation géographique de djebel OUENZA	38
II.2.2 Quartier Chagoura Sud-PIC	39
II.3 cadre géologique	39
II.3.1 la géologie régionale	39
II.3.2 la stratigraphie	40
II.3.3 la Géologie Quartier Chagoura SUD - PIC	46
II.4 Le Cadre tectonique	47
II.4.1 Les principales modalités de la tectonique	47
II.4.1.1 le diapyrisme	47
II.4.1.2 les Plissements	48
II.4.1.3 la tectonique cassante	48
II.4.1.4 Fossé d'effondrement	49
II.5 Cadre hydrogéologique	51
II.5.1 L'hydrogéologie	51
II.5.2 Réseaux hydrographique	51
II.6 Cadre hydrologique	52
II.7 Reconnaissance géotechnique	54
II.7.1 Les propriétés physiques des roches	55
II.7.2 Les propriétés mécaniques des roches	60
II.8 Conclusion	63

CHAPITRE III : CLASSIFICATIONS GEOMECHANQUES ET ETUDE DE LA STABILITE DES GRADINS

III.1 Introduction	65
III.2 Le Rock Quality Designation index (Deere, 1967)	65
III.3 Le Rock Mass Rating (Bieniawski, 1976)	69
III.4 Sélection des familles de discontinuités	73
III.5 Représentation stéréographique	74
III.5.1 La projection des pendages et direction des discontinuités	74
III.5.2 présentation les résultats de la projection	75
III.5.3 l'orientation de la face du talus	75
III.6 Classification SMR (Slope Masse Rating)	78
III.7 L'indice GSI (Geological Strength Index)	82
III.8 Indice d'évaluation des talus rocheux (Slope Quality Index"SQI")	83
III.9 Conclusion	85

CHAPITRE IV : MODELISATION NUMERIQUE DE LA STABILITE DES GRADINS DE LA MINE

IV.1 Introduction	88
IV.2 Introduction au programme PLAXIS	88
IV.2.1 Les modèle incorporé dans le PLAXIS	90
IV.2.1.1 Le modèle élastique linéaire (EL)	90
IV.2.1.2 Le modèle de Mohr -Coulomb (MCM)	90
IV.2.1.3 Modèle de durcissement par écrouissage isotropique (HSM)	91
IV.2.1.4 Modèle des sols doux ou 'Soft-Soil-Creep model' (SSCM)	92
IV.2.2 Le modèle numérique du calcul de glissement par PLAXIS	93
IV.2.2.1 Définition des données	93
IV.2.2.2 La géométrie des modèles	93
IV.2.2.3 Les conditions aux limites	94

IV.2.2.4	Caractéristiques des matériaux	94
IV.2.2.5	Générations du Maillage	94
IV.2.2.6	Conditions initiales	95
IV.2.2.7	Procédure des calculs	97
IV.2.2.8	Les résultats de la modélisation	98
V.3	Introduction au programme GEO-STUDIO	101
V.3.1	Le fonctionnement du logiciel	102
V.3.2	Modélisation par le sous-code SLOP\W	103
IV.3.2.1	La géométrie et Paramètres géotechniques des modèles	103
IV.3.2.2	Calcul par Géoslope (facture de sécurité et surface de rupture critique)	104
IV.4	Introduction au programme Roc-Science (Slide)	106
IV.4.1	L'application de Slide pour calcul la stabilité sur la Mine	106
IV.4.2	Calcul par Roc-Science (Slide) (facture de sécurité et surface de rupture critique)	107
IV.5	interprétation des résultats obtenus par le calcul numérique	108
IV.6	amélioration des conceptions géométrique	108
IV.6.1	Calcul par Géoslope	109
IV.6.2	Calcul par Roc-Science (Slide)	110
IV.6.3	interprétation des résultats obtenus	111
IV.7	Conclusion	111

Conclusion générale et Recommandation

Conclusion générale et Recommandation	113
---------------------------------------	-----

Bibliographie

Annexe

Liste des Figures

Titre de Figure	page
Figure I-1: Glissements plan	06
Figure I-2: Glissement rotationnel	06
Figure I-3 : Phénomène de retrait de gonflement	07
Figure I-4: L'affaissement	08
Figure I-5 : le phénomène de fluage	08
Figure I-6: Phénomène de fauchage	09
Figure I-7: Chutes de pierres et de blocs	10
Figure I-8 : Un Éboulement	11
Figure I-9 : Progression d'un effondrement	12
Figure I-10: Les coulées boueuses	13
Figure I-11 : rupture plane simple	13
Figure I-12 : rupture en dièdre le long d'un plan	14
Figure I-13 : rupture en dièdre vrai	14
Figure I-14 : rupture par basculement du bloc	15
Figure I-15 : rupture sur une surface en escalier	15
Figure I-16 : Cas du glissement plans de la mine de Kef Essennoun	16
Figure I-17 : les modifications géomorphologiques du glissement de la Clapier	16
Figure I-18 : Orientation d'une pente de type plane	24
Figure I-19 illustration de pendage et de l'azimut d'une discontinuité	33
Figure I-20 : Mesure de l'espacement	33
Figure I-21 : Persistance de différents ensembles de fractures	34
Figure I-22 : Caractéristiques des discontinuités dans un massif rocheux	36
Figure II-1 : Situation géographique d'EL OUENZA	37
Figure II-2 : Coupe lithostratigraphique des monts du Mellegue d'après	45
Figure II-3 : Carte géologique et structurale de la région de l'Ouenza	46
Figure II-4 : Carte géologique et structurale de Djebel Ouenza	50

Figure II-5 : Les moyennes mensuelles des températures exprimées en (°C)	53
Figure II-6 : Les moyennes mensuelles des précipitations exprimées en (mm)	54
Figure II-7 : Représentation des limites d'ATTERBERG	58
Figure II-8 : Limites d'ATTERBERG	59
Figure II-9 : Schéma de la Compression uni axiale	61
Figure II-10 : principe d'un essai de cisaillement	62
Figure III.1 : Projection de WULFF	74
Figure III.2 : Projection stéréographique section 01 / gradin 01	74
Figure III.3 : Projection stéréographique section 01 / gradin 02	75
Figure III.4 : Projection stéréographique section 01 / gradin 03	75
Figure IV.1 : Organigramme du code PLAXIS	90
Figure IV.2 : Courbe intrinsèque du modèle de Mohr- Coulomb	91
Figure IV.3: forme géométrique (1 seul gradin)	93
Figure IV.4: forme géométrique (3 gradins)	93
Figure IV.5: forme géométrique (9 gradins)	94
Figure IV.6: le maillage de (1 seul gradin)	95
Figure IV.7: le maillage de (3 gradins)	95
Figure IV.8: le maillage de (9 gradins)	95
Figure IV.9 : les conditions Hydrauliques (1 seul gradin)	95
Figure IV.10 : les conditions Hydrauliques (3 gradin)	95
Figure IV.11 : les conditions Hydrauliques (9 gradin)	96
Figure IV.12 : la distribution des Contraintes totales (1 seul gradin)	96
Figure IV.13 : la distribution des Contraintes totales (3gradin)	96
Figure IV.14 : la distribution des Contraintes totales (9 gradin)	97
Figure IV.15 : les procédures de calculs	97
Figure IV.16 : déformées mesh (1 seul gradin)	98
Figure IV.17 : déformées mesh (3 gradin)	98

Figure IV.18 : déformées mesh (9 gradin)	98
Figure IV.19 : Les déformations de Cisaillement (1 seul gradin)	99
Figure IV.20 : Les déformations de Cisaillement (3 gradin)	99
Figure IV.21 : Les déformations de cisaillement (9 gradins)	99
Figure IV.22 : la valeur de FS (1 seul gradin)	100
Figure IV.23 : la valeur de FS (3 gradin)	100
Figure IV.24 : la valeur de FS (9 gradin)	100
Figure IV.25: forme géométrique (1 seul gradin)	104
Figure IV.26: forme géométrique (3 gradin)	104
Figure IV.27: forme géométrique (9 gradin)	104
Figure IV.28: surface du glissement Critique (1 seul gradin)	105
Figure IV.29: surface du glissement Critique (3 gradin)	105
Figure IV.30: surface du glissement critique (3 gradin)	105
Figure IV.31: forme géométrique (1 seul gradin)	106
Figure IV.32: forme géométrique (3 gradin)	106
Figure IV.33: forme géométrique (9 gradin)	106
Figure IV.34: Coefficient de sécurité pour (un seul gradin)	107
Figure IV.35: Coefficient de sécurité pour (03 gradin)	107
Figure IV.36: Coefficient de sécurité pour (09 gradin)	108
Figure IV.37: forme géométrique (1 seul gradin)	109
Figure IV.38: forme géométrique (3 gradin)	109
Figure IV.39: Coefficient de sécurité pour (un seul gradin)	109
Figure IV.40: Coefficient de sécurité pour (03 gradin)	110
Figure IV.41: Coefficient de sécurité pour (un seul gradin)	110
Figure IV.42: Coefficient de sécurité pour (03 gradin)	111

Liste des tableaux

Titre	Page
Tableau I-1: Systèmes de classification du massif rocheux	18
Tableau I-2 : Corrélation entre l'RQD et la qualité du massif rocheux	20
Tableau I-3 : Classification du massif rocheux selon le RMR;	23
Tableau I-4 : le Tableau de classification de Romana	25
Tableau I-5 : Les différentes classes de stabilité par la valeur du SMR	26
Tableau I-6 : les suggestions de soutènement selon la classe du SMR	26
Tableau I-7 : Qualité du massif rocheux selon la valeur du GSI	27
Tableau I-8 : Système SQI pour les pentes rocheuses : classification	28
Tableau I-9 : Facteurs et paramètres pris en compte dans le système SQI	28
Tableau I-10 : La description suggérée par l'ISRM	32
Tableau I-11 : Espacement des discontinuités description par l'ISRM	33
Tableau I-12 : La persistance description suggérée par l'ISRM	34
Tableau I-13 : La description d'ouverture	35
Tableau II-1 : Température et précipitation moyennes mensuelles et annuelles	53
Tableau II-2 : Les résultats de calcul la teneur en Eau	56
Tableau II-3 : Les résultats de calcul la Densité de la Marne	57
Tableau II-4 : la limite de liquidité W_L	59
Tableau II-5 : limite de plasticité	59
Tableau II-6 : L'indice de plasticité	60
Tableau II-7 : l'indice de consistance	60
Tableau II-8 : Valeurs de la résistance à la compression pour les échantillons	61
Tableau II-9 : résistance à la compression de la roche	61
Tableau II-10 : les résultats de l'essai de cisaillement N°1	62
Tableau II-11: les résultats de l'essai de cisaillement N°2	62
Tableau II-12 : les résultats de l'essai de cisaillement ($\sigma \tau$)	63

Tableau III-1 : RQD de Deere	65
Tableau III-2 : les résultats de RQD du déficient Sections de GRADIN 01	66
Tableau III-3 : les résultats de RQD du déficient Sections de GRADIN 02	67
Tableau III-4 : les résultats de RQD du déficient Sections de GRADIN 03	68
Tableau III.5: Qualité de la masse rocheuse de quartier CHAGOURA SUD	69
Tableau III-6 : Paramètres de classification des roches et notes de pondération	70
Tableau III-7: Classification du massif rocheux selon le RMR	70
Tableau III-8 : Exemple de classification/gradin 01	71
Tableau III-9 : les résultats de RMR du déficient Sections de GRADIN 01	71
Tableau III-10 : les résultats de RMR du déficient Sections de GRADIN 02	72
Tableau III-11 : les résultats de RMR du déficient Sections de GRADIN 03	72
Tableau III.12 : les différentes classes du massif rocheux de CHAGOURA SUD	73
Tableau III-13 : les résultats de la projection du déficient Sections de GRADIN 01	76
Tableau III-14 : les résultats de la projection du déficient Sections de GRADIN 02	76
Tableau III-15 : les résultats de la projection du déficient Sections de GRADIN 03	77
Tableau III-16 : Directions et Pendages du talus du déficient Sections	77
Tableau III-17 : Exemple de classification Section 05 / gradin 01	80
Tableau III-18 : les résultats de SMR du déficient Sections de GRADIN 01	80
Tableau III-19 : les résultats de SMR du déficient Sections de GRADIN 02	81
Tableau III-20 : les résultats de SMR du déficient Sections de GRADIN 03	81
Tableau III-21 : Qualité du massif rocheux selon la valeur du GSI	82
Tableau III.22: le GSI et la qualité de la roche pour chaque Section de GRADIN 01	82
Tableau III.23: le GSI et la qualité de la roche pour chaque Section de GRADIN 02	83
Tableau III.24: le GSI et la qualité de la roche pour chaque Section de GRADIN 03	83
Tableau III.25 : Système SQI pour les pentes rocheuses	84
Tableau III.26 : l'État de stabilité dans différent faciès CHAGOURA SUD	84

Tableau IV.1 : Les géométries des modèles qui nous allons réaliser	93
Tableau IV.2 : Les caractéristiques de la Marne	94
Tableau IV.3 : Paramètres géotechniques introduits dans SLOPE/W	104
Tableau IV.4: facteurs de sécurité minima pour les différentes model	105
Tableau IV.5 : Les géométries des modèles qui nous allons réaliser	109



Introduction générale

جامعة العربي التبسي - تبسة
Université Larbi Tébessi - TEBESSA

Introduction générale

Introduction générale :

Les problèmes d'instabilité des pentes se rencontrent fréquemment dans la construction des routes, des digues, des barrages et dans les mines à ciel ouvert. De ce fait, ce phénomène constitue l'une des préoccupations majeures des géotechniciens et des gestionnaires des ouvrages d'art et minières.

Les talus des gradins des mines à ciel ouvert et des carrières résultant des activités d'extraction minières constituent des paramètres importants des ouvrages miniers. La conception optimale de ces ouvrages doit intégrer les concepts de sécurité, de récupération du minerai et de rentabilité, tout en permettant à ce que les opérateurs miniers et les investisseurs s'attendent à ce que les pentes soient stables ou que les instabilités soient gérables pour la durée de vie de la mine.

La stabilité des gradins d'une mine à ciel ouvert demande une étude détaillée de tous les facteurs géologiques et hydrogéologiques et géotechniques du massif rocheux : (la lithologie, les conditions tectoniques, les propriétés physiques et mécaniques des roches, les discontinuités du massif, la géométrie de la mine et du gradin, qui influent directement sur la sécurité des vies humaines et des engins de production dans les mines à ciel ouvert.

Ainsi, la détermination des paramètres géométriques des gradins (hauteur, angle d'inclinaison) et la nature et l'état de la roche (l'altération, les discontinuités du massif rocheux, etc.), sont les paramètres essentiels d'une étude de la stabilité des talus des mines à ciel ouvert.

Dans ce contexte, on s'est proposé d'étudier la stabilité des pentes (talus des gradins) de la mine de Fer d'EL OUEZZA (Wilaya de Tébessa). Pour cela, le mémoire est organisé comme suit :

- ❖ Le premier chapitre : consiste en une généralité sur les mouvements de terrain ainsi qu'une introduction aux systèmes de classification des massifs rocheux et l'analyse des méthodes de stabilités et finalement une description géométrique et géomécaniques de la discontinuité.

Introduction générale

- ❖ Le second chapitre : Est consacré à l'étude du contexte géologique et des conditions hydrogéologiques et géotechniques de la mine de Fer d'EL OUENZA, et une description des différents paramètres physiques et mécaniques des roches et leurs procédures de détermination en laboratoire.

- ❖ Le troisième chapitre : Application des systèmes de classification (RQD, RMR, GSI) au massif rocheux de la mine de Fer d' EL OUENZA et évaluer leurs états de stabilité par les systèmes semi-empiriques (SMR, SQI).

- ❖ Le quatrième chapitre : Est consacré à la modélisation numérique par trois logiciels pour l'évaluation des déformations et déterminer le coefficient de sécurité local et global de la mine de Fer d'EL OUENZA.



CHAPITRE I :
généralité sur les
mouvements des
terrains

جامعة العربي التبسي - تبسة
Université Larbi Tebessi - TEBESSA

I.1 introduction :

L'étude des mouvements de terrain peut être reliée à celle de la stabilité des pentes. Cette problématique créée par diverses formes d'instabilité des couches accentuée par des facteurs peut être à la fois naturelle (la géologie, la topographie, la morphologie...) et entropique (les travaux de terrassement, les activités minières...)

L'objectif de ce chapitre est de définir en premier lieu les différents types des mouvements de terrain selon leur vitesse et selon la morphologie de leur surface de rupture avec une approche approfondie sur les glissements rocheux et d'envisager les méthodes de caractérisation des massifs rocheux en second lieu et en dernier lieu les différents types des discontinuités et leur paramètre.

I.2 Définition des mouvements des terrains :

Si nous nous définissons le concept mouvement de terrain, il fait référence à tous phénomènes affectant une masse rocheuse compacte ou désagrégée et/ou de terrain meuble (sols, compris) déplacé (avec ou sans rupture) vers l'aval.

Ça peut être lent et continuer ou rapide et discontinuer, superficiel ou profond.

- Les mouvements lents: entraîne une déformation progressive des terrains, pas toujours perceptible par l'homme. Ils regroupent les affaissements, les tassements, les glissements, la solifluxion, le fluage, le retrait-gonflement et le fauchage.
- Les mouvements rapides: se propagent de manière brutale et soudaine. Ils regroupent les effondrements, les chutes de pierres et de blocs, les éboulements et les coulées boueuses.

Déclenché par des facteurs (géologique, hydrogéologique, géotechnique, géométrique, sismiques) naturels (agent d'érosion, pesanteur, séisme, etc.) ou anthropiques (exploitation de matériaux, déboisement, terrassement, etc.).

L'extension des mouvements de terrain est variable, allant des simples mouvements de talus très localisé au mouvement de grande ampleur pouvant concerner l'ensemble d'un versant. [1] [2]

I.3 Typologie et classification des mouvements de terrain :

Les classifications visant à décrire et à déterminer les différents processus de mouvements de masses sont. Les classifications peuvent élaborer à base de contexte géologique et géomorphologique les caractéristiques géotechniques et les vitesses de déplacement.

Les mouvements de masses peuvent être regroupés en deux grandes catégories, selon les vitesses de déplacement de se lui la.

Il existe, d'une part, des processus lents et continus (affaissements, le retrait-gonflement, glissement...) et, d'autre part, des événements plus rapides et discontinus (effondrements, les éboulements, les chutes de pierres, ...). [1] [3]

I.3.1 Les mouvements lents et continus :

I.3.1.1 Les glissements :

Les glissements de terrain sont des mouvements de masse lents induits par insuffisance de résistance au cisaillement sur une ou plusieurs surfaces de rupture généralement courbe ou plane, ainsi que sur tous type de matériau.

Le mouvement peut être progressif, c'est-à-dire que le cisaillement peut ne pas être simultané sur la totalité de la surface de rupture. La propagation de la rupture est contrôlée par le développement des zones entrant en plasticité.

Selon la surface de rupture formée dans cette classe ont subdivisé les glissements en deux catégories : [1] [3]

I.3.1.1.1 Les glissements plans ou (translatifs) :

Ils se produisent lorsqu'existe une surface topographique pouvant guider une rupture plane : couche de caractéristiques médiocres, contact manteau d'altération – substratum

Ou encore lorsque la longueur de la surface de rupture potentielle est très grande par rapport à l'épaisseur du terrain. [1] [2]

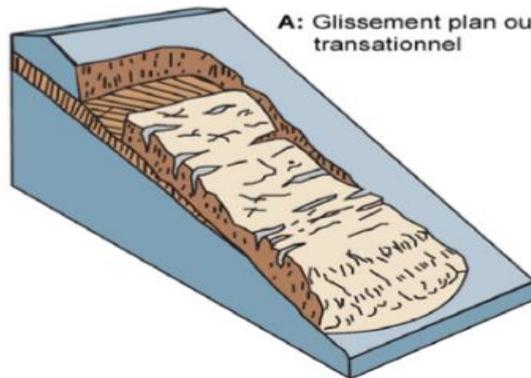


Figure I-1: Glissements plan [3]

I.3.1.1.2 Les glissements circulaires ou rotationnels:

Lors de glissement rotationnel, la masse se déplace vers l'aval le long d'une surface de rupture circulaire. Habituellement, les glissements de ce type sont de faible volume et le déplacement des matériaux est limité. [2]

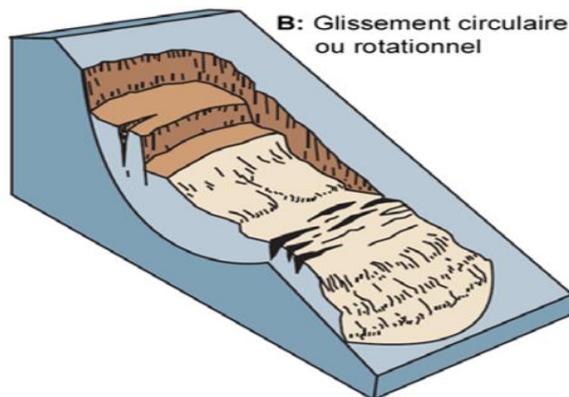


Figure I-2: Glissement rotationnel [3]

I.3.1.2 Le retrait-gonflement :

Le retrait gonflement des sols est défini par :« des mouvements de terrain différentiels, provoqués par des variations de volume de certains sols argileux qui sont capables de fixer l'eau disponible (gonflement), mais aussi de la perdre en se rétractant en cas de sécheresse lorsque leur teneur en eau se modifie ».

Facteurs interviennent dans ce phénomène : une modification de l'imperméabilisation du sol, un drainage périphérique, des pompages dans un puits

voisin, éventuellement une source de chaleur enterrée. La présence d'arbres exerce un rôle aggravant, car les racines soutirent l'eau du sol, et peuvent s'étendre jusqu'à 1,5 fois la hauteur de l'arbre, sous les fondations. [1] [3]

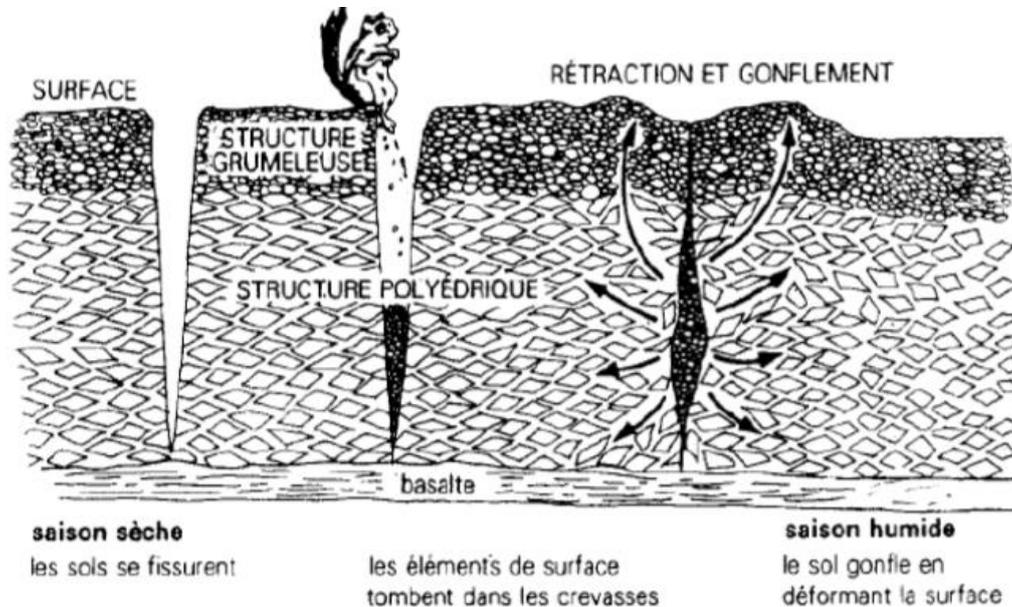


Figure I-3 : Phénomène de retrait et gonflement. [1]

I.3.1.3 Les affaissements :

Les affaissements sont des dépressions topographiques en forme de cuvette dues au fléchissement lent et progressif du sol, sans ruptures apparentes de ce dernier. À cause d'évolution des cavités souterraines dont l'effondrement est amorti par le comportement souple des terrains superficiels.

Ces cavités peuvent être:

- Des vides naturels par dissolution de roches solubles, calcaires, gypses...etc.
- Des ouvrages souterrains exécutés sans précaution.
- Des carrières souterraines (calcaire, craie, mines de sel, de charbon...etc.).[1] [2]

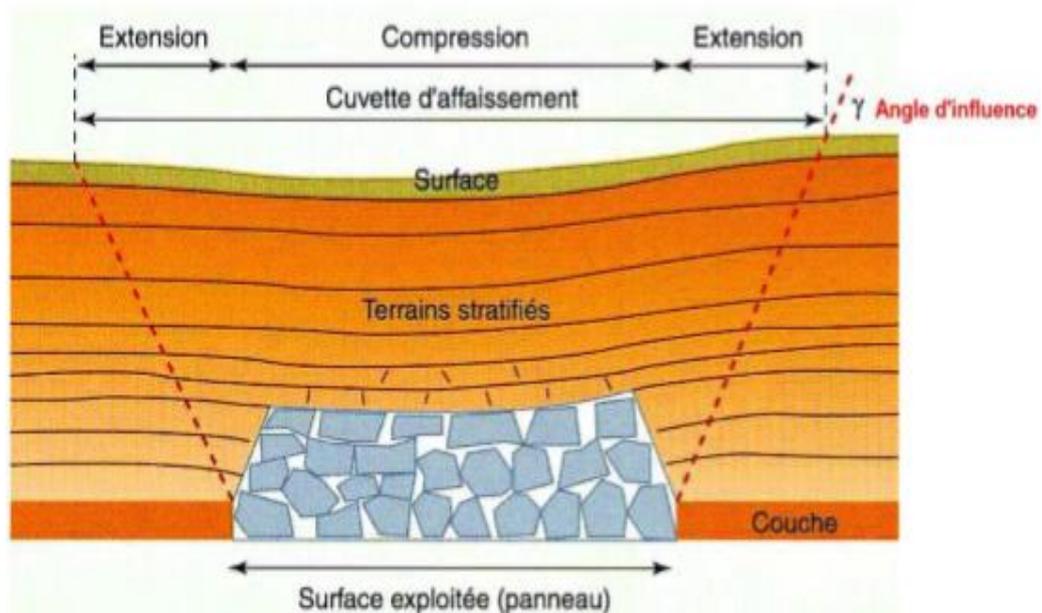


Figure I-4: L'affaissement. [3]

I.3.1.4 Le fluage :

Le terme fluage est désignés les mouvements très lents dans les formations du (marnes, argiles plastiques, etc....) de grande épaisseur, il est difficile de mettre en évidence une surface de la rupture, il se produit généralement sans modification des efforts appliqués, et s'observe également dans les remblais argileux.

Se phénomène peut évoluer au glissements ou écoulement (apparition d'une surface de la rupture. [4] [5]

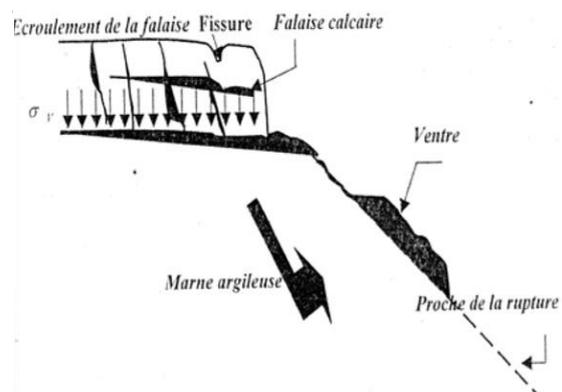
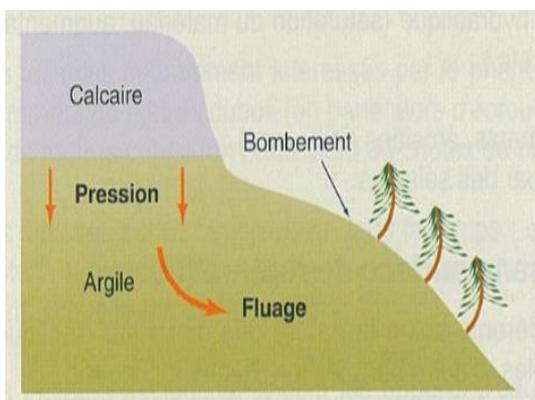


Figure I-5 : le phénomène de fluage. [2] [5]

I.3.1.5 Le fauchage :

Désigne les mouvements dans les formations rocheuses, il s'agit d'un processus de basculement de couches très redressées (sub-verticale), sur un pivot (axe) en dessous d'une unité inférieure, sous l'action :

- De la gravité,
- Les forces exercées par des blocs adjacents,
- Des pressions de fluides,
- L'altération des joints joue un rôle majeur,

Le fauchage est susceptible pavé le phénomène de l'écroulement ou en chutes de blocs il affecte des matériaux schisteux (schistes, gneiss et micaschiste, Marno-calcaires, grés, etc....)

Les vitesses sont extrêmement lentes inférieures au millimètre par des centaines d'années, jusqu' à ce que les mouvements atteignent les couches extrêmes et provoquent leur basculement. [3] [5]

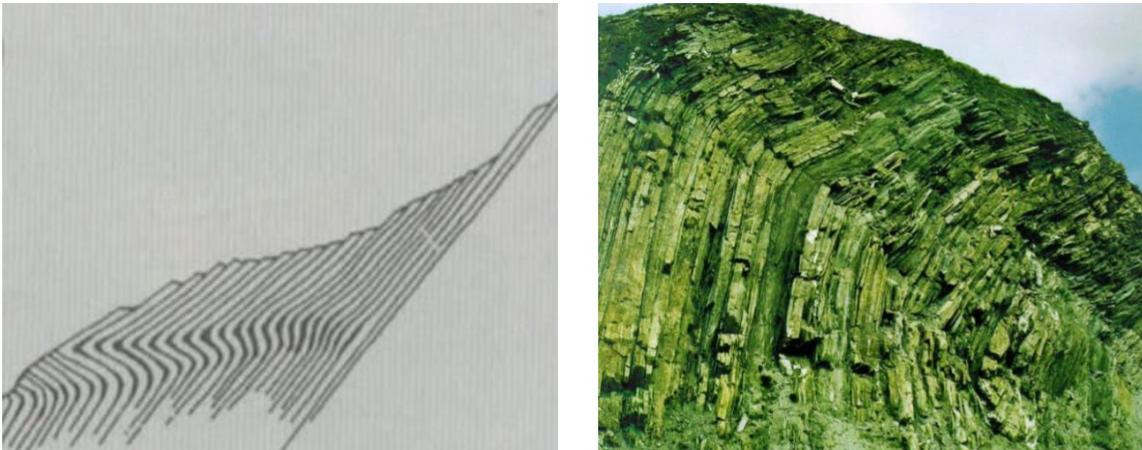


Figure I-6: Phénomène de fauchage. [6]

I.3.2 Les mouvements rapides et discontinus :

I.3.2.1 L'écroulement, chutes de blocs et de pierres :

Les écroulements et chutes de blocs sont des phénomènes rapides et brutaux qui affectent des roches rigides et fracturées.

La phase initiale de la chute des éléments rocheux est longue et difficile à déceler (altération des joints de stratification, endommagement progressif des roches, fracturation, etc.).

La phase d'accélération qui aboutit à la rupture est très rapide ce qui rend ces phénomènes très difficilement prévisibles.

Les facteurs déclenchent sont (les apports d'eau, les cycles gel-dégel, l'érosion...etc.)[3]

I.3.2.2 Chutes de pierres et de blocs :

Les chutes de pierres et de blocs sont caractérisées par la chute sporadique de blocs plus ou moins isolés (pierre: $\emptyset < 50\text{cm}$; bloc: $\emptyset > 50\text{cm}$). Ce processus, répété ou soumis à des pointes saisonnières (zone espacée), caractérise la désagrégation continue d'une falaise rocheuse, déterminée par ses conditions géologiques, son exposition et son altération.



Figure I-7: Chutes de pierres et de blocs. [1] [2]

Les vitesses de chute vont généralement de 5 à 30 m/s. Dans la description des mouvements d'une pierre ou d'un bloc. Dans les pentes dont l'inclinaison est inférieure à 30° environ, les pierres et les blocs en mouvement tendent en général à s'arrêter. La forêt joue un rôle très important, par le fait que l'énergie cinétique de la plupart des blocs est fortement réduite par leurs chocs contre les arbres.

I.3.2.3 Éboulement :

Lors d'un éboulement (au sens strict), un volume de roche important, se fragmentant plus ou moins intensément, se détache en bloc du massif rocheux et s'éboule. Le volume de matériaux concernés est en général compris entre 100 et 10000 m³ par événement. Dans des cas exceptionnels, des volumes sensiblement plus grands peuvent dépasser dix millions de m³

Dans la pratique, l'estimation d'un volume de roche qui présente un danger potentiel d'éboulement exige des études détaillées du massif rocheux, comprenant une analyse approfondie de l'orientation spatiale des surfaces de discontinuité.

Le mode de rupture au sein du massif a en général peu d'influence sur le déroulement de l'événement. Les vitesses de transport se situent principalement entre 10 et 40m/s. [1]

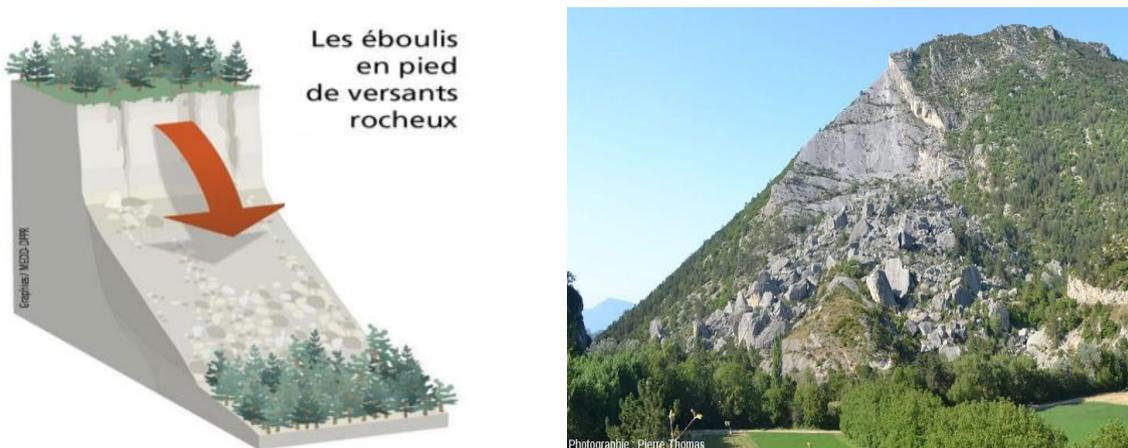


Figure I-8 : Un Éboulement. [1] [Pierre thomas]

I.3.2.4 Les effondrements :

Les effondrements caractérisés par une rupture se propagent jusqu'en surface de manière plus ou moins brutale, se manifestent par des déplacements verticaux instantanés de la surface du sol par rupture brutale de cavités souterraines préexistantes, naturelles ou artificielles avec ouverture d'excavations grossièrement cylindriques. Ce phénomène peut être ponctuel ou généralisé.

Parmi les facteurs naturels qui conditionnent les effondrements, l'hétérogénéité du terrain, notamment l'intercalation de strates plus argileuses ou gréseuses qui favorisent la rupture des voûtes, de la densité des diaclases, de la présence de failles, de joints de strates, du pendage des couches, ainsi que de la taille des vides.

Le déclenchement du phénomène se fait par l'intervention des facteurs climatiques et hydrogéologiques. L'augmentation des pressions dans les drains et un accroissement de la plasticité des argiles s'accompagnent de dissolutions, d'altérations. [3] [5]

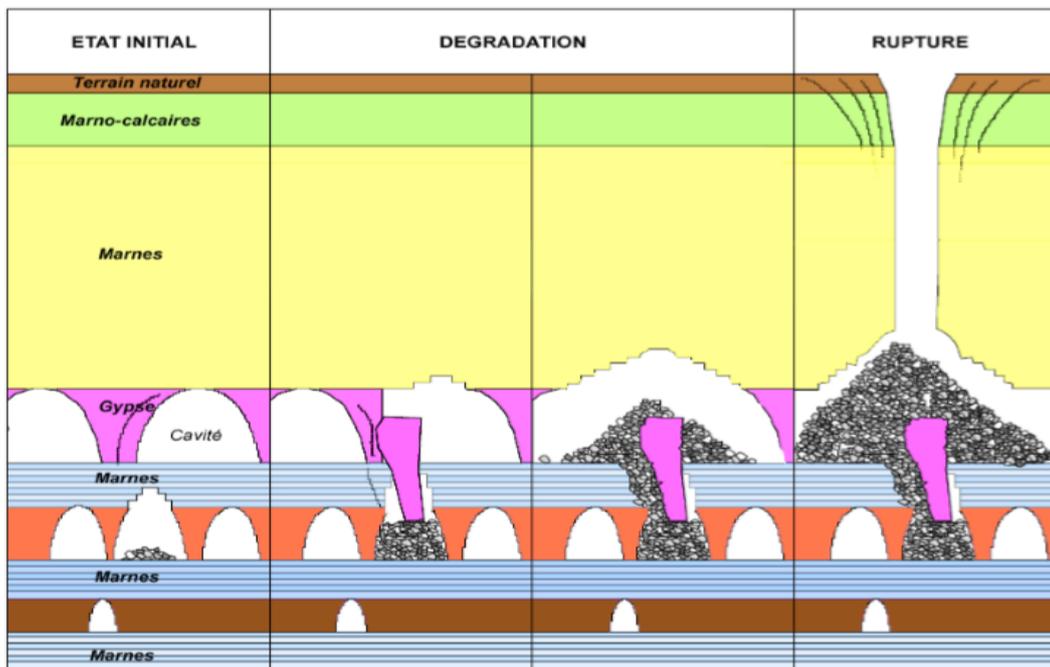


Figure I-9 : Progression d'un effondrement. [3]

I.3.2.5 Les coulées boueuses :

Ce phénomène caractérisé par un transport de matériaux d'une forme plus ou moins fluide, ayant une granulométrie variable allant des limons aux blocs rocheux (dans certains cas la taille de ces blocs est généralement de l'ordre du décimètre). Généralement le torrent est riche en particules fines (50 % au minimum).

Ce mouvement se produit lorsque la matrice fine atteint une teneur en eau très élevée qui la liquéfie.

Les volumes peuvent atteindre de dizaines à des milliers de mètres cubes.

Les vitesses sont « très rapides ».

Les facteurs hydrologiques provoquent ce déplacement (forte précipitation) ou lors de ruptures de digues ou barrages. [1] [3] [5]



Figure I-10: Les coulées boueuses. [2] [3]

I.4 Glissement rocheux :

I.4.1 La rupture plane simple :

La masse en rupture est limitée par un plan de discontinuité; le mouvement se produit dans la direction du vecteur pendage de cette discontinuité. [7]

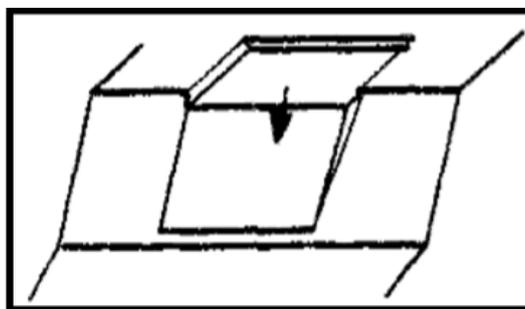


Figure I-11: rupture plane simple [7]

I.4.2 La rupture en dièdre le long d'un plan :

La masse en rupture est délimitée par deux discontinuités qui s'intersectent; le mouvement a lieu dans la direction du vecteur pendage d'un seul des deux plans; il y a décollement sans action mécanique le long de l'autre plan. [7]

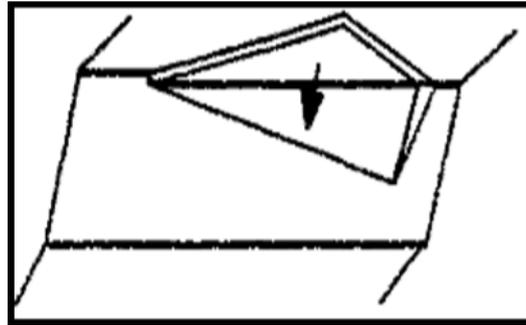


Figure I-12: rupture en dièdre le long d'un plan [7]

I.4.3 La rupture en dièdre vrai :

La masse en rupture est délimitée par deux discontinuités qui s'intersectés; le mouvement a lieu dans la direction du vecteur pendage de l'intersection des deux plans; la masse s'appuie simultanément sur les deux plans lors du glissement. [7]

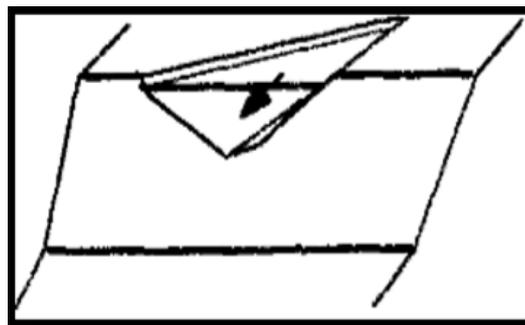


Figure I-13 : rupture en dièdre vrai [7]

I.4.4 La rupture par basculement de blocs :

La masse en rupture est découpée en blocs résultant de la combinaison de deux discontinuités se répétant un nombre fini de fois, et formant, à la base, une surface en escalier; le mouvement a lieu dans la direction d'un seul des plans; il allie le basculement d'un ensemble de blocs supérieurs et le glissement d'un ensemble de blocs inférieurs le long de la surface de rupture. [7]

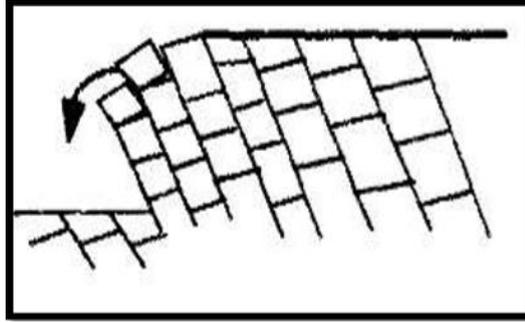


Figure I-14 : rupture par basculement du bloc [7]

I.4.5 La rupture sur une surface en escalier :

La masse en rupture est limitée par une surface en escalier résultant d'une combinaison de deux discontinuités se répétant un nombre fini de fois; le mouvement a lieu par glissement dans la direction du vecteur pendage d'un seul des deux plans.

[7]

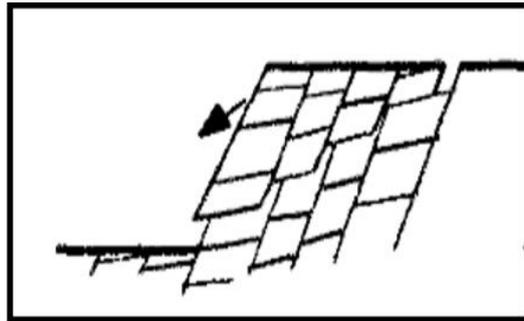


Figure I-15: rupture sur une surface en escalier [7]

I.5 Exemples de glissement de terrain En Algérie et dans le monde :

I.5.1 En Algérie :

Glissement de Kef Essennoun le 07 septembre 2007 à environ 05 heures du matin, la partie nord-est de la fosse est effondré en provoquant un glissement de terrain, volume estimé à 7.7 Mm³, sur une zone de 11 hectares et une épaisseur moyenne d'environ 70 m (35 m de phosphate et 35 m de terrains sus-jacents). [7]



Figure I-16 : Cas du glissement plans de la mine de Kef Essennoun. [7]

I.5.2 Dans le monde :

La Clapier (France) :

On cite le glissement de terrain survenu au sud de la France dans une région dénommée la Clapier en rive gauche de la vallée de la Tinée, au cœur du massif cristallin du Mercantour et à seulement 50 kilomètres de Nice. Donc, la constitution géologique du terrain est composée de gneiss plus ou moins altéré. La photo présente une série photographique des années (1976) (1984) (1987) (1992) (1997) et (2002), montre l'évolution des différentes instabilités du site de la région concernée. [7]

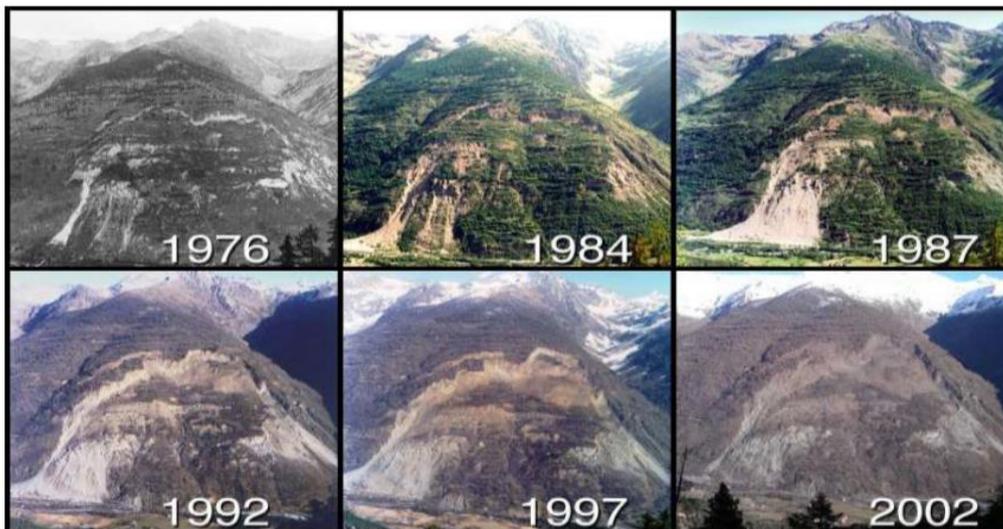


Figure I-17 : les modifications géomorphologiques de la surface du glissement de la Clapier [7]

I.6 méthodes de caractérisation des massifs rocheux :**I.6.1 Types et buts des systèmes de classification :**

Les classifications des massifs rocheux fracturés continuent à évoluer depuis plus d'un siècle. Leur utilisation a un intérêt considérable lors de l'étude de faisabilité et de dimensionnement préliminaire d'un projet, surtout quand les informations mécaniques, hydrologiques et l'état de contrainte in-situ du massif rocheux ne sont pas disponibles.

Les systèmes de classification prennent en considération plusieurs facteurs affectant la stabilité des massifs rocheux. Ces facteurs sont reliés notamment à la résistance de la matrice rocheuse, la présence de l'eau et la description des discontinuités (nombre de familles, espacement, rugosité, altération des épontes, matériau de remplissage...). Nous nous intéressons, dans ce qui suit, aux systèmes de classifications quantitatives, nommés également classifications géomécaniques.

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 (stand up time). C'est un indice très essentiel dans la détermination de la portée d'excavation.
- Donner des recommandations de soutènement des ouvrages.
- Définir l'état de stabilité de talus naturelle ou de terrassement.

La popularité des classifications quantitatives dérive de plusieurs facteurs :

- Elles représentent un langage commun entre les géologues, les ingénieurs, les concepteurs et les entrepreneurs.
- Moyennant ces classifications, l'observation, l'expérience et le jugement des ingénieurs sont mieux corrélés.
- Les ingénieurs préfèrent les nombres aux descriptions.

Ces systèmes de classification ont été développés à une époque où la plupart des ouvrages d’excavation sont réalisés par technique d’essai-erreur. De nos jours, l’utilité de ces systèmes n’est plus recommandée et des précautions doivent être appliquées lorsque ces documents sont consultés, car ces systèmes sont développés pour des conditions d’utilisation particulière ou bien calibrés d’après un nombre très limité d’études de cas documentés. Actuellement, il existe plusieurs systèmes de classification modernes dans la littérature. Le Tableau 1 énumère ceux-ci, ainsi que les systèmes plus anciens [8]

Tableau I-1: Systèmes de classification du massif rocheux. [8]

Système de classification	Référence	Pays d'origine	Applications
Rock Loads	Terzaghi, 1946	É.-U.A	Tunnels avec support en acier
Stand-up time	Lauffer, 1958	Autriche	Tunnels
New Austrian tunnelling method (NATM)	Rabcewicz, 1964/1965, 1975	Autriche	Tunnels
Rock Quality Designation (RQD)	Deere, 1968	É.-U.A.	Carottes de forage, tunnels
Rock Strength Rating (RSR)	Wickham et al. 1972	É.-U.A.	Tunnels
Rock Mass Rating (RMR)	Bieniawski, 1973,1974, 1976,1979 Bieniawski, 1989	Afrique du Sud É.-U.A.	Tunnels, mines, SLOPES, fondations
Extensions du système RMR	Laubscher 1977 ; 1984 Ghose and Raju, 1981 Kendorski et al. 1983 Serafim and Pereira, 1983 Gonzales de Vallejo, 1983 Unal, 1983 Romana, 1985 Newman et Bieniawski, 1985	Norvège	Mines Mines de charbon Mines en roche dure Fondations Tunnels Support du toit/charbon Stabilité des pentes Mines de charbon
Rock Mass Quality	Barton et al. 1974	Canada	Tunnels, chambres
Strength-Size	Franklin, 1975	-	Tunnels

Basic geotechnical description	ISRM, 1981a	Canada	Communication générale
Geological strength index (GSI)	Hoek et al. 1995	-	Mines

Les systèmes le plus utilisés sont sans doute le "Rock Quality Designation" (RQD), "Rock Mass Rating(RMR) et ainsi que le GSI. Fondés sur des philosophies différentes, ces systèmes caractérisent la masse rocheuse de manière distincte l'une de l'autre. Essentiellement, ils caractérisent différents paramètres reliés au comportement mécanique du massif rocheux. Avant l'utilisation d'un système de classification particulier, il est primordial de bien saisir les subtilités que présente chacun afin d'assurer la compatibilité avec le massif rocheux étudié. [8]

I.6.1.1 Rock Quality Designation (RQD):

Deere (1964) propose un paramètre évaluant la qualité du roc de la masse rocheuse selon un index intitulé RQD (*Rock Quality Designation*). Obtenu à partir de carotte de forage géologique, cet indice représente l'évaluation du pourcentage des carottes récupérées sur une longueur de course précise. Basée sur un procédé qualitatif, seule la somme des longueurs de morceaux de plus de 10 Cm est conservée et cette somme est divisée par la longueur de course de la carotte de forage. Ce paramètre est défini comme suit :

$$\text{RQD}(\%) = \frac{\sum \text{longueurs de morceaux de plus de 100 mm}}{\text{longueur totale de la course}} \times 100$$

Deere et al. (1967) affirment que le RQD s'avère utile pour déterminer le facteur de réduction du module de déformation de la roche intacte à la masse rocheuse. La relation entre la valeur du RQD et la qualité du massif peut être établie selon la proposition de Deere (1968) et elle est présentée au Tableau ci-dessous. [8]

[9]

Tableau I-2 : Corrélation entre l'indice RQD et la qualité du massif rocheux.

[8]

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

Il existe aussi des méthodes alternatives pour estimer l'indice RQD autre que par l'utilisation de carottes de forage géologique. Priest et Hudson (1976) ont établi une relation entre l'espacement des joints (joints/mètre) déterminé à partir de mesure de surface du massif rocheux exposé et de l'indice RQD :

$$\mathbf{RQD=100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1)}$$

Lorsqu'aucun forage géologique n'est disponible, cette corrélation s'avère très utile.

La méthode suivante est proposée pour un massif rocheux sans remplissage d'argile. Proposé par Palmström (1982), l'indice RQD peut être indirectement déterminé par le nombre de joints/discontinuités par unité de volume pour définir la somme volumétrique des joints (J_v) caractérisant la surface du massif rocheux :

$$\mathbf{RQD = 115 - 3,3J_v}$$

$$\mathbf{\text{Pour } J_v < 4,5 \text{ le RQD} = 100}$$

• Limites du système RQD :

La simplicité du système RQD a non seulement promu son utilisation importante comme outil, mais aussi l'apport de plusieurs critiques. Voici une série de limites trouvées dans la littérature :

- Le RQD peut donner des résultats différents en fonction de l'orientation du trou de forage géologique par rapport au massif rocheux. La mesure des espacements des joints est ainsi sensible à la direction, ce qui ne permet pas d'évaluer les

conditions d'espacement des discontinuités hautement anisotrope (Palmström et al. 2001). Lorsqu'une orientation du RQD est différente de celle d'une excavation, Hoek et al. (2000) préfèrent l'utilité de la somme volumétrique de joints directement sur le massif exposé afin de diminuer ce biais;

- Le système RQD fait défaut lorsque l'espacement des joints ou fractures du massif est d'environ 100 mm. Ainsi, sur une longueur de course de 1000 mm il y a seulement des espacements de fractures naturelles de 110 mm pour un indice final de 100 %. Par contre, si l'espacement constant enregistré est de 90mm le nouvel indice RQD est de 0 %. En plus, Milne et al. (1991) ressortent la sensibilité du système en démontrant que pour un indice de RQD de 100 % le massif rocheux peut avoir des caractéristiques différentes, c'est-à-dire 3 familles de joints espacées de 0,4 m ou 1 famille de joints avec un espacement de plusieurs mètres; et - La résistance du RQD est directement affectée par la résistance de la roche intacte et de la grosseur du diamètre des carottes (i.e. l'effet d'échelle). Lorsqu'effectuée sur une carotte de forage, cette classification est en outre limitée par la qualité du forage (Bieniawski, 1989).

Pour ces raisons, il est reconnu que le RQD est inapte à interpréter la complexité inhérente du massif rocheux et ne peut constituer adéquatement un outil exclusif de système de classification des roches. Néanmoins, le système RQD est utilisé dans d'autres classifications en tant que paramètre principalement en raison de sa force descriptive du système de discontinuités du massif. [9]

I.6.1.2 Rock Mass Rating (RMR):

Cette classification a été développée par Bieniawski [1973] au « South African Council of Scientific and Industrial Research » (SACSIR). Elle est basée sur l'étude de quelques centaines de tunnels creusés principalement dans des roches sédimentaires à profondeur modérée. L'utilisation de cette classification nécessite de diviser au préalable le site en régions homogènes d'un point de vue de structures géologiques. Chaque région est classifiée séparément. Le RMR résulte de la somme de cinq notes de caractérisation (d'A1 à A5) et d'une note d'ajustement.

La somme de ces notes attribue une valeur comprise entre 0 et 100 au massif. Cette valeur utilise à plus de 70% la fracturation et elle accorde 15% d'influence aux propriétés de la matrice rocheuse et 15% à la présence d'eau. [8]

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 (Adjustment 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). [8]

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

$$\mathbf{RMR}_{89} = \mathbf{A}_1 + \mathbf{A}_2 + \mathbf{A}_3 + \mathbf{A}_4 + \mathbf{A}_5 + \mathbf{B}$$

Cette classification ne prend pas en considération l'état de contrainte in-situ ni 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 de 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. [8] [9]

- A1 : Résistance en compression uni-axiale 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.

$$\text{RMR}_{76} = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6$$

Tableau I-3 : Classification du massif rocheux selon le RMR; traduit de Bieniawski.

[8]

Classe du massif	RMR	Qualification
I	81-100	Excellente
II	61-80	Bonne
III	41-60	Moyenne
IV	21- 40	Faible
V	< 20	Très faible

I.6.1.3 Slope Mass Rating (SMR):

Pour évaluer la stabilité des pentes rocheuses, Romana (1985) a proposé une classification système appelée le système «Slope Mass Rating» (SMR). SMR est obtenu à partir de Bieniawski (RMR) en soustrayant les facteurs d'ajustement de la relation joint- pente et l'ajout d'un facteur selon la méthode d'excavation.

$$\text{SMR} = \text{RMR}_{\text{Base}} + (F_1 \times F_2 \times F_3) + F_4$$

Où RMR de base est évaluée selon Bieniawski (1979, 1989) en ajoutant les évaluations de quatre paramètres. F1, F2, F3 sont des facteurs d'ajustement liés à l'orientation des joints par rapport à l'orientation des pentes, et F4 est le facteur de correction. [8] [10]

- **F1** établie empiriquement, il dépend du parallélisme entre les directions des joints et des talus. Ce facteur peut varier de 1 (quand les deux sont presque parallèles) à 0,15 (quand l'angle entre les deux est plus grand que 30° et que la probabilité de rupture est très faible).

$$F1 = (1 - \sin A)^2$$

A est l'angle entre les directions des joints et du talus.

- **F2** dépend du pendage des joints pour le mode de rupture plan. Les valeurs varient de 1 (pour les joints de plus de 45° de pendage) à 0,15 (pour les joints de moins de 20° de pendage). Dans le cas du « toppling », le facteur reste égal à 1. Il a également été établi empiriquement par l'équation suivante :

$$F2 = \tan \beta_j$$

β_j est le pendage des joints.

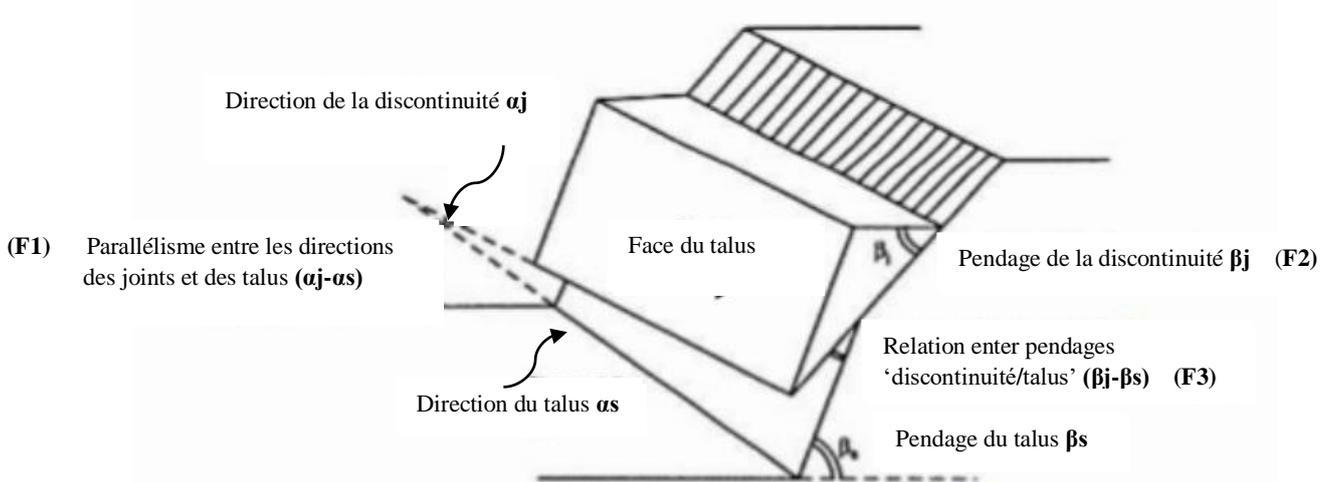


Figure I-18 : Orientation d'une pente de type plane. [8]

- **F3** est lié à la relation entre la pente du talus et le pendage des joints. Pour ce paramètre, il y a également lieu de faire la différence entre une rupture plane et une rupture par toppling.

Pour l'échec renversement, les conditions défavorables dépendent de la somme des joints et le β_j . Les valeurs des facteurs d'ajustement F_1 , F_2 , F_3 pour différente orientation communes sont données dans la figure

- **F4** se rapporte à l'adaptation de la méthode de l'excavation il comprend de coupe creusée par pré-découpage, grenailage lisse, grenailage normal, pauvre dynamitage et d'excavation mécanique.

- Les pentes naturelles sont plus stables, en raison de l'érosion de longue date et une protection intégrée mécanismes (végétation, croûte dessiccation) $F_4=15$
- Grenailage normal appliqué aux méthodes conditions ne change pas la stabilité des pentes : $F_4= 0$
- Déficient ou dommages à la stabilité des pentes : $F_4= -8$
- Excavations mécaniques des pentes, généralement en cas de déchirure, la roche très fracturée est souvent combinée avec des explosifs préliminaires. Le plan de la pente est difficile à terminer. La méthode n'augmente ni ne diminue la pente de $F_4 = 0$ [8] [10]

Tableau I-4 : le Tableau de classification de Romana [10]

SMR =RMR _B + (F1.F2.F3) +F4					
Adjusting Factors for joint (F1.F2.F3)	α_j =DIP DIRECTION OF JOINT	β_j =DIP OF JOINT			
	α_s =DIP DIRECTION OF SLOPE	β_s =DIP OF SLOPE			
	Très favorable	Favorable	Moyen	Défavorable	Très défavorable
Glissement plan / $\alpha_j - \alpha_s$ / =	>30°	30°-20°	20°-10°	10°-5°	<5°
Toppling / $\alpha_j - \alpha_s - 180^\circ$ / =					
F1 VALUE	0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
Reletioship	$F1 = (1 - \sin / \alpha_j - \alpha_s /)^2$				
/ β_j / =	<20°	20°-30°	30°-35°	35°-45°	>45°
F2 value /plane failure /toppling	0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
Reletioship	1.00				
	$F2 = \text{tg}^2 \beta_j$				
plane failure	>10°	10°-0°	0°	0°-(-10°)	< (-10°)
toppling	<110°	110°-120°	>120°	-	-
F3 VALUE	0	-6	-25	-50	-60
Reletioship	F3 (BIENIAWSKI ADJUSTMENT RATINGS FOR JOINT ORIENTATION 1976)				
F4 ADJUSTING FACTOR FOR EXCAVATION METHOD	F4= Empirical values for method of excavation				
F4 VALUE	Natural slope	Prespliting	Smooth blasting	Blasting or mechanical	Deficient blasting
	+15	+10	+8	0	-8

Selon les valeurs SMR, Roman (1985) a défini cinq classes de stabilité. Ceux-ci sont décrits dans le tableau II a déduit du tableau que les pentes avec une valeur inférieure à 20 SMR peu échouer très rapidement. Aucune pente n'a été enregistrée avec une valeur de SMR en dessous de 10, parce que cette pente ne pourrait exister physiquement.

Tableau I-5 : Les différentes classes de stabilité par la valeur du SMR [8]

Classe	V	IV	III	II	I
SMR	0-20	21-40	41-60	61-80	81-100
Description	Très mauvaise	Mauvaise	Normal	Bonne	Très bonne
Stabilité	Complètement instable	Instable	Partiellement stable	Stable	Complètement stable
Chute	Grand plan, sol ou circulaire	Plane	Grand plan	Chute de blocs	Pas de chute
Probabilité de chute	0.9	0.6	0.4	0.2	0

De nombreuses mesures correctives peuvent être prises pour soutenir une pente. L'étude détaillée de l'ingénierie est nécessaire pour stabiliser une pente. Les systèmes de classification peuvent nous donner les techniques habituelles pour chaque classe différente des supports comme indiqué dans le Tableau suivant :

Tableau I-6 : les suggestions de soutènement selon la classe du SMR [8]

Classe de SMR	Valeur de SMR	Suggestion de soutènement
Ia	91-100	Aucun
Ib	81-90	Scaling
IIa	71-80	Boulonnage
IIb	61-70	Système de boulonnage
IIIa	51-60	Boulonnage systématique et béton projeté
IIIb	41-50	Boulonnage systématique, ancrage, béton projeté et mur de soutènement
IVa	31-40	Béton projeté renforcé, mur de soutènement ou excavation et drainage
IVb	21-30	Béton projeté renforcé, mur de soutènement ou excavation et drainage profond
V	11-20	Mur ancré, excavation

I.6.1.4 Système du GSI (*Geological Strength Index*):

Introduit par Hoek - Brown en 1995, le GSI est un nombre sans dimension, déterminé empiriquement, il varie entre 5 et 85, et qui peut être estimé à partir d'un examen de la qualité de la masse rocheuse in situ. La méthode GSI s'appuie donc sur une observation directe de la structure du massif rocheux. [7] [9]

Tableau I-7 : Qualité du massif rocheux selon la valeur du GSI [7]

Valeur du GSI	76-85	56-75	41-55	21-40	<20
Qualité du massif rocheux	Très bonne	Bonne	Moyenne	Mauvaise	Très mauvaise

I.6.1.5 Indice d'évaluation des talus rocheux (*Slope Quality Index*"SQI"):

Malgré l'existence de systèmes de classification mentionnés ci-dessus qui tiennent normalement compte de certains aspects de la stabilité des pentes, il est encore nécessaire d'avoir un système plus complet capable de combiner un plus grand nombre de facteurs influant sur l'analyse de la stabilité des pentes rocheuses. Par conséquent, un système novateur appelé Slope Quality Index (SQI) qui intègre l'évaluation d'un large éventail de facteurs internes et externes liés à la qualité et à la stabilité des pentes a été élaboré.

Le système était fondé sur le système de Liu et Chen (2007) en ajoutant un plus grand nombre de facteurs et de paramètres. Chacun de ces facteurs a un poids différent, ce qui donne des valeurs SQI allant de 1 à 5, traduisant respectivement de très bonnes à de très mauvaises conditions de qualité de pente. Cette approche permet une évaluation qualitative et quantitative de la qualité des pentes (tableau).

Tableau I-8 : Système SQI pour les pentes rocheuses : classification qualitative et quantitative. [11]

SQI	État de la pente
[1; 1,4]	Très bien
[1,5; 2,4]	Bon
[2,5; 3,4]	Moyen
[3,5; 4,2]	Mauvais
[4,3; 5]	Très mauvais

- **Concept :**

L'objectif principal du système SQI est le calcul d'un indice basé sur 9 facteurs différents directement ou indirectement liés à la stabilité de la pente. Le SQI envisage d'autres sous-systèmes d'évaluation pour classer certains des 9 facteurs; pour obtenir la bonne valeur pour chaque facteur, un certain nombre de paramètres doivent d'abord être évalués dans une fourchette comprise entre 1 et 5, la même que l' SQI pour des raisons de cohérence. Pour obtenir la valeur finale du SQI, les facteurs sont alors pondérés.

- **Pondération du facteur :**

Comme l'influence de chaque facteur dans l'évaluation de la stabilité des pentes n'est pas la même, chaque facteur a été pondéré par un coefficient qui mesure son importance et son degré d'influence. Par conséquent, le SQI fournit une évaluation quantitative de la qualité de la pente et de l'urgence d'une intervention, ainsi que des paramètres sur lesquels cette intervention devrait être axée pour avoir l'impact le plus élevé sur la qualité de la pente. [11]

Tableau I-9 : Facteurs et paramètres pris en compte dans le système SQI. [11]

Facteur	Paramètre
Géométrie	Hauteur et inclinaison de la pente et largeur du banc
Géologique	Systèmes de classification empirique (RMR, SMR ou Q). Type de formation et

	risque de chute de pierres
Système de drainage	Système de drainage en surface et en profondeur (état d'existence et de conservation)
Inspections	Évaluation de l'état d'entretien et de conservation
Surveillance	Résultats des systèmes de surveillance, y compris les inclinomètres, les marques topographiques, les piézomètres, etc.
Environnement	Existence de surcharges (maisons, etc.) et de vibrations possibles (travaux, etc.)
Historique	Historique des accidents sur la pente et des interventions
Protection	Protection de surface (grillage métallique, boulons, etc.) et couverture végétale
Environnement/circulation	Zone sismique, précipitations et trafic

•Commentaire sur les systèmes de classification :

Les classifications quantitatives des massifs rocheux fracturés sont utilisées depuis plusieurs dizaines d'années pour la conception et la construction des ouvrages réalisés dans les massifs rocheux. Elles sont basées sur la connaissance des paramètres décrivant la qualité du massif rocheux et font la combinaison des différents paramètres mesurés sur le site pour arriver à mettre une note concernant la qualité du massif rocheux. Ces méthodes sont facilement utilisées au stade de l'avant-projet. Cependant, elles présentent certaines limites que nous résumons ci-dessous :

- Les paramètres de classification sont utilisés universellement sur tous les types de massifs rocheux, sans tenir compte de leurs caractéristiques spécifiques et du projet considéré.
- Les propriétés complexes du massif rocheux, en particulier son anisotropie et son comportement différé (dépendant du temps) ne sont pas pris en compte. Les paramètres de déformabilité et de résistance qui en résultent sont relatifs à un milieu isotrope.

- La notion du Volume Élémentaire Représentatif (VER) ne figure pas dans ces classifications.
- En général, ces méthodes empiriques simplifiées ne prennent pas en compte le mécanisme de rupture, de déformation et de l'interaction du support avec la roche.
- Le RMR n'est pas adapté au cas de roches tendres. [8] [9]

I.7 Les discontinuités :

Une discontinuité est définie comme étant toute cassure mécanique ou fracture ayant une résistance en tension négligeable dans une roche. Il est important de distinguer entre les discontinuités naturelles, qui ont une origine géologique et les discontinuités artificielles qui sont créées par des activités humaines comme l'excavation d'un massif rocheux. Bien que les discontinuités aient souvent une géométrie irrégulière ou ondulée, il y a généralement une échelle à laquelle la surface totale ou une partie de cette surface est suffisamment plane pour qu'elle soit représentée par une seule valeur d'orientation.

Afin d'étudier le comportement mécanique d'un massif rocheux, il est essentiel de connaître son degré de fracturation ainsi que la répartition des discontinuités dans l'espace. Pour un ensemble de massifs rocheux, les discontinuités constituent une superposition de différentes familles de fractures, disposant chacun de lois de distribution et des caractères statistiques différents. Ces derniers sont souvent déterminés par le biais de la méthode de projection stéréographique. L'objectif principal d'une étude géométrique des discontinuités est de déterminer :

- Si elles sont classables en familles (orientations voisines).
- Si elles structurent le massif rocheux en blocs (continuité et connectivité importante). [12] [13]

VI-1 Classification des discontinuités:

Tout massif rocheux, quelle que soit son histoire et localisation, possède des discontinuités. Celles-ci peuvent être prononcées, invisibles, cimentées, mais elles existent. Elles possèdent en commun les caractéristiques suivantes : faible résistance

au cisaillement, résistance à la traction négligeable et grande conductivité hydraulique, tout ceci en comparaison de la matrice rocheuse environnante. [14]

On distingue généralement quatre grandes familles de discontinuités, par exemple pour les falaises calcaires : [10] [13]

I.7.1 Classification des discontinuités :

I.7.1.1 Les joints de stratification :

Ce sont des joints qui découpent régulièrement le massif en bancs parallèles, d'épaisseurs variables en fonction de la nature des séquences de dépôt et de leur mode de mise en place. La stratification provoque des discontinuités de forte extension.

I.7.1.2 Les diaclases :

Ce sont des discontinuités de faible extension, généralement intra-bancs sans déplacement relatif des épontes. Dans les roches sédimentaires de couverture, les diaclases issues des différentes phases de déformation (plissement de la roche), elles sont généralement perpendiculaires aux bancs.

I.7.1.3 Les faille :

Ce sont des discontinuités comportant un déplacement relatif des épontes, lié à des épisodes de déformation, les failles présentent généralement une extension (continuité) importante.

I.7.1.4 Les fracture :

Ce sont des discontinuités de forte extension, généralement intra-bancs sans déplacement relatif des épontes.

I.7.2 Paramètre géométrique des discontinuités :

La modélisation de la distribution spatiale et de l'emplacement des familles de fractures dans un massif rocheux fracturé est fondée principalement sur la connaissance des paramètres géométriques des discontinuités est associé à une variable aléatoire dont les lois de distribution sont déduites des données acquises sur le terrain. Dans ce qui suit, nous définissons sommairement chacun de ces paramètres.

I.7.2.1 nombre de familles des discontinuités :

Les discontinuités sont disposées généralement par familles (des discontinuités parallèles). Le nombre de familles des discontinuités peut aller jusqu'à 5.

Typiquement, une famille de discontinuités découpe le massif rocheux en plaques, 2 familles perpendiculaires découpent la roche en colonnes et 3 en blocs.

Plus de 3 familles découpent la roche en de formes variées et de coins.

Tableau I-10 : La description suggérée par l'ISRM [14]

I	Massives, fractures aléatoires occasionnelles
II	Une famille de discontinuités
III	Une famille de discontinuités plus fractures aléatoires
IV	Deux familles de discontinuités
V	Deux familles de discontinuités plus fractures aléatoires
VI	Trois familles de discontinuités
VII	Trois familles de discontinuités plus fractures aléatoires
VIII	Quatre familles de discontinuités
IX	Quatre familles de discontinuités plus fractures aléatoires

Les propriétés mécaniques du massif rocheux sont influencées par les familles. Plus le nombre de familles est grand, plus les possibilités de glissements potentiels sont grandes. [14]

I.7.2.2 L'orientation (direction) :

Est définie par la direction d'une horizontale du plan mesuré de 0 à 360° par rapport au nord, angle de la projection horizontale du vecteur (p) avec le Nord en tournant vers l'Est (sans horaire). L'orientation de familles de discontinuités contrôle la possibilité de conditions instables ou de déformations excessives. [14]

b. Le pendage :

C'est l'inclinaison du plan par rapport à la verticale, mesurée de 0 à 90°, il est caractérisé aussi par un sens de plongement, c'est l'angle que fait le vecteur (p) avec le plan horizontal (β). [14]

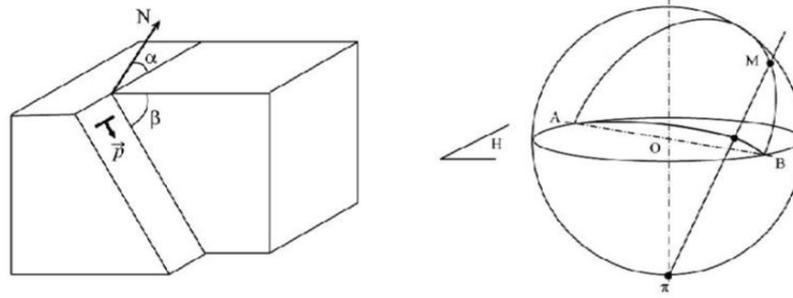


Figure I-19 illustration de pendage et de l’azimut d’une discontinuité. [13]

I.7.2.3 L’espacement :

C’est la distance mesurée perpendiculairement entre deux plans appartenant à une même famille de discontinuité. Il est habituellement exprimé comme l’espacement moyen de cette famille de discontinuités. L’espacement moyen contrôle la taille des blocs individuels. Cela contrôle le mode de rupture. [14]

Tableau I-11 : Espacement des discontinuités description par l’ISRM [14]

description	Espacement des discontinuités
Espacement extrêmement étroit	< 0,02
Espacement très étroit	0,02 - 0,06
Espacement étroit	0,06 - 0,2
Espacement modéré	0,2 - 0,6
Espacement large	0,6 – 2
Espacement très large	2 – 6
Espacement extrêmement large	> 6

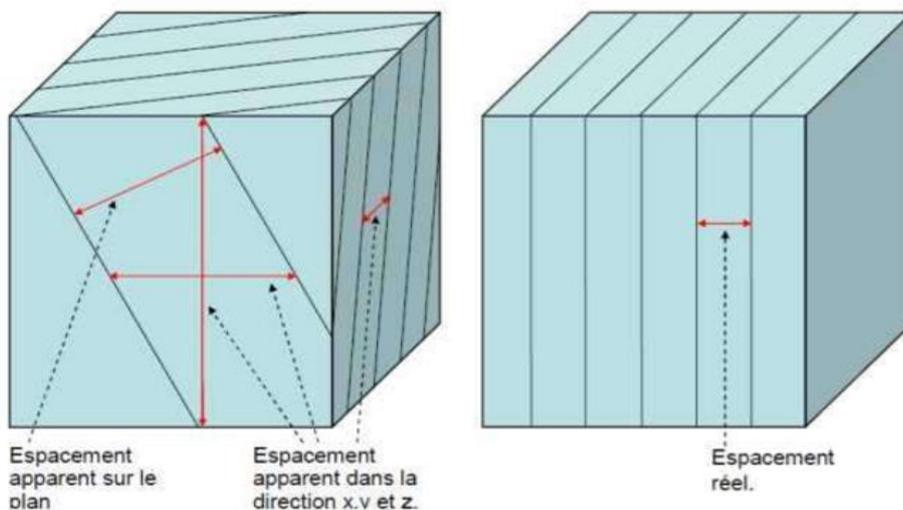


Figure I-20 : Mesure de l’espacement [10]

I.7.2.4 La persistance :

C'est la longueur de la trace de l'intersection (où c'est l'extension spatiale) d'une discontinuité sur la surface topographique. Elle peut être directement mesurée en observant les longueurs des traces des discontinuités sur les affleurements. La persistance des systèmes des glissements de grande échelle, rupture de pente en marches d'escalier, fondation de barrage et excavation de tunnel. [14]

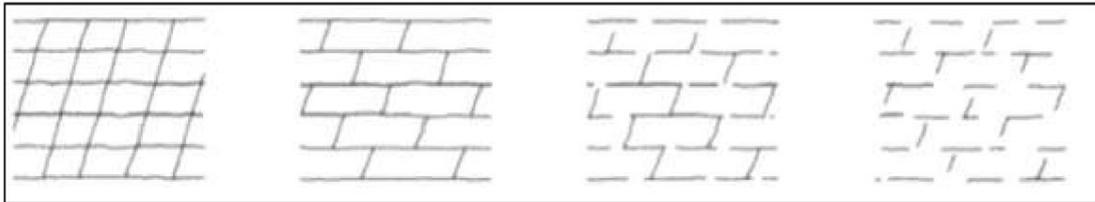


Figure I-21 : Persistance de différents ensembles de fractures [10]

Tableau I-12 : La persistance description suggérée par l'ISRM [14]

La description suggérée par l'ISRM	Longueur de la trace (m)
Persistance très faible	< 1
persistance faible	1 - 3
Persistance moyenne	3 - 10
Persistance élevée	10 - 20
Persistance très élevée	> 20

I.7.2.5 rugosité et ondulation :

Une discontinuité est une interface de deux surfaces en contact. Les surfaces peuvent être lisses ou rugueuses. La rugosité de la surface la discontinuité est une mesure des irrégularités (à petite échelle) et des ondulations (à grande échelle) de la surface de la discontinuité ; qui influe sur la résistance au cisaillement de la discontinuité principalement et en conséquence la stabilité des blocs

Pour décrire la rugosité, il convient d'utiliser les termes suivants :

- **Très rugueuse** : la surface est très rugueuse et présente d'importantes aspérités visuelles, semblables à du gravier fin ou de calibre moyen.
- **Rugueuse** : lorsqu'on passe la frôle du doigt, la surface est rugueuse comme du papier de verre à gros grains. Les aspérités peuvent être visuelles.

- **Légèrement rugueuse** : la surface est rugueuse comme du papier de verre à grain plus fin. Les aspérités ne sont pas visibles à l'œil nu.
- **Lisse** : la surface est plutôt lisse, comme du papier.
- **Miroir de faille** : la surface est très lisse, voire polie, et présente une striation due à un déplacement en cisaillement. [14]

I.7.2.6 L'ouverture et remplissage :

Dans la nature il est très rare que les deux surfaces soient complètement en contact ; il existe normalement un espace soit rempli d'air et d'eau (discontinuité ouverte), soit avec des matériaux de remplissage (discontinuité remplie), les discontinuités ouvertes ou remplies avec de grandes ouvertures montrent une faible résistance au cisaillement.

Le matériau de remplissage s'il existe influe sur le comportement mécanique des discontinuités en fonction de ses propres caractéristiques mécaniques et de sa quantité (par exemple un remplissage d'argile augmente la cohésion, mais diminue le frottement).

En général, les propriétés du matériel de remplissage affectent la résistance au cisaillement, également la circulation des eaux (ruissellement). [14]

Tableau I-13 : La description d'ouverture [14]

ouverture	description	
< 0,1 (mm)	Très étroit	Dispositif fermé
0,1 - 0,25 (mm)	étroit	
0,25 - 0,5 (mm)	Partiellement ouvert	
0,5 - 2,5 (mm)	Ouvert	Dispositif espacé
2,5 - 10 (mm)	Largement ouvert	
1 - 10 (cm)	Très largement ouvert	Dispositif ouvert
10 - 100 (cm)	Extrêmement largement ouvert	
> 1 m	Caverneux	

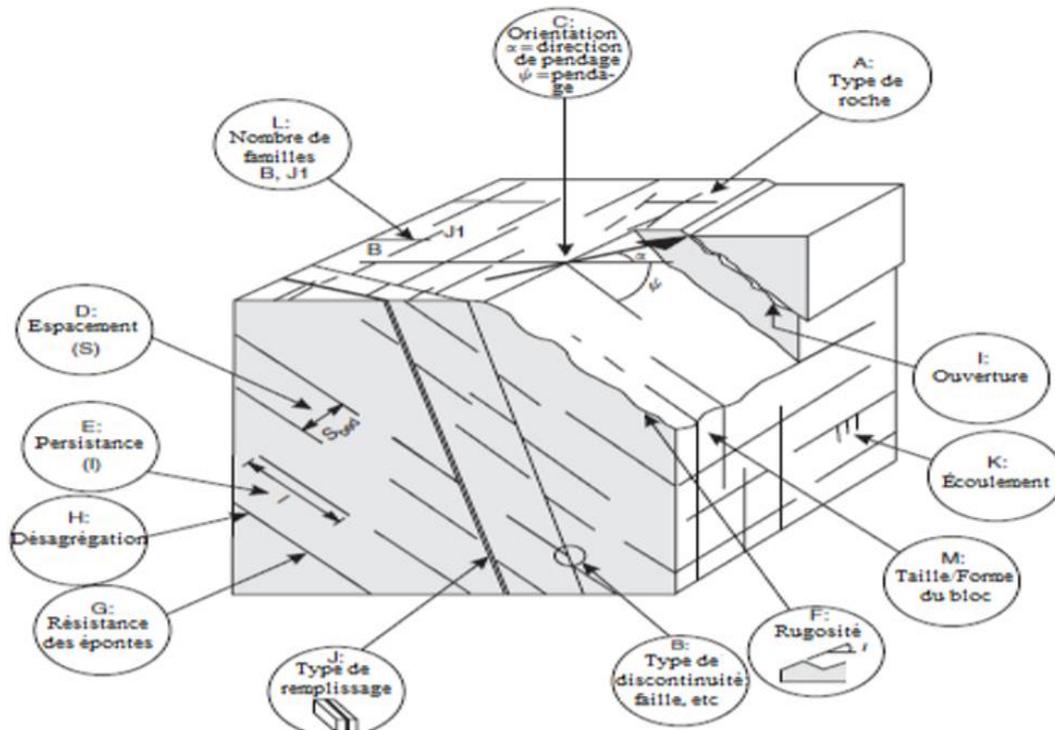


Figure I-22 : Caractéristiques des discontinuités dans un massif rocheux [12]

I.8 Conclusion :

Les mouvements de terrain en général et les glissements rocheux en particulier sont des phénomènes très fréquents dans toutes les régions du monde. Ces accidents d'origines naturelles où causé par l'être humain

Dans le présente chapitre nous avons montré les différents types des mouvements des terrains et leurs classifications selon leurs vitesse et selon la morphologie de leur surface de rupture avec une approche approfondie sur les glissements rocheux et d'envisager les méthodes de caractérisation des massifies rocheux (RQD, RMR, SMR, SQI) ainsi que les différents types des discontinuités et leurs paramètres géométriques et mécaniques.



CHAPITRE II :
Etude géologique,
hydrogéologique et
géotechnique

جامعة العربي التبسي - تبسة
Université Larbi Tebessi - Tebessa

II.1. Introduction :

En vue de réaliser une connaissance complète sur le sujet de recherche, et d'avoir une bonne estimation de l'impact de la discontinuité sur la stabilité des gradins de la mine à ciel ouvert.

Le présent chapitre fait l'objet d'une présentation détaillée sur les conditions géologiques de la mine (localisation, lithostratigraphie, tectonique, etc.) et également des conditions hydrologiques que et aussi les conditions géotechniques des formations et des discontinuités les propriétés physiques et mécaniques qui sont obtenues à partir des essais au laboratoire et in situ.

II.2 cadre géographique :**II.2.1 Situation géographique de djebel OUENZA :**

La Daïra de l'Ouenza se trouve à 90 km au nord du chef-lieu de la Wilaya de Tébessa. Elle est située à 160 kilomètres au Sud-sud-est d'Annaba sur la route nationale n°82 qui relie Tébessa à Souk-Ahras. Elle est limitée à l'est par la frontière Algéro-tunisienne et au nord par la wilaya de Souk-Ahras, et est limitée par deux oueds appelés respectivement « Oued Mellegue » et « Oued Kseub ».

Le massif de Djebel Ouenza est situé dans la région des monts de Mellegue, qui fait partie du diapirisme triasique de l'Atlas Saharien oriental, formé dans son ensemble par une structure anticlinale orientée Sud-ouest Nord-est.

Il est relié à Annaba par une voie ferrée électrique par laquelle est acheminée toute production de l'unité de l'Ouenza vers l'installation portière et le transport du minerai de fer vers le complexe sidérurgique d'El Hadjar.

Le gisement ferrifère de l'Ouenza repose sur le flanc nord d'un massif montagneux qui culmine à 1288m au niveau du pic, il est d'environ e 12km de longueur sur 5km de largeur.

Les amas métallifères se présentent sous la forme de mamelons grossièrement elliptiques. Ils comprennent successivement du nord-est au sud-ouest : le coudiat Douamis, le Coudiat Hallatif, la région des conglomérats, le quartier Sainte-barbe (Ilot), le gisement de Chagoura et le coudiat Zerga. Le minerai affleure sur des

Longueurs atteignant parfois 250 mètres et des hauteurs de 45 mètres, réalisant les conditions types pour l'exploitation à ciel ouvert. (CHAIN. R, 2006). [15] [16]



Figure II-1 : Situation géographique d'EL OUENZA [7]

II.2.2 Quartier Chagoura Sud-PIC :

Le chantier Chagoura Sud-PIC, situé à environ 3,5 km au Sud-ouest du centre-ville de l'Ouenza, il est lié, administrativement à la commune de l'Ouenza, Daïra de l'Ouenza, wilaya de Tébéssa. Ce quartier est une partie de la terminaison de l'axe minéralisé du gisement de fer de l'Ouenza. Il est limité au Nord-Ouest par le Quartier ZARGA et au Sud-ouest par Quartier st barbe et dans le Sud-est Quartier le chantier Chagoura Nord

II.3 Cadre géologique :

II.3.1 la géologie régionale :

Le massif de l'Ouenza est compris entre le Tell et l'Atlas Saharien. Il appartient à la zone des hautes plaines, constituée par des calcaires Aptiens effondrés qui affectent la forme de dômes coupés de failles, ce massif renferme d'importants gisements de minerai de fer.

Les Monts constitutifs de cette région, sont dits « Monts de Mellegue » (G. Dubourdiou, 1956). Ce sont des anticlinaux ou des synclinaux perchés. Ils ne constituent pas de chaînons continus, mais des reliefs isolés et souvent escarpés. Ils

surgissent comme des îles au-dessus des régions basses faiblement ondulées ou rigoureusement uniformes.

La région est caractérisée par des reliefs élevés. L'altitude maximale est observée au niveau du Djebel Ouenza qui culminait à 1288m avant l'exploitation. Elle avoisine actuellement les 1225m. [7] [15]

II.3.2 la stratigraphie :

Le caractère lithologique de faciès sédimentaires et la subdivision stratigraphique ont été établis par G. DUBOURDIEU (1956). À la base de travaux de plusieurs géologues anciens, nous mettrons un bref résumé sur la lithostratigraphie rencontrée dans les différents étages géologiques de cette partie des monts de Mellegue. Cette région est caractérisée par les formations datées du Trias. Jurassique, Crétacé, Éocène, Miocène et Quaternaire.

A- Le Trias :

Dans la région des monts de Mellegue les formations les plus anciennes rencontrées à l'affleurement appartiennent au Trias. Il s'agit essentiellement des marnes bariolées à gypse, emballées presque toujours de petits débris de roches (dolomies, de calcaires dolomitiques, cargneules, grès micacés...) disséminés dans leur masse, qui constituent les formations typiques du Trias en Algérie.

Il est caractérisé par la présence de grains de pyrite et de petits cristaux de quartz bipyramidal.

Les formations triasiques ont été remontées en surface grâce à des phénomènes diapiriques prenant une extension remarquable au Nord-est du Djebel Ouenza où on peut les suivre sur près de Vingt Kilomètre.

Le Trias des Monts Mellegue se rapporte uniquement à des diapirs qui n'ont pas partout atteint la surface du sol. Donc il n'est pas possible d'établir de succession lithologique valable au sein des affleurements toujours disloqués et chaotiques. [7] [15] [16]

B- Le Jurassique :

Les dépôts du Jurassique n'ont pas été observés jusqu'à présent dans la région de l'Ouenza. Toute fois Dubourdiou (1956) a signalé dans le « Socle » de la série carbonatée de l'Ouenza (secteur Conglomérat) la présence d'une brèche gypsifère sédimentaire renfermant de gros débris de calcaires dolomitiques avec des fossiles radiolaire que l'on peut dater du Jurassique ou au Crétacé inférieur.[15]

C- Le Crétacé :

Le Crétacé inférieur est représenté par les étages suivants :

C-1 Le Crétacé inférieur :**C-1-1 Barrémien :**

Il affleure dans l'anticlinal de Sidi Embareka et Djebel Harraba au Nord-est de Djebel Ouenza (Dubourdiou, 1956). Il est constitué de marnes grises et jaunes non fossilifères, intercalés par des calcaires argileux, noduleux. Sa puissance est [de 200 à 250 m] en générale (Dubourdiou ; 1956). [7] [15] [16]

C-1-2 L'aptien :

Il affleure sur des vastes surfaces, et de ce fait il devient le plus remarquable dans la région. Les dépôts de l'Aptien sont distribués surtout dans les bandes soulignées par les diapirs, dans le noyau des anticlinaux, et dans d'autres horsts de la région. Ils sont étudiés en détail par rapport à leur rôle de milieu encaissant pour la mise en place de minéralisations polymétallique et ferrifère.

Une coupe en travers de la grande crête Nord de l'Ouenza, dans la partie centrale du Djebel, où la série est très redressée permet d'observer une succession Aptienne presque complète.

La série est composée essentiellement de calcaires gris, compacts, parfois recristallisés, argileux à huîtres et Lamellibranches divers alternant avec des marnes peu apparentes.

La formation Aptienne présente généralement une puissance totale [de 250 à 600 m]. [7] [15] [16]

C-1-3 Albien :

L'Albien est marqué par une faune riche en Ammonites. Durant l'Albien supérieur, la couverture Albo-aptienne est percée par le Trias, entraînant le redressement des couches et la complexité des structures (plis évasés, plis en champignon, etc..), généralement scellées par le Vraconien (Othmanine, 1987 et Bouzenoune, 1993).

Les dépôts de l'Albien sont variés et sont à dominante marneuse. L'Albien inférieur est représenté dans tous les affleurements de la région par une série de marnes argileuses jaunes. L'Albien moyen est représenté par des calcaires noirs à Bélemnites. L'Albien supérieur est représenté par des marnes noires à petits lits de calcaires au niveau du Djebel Boukhadra et est très argileux au niveau du Djebel Ouenza.

La puissance des dépôts albiens est d'environ [de 400 à 500 m]. [7] [15] [16]

C-1-4 Vraconien :

Il est généralement transgressif sur le Trias à l'Ouenza (Thibieroz et Madre, 1976) et sur l'Aptien au Djebel Slata (Smati, 1986) et au Djebel Hmeimet (Othmanine, 1987).

Il est composé généralement par des marnes à intercalation de calcaire argileux et argilites

La puissance du Vraconien est [de 500 à 600 m]. [7] [16]

C-2 Crétacé supérieur :

Le Crétacé supérieur comprend les étages suivants :

C-2-1 Cénomaniens :

Il est constitué de marnes argileuses verdâtres, caractérisées par des intercalations de la calcite fibreuse.

Dubourdieu. (1959) a distingué la présence de deux assises : L'assise inférieure qui est formée par des marnes jaunes avec des marno-calcaires blancs feuilletés, et

l'assise supérieure constituée des calcaires argileux, gris blancs avec quelques niveaux de calcaires gris noirs.

L'épaisseur totale de la formation cénomaniennne est estimée entre 750 et 1100 mètres. [7] [15] [16]

C-2-2 Turonien :

Il affleure aux abords du Djebel Ouenza, à l'Ouest de Djebel Boujaber, au Dj. Krorza à 9km à l'WNW du centre minier de l'Ouenza. Ce sont de puissantes formations de calcaire dur et compact, intercalées avec des marnes bleues. Comprend également des Marno-calcaires gris et des calcaires noirs. Elles constituent les flancs des grands anticlinaux et synclinaux. Sa puissance totale ne dépasse pas 300 mètres. [7] [15] [16]

C-2-3 Coniacien :

Il est déterminé par sa position entre les calcaires du Turonien, et de petites intercalations de calcaires argileux blancs d'âge Santonien. À l'Ouest de Ouenza, le Coniacien est constitué de marnes gris bleu de 280 m environ. [15]

C-2-4 Santonien :

Il est constitué de marnes de couleur gris-bleu, alternante avec de petits bancs de calcaires marneux blanc-ocres, un peu crayeux, qui contiennent des ammonites. Deux ou trois lentilles calcaires qui apparaissent dans le Santonien à l'Ouest du plateau d'El Guessâat, représentent un faciès calcaire de ce niveau. [16]

C-2-5 Campanien :

On trouve dans sa partie inférieure des marnes gris clair à patine vert-jaunâtre. Dans ses niveaux moyen et supérieur il est représenté par des calcaires blancs à gris clair, crayeux, en gros bancs, avec une puissance moyenne d'environ [de 500 à 600m]. [7] [16]

C-2-6 Maëstrichtien :

Il est remarqué par des calcaires blancs bien lités, d'environ 60m d'épaisseur, recouverts par une très forte accumulation de marnes argileuses grises à noires 150m ces dernières admettent à leur base quelques intercalations de calcaires. [7]

D- paléogène :**D-1 Eocène :**

Des calcaires à silex et d'autres nummulites caractérisent l'Eocène inférieur et moyen, près des périmètres des Monts de Mellegue. Leur puissance est de 200m. [7]

E- néogène :**E-1 Miocène :**

Le Miocène inférieur et moyen présente des dépôts qui reposent transgressivement sur les formations d'âge albien-sénonien et même sur le Trias. Il s'agit d'une accumulation de marnes et de grès. À leur base, les formations miocènes comportent des conglomérats contenant des éléments de calcaires variés, de silex gris, des galets ferrugineux et des éléments empruntés au Trias, témoignant d'une activité diapiriques (Bouzenoune, 1993), avec une épaisseur moyenne de 150m (Dubourdiou, 1956). [7] [15] [16]

F- Le Quaternaire :

Les dépôts quaternaires sont distribués dans les parties basses des reliefs et couvrent des surfaces importantes (plaines et vallées actuelles). Ils sont formés des croutes de calcaires, limons éboulis, cailloutis et de poudingues. Le Quaternaire, d'origine continentale, est d'une puissance de 10 à 30 mètres. [7] [15] [16]

Les différentes formations stratigraphiques de la région de l'Ouenza sont représentées dans la colonne stratigraphique synthétique des monts du Mellegue dans la figure suivante :

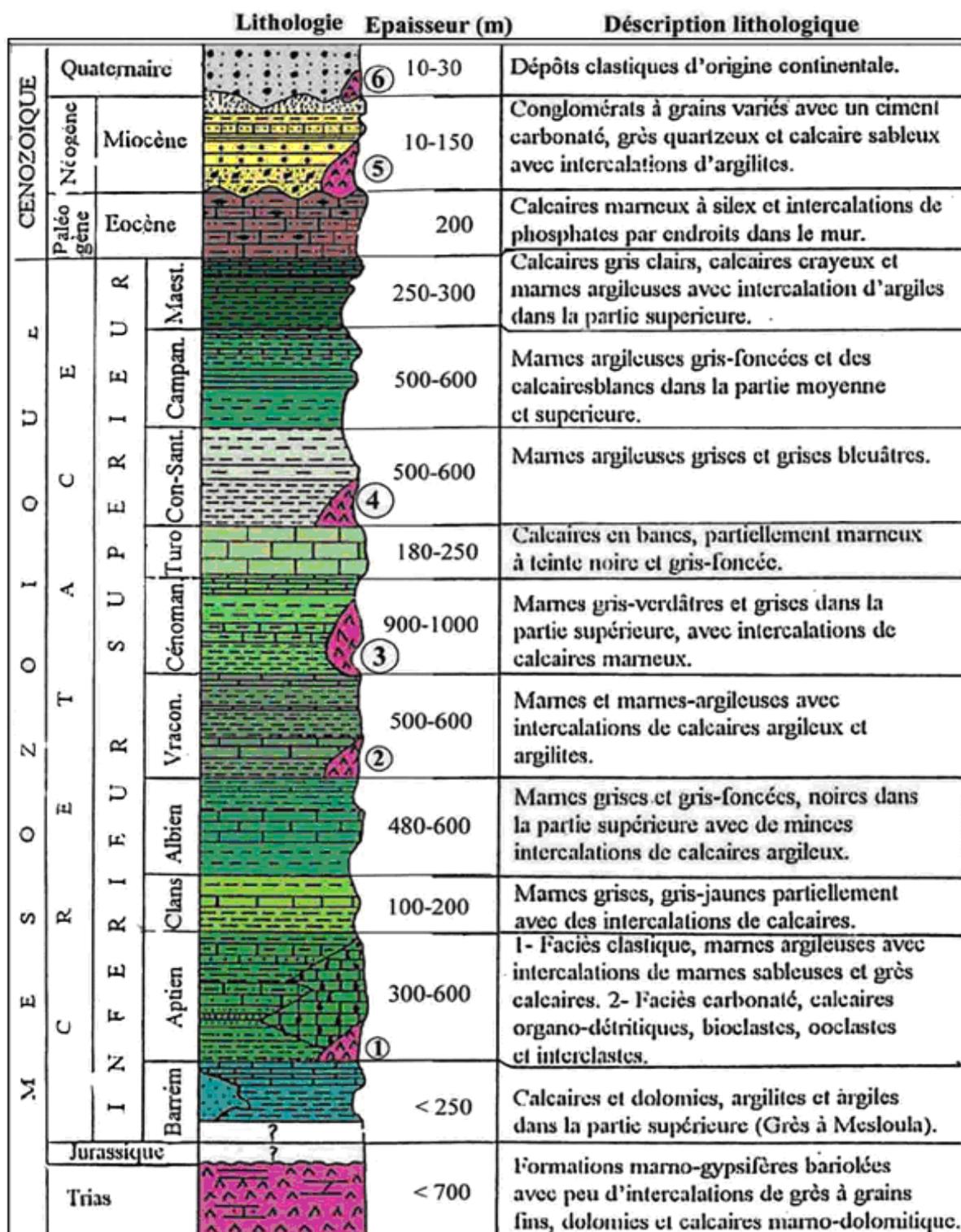


Figure II-2 : Coupe lithostratigraphique des monts du Mellegue d'après [Dubourdiou (1956, 1959) ; David (1956) ; Madre (1969) ; Fleury (1969) ; Thibieroz and Madre (1976) ; Chikhi (1980) ; Othmanine (1987), Bouzenoune (1993), Vila et al. (2001).]

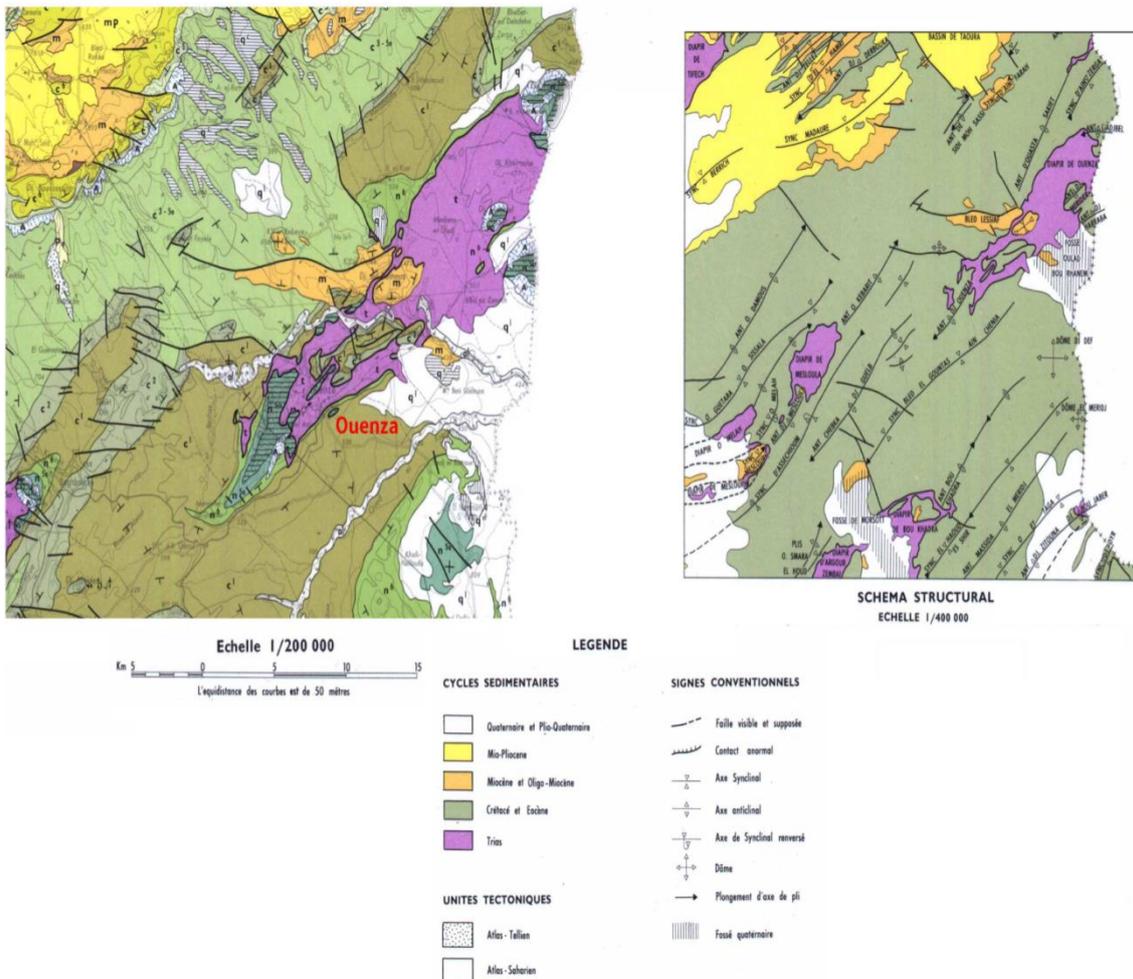


Figure II-3 : Carte géologique et structurale de la région de l'Ouenza [15]

II.3.3 la Géologie Quartier Chagoura SUD - PIC :

Le quartier de Chagoura Sud-Pic est un massif calcaire dont les côtes varient de 800 à 1225m (Pic Ouenza) et s'étend sur une longueur de 750m environ à l'ENE du Pic.

Le massif de Chagoura est représenté par une accumulation considérable de calcaires récifaux d'âge Aptien, au Nord du Pic on observe une importante intercalation de barres marneuses au sein de ces calcaires.

La structure du massif, d'une manière générale est celle d'un anticlinal dont le pendage varie de 30° à 45° vers le SE, puis devient plus raide à l'approche de la faille du Pic.

En se dirigeant vers le nord les assises se redressent et se déversent en s'inclinant vers le nord.

Les corps minéralisés sont localisés au sein des calcaires récifaux Aptiens, en particulier au voisinage des grosses fractures (G. DUBOURDIEU) auxquelles est attribué le rôle de structure productive. [15]

II.4 Le Cadre tectonique :

Les configurations structurales traitées dans la région d'Ouenza résultent des mouvements polyphasés dans le bâti sous-jacent jouent un rôle important. Ces mouvements traduits en manifestations structurales préfigurées dans l'histoire géologique de la région. Cette histoire s'est traduite par : [15]

- L'accumulation d'une série sédimentaire très épaisse,
- Le diapirisme des formations triasiques,
- Le plissement des séries sédimentaires suivant la direction Atlasique (Nord-est Sud-ouest),
- La création de fossés d'effondrement orienté Nord-Ouest Sud-est à Est Ouest.

II.4.1 Les principales modalités de la tectonique :

II.4.1.1 le diapirisme :

Les diapirs représentent l'une des principales caractéristiques de l'Atlas saharien oriental. À l'affleurement ils sont allongés sur une bande de 80 km environ, de direction NE-SW. Le diapirisme est contrôlé par le fluage et l'ascension (Perthuisot, 1988). [15]

À- Le fluage :

L'écoulement fluide des évaporites est d'autant plus important que la température soit élevée, il est pratiquement réalisé aux alentours de 300° C pour le sel gemme et à des températures plus basses pour les sels potassiques ou les sulfates hydratés. [15]

B- L'ascension :

Elle est assurée par la densité, il s'agit d'une migration verticale du matériel plastique jusqu'à une altitude qui dépend du rapport des densités. Cette migration ne peut se faire si la densité du matériel plastique est inférieure à la densité globale de la couverture, on appelle ce phénomène (Halocinèse).

En Algérie, la série triasique n'est connue que partiellement en surface. Des roches du Trias affleurent à la faveur d'extrusions soit, sous forme de masses chaotiques où dominant le gypse, les argiles et les dolomies, soit organisées en unités stratifiées localisées plutôt sur les plans des structures.

Les chlorures, signalés dans la salifère principale du Nord-est saharien (Busson et Cornet, 1989), sont présents dans la région du Mellegue dans la partie enracinée du diapir de l'Ouenza. Les pointements triasiques, très nombreux dans la région, sont localisés dans la partie Nord-est de l'Ouenza, (Dubourdieu, 1964 et Madre, 1969) et Sud-ouest de Boukhadra et au cœur de Djebel Mesloulou. [15]

II.4.1.2 les Plissements :

L'ensemble des formations sédimentaires a été plissé suivant une direction NE-SW. Ces plis anticlinaux souvent percés dans leurs charnières par le Trias-diapiriques. Ils sont généralement relayés par des vastes structures synclinales. D'après (Dubourdieu, 1956), la série du Mellegue a été plissée au cours du Paléogène (Eocène supérieur-Oligocène). [15]

II.4.1.3 la tectonique cassante :

En dehors des accidents de faible ampleur et de directions diverses, les structures anticlinales sont recoupées par deux systèmes de failles : - Le premier système est constitué par des failles principales ou bien ce qu'on appelle les failles majeures orientées, en principe, sub parallèlement aux axes des anticlinaux sous l'effet du plissement. Les couches tendres se plissent et les couches dures se cassent au niveau des pendages des roches qui sont subverticaux à inverse. Ce système est orienté suivant deux directions tectoniques majeures : Nord-est (30°-60°) et Nord-Ouest (280°-320°).

Les failles du deuxième ordre sont caractérisées par des rejets importants et des pendages de l'ordre de 60° de direction Est-Ouest. Elles sont presque perpendiculaires aux failles principales, et parfois, elles les regroupent, ce qui favorise des concentrations métallifères. [15]

II.4.1.4 Fossé d'effondrement :

Les confins Algéro-tunisiens, sont représentés par des fossés d'effondrements de direction NW-SE et E-W, qui sont bordés par des accidents majeurs, et qui sont formés par des dépôts plio-quadernaires avec une puissance de 170m dans le fossé de Tébessa-Morsott (Dubourdiou et al., 1950) et environ 300 m dans celui de Kasserine (Zouari, 1984).

Durozoy, (1950) ; Castany, (1951 et 1954) ; Dubourdiou, (1956); David, (1956); Kazi Tani (1986); Othmanine (1987), ont considéré ces fossés d'effondrements comme étant le résultat d'une intense activité tectonique distensive post-miocène inférieur. Alors que les premières manifestations sont enregistrées au Crétacé et l'effondrement majeur a eu lieu au Pliocène, selon Bismuth, (1973); Chihi, (1984); Chihi et al., (1984 et 1991); Ben Ayad et al., (1991). [15]

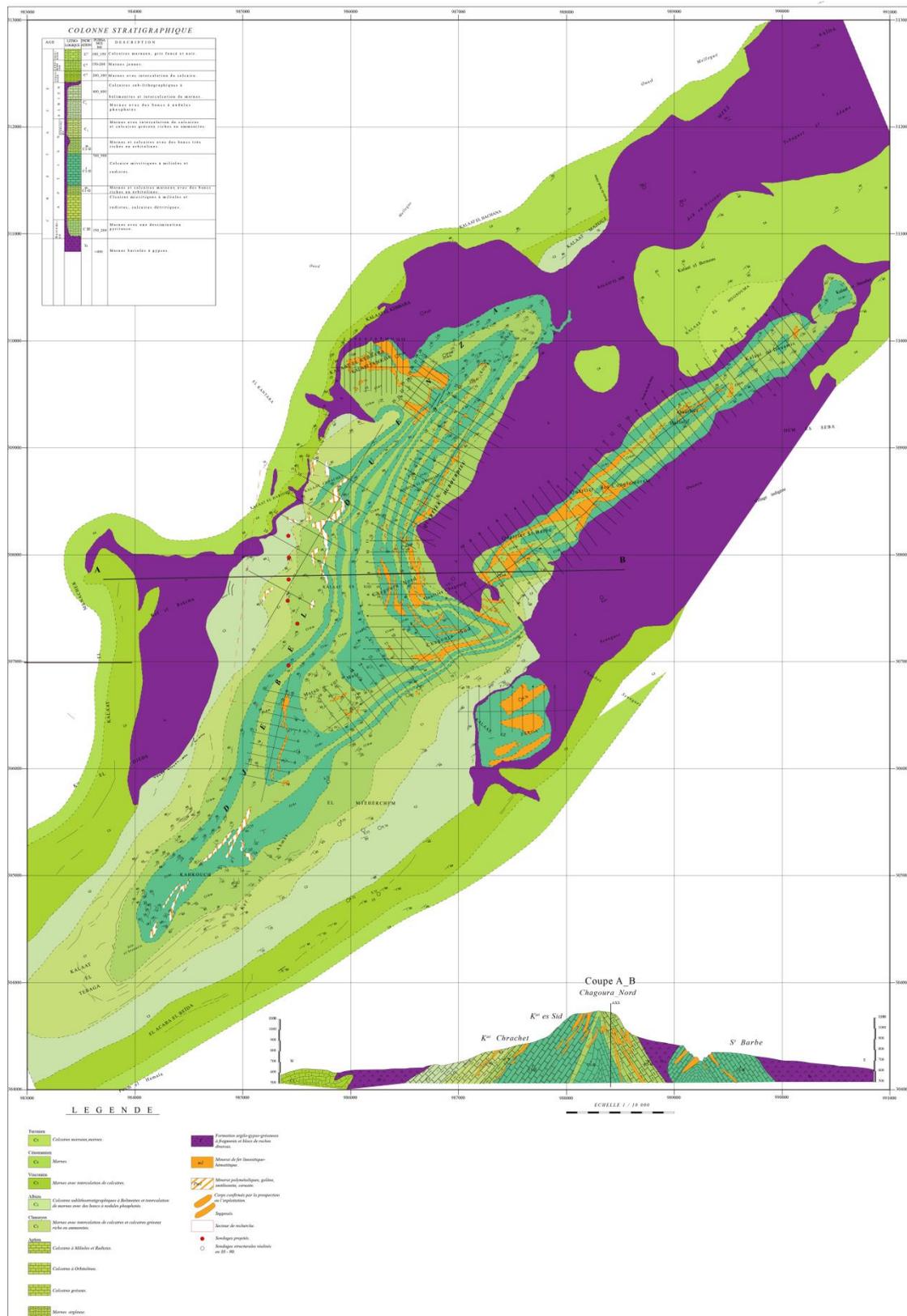


Figure II-4 : Carte géologique et structurale de Djebel Ouenza [DED].

II.5 Cadre hydrogéologique :

II.5.1 L'hydrogéologie :

Le réseau hydrographique est assez dense, très développé, bien que peu abondant en eau, les principaux cours d'eau sont : Oued Mellegue et Oued El Kseub dont les débits sont irréguliers et varie selon la saison et la quantité de précipitation (Pluviométrie).

De façon générale, le comportement hydrogéologique des terrains existants à Ouenza se résume comme suit :

- Les terrains triasiques contenant du gypse et du sel, du fait de leur hétérogénéité, sont perméables. Les eaux qui y circulent deviennent saumâtres et ne peuvent convenir qu'à l'utilisation industrielle.
- Les calcaires s'ils sont fissurés permettent l'infiltration des eaux et même leur circulation.
- Les marnes qui forment malheureusement la plus grande surface affleurant dans la région sont imperméables et toutes les eaux de pluie ruissellent ou s'évaporent. Les intercalations calcaires peu épaisses ne permettent pas le captage que d'une quantité infime d'eau.
- Les terrains quaternaires toujours peu épais n'ont de ce fait aucune importance hydrogéologique. [7] [15] [16] [17]

II.5.2 Réseaux hydrographique :

En dehors de la source thermale de Hammam sidi Yahia situé à 11,5 Km à vol d'oiseau au Sud-ouest de la mine d'EL Ouenza, de quelques suintements à la base des grès Miocène et des quelques rares sources localisées dans les oueds, les points d'eau naturelle dans la région de Ouenza sont très rares.

Toutefois, du côté Est, dans la plaine du Douar El Meridj, on aperçoit l'existence de quelques puits isolés dont l'eau est salée. Le réseau hydrographique est représenté principalement par le Oued Mellegue au Nord et Oued Kseub au Sud-est, distants respectivement de 3,5 Km et 6,5 Km à vol d'oiseau de la mine.

Hormis les cours cités ci-dessus, la région de l'Ouenza est parsemée d'un enchevêtrement de ravins suivant une direction préférentielle Nord-Ouest Sud-est qui se déverse durant les périodes pluviales dans les oueds, Mellegue pour le versant Nord-Ouest et oued El Kseub pour le versant Sud-est.

Les études hydrogéologiques entreprises par la direction de l'hydraulique de la wilaya de Tébessa ne révèlent aucune nappe aquifère en eau potable exploitable dans la région minière susceptible d'être influencée ou affectée par les travaux d'exploitation.

Les seuls aquifères connus à l'Ouenza sont : Douamis (descenderie de captage ZI) et Conglomérat (descenderie de captage ZII) qui forment probablement un seul bassin aquifère. Les surfaces respectives d'impluvium sont (de 20 à 40 ha), pour une pluviométrie annuelle de 400mm d'eau.

La ville de l'Ouenza est alimentée récemment par le sondage d'Ain Chania. La mine pour ses besoins en eau potable des chantiers puise celle-ci du sondage de souda. [7] [15] [16] [17]

II.6 Cadre hydrologique :

L'influence des facteurs climatiques sur les formations géologiques semble très importante, ces facteurs ont un impact d'une façon ou d'une autre, directement ou indirectement sur le relief en modifiant les caractéristiques physiques et chimiques des roches et du sol, cela prouve que la climatologie possède une stricte liaison avec la géotechnique.

La région d'Ouenza est située dans l'étage bioclimatique semi-aride à faible pluviométrie. Un climat caractérisé par une période humide et très froide de l'automne à l'hiver et une période sèche et très chaude qui s'étend du printemps à l'été. La région d'Ouenza ne possède pas de station météorologique.

À cause du manque des données et d'informations dans la station météorologique de l'Ouenza, nous avons exploité les données climatiques de la station de Tébessa.

Remarque : Les données sur la température et la précipitation qu'on dispose, sont des valeurs moyennes mensuelles et annuelles, mesurées à la station de Tébessa sur une période allant de 1969 à 2007. [15] [16]

Tableau II-1 : Température et précipitation moyennes mensuelles et annuelles exprimées en (mm) de la station de Tébessa (1969-2007) [16]

Mois	Précipitation	Température
Janvier	30.30	6.44
Février	25.33	7.59
Mars	40.90	11.31
Avril	35.07	14.57
Mai	37.70	19.48
Juin	27.75	23.97
Juillet	13.44	27.31
Août	23.70	26.62
Septembre	37.62	21.95
Octobre	30.64	18.27
Novembre	30.21	10.43
Décembre	28.39	6.90

Durant une période de 38 ans, on constate que la température moyenne peut atteindre un maximum de 27.31°C au mois de juillet et son minimum au mois de janvier avec une moyenne de 6.44°C.

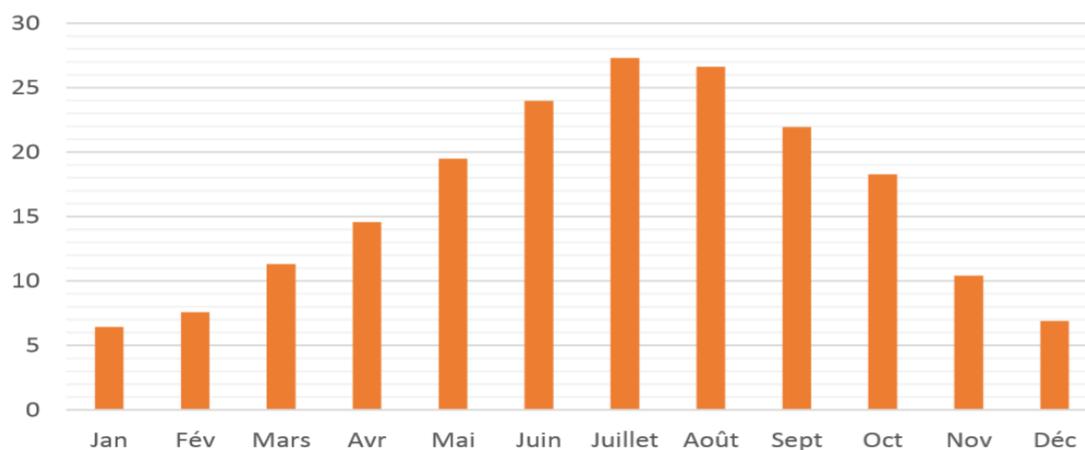


Figure II-5 : Les moyennes mensuelles des températures exprimées en (°C) de la station de Tébessa (1969-2007) [16]

Ce qui concerne les précipitations, le maximum est enregistré au mois de mars (40.90 mm) par contre le minimum est enregistré au mois de juillet (13.44 mm). En général la région d'étude a une moyenne de précipitations annuelle de l'ordre (de 361.05 mm.)

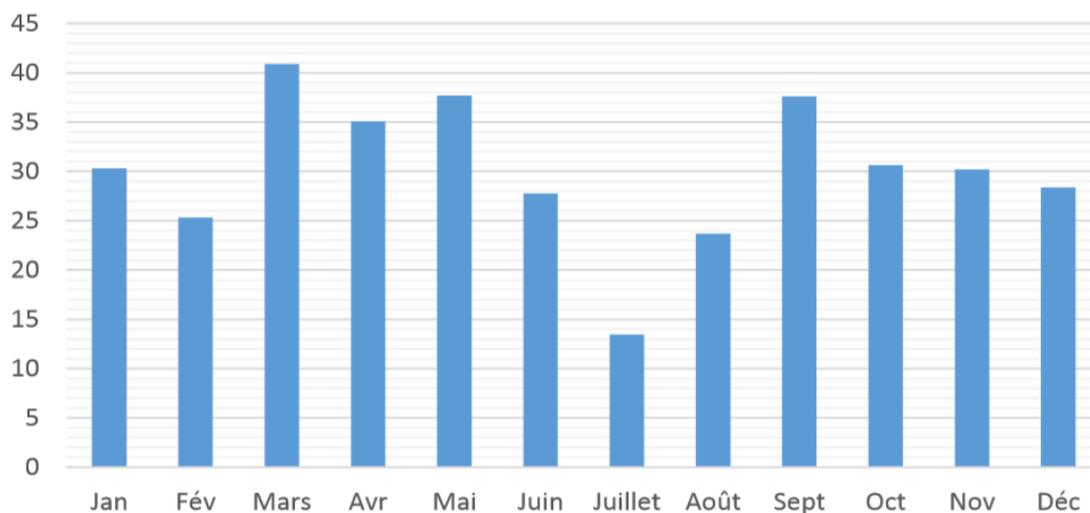


Figure II-6 : Les moyennes mensuelles des précipitations exprimées en (mm) de la station de Tébesa (1969-2007) [16]

II.7 Reconnaissance géotechnique :

Les propriétés physico-mécaniques des roches sont une source capitale dans la compréhension de comportement des massifs rocheux. Ces dernières ont une grande influence sur la stabilité des terrains.

Parmi les propriétés physiques, les plus importantes sont : La masse volumique, la porosité, densité et la dureté...etc.

Parmi les propriétés mécaniques : la résistance à la compression, la résistance à la traction et la résistance au cisaillement...etc.

Lors de la visite du site, on a constaté un manque des données c'est pourquoi nous avons exploité les résultats des essais précédents mentionnés dans les Références bibliographiques

II.7.1 Les propriétés physiques des roches :

A- La porosité :

La porosité n est, par définition le rapport du volume des vides V_v de la roche au volume total V_t . La détermination de la porosité se donne par la formule suivante :

$$n = \frac{V_v}{V_t} \times 100$$

B- L'indice de vide :

L'indice des vides (e), il est défini comme le rapport du volume des vides contenus dans un échantillon donné ramené au volume des grains solides de l'échantillon.

$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{n}{1-n}$$

C- La masse volumique :

On appelle masse volumique d'un matériau la masse de l'unité de volume de la roche (g/cm^3). On définit, suivant l'état du matériau, ρ_s la masse volumique absolue ou masse volumique du solide, ρ_h la masse volumique naturelle, ρ_d la masse volumique sèche ou réelle et ρ_{sat} la masse volumique saturées (après saturation de la roche).

$$\rho_s = \frac{M_s}{V_s}; \rho_d = \frac{M_s}{V_t}; \rho_h = \frac{M_h}{V_t}; \rho_{sat} = \frac{M_{sat}}{V_t}$$

D- Poids volumique sec :

Le poids volumique à l'état sec est déterminé par la formule suivante :

$$\gamma_{sec} = \rho_s \times g \quad [\text{KN/m}^3]$$

Où :

ρ_s : Densité sèche [Kg/m^3]

g : accélération de pesanteur (9.8 m/s^2)

Les résultats de calculs du poids volumique à l'état sec pour les roches (marne jaune, minerai de fer, calcaire). Nous permet de constater que le poids volumique sec est compris entre : [15]

23.15 et 26.39 (KN/m³) Pour les marnes jaunes ;

26.19 et 29.14 (KN/m³) Pour les minerais de fer ;

25.51 et 25.60 (KN/m³) Pour les roches calcaires.

E- La teneur en eau :

C'est le rapport de la masse d'eau M_w , à la masse du solide sec.

$$W = \frac{M_w}{M_s} = \frac{M_t - M_s}{M_s}$$

Avec:

M_w : est la masse d'eau

M_t : est la masse totale de l'échantillon.

M_s : est la masse sèche des grains solides.

Les résultats de calcul la teneur en Eau sont représenté dans le tableau suivant :

Tableau II-2 : Les résultats de calcul la teneur en Eau [7]

Échantillon	1	2	3
Poids humide + Tare (g)	225.19	252.27	317.59
Poids sec + Tare (g)	214.84	238.15	298.86
Tare (g)	88.47	84.84	85.53
Eau (g)	10.35	14.12	18.73
Poids sec (g)	126.37	153.31	213.32
Teneur en Eau %	8.19	9.21	8.78

F- Le degré de saturation :

Le degré de saturation, noté S_r indique dans quelle proportion les vides sont remplis par l'eau. Il est défini comme le rapport du volume de l'eau contenue dans l'échantillon au volume des vides. Le degré de saturation peut varier de 0 % (sol sec) à 100% (sol saturé).

$$Sr = \frac{V_w}{V_v} \times 100$$

V_w: Volume de l'eau dans l'échantillon. cm³

V_v : Volume des vides.cm³

G- La densité :

On entend par la densité (poids spécifique) d'un minéral le rapport entre son poids et celui du même volume d'eau ; une détermination précise de la densité exige des instruments spéciaux, on peut cependant l'estimer très approximativement en soupesant l'échantillon. On distingue deux types de densité.

- **Densité absolue** : est le rapport de la masse absolue d'une unité de volume du matériau à température donnée à la masse du même volume d'eau distillée à la même température.
- **La densité apparente** : à l'état compacté ou non compacté sera obtenue en établissent le rapport de la masse apparente d'une unité de volume du matériau à température donnée à la masse d'une même quantité d'eau distillée à même température

Les résultats de calcul la densité de la Marne sont représenté dans le tableau suivant :

Tableau II-3 : Les résultats de calcul la Densité de la Marne [7]

Échantillon	1	2	3
Poids humide +paraffine(g)	1383.55	583.98	712.27
Poids humide(g)	1361.71	573.07	697.71
Poids de paraffine(g)	21.81	10.91	14.56
Poids Net dans l'Eau(g)	734.44	295.82	348.97
Volume brut (cm ³)	649.11	288.16	363.30
Volume de paraffine (cm ³)	24.23	12.12	16.18
Volume Net	624.88	276.04	347.12
Densité humide %	2.18	2.08	2.01
Teneur en Eau %	8.19	9.21	8.78
Densité sèche %	2.01	1.90	1.85
Densité sèche moyenne %	1.92		
Teneur en Eau moyenne %	8.73		
Teneur de saturation %	15.08		
Degré de saturation %	57.90		

H- Limites D'ATTERBERG :

Limite de liquidité et limite de plasticité : Teneur en eau d'un sol pondéral correspondant à des états particuliers d'un sol.

- **Limite de liquidité [W_L] :** Teneur en eau d'un sol remanié au point de transition entre les états liquides et plastiques.
- **Limite de plasticité [W_P] :** Teneur en eau d'un sol remanié au point de transition entre les états plastique et solide.
- **Indice de plasticité [I_P] :** Différence entre les limites de liquidité et de plasticité. Cet indice définit l'étendue du domaine plastique.

$$I_P = W_L - W_P$$

Les teneurs en eau étant exprimées en pourcentage, l'indice de plasticité est un nombre sans dimension.

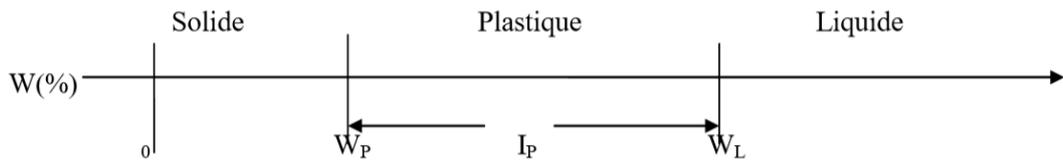


Figure II-7 : Représentation des limites d'ATTERBERG

- **Indice de consistance [I_C] :** Rapport défini par la formule suivante ;

$$I_C = \frac{W_L + W}{I_P}$$

Où :

W est la teneur en eau du sol dans son état naturel et ne comportant pas d'éléments supérieur à 400 μm



Figure II-8 : Limites d'ATTERBERG.

Les résultats de l'essai de limites d'ATTERBERG sont représentés dans les tableaux suivants :

Tableau II-4 : la limite de liquidité W_L [7]

N° essai	I		II		II	
	1	2	1	2	1	2
Échantillon						
Poids humide+ la tare(g)	18.92	18.57	16.73	17.41	17.80	16.14
Poids sec+ la tare (g)	18.19	17.93	16.11	16.55	17.12	15.70
Poids de la tare (g)	16.33	16.35	14.61	15.13	15.56	14.67
Poids sec(g)	1.86	1.58	1.50	1.42	1.56	1.03
Eau(g)	0.74	0.64	0.62	0.59	0.68	0.44
La teneur en eau %	39.76	40.50	41.33	41.54	43.50	42.72
WL moye	40.13		41.43		43.11	
WL %	41.56					

Tableau II-5 : limite de plasticité [7]

Échantillon	WP	
	1	2
Poids humide+ la tare(g)	18.78	18.85
Poids sec+ la tare (g)	18.42	18.54
Poids de la tare (g)	16.90	17.04
Poids sec(g)	1.52	1.50
Eau(g)	0.36	0.35
La teneur en eau WP %	23.68	23.33
WP %	23.5	

$$I_p = WL - WP ; I_p = 41.56 - 23.5 = 18.06 \%$$

Tableau II-6 : L'indice de plasticité [7]

indice de plasticité IP	
Etat-du sol	IP%
Non plastique	0-5
Peu plastique	5-15
Plastique	15-40
Très plastique	>40

À partir de tableau de l'indice de plasticité et le résultat d' I_p : Le comportement de la marne est plastique

- calcul l'indice de consistance I_c :

$$I_c = \frac{WL + W}{IP}$$

$$I_c = \frac{41.56 + 42.45}{18.06} = 4.65$$

Tableau II-7 : l'indice de consistance [7]

Indice de consistance	
Etat -du sol	IC
Solide	$IC > 1$
Plastique	$0 < IC < 1$
Liquide	$IC < 0$

- **Interprétation :**

$I_c > 1$ (4.65) Alor l'état du sol est solide

II.7.2 Les propriétés mécaniques des roches :

A- La résistance à la compression :

La résistance à la compression σ_c est la contrainte maximale supportée par l'échantillon avant la rupture lors d'un essai de compression simple. Elle est donnée par la formule suivante:

$$\sigma_c = \frac{F}{s} \text{ (kgf /cm}^2\text{)}$$

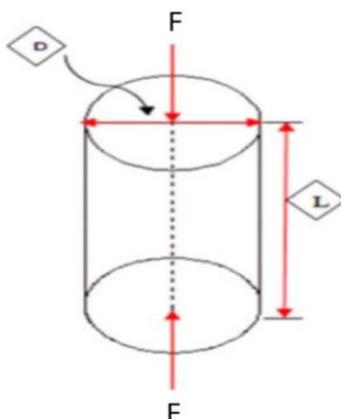


Figure II-9 : Schéma de la Compression uni axiale [7]

Où :

F : effort (charge) maximal; (kgf)

S : section ou surface sur laquelle on applique l'effort F; **cm²**

Tableau II-8 : Valeurs de la résistance à la compression pour les échantillons (marne, calcaire, fer). [7]

Échantillons	Fer			Calcaire			Marne jaune		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Résistance à la compression σ_{ci} (MPa)	5.33	5.45	5.38	26.77	27.16	27.54	1.40	1.15	0.98
$\sigma_{c moy}$ (MPa)	5.39			27.82			1.18		

Tableau II-9 : résistance à la compression de la roche [7]

Description de la résistance	Résistance à la compression R_c en MPa	Exemple
Très faible	1-25	Craie, sel
Faible	25-50	Charbon, calcaire, schiste
Moyenne	50-100	Grès, ardoise, argilites
Forte	100-200	Marbre, granite, gneiss
Très forte	>200	Quartzite, basalte

• **Interprétation :**

Les résultats de la résistance à la compression de la Marne et le Fer et inférieure à 25 MPa c'est-à-dire très faible. Les résultats de la résistance à la compression du Calcaire et dans l'intervalle de 25-50 MPa c'est-à-dire moyenne.

B- La résistance au cisaillement :

• **L'essai de Cisaillement direct :**

Dans l'essai de cisaillement à la boîte de casa-grande, on cherche à provoquer la rupture de l'échantillon suivant un plan imposé. L'échantillon est placé dans une boîte constituée de deux parties qui peuvent glisse horizontalement l'une sur l'autre. On applique à l'échantillon un effort normal de compression verticalement, par l'intermédiaire d'un piston et un effort tranchant T, horizontalement, en déplaçant la demi-boîte inférieure. Un comparateur mesure la variation de l'échantillon.

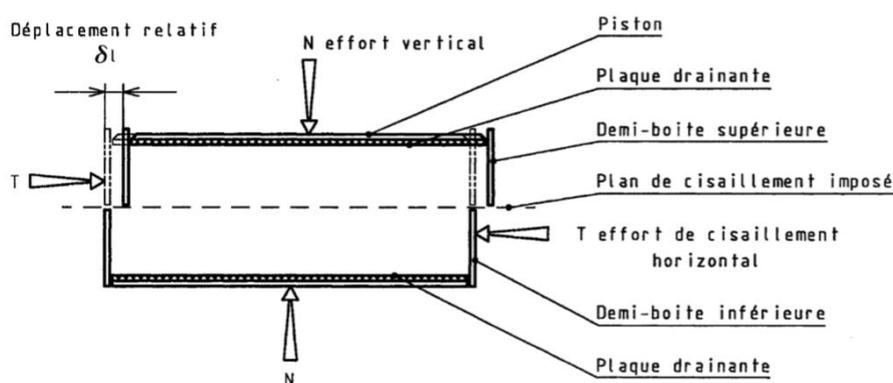


Figure II-10 : principe d'un essai de cisaillement [7]

Tableau II-10 : les résultats de l'essai de cisaillement N°1 [7]

Essai de cisaillement N°1			
Échantillons	1	2	3
Poids humide+ la tare(g)	173.77	179.87	179.02
Poids de la tare (g)	33.30	33.30	33.30
Poids humide	140.47	146.57	145.72
Poids sec(g)	122.70	128.30	128.32
128.32 Eau(g)	17.77	18.27	17.40
La teneur en eau %	14.50	14.24	13.56

Tableau II-11: les résultats de l'essai de cisaillement N°2 [7]

Essai de cisaillement N°2			
Échantillons	1	2	3
Poids humide+ la tare(g)	173.93	175.15	174.30
Poids de la tare (g)	33.30	33.30	33.30
Poids humide	140.63	141.85	141.00
Poids sec(g)	124.63	125.76	125.02
128.32 Eau(g)	16.00	16.09	15.98
La teneur en eau %	12.84	12.80	12.78

- Angle de frottement interne = 9°
- La cohésion = 16,36

Tableau II-12 : les résultats de l'essai de cisaillement (σ τ) [7]

σ	τ
0.5	1.433
1	2.381
1.5	1.603

II.8 Conclusion :

La région d'étude (massif de la mine à ciel ouvert d'EL OUENZA) constituée essentiellement par des formations de dépôts mésozoïques-cénozoïques il est caractérisé par les formations datées du Trias. Jurassique, Crétacé, Éocène, Miocène et Quaternaire.

Le massif de Chagoura est représenté par une accumulation considérable de Calcaires récifaux d'âge Aptien,

Le réseau hydrographique est assez dense, très développé, bien que peu abondant en eau. La région d'Ouenza est située dans l'étage bioclimatique semi-aride à faible pluviométrie,

Les essais au laboratoire indiquent que de la résistance à la compression de la Marne et le Fer et inférieure à 25 MPa c'est-à-dire très faible, par contre la résistance à la compression du Calcaire et dans l'intervalle de 25-50 MPa qui est moyenne et plus dure que les deux autres formations, les essais de cisaillements indique de même que les caractéristiques la Marne sont très faible.



CHAPITRE III :
caractérisation
géomécaniques du
massif rocheux

جامعة العربي التبسي - تبسة
Université Larbi Tebessi - TEBESSA

III.1 Introduction :

Le présent chapitre traite les systèmes de classification du massif rocheux, tel que (RQD, RMR, SMR, GSI et SQI) qui nous donne la possibilité de caractériser le massif rocheux et de quantifier l'état de stabilité des gradins des différents faciès (Marne, Fer, Calcaire) du massif d'EL OUEZNA (Quartier CHAGOURA Sud).

III.2 Le Rock Quality Designation index (Deere, 1967) :

Deere (1964) propose un paramètre évaluant la qualité du roc de la masse rocheuse selon un index intitulé RQD (Rock Quality Designation). Obtenu à partir de carotte de forage géologique, cet indice représente l'évaluation du pourcentage des carottes récupérées sur une longueur de course précise. Basée sur un procédé qualitatif, seule la somme des longueurs de morceaux de plus de 10 Cm est conservée et cette somme est divisée par la longueur de course de la carotte de forage. Ce paramètre est défini comme suit :

$$\text{RQD}(\%) = \frac{\sum \text{longueurs de morceaux de plus de 100 mm}}{\text{longueur totale de la course}} \times 100$$

Tableau III-1 : RQD de Deere. [8]

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

A- Les résultats de RQD du différents roches de chaque gradin :

Les résultats de RQD de gradin 01 sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau III-2 : les résultats de RQD des différentes sections /GRADIN 01.

GRADIN 01							
Section	Line de trace	RQD %	RQD moy %	Section	Line de trace	RQD %	RQD moy %
01	01	37	33	07	01	79	81
	02	26			02	92	
	03	37			03	71	
02	01	50	31	08	01	80	85
	02	21			02	86	
	03	22			03	89	
03	01	27	18	09	01	55	50
	02	16			02	52	
	03	11			03	43	
04	01	54	65	10	01	42	56
	02	75			02	64	
	03	66			03	63	
05	01	52	73	11	01	65	61
	02	77			02	60	
	03	89			03	58	
06	01	69	63				
	02	69					
	03	51					
RQD moy % GRADIN 01				56			

Les résultats de RQD de gradin 02 sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau III-3 : les résultats de RQD des différentes sections /GRADIN 02.

GRADIN 02							
Section	Line de trace	RQD %	RQD moy %	Section	Line de trace	RQD %	RQD moy %
01	01	97	93	08	01	98	98
	02	97					
	03	86					
02	01	73	82	09	01	97	92
	02	92			02	87	
	03	82					
03	01	67	69	10	01	0	57
	02	68			02	75	
	03	72			03	97	
04	01	77	59	11	01	63	71
	02	62			02	82	
	03	38			03	67	
05	01	57	49	12	01	56	64
	02	55			02	71	
	03	36					
06	01	88	84	13	01	59	79
	02	82			02	96	
	03	83			03	81	
07	01	72	76	14	01	54	73
	02	81			02	76	
	03	74			03	89	

RQD moy % GRADIN 02	74.71
----------------------------	--------------

Les résultats de RQD de gradin 03 sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau III-4 : les résultats de RQD des différentes sections /GRADIN 03.

GRADIN 03							
Section	Line de trace	RQD %	RQD moy %	Sections	Line de trace	RQD %	RQD moy %
01	01	60	58	08	01	55	48
	02	70			02	48	
	03	45			03	41	
02	01	72	51	09	01	68	68
	02	49			02	77	
	03	32			03	58	
03	01	61	60	10	01	50	50
	02	61			02	61	
	03	59			03	40	
04	01	78	58	11	01	83	84
	02	45			02	47	
	03	50			03	94	
05	01	57	58	12	01	53	60
	02	55			02	65	
	03	62			03	64	
06	01	46	45	13	01	95	95
	02	40		14	01	93	93
	03	50		15	01	86	86
07	01	66	74				
	02	63					
	03	92					

RQD moy % GRADIN 03**65.87****RQD moy % total (Chagoura SUD)****65.53**

B- Présentation des résultats :

L'interprétation du résultat de chaque gradin est représentée dans le tableau suivant :

Tableau III.5: Qualité de la masse rocheuse de Quartier CHAGOURA SUD.

"RQD" CHAGOURA SUD			
GRADIN	01	02	03
RQD %	56	74.7	65.8
Qualité de la masse rocheuse	Moyenne	Moyenne	Moyenne
Note globale de RQD %	65.5		
Qualité de la masse rocheuse globale	Moyenne		

III.3 Le Rock Mass Rating (Bieniawski, 1976) :

Bieniawski a publié en 1976 les détails d'une classification des masses rocheuses intitulée « Geomechanics Classification or the Rock Mass Rating (RMR) system ». Depuis la version originale, certaines modifications ont été apportées. Désormais, plusieurs variantes de la classification de Bieniawski sont disponibles. Les versions 1976 et 1989 sont les plus couramment utilisées.

La classification de Bieniawski prévoit l'évaluation de différents paramètres pour chacun desquels un coefficient numérique est attribué suivant le barème présenté dans le **Tableau III-6**. La somme de ces coefficients détermine la valeur du RMR, qui peut varier entre 0 et 100.

Cette valeur utilise à plus de 70% la fracturation et elle accorde 15% d'influence aux propriétés de la matrice rocheuse et 15% à la présence d'eau, cette classification ne prend pas en considération l'état de contrainte in-situ ni l'angle de frottement du matériau de remplissage ; les roches gonflantes n'y sont pas non plus traitées.

Les six paramètres suivants sont nécessaires pour estimer la résistance à la compression d'un massif rocheux en utilisant le système RMR :

- A1 : Résistance en compression uni-axiale 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. (Quand aux travaux souterrains).

Tableau III-6 : Paramètres de classification des roches et notes de pondération [10]

Paramètre		Coefficient							
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	>200 MPa	100-200 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	10-25 MPa	3-10 MPa	1-3 MPa
	Note	15	12	7	4	2	1	0	
2	RQD	90-100	75-90	50-75	25-50	<25			
	Note	20	17	13	8	3			
3	Espacement des joints	>3m	1-3 m	0.3-1 m	50-300mm	<50mm			
	Note	30	25	20	10	5			
4	Nature des joints		Surface très rugueuse continue éponte en contact éponte non altéré	Surface légère rugueuse épaisseur <1 mm éponte non altéré	Surfaces légères rugueuses épaisseur <1mm Éponte altéré	Surfaces lustrées ou remplissage <5mm ou joint ouvert 1 à 5 mm joints continus	Remplissage mou >5 mm ou joint Ouverts > 5 mm joints continus		
	Note		25	20	12	6	0		
5	Venues d'eau	Débit 10m	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		Suintement (eau interstitielle)	Pression d'eau modérée	Problème sérieux de venues d'eau		
	Note		10		7	4	0		

Tableau III-7: Classification du massif rocheux selon le RMR. [8]

Note RMR	81-100	61-80	41-60	21- 40	< 20
Classe de rocher et description	Excellente roche	Bonne roche	Moyenne roche	Faible roche	Très faible roche

A- la classification du massif rocheux de chaque gradin par le système RMR :

Tableau III-8 : Exemple de classification/gradin 01

Roche	Calcaire	Marne jaune	Fer
Rc (MPa)	27.82	1.18	5.39
Note	4	0	1
RQD %	85	33	56
Note	17	8	13
Espacement des joints	De 50-300 mm au 1-3 m	De 50-300 mm au 0.3-1 m	De 50-300 mm au 1-3 m
Note (moy)	17.5	15	17.5
Nature des jointes	De Surfaces lustrées ou remplissage <5mm ou joint ouvert 1 à 5 mm joints continus au Surface léger rugueux épaisseur<1 mm éponte non altéré	De Remplissage mou >5 mm ou joint Ouverts > 5 mm joint continus aux surfaces lustrées ou remplissage <5mm ou joint ouvert 1 à 5 mm joints continus	De Remplissage mou >5 mm ou joint ouverts > 5 mm joints continus aux surfaces légères rugueuses épaisseur <1mm Éponte altéré
Note (moy)	13.7	0.5	5
Venues d'eau	Aucune venue d'eau	Aucune venue d'eau	Aucune venue d'eau
Note	10	10	10
RMR	62	33.5	46.5

Les résultats de RMR de gradin 01 sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau III-9 : les résultats de RMR du défèrent Sections de GRADIN 01

Section	RMR	RMR cri	Section	RMR	RMR cri
01	33.5	33	07	62	48.5
02	34	33	08	62	54.5
03	25.5	25.5	09	52.5	44.5
04	47	39.7	10	46.5	41.5
05	51.5	40.5	11	48	42
06	55.5	44.5			

RMR moy % GRADIN 01	47.5
----------------------------	-------------

Les résultats de RMR de gradin 02 sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau III-10 : les résultats de RMR des différentes sections / GRADIN 02

Section	RMR	RMR cri	Section	RMR	RMR cri
01	51.5	47.5	08	62	51.5
02	59	52	09	74	55
03	50.5	45.5	10	66.5	47.5
04	50	40.5	11	51	39
05	49	39.5	12	69.5	44.5
06	53	38.5	13	73.5	48.5
07	58.5	54.5	14	56.5	44.5

RMR moy % GRADIN 02	58.9
----------------------------	-------------

Les résultats de RMR de gradin 03 sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau III-11 : les résultats de RMR des différentes sections / GRADIN 03

Section	RMR	RMR cri	Section	RMR	RMR cri
01	44.8	38	09	52.5	44.5
02	47.8	38	10	48	39.5
03	46	38	11	64	50
04	43	38	12	51.5	44.5
05	49.5	34.5	13	67	60
06	54	43	14	66	57.5
07	53	50	15	62	54.5
08	37.5	34			

RMR moy % GRADIN 03	52.5
----------------------------	-------------

RMR moy % total (Chagoura SUD)	52.9
---------------------------------------	-------------

B- Présentation des résultats :

L'interprétation du résultat de chaque gradin est représentée dans le tableau suivant :

Tableau III.12 : les classes du massif rocheux de CHAGOURA SUD

"RMR" CHAGOURA SUD			
GRADIN	01	02	03
RMR %	47.5	58.9	52.5
La classe de la roche	3	3	3
Qualité de la masse rocheuse	Rocher moyen	Rocher moyen	Rocher moyen
Note globale de RMR %	52.9		
Qualité de la masse rocheuse globale	Rocher moyen		

- **Interprétation des résultats :**

Même si que la moyenne des sommes de **RQD** et **RMR** dans chaque gradin est **moyenne** nous notons qu'ils y ont des sections qui on données des qualités pauvres (Rocher médiocre) dans quelques sections ou le faciès sont des Marnes.

III.4 Sélection des familles de discontinuités :

Des méthodes de projection nous permettant de synthétiser et représenter les orientations des discontinuités en 2D. La représentation classique est la projection dans un cercle équatorial selon les méthodes de Wolff ou de Schmidt.

Pour ces méthodes stéréographiques, on s'intéresse au vecteur normal au plan de discontinuité (qui contient à la fois l'information de pendage et l'information d'azimut). Ce vecteur intersecté la sphère de travail (sphère de référence), en un point appelé pôle,

Les méthodes de Schmidt et de Wolff sont deux moyens possibles de projection de ce pôle dans le plan équatorial de la sphère : la projection de Wolff conserve les angles, et permet ainsi d'étudier les relations entre les positions dans l'espace des différentes familles de discontinuités. La seconde conserve les surfaces, et permet d'évaluer la densité des discontinuités en fonction de leur répartition. [7] [18]

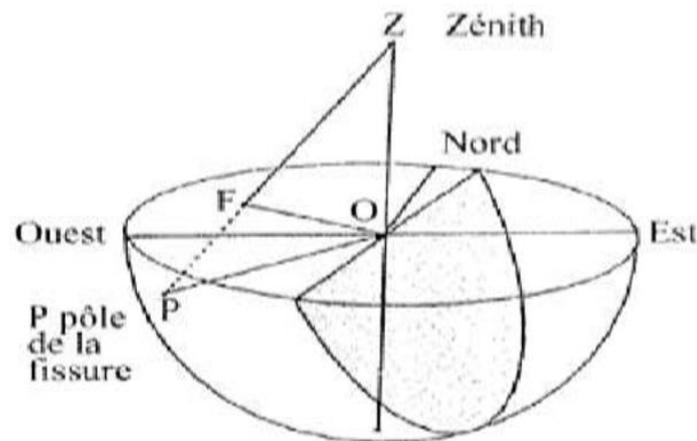


Figure III.1 : Projection de WULFF.

III.5 Représentation stéréographique :

J'ajoute les données des différents levés de fissuration de chaque section dans chaque gradin séparément dans le logiciel de **STEREONET** basé sur la projection stéréographique permettant de synthétiser et représenter les orientations des discontinuités prélevées sur le site étudié.

III.5.1 La projection des pendages et direction des discontinuités de CHAGOURA SUD :

III.5.1.1 La projection des pendages et direction des discontinuités section 01/ gradin 01 :

Les figures suivantes sont des exemples de la projection sur chaque gradin étudié.

Autres exemple sont indiquent dans l'annexe A :

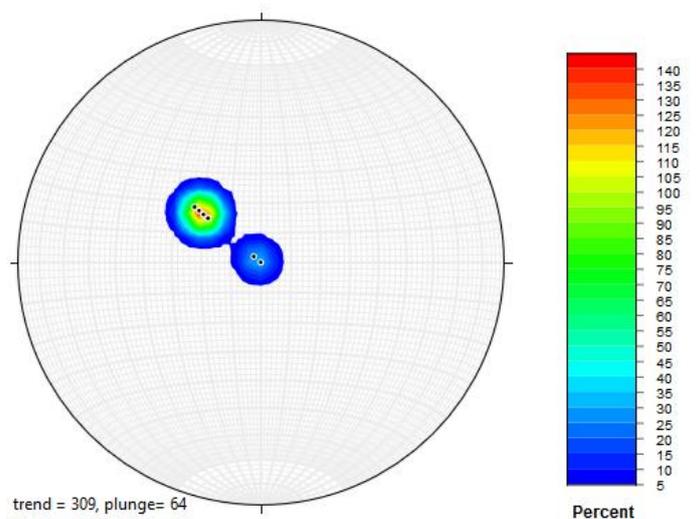


Figure III.2 : Projection stéréographique section 01/ gradin 01

III.5.1.2 La projection des pendages et direction des discontinuités section 01/
gradin 02 :

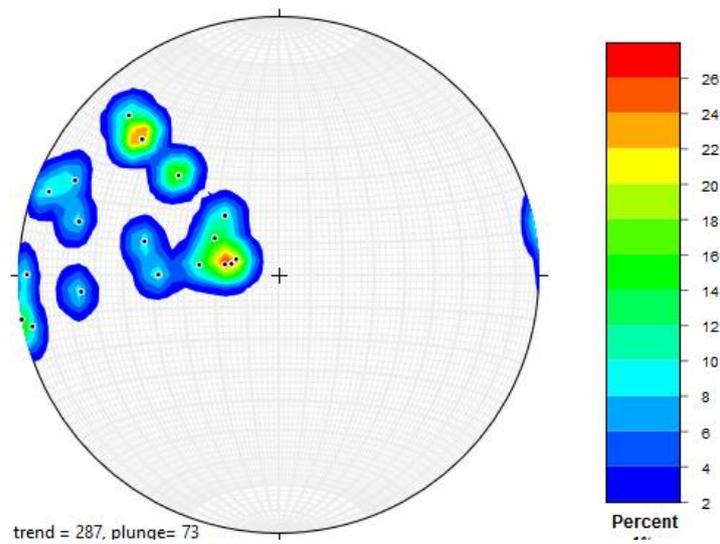


Figure III.3 : Projection stéréographique section 01/ gradin 02

III.5.1.2 La projection des pendages et direction des discontinuités section 01/
gradin 03 :

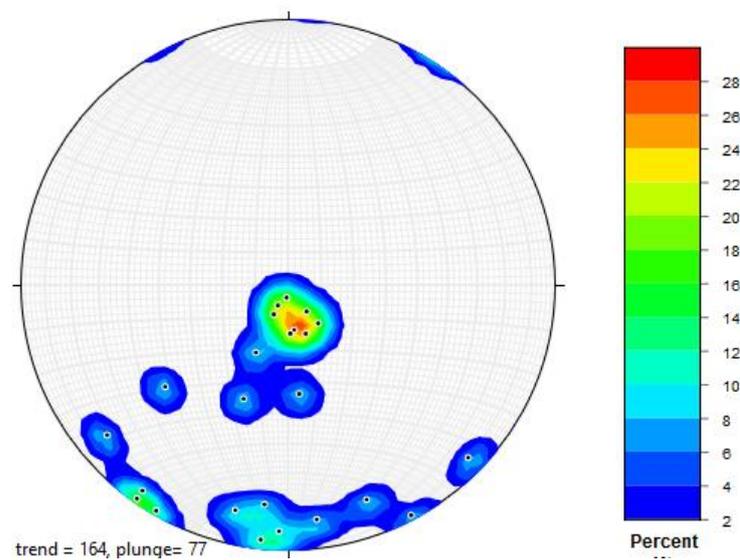


Figure III.4 : Projection stéréographique section 01/ gradin 03

III.5.2 présentation des résultats de la projection :

Tableau III-13 : les résultats des familles trouvés par la projection des différentes Sections de GRADIN 01 :

Section	famille	Direction des joints°	Pendage des joints°	Section	famille	Direction des joints°	Pendage des joints°
01	01	039	026	07	01	260	057
					02	318	012
02	01	030	024	08	01	299	017
					02	297	086
03	01	018	046	09	01	275	087
	02	026	024		02	283	023
04	01	018	040	10	01	286	044
	02	047	033		02	295	063
05	01	302	082	11	01	324	018
	02	301	012		02	005	027
	03	332	076		03	285	084
06	01	305	006				
	02	304	081				
	03	305	048				

Tableau III-14 : les résultats de la projection pour les différentes Sections de GRADIN 02

Section	famille	Direction des joints°	Pendage des joints°	Section	famille	Direction des joints°	Pendage des joints°
01	01	018	016	06	01	287	064
	02	045	064		02	003	082
02	01	332	017	07	01	315	012
					02	343	026
03	01	351	048	08	01	118	066
	02	332	016		02	202	060
04	10	295	030	09	01	267	033
					02	211	070
05	01	286	048	10	01	097	080
	02	292	013		02	109	086
					03	230	047

Tableau III-15 : les résultats de la projection des différentes sections / GRADIN 03

Section	famille	Direction des joints°	Pendage des joints°	Section	famille	Direction des joints°	Pendage des joints°
01	01	254	013	09	01	263	016
	02	303	088				
02	01	290	081	10	01	296	026
	02	016	026		02	299	081
03	01	357	035	11	01	250	014
	02	303	072		01	240	037
	03	251	029				
04	01	251	062	12	01	200	023
05	01	014	014	13	01	080	087
					02	139	009
	01	287	067		03	202	043
06	01	353	029	14	01	123	009
	02	011	005		02	052	069
07	01	342	012	15	01	186	071
					02	062	072
08	01	353	076				
	02	004	079				

III.5.3 l'orientation de la face du talus :

Tableau III-16 : Directions et Pendages des talus des différentes sections

GRADIN 01															
Sections	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	/	/	/	/
Directions	287	287	287	287	306	226	210	203	226	245	245	/	/	/	/
Pendages	80	80	80	75	85	80	75	80	80	85	80	/	/	/	/
GRADIN 02															
Sections	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	/	/	/	/	/

		Pendages	Directions	
		70	305	
		75	305	
		75	284	
		80	180	
		80	180	
		80	180	
		75	203	
		70	51	
		75	46	
		75	70	
		/	/	
		/	/	
		/	/	
		/	/	
		/	/	
		/	/	
		/	/	
GRADIN 03				
		Pendages	Directions	Sections
		70	184	01
		75	230	02
		75	192	03
		80	197	04
		80	247	05
		80	247	06
		75	260	07
		75	220	08
		75	142	09
		80	170	10
		80	150	11
		85	180	12
		85	70	13
		85	37	14
		85	55	15

III.6 Classification SMR (Slope Masse Rating) :

Pour évaluer la stabilité des pentes rocheuses, Romana (1985) a proposé une classification système appelée le système «Slope Mass Rating» (SMR). SMR est obtenu à partir de Bieniawski (RMR) en soustrayant les facteurs d'ajustement de la relation joint- pente et l'ajout d'un facteur selon la méthode d'excavation.

$$SMR = RMR_{Base} + (F_1 \times F_2 \times F_3) + F_4$$

Où RMR de base est évaluée selon Bieniawski (1979, 1989) en ajoutant les évaluations de quatre paramètres. F1, F2, F3 sont des facteurs d'ajustement liés à l'orientation des joints par rapport à l'orientation des pentes, et F4 est le facteur de correction. [8] [10]

- **F1** établie empiriquement, il dépend du parallélisme entre les directions des joints et des talus. Ce facteur peut varier de 1 (quand les deux sont presque parallèles) à 0,15 (quand l'angle entre les deux est plus grand que 30° et que la probabilité de rupture est très faible).

$$F1 = (1 - \sin A)^2$$

A est l'angle entre les directions des joints et du talus.

- **F2** dépend du pendage des joints pour le mode de rupture plan. Les valeurs varient de 1 (pour les joints de plus de 45° de pendage) à 0,15 (pour les joints de moins de 20° de pendage). Dans le cas du « toppling », le facteur reste égal à 1. Il est également été établi empiriquement par l'équation suivante :

$$F2 = \tan \beta_j$$

β_j est le pendage des joints.

- **F3** est lié à la relation entre la pente du talus et le pendage des joints. Pour ce paramètre, il y a également lieu de faire la différence entre une rupture plane et une rupture par toppling.

Pour l'échec renversement, les conditions défavorables dépendent de la somme des joints et le β_j . Les valeurs des facteurs d'ajustement F_1 , F_2 , F_3 pour différente orientation communes sont données dans la figure

- **F4** se rapporte à l'adaptation de la méthode de l'excavation il comprend de coupe creusée par pré-découpage, grenailage lisse, grenailage normal, pauvre dynamitage et d'excavation mécanique.
 - Les pentes naturelles sont plus stables, en raison de l'érosion de longue date et une protection intégrée mécanismes (végétation, croûte dessiccation) $F_4=15$
 - Grenailage normal appliqué aux méthodes conditions ne change pas la stabilité des pentes : $F_4= 0$
 - Déficient ou dommages à la stabilité des pentes : $F_4= -8$

Excavations mécaniques des pentes, généralement en cas de déchirure, la roche très fracturée est souvent combinée avec des explosifs préliminaires. Le plan de la pente est difficile à terminer. La méthode n'augmente ni ne diminue la pente de $F_4 = 0$ [8] [10]

Note : les tableaux du système de classification SMR sont représentés dans L'Annexe

A. la classification du massif rocheux de chaque gradin par le système SMR :

Tableau III-17 : Exemple de classification Section 05 / gradin 01

SMR pour Section 05 / gradin 01			
Les familles	1 ^{er} famille de la discontinuité	2 ^{eme} famille de la discontinuité	3 ^{eme} famille de la discontinuité
Pendage du joint	82	12	76
Pendage du talus	85	85	85
Direction du joint	302	301	332
Direction du talus	306	306	306
RMR_B	51.5	51.5	51.5
SMR = RMR_B + (F1+F2+F3) +F4			
F1	0.85	0.85	0.4
F2	1	0.15	1
F3	-50	-60	-50
F4	-8	-8	-8
SMR	1	36	24

Les résultats de SMR de gradin 01 sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau III-18 : les résultats de SMR du défèrent Sections de GRADIN 01

Section	famille	SMR	SMR (moy)	Section	famille	SMR	SMR (moy)
01	01	22	22	07	01	45	49
					02	53	
02	01	22	22	08	01	53	53
					02	53	
03	01	8	11	09	01	44	42.5
	02	14			02	41	
04	01	31	32	10	01	31	30.5
	02	33			02	30	
05	01	1	20.3	11	01	39	36
	02	36			02	36	
	03	24			03	33	
06	01	46	43.3				
	02	46					
	03	38					

Les résultats de SMR de gradin 02 sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau III-19 : les résultats de SMR du défrent Sections de GRADIN 02

Section	famille	SMR	SMR (moy)	Section	famille	SMR	SMR (moy)
01	01	42	39	06	01	36	40
	02	36			02	44	
02	01	47	47	07	01	49	48
					02	47	
03	01	34	37.5	08	01	54	36.5
	02	41			02	19	
04	10	38	38	09	01	59	58.5
					02	58	
05	01	32	36	10	01	48	48
	02	40			02	48	
					03	48	

Les résultats de SMR de gradin 03 sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau III-20 : les résultats de SMR du défrent Sections de GRADIN 03

Section	famille	SMR	SMR (moy)	Section	famille	SMR	SMR (moy)
01	01	43	40	09	01	43	43
	02	37			02	39	
02	01	39	57	10	01	36	37.5
	02	36			02	39	
03	01	32	34.3	11	01	63	55,5
	02	37			01	48	
	03	34					
04	01	34	34	12	01	40	40
05	01	40	36.5	13	01	55	54.6
	01	33			02	58	
					03	51	
06	01	26	35.5	14	01	57	36.5
	02	45			02	16	
07	01	44	44	15	01	45	28
					02	11	
08	01	29	29				
	02	29					

III.7 L'indice GSI (Geological Strength Index):

L'indice GSI sert à estimer la réduction de résistance du massif rocheux pour différentes conditions géologiques. Le système donne une valeur GSI estimée à partir de la structure du massif et des conditions de surface des discontinuités. L'application directe de la valeur GSI sert à estimer les paramètres du critère de résistance de Hoek-Brown pour les massifs rocheux. [7] [9]

Tableau I-21 : Qualité du massif rocheux selon la valeur du GSI [8]

Valeur du GSI	76-85	56-75	41-55	21-40	<20
Qualité du massif rocheux	Très bonne	Bonne	Moyenne	Mauvaise	Très mauvaise

À partir de l'observation directe de la structure du massif rocheux dans les trois gradins de quartier Chagoura Sud, le GSI (Annexe C) varie d'une qualité "très mauvaise à Mauvais" dans les sections ou la Marne et dominante, "Moyenne" dans les sections ou le fer et prépondérant et d'une très bonne pour la présence de Calcaire.

Les résultats de la classification sont présentés dans les tableaux ci-dessous :

Tableau III.22: le GSI et la qualité de la roche pour chaque Section de GRADIN 01

Section	GSI	Qualité de la roche	Section	GSI	Qualité de la roche
01	30	Mauvais	07	65	Bonne
02	30	Mauvais	08	45	Moyenne
03	25	Mauvais	09	45	Moyenne
04	50	Moyenne	10	45	Moyenne
05	50	Moyenne	11	65	Bonne
06	55	Moyenne			

Tableau III.23: le GSI et la qualité de la roche pour chaque Section de GRADIN 02

Section	GSI	Qualité de la roche	Section	GSI	Qualité de la roche
01	35	Mauvais	08	60	Bonne
02	45	Moyenne	09	60	Bonne
03	40	Mauvais	10	60	Bonne
04	30	Mauvais	11	50	Moyenne
05	15	Très Mauvais	12	60	Bonne
06	60	Bonne	13	70	Bonne
07	50	Moyenne	14	70	Bonne

Tableau III.24: le GSI et la qualité de la roche pour chaque Section de GRADIN 03

Section	GSI	Qualité de la roche	Section	GSI	Qualité de la roche
01	45	Moyenne	09	60	Bonne
02	45	Moyenne	10	50	Moyenne
03	50	Moyenne	11	65	Bonne
04	45	Moyenne	12	50	Moyenne
05	50	Moyenne	13	70	Bonne
06	50	Moyenne	14	70	Bonne
07	60	Bonne	15	65	Bonne
08	40	Mauvais			

III.8 Indice d'évaluation des talus rocheux (Slope Quality Index "SQI"):

Un système novateur appelé Slope Quality Index (SQI) qui intègre l'évaluation d'un large éventail de facteurs internes et externes liés à la qualité et à la stabilité des pentes a été élaboré.

Le système était fondé sur le système de Liu et Chen (2007) en ajoutant un plus grand nombre de facteurs et de paramètres. Chacun de ces facteurs a un poids différent, ce qui donne des valeurs SQI allant de 1 à 5, traduisant respectivement de

très bonnes à de très mauvaises conditions de qualité de pente. Cette approche permet une évaluation qualitative et quantitative de la qualité des pentes.

Tableau I-25 : Système SQI pour les pentes rocheuses : classification qualitative et quantitative. [11]

SQI	État de la pente
[1; 1,4]	Très bien
[1,5; 2,4]	Bon
[2,5; 3,4]	Moyen
[3,5; 4,2]	Mauvais
[4,3; 5]	Très mauvais

A. Présentation des résultats:

Les résultats de SQI de trois faciès (Maren, Fer, Calcaire) sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau III.26 : l'État de stabilité dans différents faciès CHAGOURA SUD.

Classification SQI			
N° de gradin \ section	G01 \ 01	G02 \ 10	G03 \ 013
faciès	Maren	Fer	Calcaire
Valeur de "SQI"	3.25	2.8	2.7
État de la pente	Moyen	Moyen	Moyen

B. Interprétation des résultats:

La description de l'état de pente atteinte par le facteur de la classification "SQI" montre une stabilité moyenne dans tous les faciès de quartier CHAGOURA SUD mais à cause de la correspondance et le rapprochement sur les données (Géométrique, System de drainage, Environnemental, Trafic et sismique et la protection) ainsi l'insuffisance des données (surveillance, conservation et maintenance), les valeurs trouvées pour les deux faciès (Fer et Calcaire) sont très proches et de même ordre qui varie de 2,7 et 2,8 sauf pour la marne on constate que la valeur est élevée par rapport

aux autres fasciés qui est de la catégorie des mauvaises qualités et qui sont proches de la valeur de 3,5

III.9 Conclusion :

L'étude détaillée établie pour les trois gradins de la mine dans le quartier CHAGOURA Sud par les méthodes géomécaniques et empiriques nous a permis de tirer les constatations suivantes :

L'application des méthodes géomécaniques (les systèmes de classification RQD, RMR, GSI) nous a permis de classer les faciès en trois catégories à savoir pour le Calcaire et le Fer ont une classe de qualité moyenne à bonne et pour la Marne on a trouvé une mauvaise ou très mauvaise catégorie;

Pour la classification SMR une projection stéréographique a été réalisée pour connaître le nombre de famille d'où on a constaté la présence d'une famille à deux familles diffuses de discontinuité dans les trois gradins qui influent sur la stabilité des gradins surtout sur les zones où il y a présence ou domination des Marnes.

L'application de la classification SQI nous montre que les valeurs trouvées pour les deux fasciés (Fer et Calcaire) sont très proches et de même ordre qui varie de 2,7 et 2,8 sauf pour la marne on constate que la valeur est élevée par rapport aux autres fasciés qui est de la catégorie des mauvaises qualités et qui est proche de la valeur de 3,5 ; d'où on peut dire que l'insuffisance des données (surveillance, conservation et maintenance) les facteurs géologiques et historiques dans l'application de SQI, influent considérablement sur les résultats trouvés.

Finalement, on peut conclure que les méthodes de caractérisation géomécaniques des massifs rocheux (RQD, RMR, SMR, GSI et SQI) où les deux premières méthodes RQD et RMR fournissent une caractérisation globale sur l'état du massif rocheux par contre les autres méthodes nous permettent de bien caractériser le massif rocheux et d'évaluer l'état de stabilité des gradins à cause de la prise en compte des facteurs qui influent considérablement sur la stabilité tel que la présence des discontinuités, leurs nombres de famille ; leurs orientations et pendages, ainsi que la surveillance, la conservation et maintenance des gradins, sans oublier les facteurs géologiques et historiques et les types des glissements qui ont affecté la mine ; les résultats trouvés sans satisfaisants et indiquent que la zone la plus fragile et

CHAPITRE III Caractérisation géomécaniques du massif rocheux

susceptible de glissée et cause un risque d'instabilité dans la carrière est le faciès marneux donc il est nécessaire de réaliser une analyse de stabilité et d'évaluer le coefficient de sécurité et proposés les solutions adéquates de stabilisation et d'amélioration de la stabilité des gradins .



CHAPITRE IV :
Modélisation
numérique de la
stabilité des gradins
de la mine

جامعة العربي التبسي - تبسة
Université Larbi Tébessi - TEBESSA

IV.1 Introduction :

Les logiciels informatiques de nos jours développés facilitent la prise en compte de tous les paramètres physiques et mécaniques et géométriques et conduisent à des solutions générales plus réalistes de la stabilité des pentes. Ces logiciels peuvent utiliser à la fois les lois d'équilibre limite et les méthodes des éléments finis pour décrire correctement le comportement des sols.

Dans le cadre de cette étude, on a entamé le calcul par deux logiciels : PLAXIS et Roc-science. L'utilisation de ces logiciels va nous permettre de modéliser les gradins de la mine d'EL OUENZA, en appliquant les résultats des analyses expérimentales et paramétriques des roches composant le massif et la géométrie réelle du site.

IV.2 Introduction au programme PLAXIS :

Le développement du PLAXIS code commence en 1987 à l'Université Technique de Delft, en Holland, comme initiative du « Dutch Département of Public Works and Water Management ». L'idée initiale été de développé un simple code en éléments finis pour l'analyse des problèmes géotechniques des sols argileux. Plus tard, le PLAXIS était développé pour permettre l'analyse de presque tous les problèmes de géotechnique. Ces analyses peuvent permettre d'introduire des modèles sophistiqués pour la modélisation du comportement du sol, utilisant les vrais paramètres du sol, dans l'objectif est de déterminer les forces, les déplacements et les contraintes.

Relativement à d'autres programmes d'éléments finis, le PLAXIS était développé spécialement pour l'analyse des déformations et stabilité dans les problèmes géotechniques. La simple procédure d'introduction des données permet le développement rapide de modèle d'éléments finis très complexe.

Pour réaliser des analyses numériques en utilisant le PLAXIS, l'utilisateur doit créer un modèle d'éléments finis et de spécifier les propriétés des matériaux ainsi que les conditions aux limites. Le calcul est automatique et est basé sur une robuste procédure numérique.

Le plan général du programme PLAXIS est présenté dans l'organigramme (voir la figure IV.1) donne une brève description de ce programme.

PLAXIS-Input : le sous-programme Input appelé aussi le pré-processing programme contient les toutes facilités nécessaires à la création et modification des modèles géométriques, à l'engendrement des maillages des éléments finis et à la définition des conditions initiales.

PLAXIS-Calculations : la procession programme ou le sou programme de calculs contient les facilités utiles à la définition des phases et au commencement de la procédure de calcul des éléments finis.

PLAXIS-Output : ou le programme post- processing contient les facilités pour la visualisation des résultats de la phase de calculs, comme les déplacements au niveau des nœuds, les contraintes les forces au des éléments structuraux, etc.

PLAXIS-Curves : le sou programme Curves sert à la construction des courbes de chargement – déplacement, des chemins de contraintes, en plus de divers autres diagrammes.

Les performances et exactitudes des résultats produits par le PLAXIS ont étaient validées par des analyses des problèmes avec solutions analytiques connues. Des prédictions on était faites avec des analyses de structures à échelles réelles dotées de capteurs divers, pour estimer l'exactitude des résultats numériques donnés par le PLAXIS Code. La plupart des analyses de projets et études comparatives relatives aux performances et exactitudes des résultats du PLAXIS sont régulièrement publiées dans le bulletin du PLAXIS, et dans la colonne de Vermeer.

On plus les performances du PLAXIS à étaient aussi comparés à d'autres programmes géotechniques commerciaux dont la solution est basée sur la méthode des éléments finis, comme GEO - FEM programme et Z-Soil.

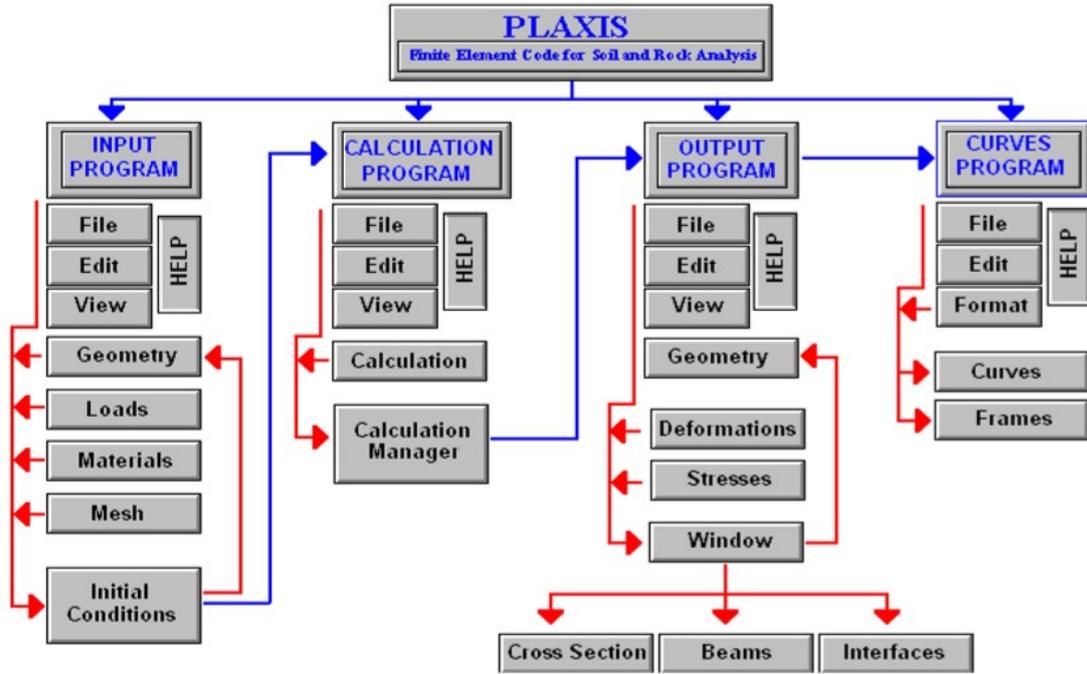


Figure IV.1 : Organigramme du code PLAXIS.

IV.2.1 Les modèle incorporé dans le PLAXIS :

Le PLAXIS code version 8.2 utilisée dans la présente investigation contient les modèles constitutifs des sols suivants :

IV.2.1.1 Le modèle élastique linéaire (EL) :

Le comportement mécanique des sols peut être modélisé à différents niveaux d'exactitude. La loi de Hook, par exemple est la plus simple relation contrainte-déformations disponible. Cette loi considère le matériau comme étant linéaire, isotropique et élastique. Le comportement est caractérisé par le module de Young, E , et le coefficient de Poisson (ν). Cette loi est trop simple pour modéliser le comportement réel des sols.

IV.2.1.2 Le modèle de Mohr -Coulomb (MCM) :

Le modèle de Mohr -Coulomb, ou modèle elasto-plastique est un modèle constitutif de sol qui inclus cinq paramètres caractéristiques du sol, i.e. le module de Young, E , le coefficient de Poisson, ν sont représentatifs de l'élasticité du sol, l'angle de frottement interne ϕ et la cohésion, c , sont représentatifs de la plasticité du sol, ψ est un paramètre qui représente la dilatace du sol. Le modèle de Mohr - Coulomb est

considéré comme un modèle de première approximation du comportement du sol, et recommandé pour les analyses primaires des problèmes géotechniques.

Dans le plan de Mohr, la droite intrinsèque est représentée par :

$$\tau = \sigma n \tan\phi + c$$

Où (σn) et (τ) sont respectivement les contraintes normales et de cisaillement, et (c) et (ϕ) respectivement la cohésion et l'angle de frottement du matériau.

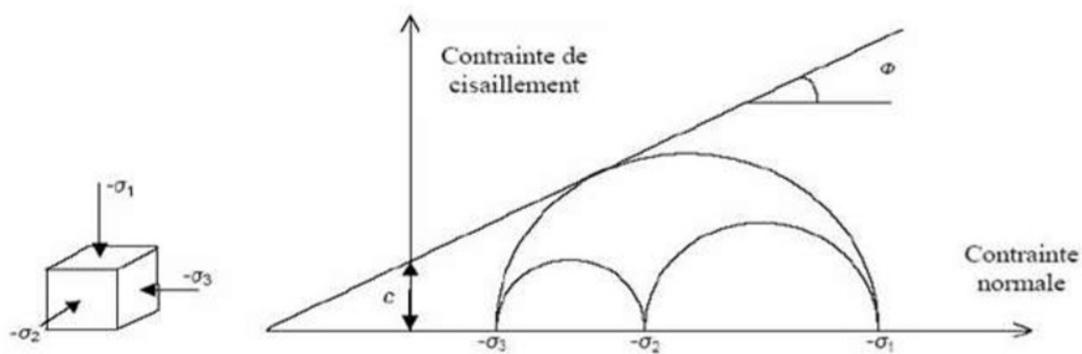


Figure IV.2 : Courbe intrinsèque du modèle de Mohr- Coulomb.

IV.2.1.3 Modèle de durcissement par écouissage isotropique 'Hardening-Soil model' (HSM) :

Le modèle de durcissement par écouissage isotropique ou 'Hardening-soil model' est un modèle beaucoup plus développé que le modèle de Mohr –Coulomb, les états limites de contraintes sont présentés par l'angle de frottement, la cohésion, c'est l'angle de dilatance, ψ .

La rigidité du sol est quantifiée plus précisément par l'utilisation de trois différents paramètres de rigidité :

- La rigidité de chargement triaxiale, **E50**,
- La rigidité de déchargement triaxiale, **Eur**
- La rigidité de chargement œdométrique, **Eoed**.

Par rapport au modèle de Mohr–Coulomb, le HSM prend en considération la dépendance aux contraintes, du module de rigidité, ce qui signifie que les rigidités augmentent avec la pression.

❖ **Paramètres du HSM :**

Les paramètres du HSM sont les suivantes:

c : cohésion (effective) ;	[kN/m ²]
φ : angle de frottement interne effectif ;	[°]
ψ : angle de dilatance.	[°]

❖ **Paramètres de rigidité:**

E_{50ref} : module sécant dans un essai triaxial ; [kN/m²]

E_{oedref} : module tangent dans un essai œdométrique ; [kN/m²]

m: Puissance (environ 0,58 pour les sables)

- Janbu (1963) rapporte des valeurs de m autour de 0.5 pour les sables et les silts norvégiens,
- Von Soos (1980) rapporte de diverses différentes valeurs dans la gamme

$$0,5 < m < 1,0$$

IV.2.1.4 Modèle des sols doux ou ‘Soft–Soil–Creep model’ (SSCM) :

Le modèle SSCM, est convenable pour tous les sols, mais ne prends pas en considération l’effet de la viscosité, c'est-à-dire le fluage et la relaxation des contraintes. En réalité, tous les sols exhibent un certain fluage et une compression initiale est souvent suivie par une certaine quantité de compression secondaire. Cette compression est plus dominante dans les sols doux, les argiles normalement consolidées, les vases et les tourbes.

Quelques caractéristiques de base du SSC modèle sont : rigidité dépendante des contraintes, distinction entre la compression de chargement et déchargement – rechargement, compression secondaire dépendante du temps, contrainte de préconsolidation, rupture selon le critère de Mohr – Coulomb.

IV.2.2 Le modèle numérique du calcul de glissement par PLAXIS :

IV.2.2.1 Définition des données :

Nous allons réaliser une étude bidimensionnelle (déformation plane) d'un glissement de terrain.

IV.2.2.2 La géométrie des modèles :

On va créer trois modèles géométriques, la géométrie de ces modèles est représentée dans le tableau et les figures suivantes :

Tableau IV.1 : Les valeurs géométriques des modèles qui nous allons réaliser.

La géométrie des Modèles			
N° des gradins	La hauteur	La largeur	L'angle d'inclinaison De gradin
1 seul gradin	25	32	75
3 gradins	60	85	75
9 gradins	165	200	75

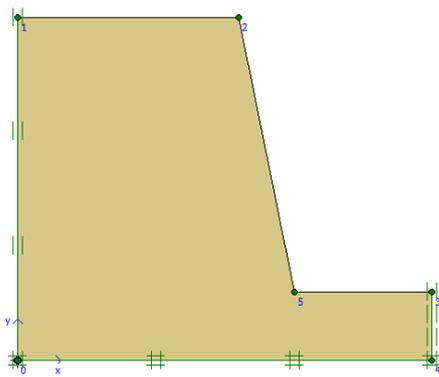


Figure IV.3: forme géométrique (1 seul gradin)

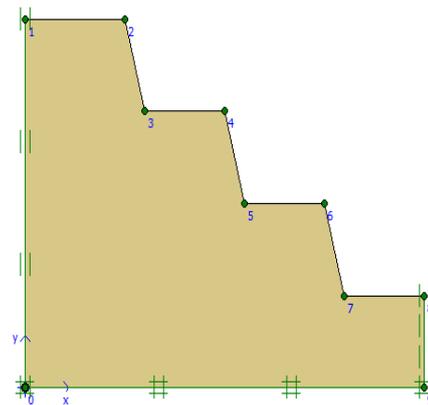


Figure IV.4: forme géométrique (3 gradins).

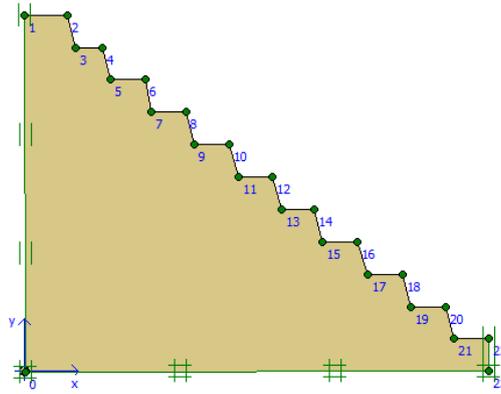


Figure IV.5: forme géométrique (9 gradins).

IV.2.2.3 Les conditions aux limites :

Les conditions aux limites choisies par défaut (on bloque les déplacements horizontaux dans les côtes du système et on laisse les déplacements verticaux libres; tandis le déplacement de la base sont entièrement bloqué (voir figure précédente).

IV.2.2.4 Caractéristiques des matériaux :

Le terrain est formé par trois couches (Marne, calcaire, Fer) composent la géologie du site, à cause de l'arrangement de ces couches (sub-vertical), et à partir des résultats de classification des massifs rocheux on a choisir la couche de la marne qui est de mauvaise qualité.

Les propriétés de couche de la Marne sont regroupées dans le tableau suivant :

Tableau IV.2 : Les caractéristiques de la Marne.

Les caractéristiques de la Marne									
Name	Type	g_unsat	g sat	K x	K y	ν	E_ref	c_ref	ϕ
		[kN/m]	[kN/m]	[m/day]	[m/day]	[-]	kN/m ²	kN/m ²	[°]
Marn e	drainer	20.5	21	10 ⁻⁶	10 ⁻⁶	0.3	3.282×10 ⁶	17	10

IV.2.2.5 Générations du Maillage:

L'étape consiste à discrétiser la géométrie de la pente en élément fini. Le modèle de référence se fait part des éléments à 6 nœuds. Le nombre d'éléments est de (676) éléments et le nombre des nœuds est de (1435) nœuds, le maillage est (global Coarseness).

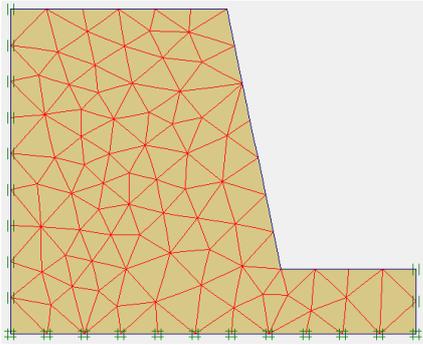


Figure IV.6: le maillage de
(1 seul gradin).

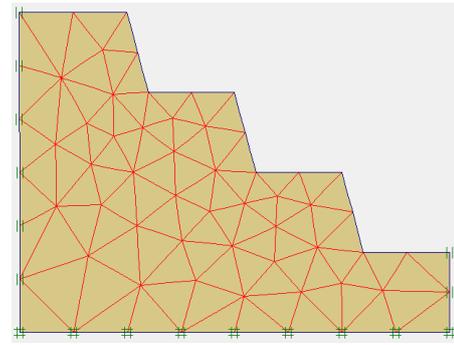


Figure IV.7: le maillage de
(3 gradins).

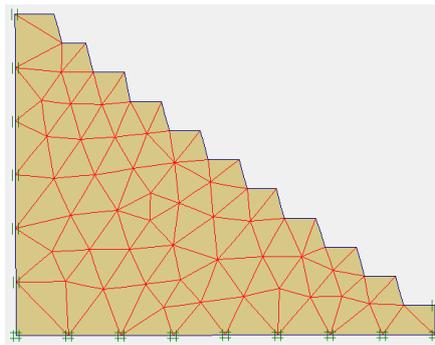


Figure IV.8: le maillage de
(9 gradins).

IV.2.2.6 Conditions initiales :

Les conditions initiales nécessitent la génération des pressions interstitielles initiales ainsi que des contraintes initiales.

a) Conditions hydrauliques :

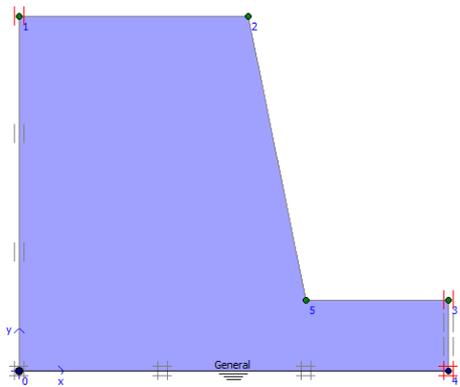


Figure IV.9 : les conditions
Hydrauliques (1 seul gradin).

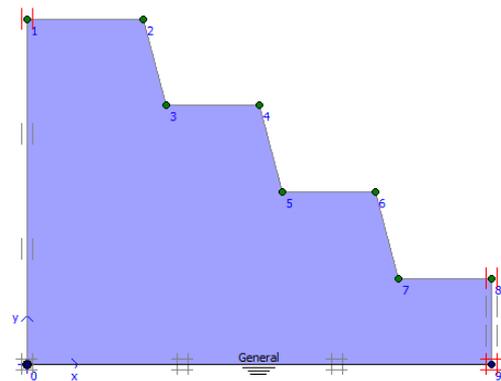


Figure IV.10 : les conditions
Hydrauliques (3 gradins).

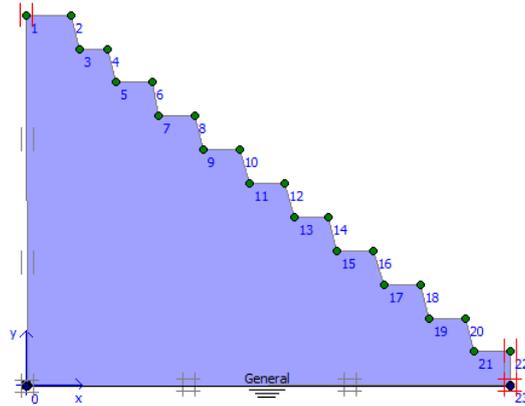


Figure IV.11 : les conditions

Hydrauliques (9 gradins).

b) Contraintes initiales :

Pour le calcul des contraintes initiales, on génère alors les contraintes initiales en prenant les valeurs de K0 par défaut. La valeur de K0 est proposée automatiquement d’après la formule de Jaky. On garde le poids du sol à 1, ce qui correspond à une application totale de la gravité.

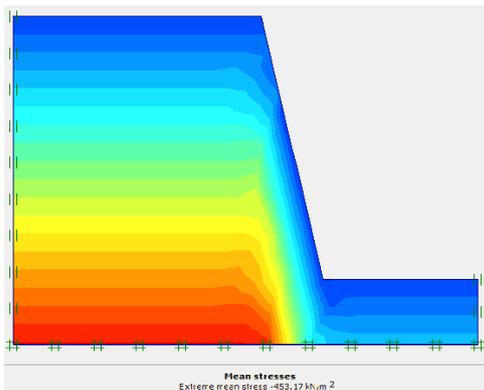


Figure IV.12 : la distribution des Contraintes totales (1 seul gradin).

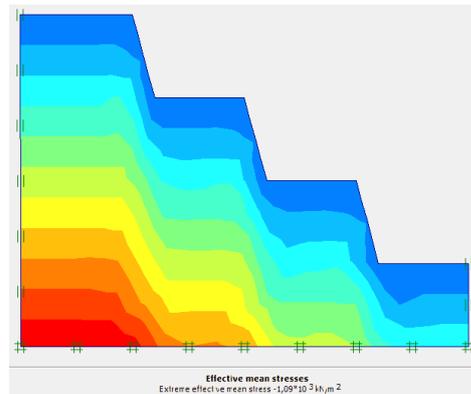


Figure IV.13 : la distribution des Contraintes totales (3 gradin).

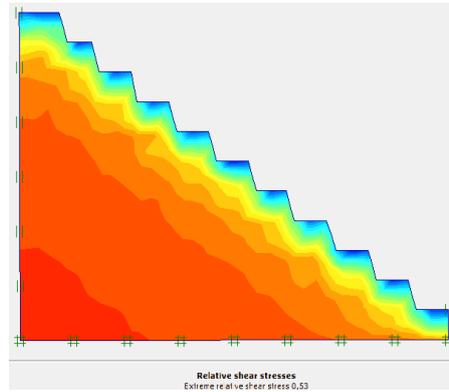


Figure IV.14 : la distribution des Contraintes totales (9 gradins).

IV.2.2.7 Procédure des calculs :

Le calcul du modèle de référence se fait défini en une seule phase comme suite :

- Phase 1 : calcul de glissement (c / Φ réduction)

Les procédures de calculs sont présentées dans la figure ci-dessous :

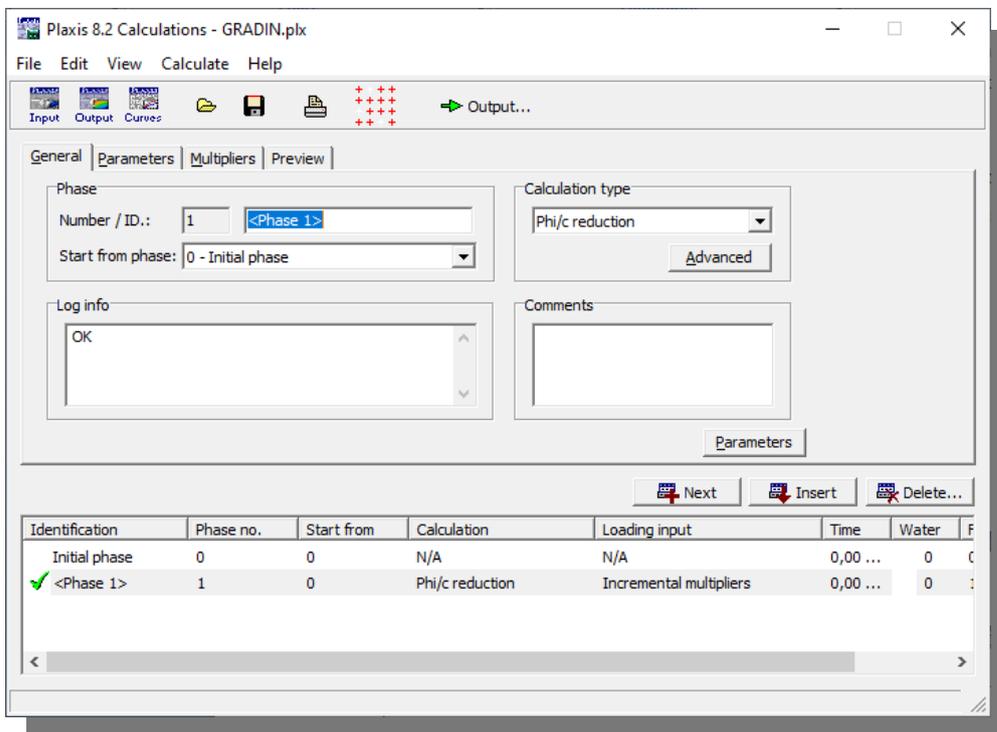


Figure IV.15 : les procédures de calculs.

IV.2.2.8 Les résultats de la modélisation :

On s'intéressera à deux types de déformation : déformation de forme et déformation interne telle que :

1. Déformation de maillage.

2. Déformation des couches de sol : le coefficient de sécurité.

Nous allons donner les résultats du modèle géométrique d'un seul gradin, 3 et 9 gradins.

➤ **La déformation de maillage et des éléments :**

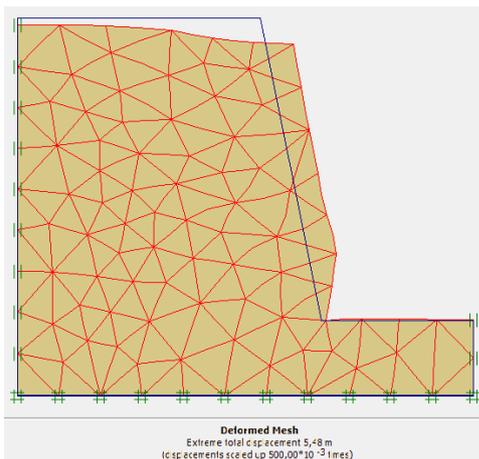


Figure IV.16 : déformées mesh

(1 seul gradin).

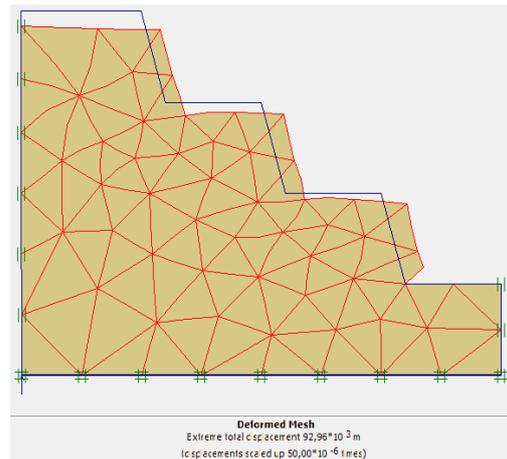


Figure IV.17 : déformées

mesh (3 gradins).

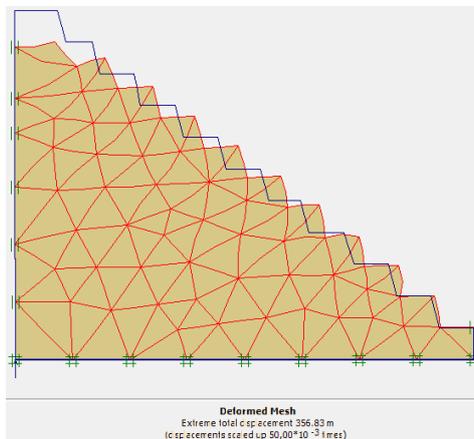


Figure IV.18 : déformées mesh (9 gradins).

➤ **Les déformations de cisaillement :**

Les résultats des déformations trouvées et l'allure des cercles de glissements indiquent que le gradin est instable pour une hauteur de 15 m ;

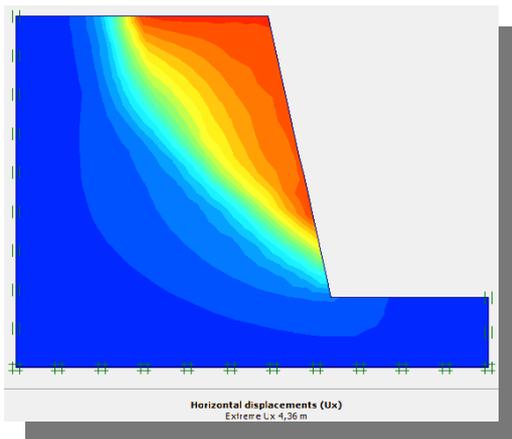


Figure IV.19 : Les déformations de Cisaillement (1 seul gradin).

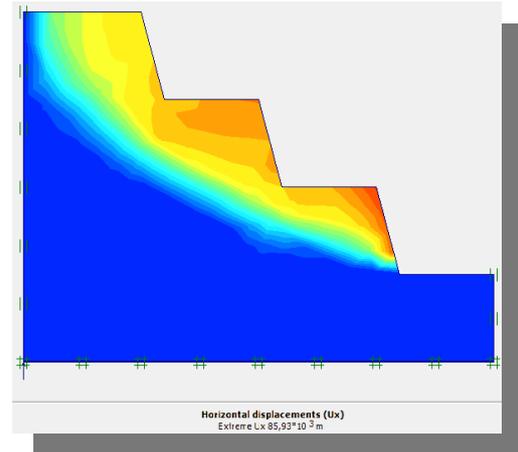


Figure IV.20 : Les déformations de Cisaillement

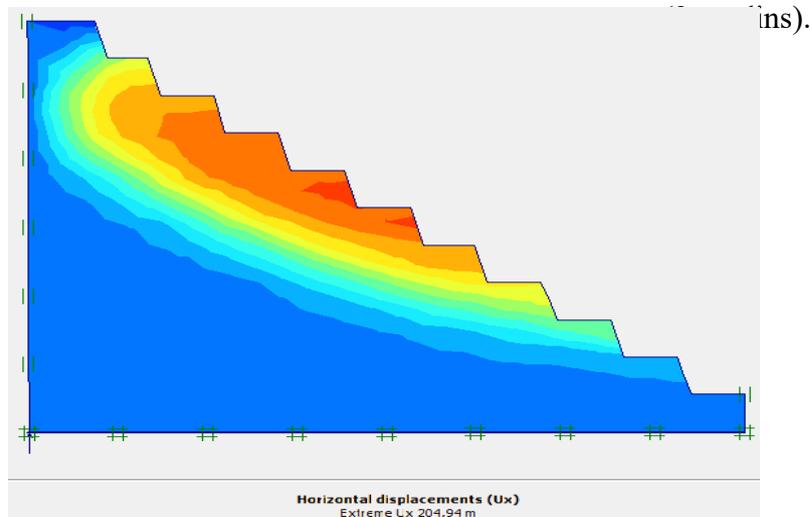


Figure IV.21 : Les déformations de cisaillement (9 gradins).

➤ **La valeur de coefficient de sécurité FS :**

La valeur du coefficient de sécurité trouvé indique premièrement que la pente est instable dans l'état sec pour une hauteur d' $h = 15$ m est un angle de 75° , cette valeur et presque celle trouvée pour tous les modèles.

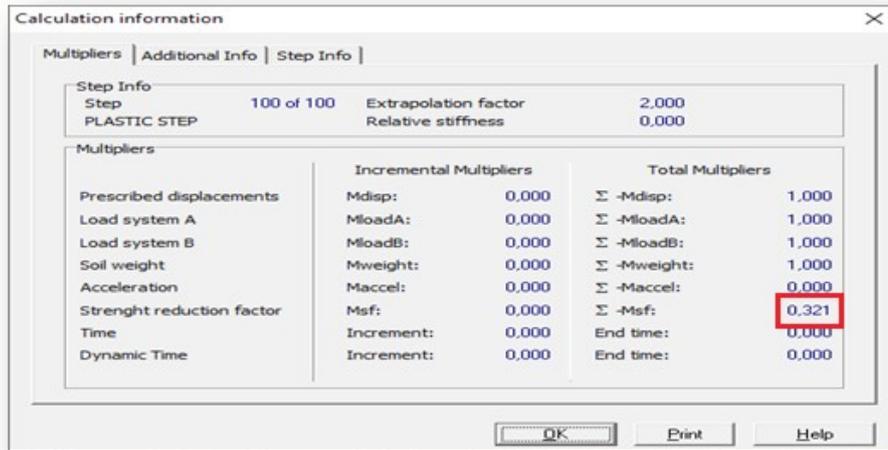


Figure IV.22 : la valeur de FS (1 seul gradin).

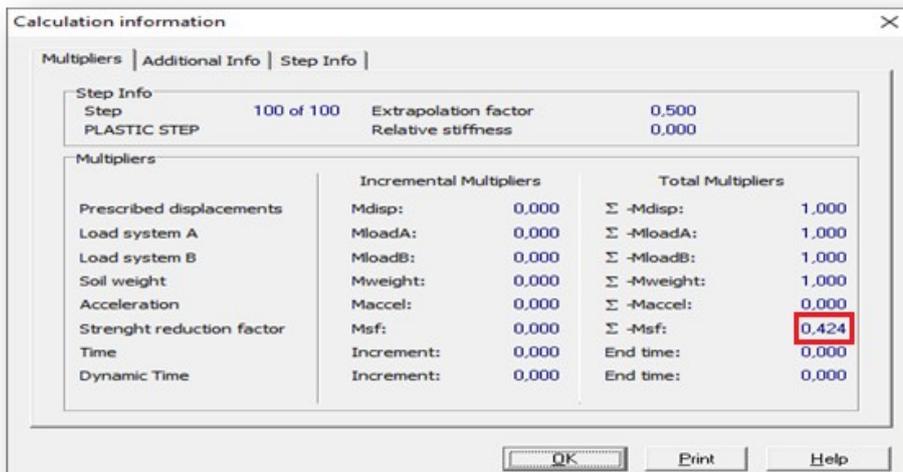


Figure IV.23 : la valeur de FS (3 gradins).

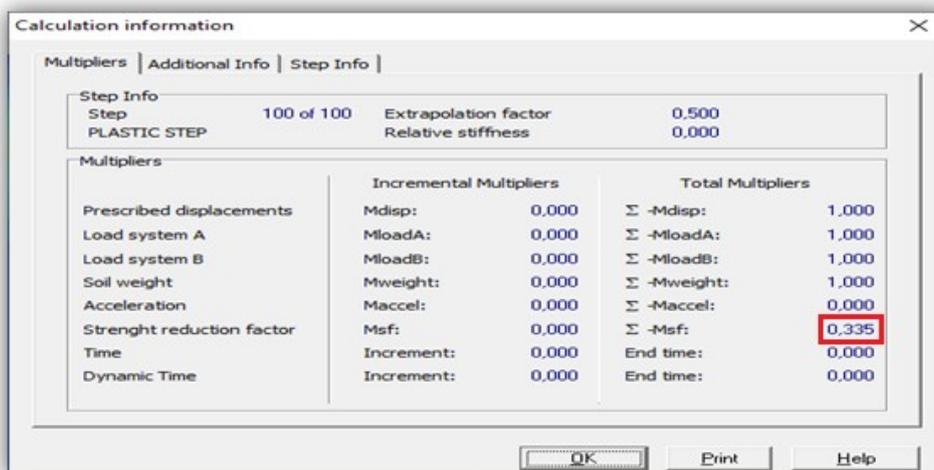


Figure IV.24 : la valeur de FS (9 gradins).

V.3 Introduction au programme GEO-STUDIO:

GEO-SLOPE, développé par Géo-Slope International LTD, est un programme de calcul de stabilité des pentes qui permet de modéliser des problèmes de géotechnique et de géo-environnement. Ce programme de conception assistée par ordinateur permet d'utiliser la méthode des tranches pour déterminer le facteur de sécurité des massifs en pente constitués d'une ou de plusieurs couches de sol, avec ou sans présence de nappe, avec ou sans sollicitations sismiques, avec ou sans succion, etc. Dans son architecture globale, ce programme est composé de huit modules ou sous codes distincts. Voici une brève de ces différents modules :

SLOPE/W : calcul des facteurs de sécurité d'une pente en utilisant les méthodes d'analyses classiques (Bishop, Janbu, Spencer, Morgenstern-Price, ...);

SEEP/W : calcul, analyse et évalue, grâce à un modèle par éléments finis, les pressions interstitielles d'eau ;

QUAKE/W : modélisation par éléments finis du comportement du sol sous séisme ;

SIGMA/W : analyse par éléments finis des problèmes de contraintes-déformations ;

TEMP/W : analyse des problèmes géothermiques des sols ;

CTTRAN/W : modélisation du mouvement d'une contamination dans des matériaux poreux ;

AIR/W : analyse des interactions entre l'eau et l'air du sol dans des matériaux poreux ;

VADOSE/W : analyse de flux en dessous de la surface du sol, dans la vadose non saturée et qui rejoignent le régime de l'eau dans le sol.

Le choix de ce logiciel a été motivé par sa diversité du fait qu'il est constitué d'une suite de différents modules qui peuvent être utilisés pour des problèmes variés, par sa performance, sa souplesse, etc.

Dans notre travail, le sous-code qui nous intéresse c'est SLOPE/W. Ce module permet de décrire la géométrie du problème, la stratigraphie du site, les paramètres de résistances des sols et de modéliser la saturation ou la non saturation du sol.

V.3.1 Le fonctionnement du logiciel :

Le présent logiciel comme tous les autres programmes de calcul servent à fournir des résultats issus d'un nombre défini des paramètres, donc il est nécessaire de suivre les étapes suivantes pour l'achèvement de l'opération de calcul :

1. Define: Cette étape est très importante, car on va définir le problème et introduire les différentes données spécifiques au problème en vigueur.

➤ **Set :**

- La délimitation de la surface du travail.
- La définition de l'échelle.
- La définition des réseaux.
- La détermination du zoom.
- La fixation d'axes.

➤ **Keyln :**

- La spécification des méthodes d'analyses.
- La spécification des options d'analyse.
- La définition des propriétés du sol.

➤ **Draw :**

- . Le dessin des points
- . Le dessin des lignes
- . La détermination de ligne piézométrique
- . Le dessin du rayon de la surface de rupture
- . Le dessin des réseaux de la surface de rupture

➤ **Sketch :**

- La réalisation de l'esquisse du problème
- Étiquetage du sol
- Rajout d'un titre d'identification du problème
- Éclaircir les ténèbres d'identification

➤ **Modify:** cette instruction permet aux utilisateurs de rajouter, éliminer, supprimer et modifier des objets dans le problème.

- **Tools** : à l'aide de cette icône on peut vérifier toutes les données de ce problème ainsi faciliter l'accès pour sa résolution.
- **Saving** : dès l'achèvement du processus de définition du problème, il faut sauvegarder ces données sous forme d'un fichier.

2. Solve :

C'est l'étape de résolution du problème, à l'aide des méthodes classiques et la méthode des éléments finis et à partir des données introduites, on détermine le coefficient de sécurité F_s .

3. Contour : C'est l'étape chargée de traduire les différents résultats sous une forme graphique; et afficher ces résultats.

V.3.2 Modélisation par le sous-code SLOPE/W :

La modélisation dans le sous code SLOPE/W a commencé par l'importation des modèles géométriques retenus pour les trois exemples qui font l'objet de notre étude. Par la suite nous avons défini les paramètres physico-mécaniques (**tableau IV.3**) qui caractérise les couches géologiques représentées dans ces modèles. Ensuite, nous avons déterminé le coefficient de sécurité par une des méthodes d'équilibre limite utilisées dans le sous-code SLOPE/W. En effet, dans ce modèle nous utilisant la méthode de Morgenstern-Price ; SLOPE/W calcule le facteur de sécurité de la pente.

Pour notre cas de modélisation, nous considérons une approche dans laquelle la stabilité du modèle est étudiée sous l'action seule du poids propre du massif et sans l'influence de la nappe d'eau, sans la pluviométrie et sans l'effet sismique dû aux tirs à l'explosif.

IV.3.2.1 La géométrie et paramètres géotechniques des modèles :

On va utiliser les mêmes Paramètres géométriques mentionner dans le tableau (Tableau IV.1) :

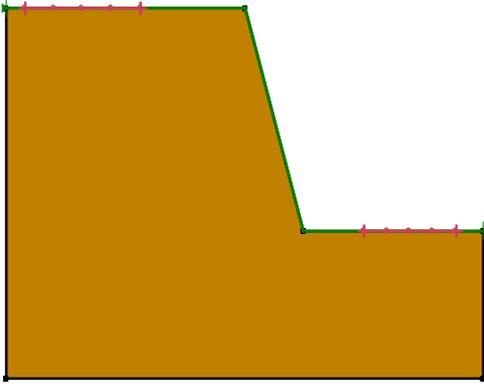


Figure IV.25: forme géométrique (1 seul gradin).

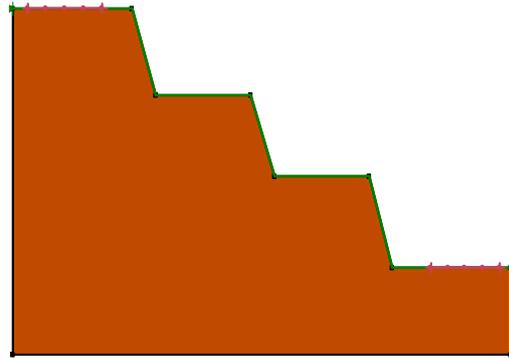


Figure IV.26: forme géométrique (3 gradins).

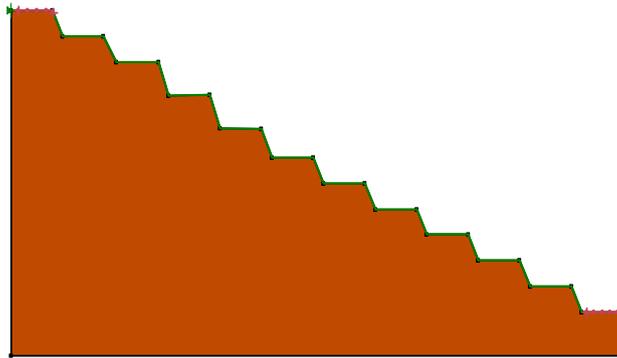


Figure IV.27: forme géométrique (9 gradins).

Tableau IV.3 : Paramètres géotechniques introduits dans SLOPE/W pour la modélisation.

Paramètres	γ_{sec} [KN/m ³]	C [KPa]	ϕ (°)
Nature de la roche			
Marne jaune	20.5	17	10

IV.3.2.2 Calcul par Géoslope (facture de sécurité et surface de rupture critique) :

Pour le calcul du facteur de sécurité, nous avons utilisé la méthode d'équilibre limite (Morgenstern-Price.). Ce coefficient est déterminé pour un nombre suffisant de cercles de rupture à partir du modèle Mohr-Coulomb et des méthodes d'équilibre limite choisies. Pour l'obtention de l'emplacement de cercle critique, nous avons

défini le type de surface du glissement «Auto locate». Pour ce Type de surface de rupture SLOPE/W tente de faire un travail préliminaire pour identifier la zone de rupture et donne une solution approchée de la surface de rupture critique la plus probable et en général elle mène à des résultats raisonnables.

Les résultats de calcul du facteur de sécurité dans SLOPE/W sont illustrés dans les figures et le tableau suivant :

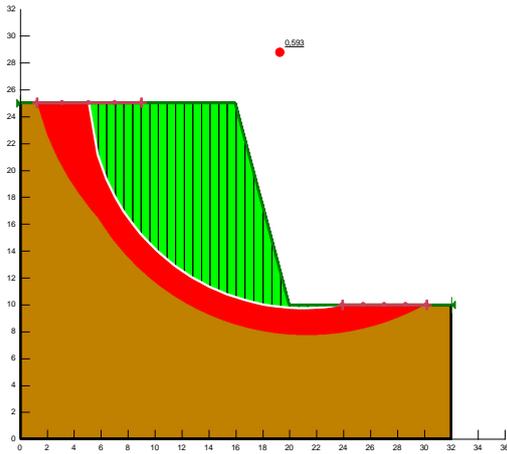


Figure IV.28: surface du glissement Critique (1 seul gradin).

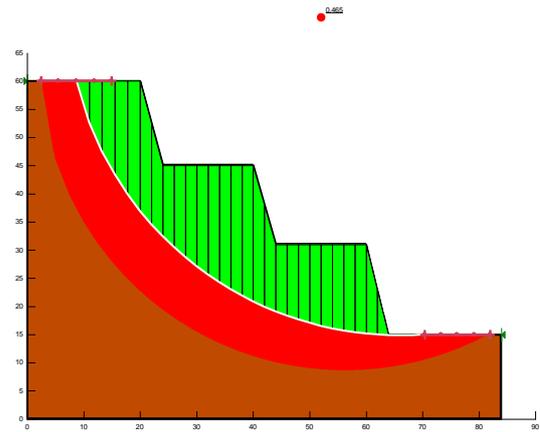


Figure IV.29: surface du glissement Critique (3 gradins).

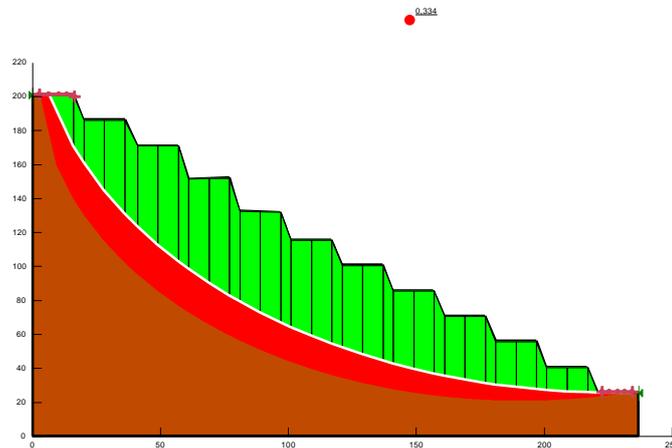


Figure IV.30: surface du glissement critique (9 gradins).

Tableau IV.4: facteurs de sécurité minima pour les différents modèles

Modèle	1seule gradin	3 gradins	9 gradins
Facture de sécurité (min)	0.59	0.46	0.33

IV.4 Introduction au programme Roc-Science (Slide) :

Slide 5.0 est un logiciel d'analyse de stabilité des pentes le plus complète disponible, complet avec des capacités de sensibilité, d'analyse probabiliste. Ce programme 2-D combine une interface graphique CAO attrayante et facile à utiliser avec une large gamme d'options de modélisation et d'interprétation des données qui vous permettent d'effectuer des analyses de manière plus approfondie, plus rapidement.

IV.4.1 L'application de Slide pour le calcul de la stabilité :

On a essayé de calculer la stabilité pour trois modèles géométriques, la géométrie des modèles géométriques représentés dans la figure ci-dessous on adopte les mêmes géométrie motionner dans le tableau (Tableau IV.1) :



Figure IV.31: forme géométrique
(1 seul gradin).

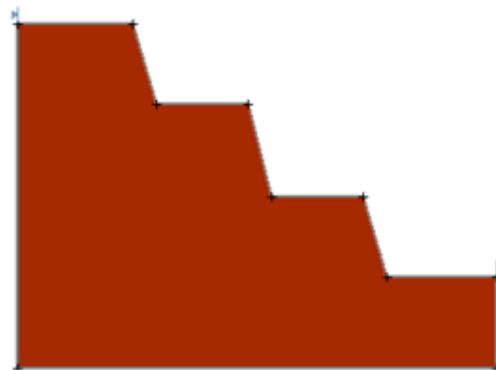


Figure IV.32: forme géométrique
(3 gradins).

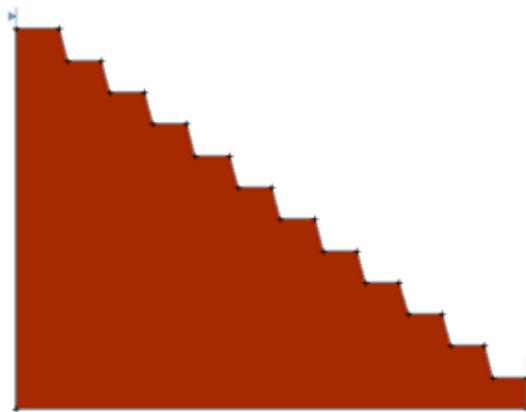


Figure IV.33: forme géométrique (9 gradins).

IV.4.2 Calcul par Roc-Science (Slide) (facture de sécurité et surface de rupture critique) :

De même pour le programme utilisé Slide 5.0 a donné des résultats proches des autres programmes et montre toujours que les gradins sont instables et inférieurs à 1,2 qui sont indiquées dans les figures suivantes ;

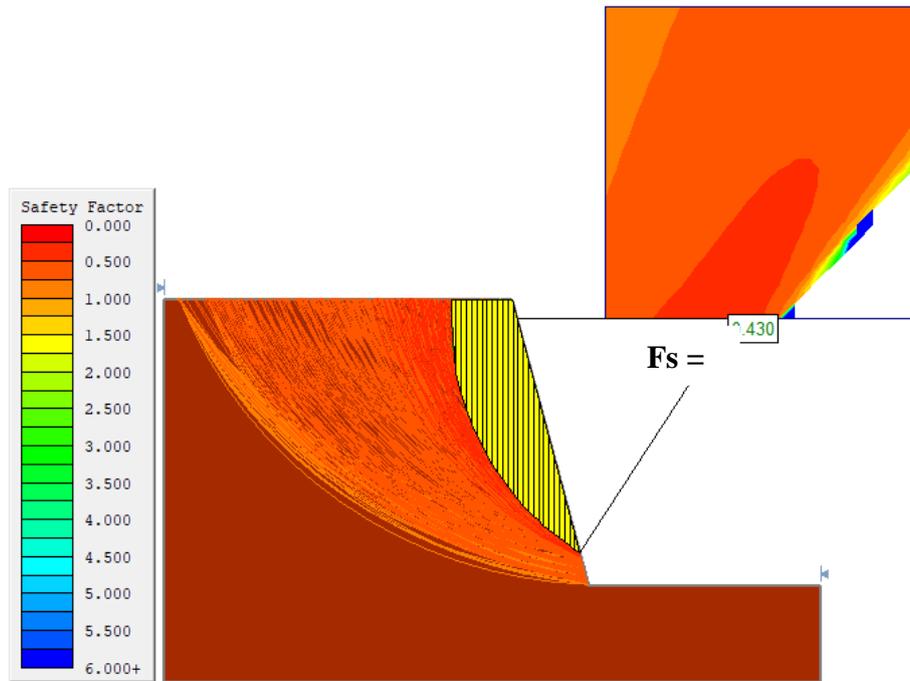


Figure IV.34: Coefficient de sécurité pour (un seul gradin).

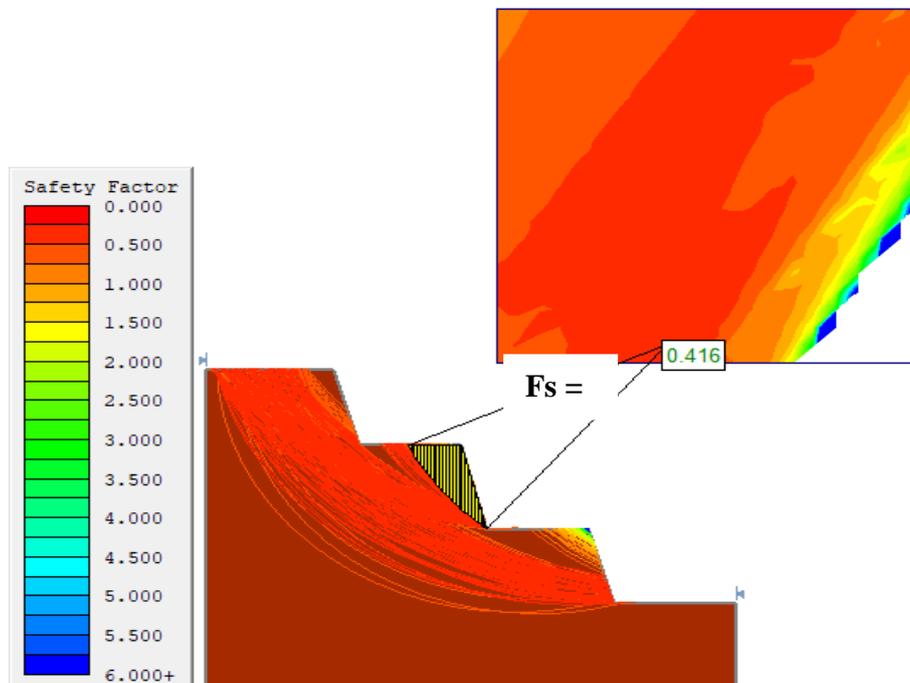


Figure IV.35: Coefficient de sécurité pour (03 gradins).

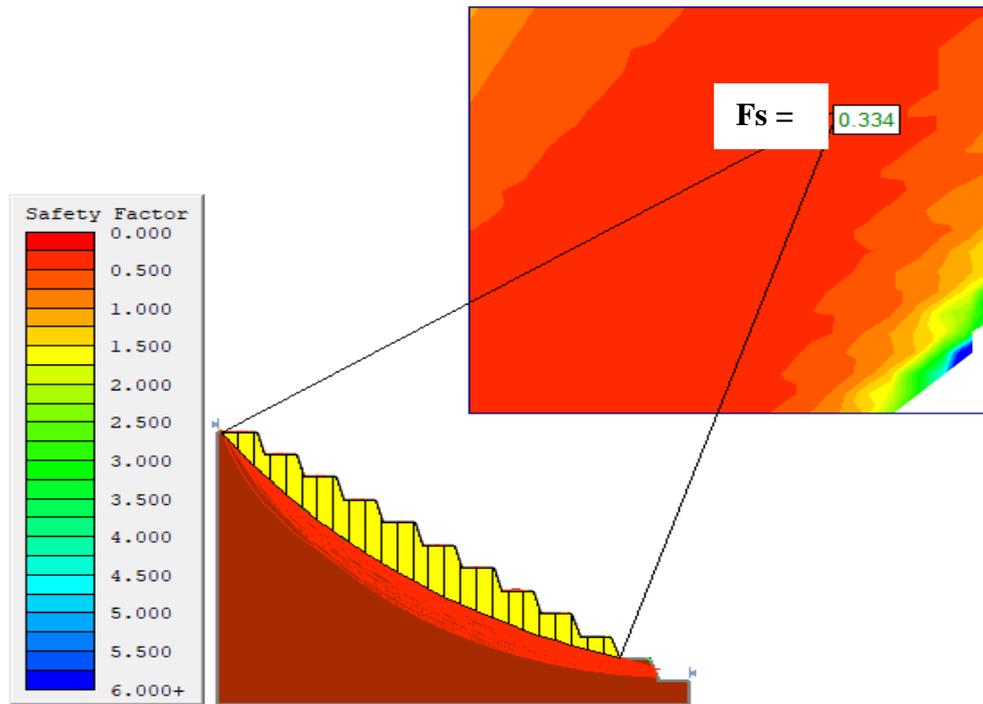


Figure IV.36: Coefficient de sécurité pour (09 gradins).

IV.5 interprétation des résultats obtenus par le calcul numérique :

Les facteurs de sécurité minima appréciés sont tous au-dessous de 1.2 (la valeur de Fs admissible dans le domaine minier) c'est-à-dire les gradins sont instables que ce soit locale (1 seul gradin) ou interrompe (3 gradins) ou globale (9 gradins) ces résultats sont valider par la méthode des éléments finis avec le code PLAXIS 2D V 8 .2 ou par la méthode d'équilibre limite avec Géoslope et Roc-Science d'où on constat l'efficacité des modèles et des programmes.

IV.6 Amélioration par modification géométrique :

Pour évaluer l'influence de la géométrie sur la stabilité on va opter à faire des modifications au niveau de la géométrie des gradins au niveau local et interrompe (réduction de la hauteur et l'inclinaison) et on va suivre la variation du Fs dans les deux cas.

La géométrie de ces modèles est représentée dans le tableau suivant :

Tableau IV.5 : Les géométries des modèles qui nous allons réaliser

La géométrie des Modèles			
N° des gradins	La hauteur	La largeur	L'angle d'inclinaison de gradin
1 seul gradin	15	25	60
3 gradins	35	56	60

On va utiliser les mêmes paramètres mécaniques mentionné dans le tableau (Tableau V.3), les modèles géométriques représentés dans la figure ci-dessous.



Figure IV.37: forme géométrique (1 seul gradin).

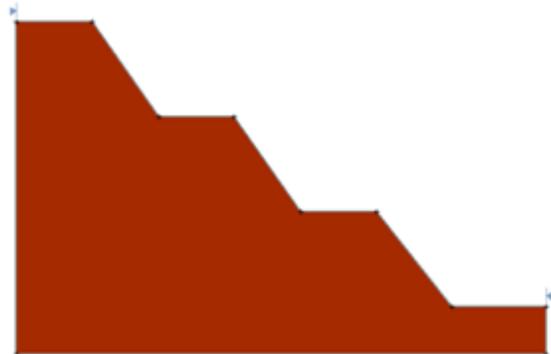


Figure IV.38: forme géométrique (3 gradins).

IV.6.1 Calcul par Géoslope :

Les résultats de calcul de coefficient de sécurité :

$$F_s = 0.955$$

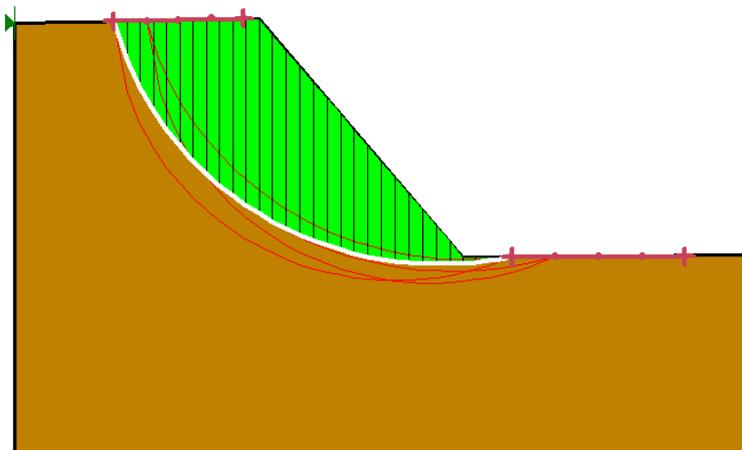


Figure IV.39: Coefficient de sécurité (un seul gradin).

$F_s = 0.660$

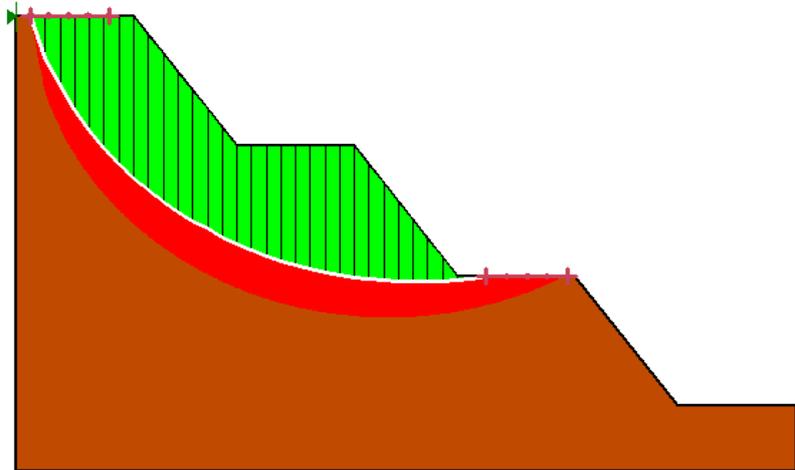


Figure IV.40: Coefficient de sécurité (03 gradins).

IV.6.2 Calcul par Roc-Science (Slide) :

Les résultats de calcul de coefficient de sécurité :

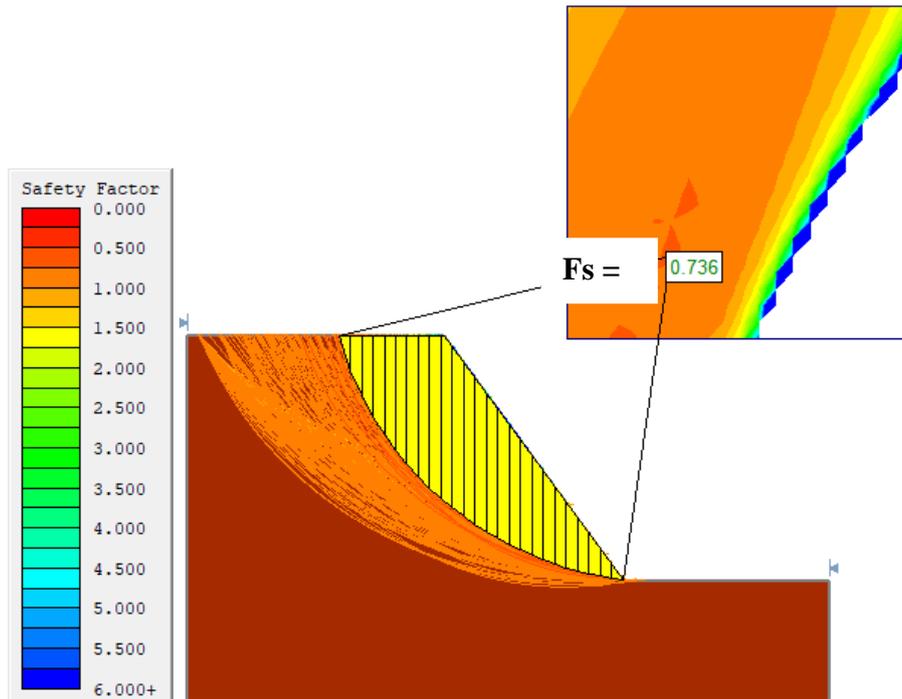


Figure IV.41: Coefficient de sécurité (un seul gradin).

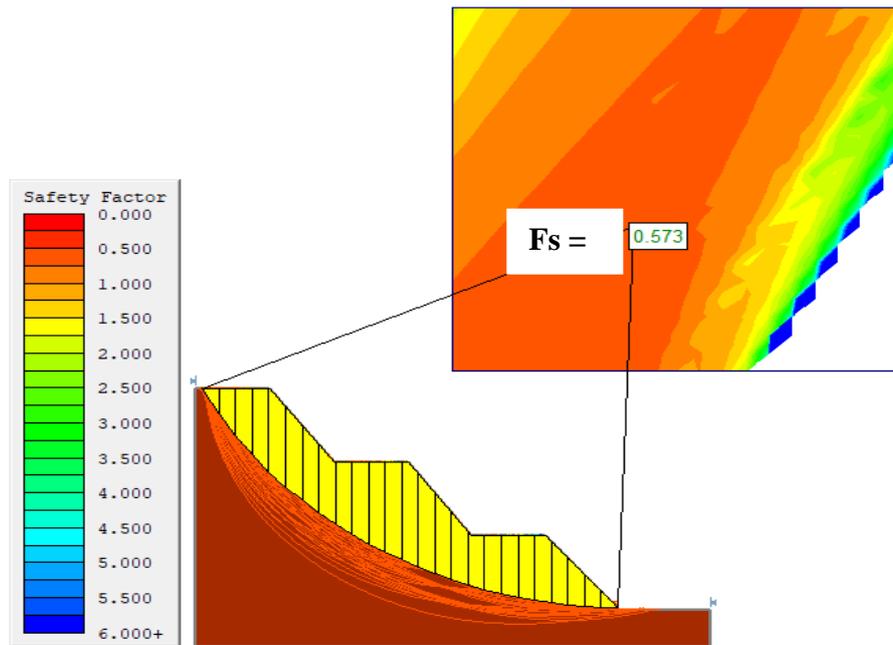


Figure IV.42: Coefficient de sécurité (03 gradins).

IV.6.3 interprétation des résultats obtenus :

Les facteurs de sécurité minima appréciés sont augmenté et s'approche à 1.2 (la valeur de F_s admissible dans le domaine minier) que ce soit locale (1 seuls gradin de 0.74 - 0.97) ou interrompe (3 gradins de 0.57 – 0.66).

IV.7 Conclusion :

À partir des résultats de la modélisation numérique trouvée on remarque que les valeurs de coefficient de sécurité dans les modèles sont très loin de la marche de sécurité (inférieur à 1.2) qui indique que l'ensemble est instable ;

Par contre, on remarque que dans le modèle modifier proposé ; les valeurs du coefficient de sécurité sont plus importantes et plus proches à 1 ce qui signifie que la modification des paramètres géométriques des gradins ont une influence considérable sur la stabilité de ces dernières.

Les logiciels donnent presque les mêmes résultats et qui signifie que l'état des gradins de la mine d'El Ouenza sur la zone de Marne sont dans un état critique et dangereux vis à vis la stabilité des personelles et des engins.



Conclusion générale et recommandations

جامعة العربي التبسي - تبسة
Université Larbi Tebessi - Tebessa

Conclusion générale et recommandations

Conclusion générale et recommandations :

Les mouvements de terrain en général et les glissements en particulier sont des phénomènes très fréquents dans toutes les régions du monde. Ces accidents d'origines naturelles ou causées par l'être humain, pour prévenir ces désastres, en géotechnique, il existe différentes approches (empiriques, analytiques et numériques) pour la vérification de la stabilité des pentes et talus.

L'étude de la stabilité des talus des gradins et des bords des mines à ciel ouvert est importante dans la phase d'exploitation, car elle permet de donner une marge de sécurité du travail, et de préservation de matériel et des réserves ainsi que de la protection de l'environnement. À cet égard, nous avons pris le quartier CHAGOURA SUD au niveau de la mine à ciel ouvert de l'Ouenza, comme exemple pour réaliser cette étude.

Afin de mieux positionner le contexte de notre travail, nous avons commencé par réaliser une synthèse des différents modes d'instabilités des pentes ainsi que des différents systèmes de classification des massifs rocheux (des méthodes empiriques) qui déterminent la qualité géotechnique du massif en fonction de plusieurs facteurs affectant sa stabilité. Ces facteurs sont reliés notamment à la résistance de la matrice rocheuse, la présence de l'eau et la description des discontinuités.

À la lumière des données géologiques, hydrogéologiques et géotechniques, nous pouvons conclure que : la région d'étude (massif de la mine à ciel ouvert d'EL OUENZA) est constituée essentiellement par des formations de dépôts mésozoïques-cénozoïques allant du Trias au Quaternaire ; le réseau hydrographique est assez dense, très développé, bien que peu abondant en eau ; les résultats des essais géotechniques indiquent que les roches possédant des résistances mécaniques faibles à moyenne pour les Marnes sont de plus dures pour les Calcaires et le Fer.

L'étude détaillée établie sur les gradins de Quartier CHAGOURA SUD par les deux méthodes (géomécaniques et empiriques) nous a permis de tirer les constatations suivantes :

- ❖ Pour les méthodes géomécaniques (les systèmes de classification RQD, RMR et GSI) a classé les faciès en trois catégories à s'avoir (le Calcaire et le Fer ont

Conclusion générale et recommandations

une classe de qualité moyenne à bonne) et pour la Marne (mauvaise ou très mauvais) ;

- ❖ Pour la classification SMR, une projection stéréographique a été réalisée pour connaître le nombre de famille d'où on a constaté qu'il y a une grande famille à deux familles diffuse de discontinuité dans les trois gradins du Quartier CHAGOURA SUD.
- ❖ À partir des résultats trouvés à l'aide de la modélisation numérique (PLAXIS, Géoslope et SLIDE) on remarque que les valeurs de coefficient de sécurité dans le modèle actuel des gradins sont très loin de la marche de sécurité (inférieur à 1.2) qui indique que l'ensemble est instable ;
- ❖ Par contre, on remarque que dans le modèle proposé, les valeurs du coefficient de sécurité sont plus importantes et plus proche à (1) ce qui signifie que la modification des paramètres géométriques des gradins a une influence considérable sur la stabilité de ces dernières.

Finalement, nous pouvons conclure et nous recommandant les points suivants :

- ✓ Approfondir les reconnaissances géologiques structurales (failles, discontinuités) dans les carrières qui influent sur la stabilité des gradins ;
- ✓ Approfondir les reconnaissances géotechniques par des essais in situ (sondages carottés et géophysiques) pour une bonne identification des formations qui facilite l'étude de la stabilité ;
- ✓ La mise en place d'un système de surveillance, conservation et la maintenance des gradins qui sont des facteurs primordiaux pour l'évaluation de la stabilité des gradins ainsi l'approfondissement des études géologiques et historiques des glissements qui ont affecté la mine ;
- ✓ Modifier les hauteurs des gradins actuelles jusqu'à 10 m de hauteur et un angle d'inclinaison qui ne dépasse pas 60° qui assurent une bonne stabilité de l'ensemble ;
- ✓ Utilisé ou bien réduire les quantités d'explosif lors des travaux de tir dans le cas des gradins formés essentiellement par des Marnes,

The logo of Université Larbi Tébessi - Tébessa is a stylized emblem. It features a central sun with rays emanating from it, set within a circular frame. Above the sun is a traditional North African architectural element, possibly a minaret or a decorative archway. Below the sun is an open book, symbolizing knowledge and learning. The entire emblem is rendered in a light blue color.

Bibliographie

جامعة العربي التبسي - تبسة
Université Larbi Tébessi - Tébessa

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] **CHERBOUL Fatima.**, "Analyse de la stabilité et modélisation numérique d'un glissement de terrain : Cas de Parc Dounya - Dely Brahim". Master géotechnique, UNIVERSITE LARBI TEBSSI –TEBESSA, 2016.
- [2] **AISSA Mohamed Hamza ET HADDOUCHE Khadidja.**, "analyse et modélisation d'un glissement de terrain : cas de Sidi Yousef beni messos - Alger ". Master géotechnique, Centre Universitaire Khemis Miliana, 2011.
- [3] **Direction de la Surveillance et de la Prévention des Risques.**, "Etude pour la réalisation d'une cartographie et d'un système d'information géographique sur les risque majeurs au Maroc : mission 01 identifications des risques", Version 1.0 Septembre 2008.
- [4] **Laboratoire de l'Habitat et de la Construction du Centre unité Ain Taya** "Etude géotechnique de zone de turbulences grandes vents Parc Dounya", avril 2015.
- [5] **Laboratoire central des ponts et chaussées.**, "stabilisation des glissements de terrain". Guide technique, février 1998.
- [6] **R.M. Faure.**, "Stabilité des pentes; Rappels de géologie".
- [7] **BENZEMOURI Moussa.**, "Etude de la stabilité des gradins d'une mine à ciel ouvert Cas : la mine de fer d'el Ouenza". Master géotechnique, UNIVERSITE LARBI TEBSSI –TEBESSA, 2017.
- [8] **CHEKIR Mohammed et MANI Nidal.**, "Caractérisation et classification géomécaniques du massif rocheux d'Aokas Bejaia". Master Exploitation Minière, Université Abderrahmane Mira de Bejaia, 2016.
- [9] **ARMATYS Maciej.**, "modification des classifications géotechniques pour les massifs rocheux schisteux" . Maîtrise ès sciences appliquées, UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL, 2012.
- [10] **Baba SALAH.**, "Conception Géotechnique des talus de mines à ciel ouvert : cas de carrière de quartzite à hématite de Zouerate". Master géotechnique, UNIVERSITE LARBI TEBSSI –TEBESSA, 2016.

Références bibliographiques

- [11] **M. Pinheiro, S. Sanches, T. Miranda, A. Neves, J. Tinoco.**, "SQI - Indice d'évaluation des talus rocheux". Université de Minho, Guimarães, Portugal, 2015.
- [12] **KIMOUR Mohamed.**, "développement d'une méthodologie d'estimation des discontinuités du massif rocheux en vue de son utilisation en conception minière". Thèse doctorat en science, Université Badji Mokhtar – Annaba, 2016.
- [13] **LAMAMRA Abdessattar et MAMMERIE Mohamed.**, "La Caractérisation du massif rocheux cas : la mine de Boukhadra (wilaya de Tébessa)" . Master Exploitation Minière, Université Abderrahmane Mira de Bejaia, 2015.
- [14] **Hamdane Ali.**, " description structurale de massif rocheux", coure 3^{eme} année licence mécanique des roche 01", Département des mines et de géo-technologie, UNIVERSITE LARBI TEBSSI –TEBESSA, 2016.
- [15] **Société des mines de fer de l'est - mine de l'Ouenza.**, "Rapport Géologique Actualisé de la Mine de l'Ouenza", 2017.
- [16] **SEMMACHE Mohamed Fouad.**, "Etude de stabilité des talus des gradins et des bords de la mine à ciel ouvert de l'Ouenza :cas du quartier Zerga". Mémoire de Magister en Génie Minier, Ecole Nationale Polytechnique, 2016.
- [17] **Lazzi Malek.**, "La Mine de l'Ouenza Histoire et Avenir".Arcelor Mittal Tébessa Mine de l'Ouenza, 2012.
- [18] **Olivier.**, "Représentation des données structurales : Introduction à la projection stéréographique". Coure 1^{er} année licence en géologie.
- [19] **Plaxis 8.2 Professional version** Update Pack 4 (Build 811), Copyright 2002 Plaxis B.V.
- [20] **GeoStudio 2012**, version 8. 15.1.11236; Août 2015 « <http://www.Computing-Objects.com/> »
- [21] **Rocscience** Version 5.016; Jul 12 2005. <http://www.rocscience.com/>

The logo of Université Larbi Tébessi - Tébessa features a central sun with rays, flanked by stylized Arabic calligraphy. Below the sun is an open book. The entire logo is rendered in a light blue color.

Annexe

جامعة العربي التبسي - تبسة
Université Larbi Tébessi - Tébessa

ANNEXE A



Photo 01 : section 02 gradin 01

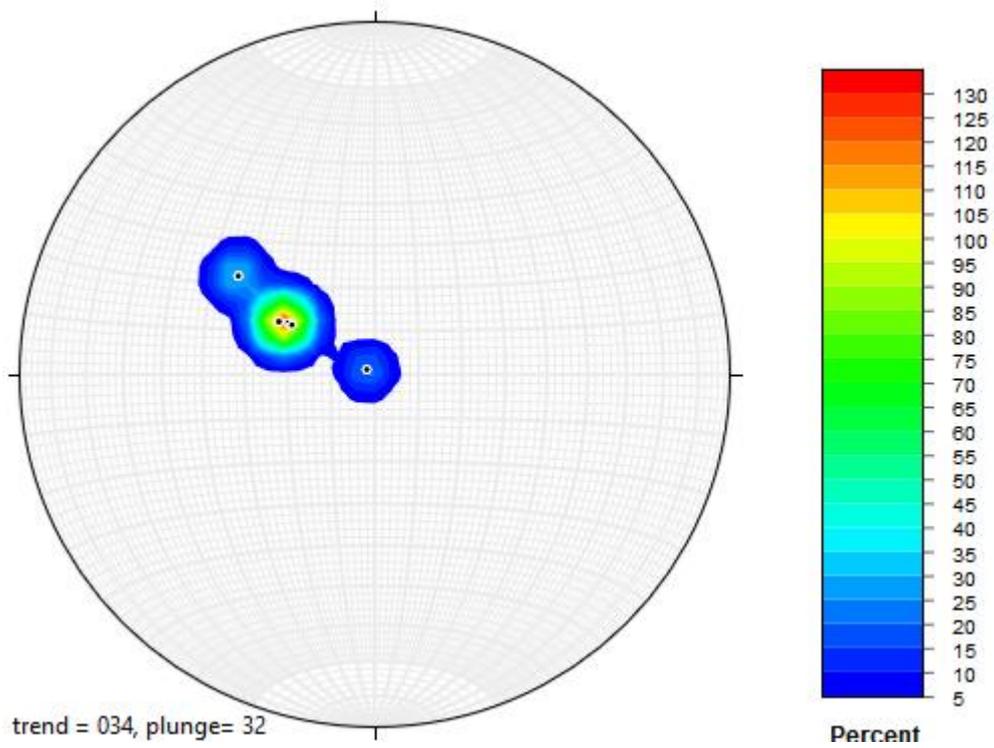


Figure 01 : Projection stéréographique section 02 / gradin 01

ANNEXE A



Photo 02 : section 03 gradin 01

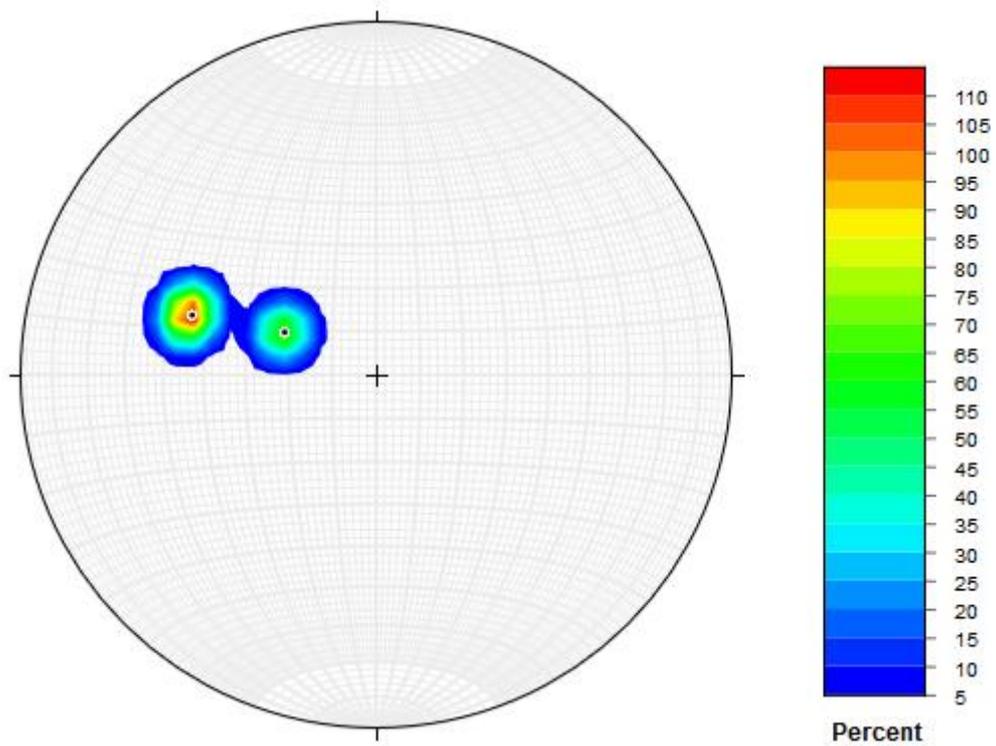


Figure 02 : Projection stéréographique section 03 / gradin 01

ANNEXE A



Photo 03 : section 09 gradin 01

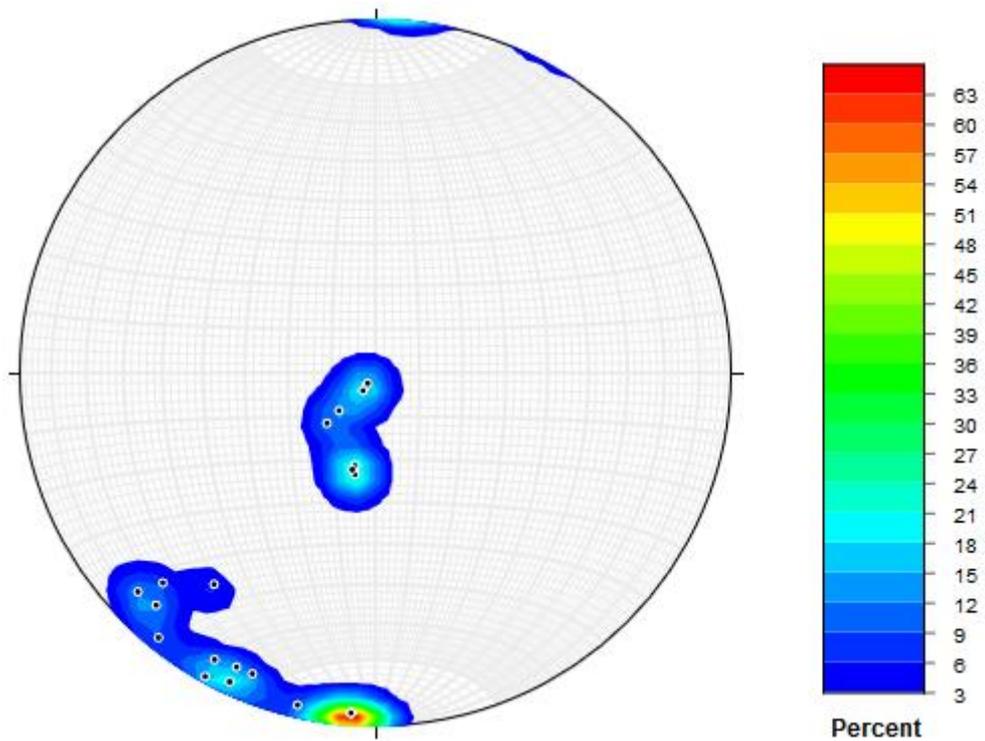


Figure 03 : Projection stéréographique section 09 / gradin 01



Photo 04 : section 03 gradin 02

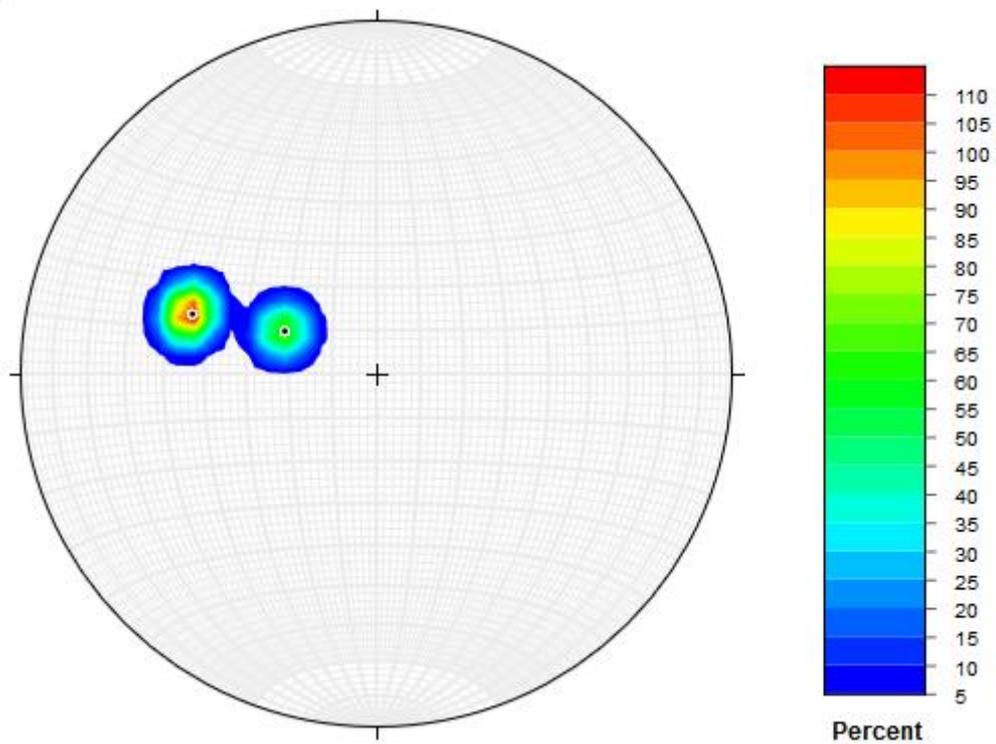


Figure 04: Projection stéréographique section 03 / gradin 02

ANNEXE A



Photo 05 : section 07 gradin 02

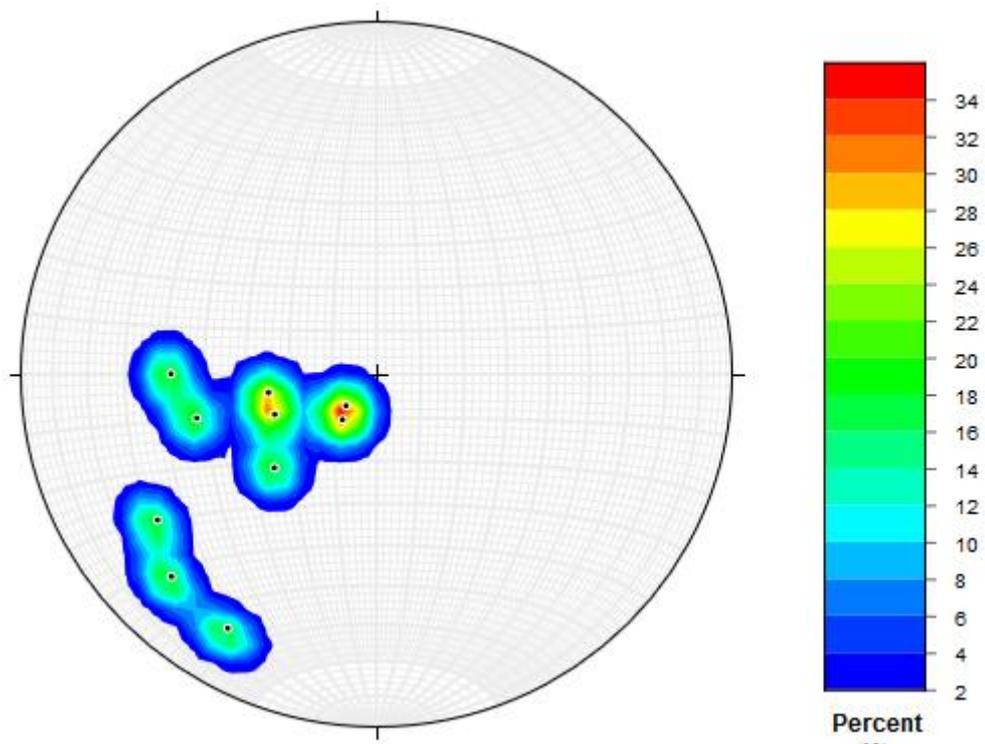


Figure 05 : Projection stéréographique section 07 / gradin 02

ANNEXE A



Photo 06 : section 10 gradin 02

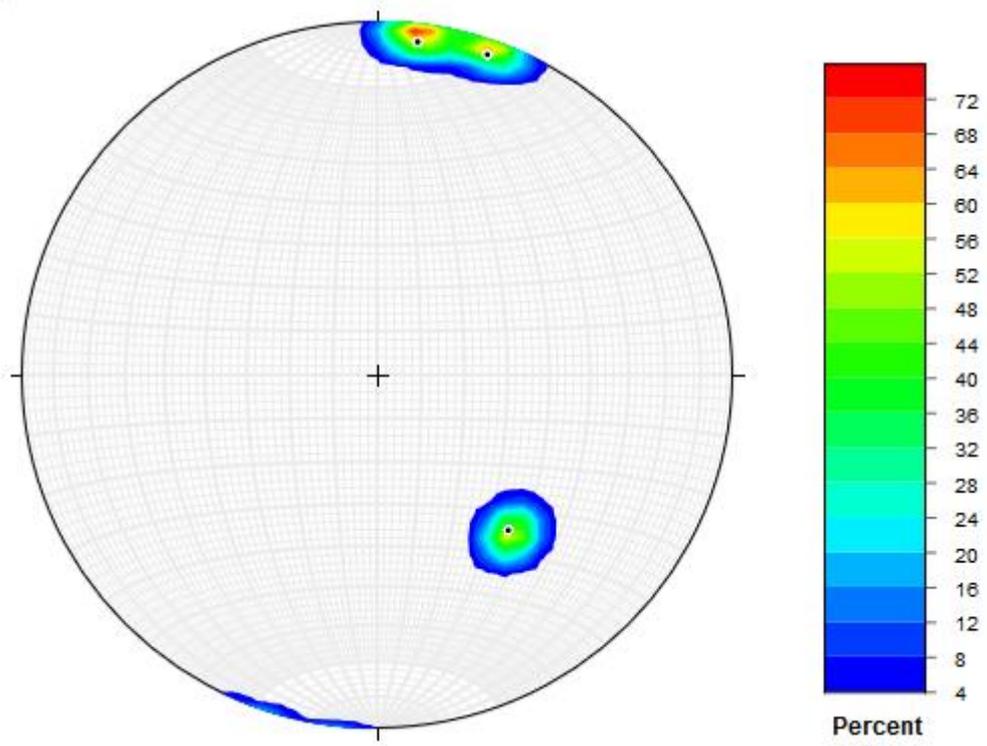


Figure 06 : Projection stéréographique section 10 / gradin 02

ANNEXE A



Photo 07 : section 03 gradin 03

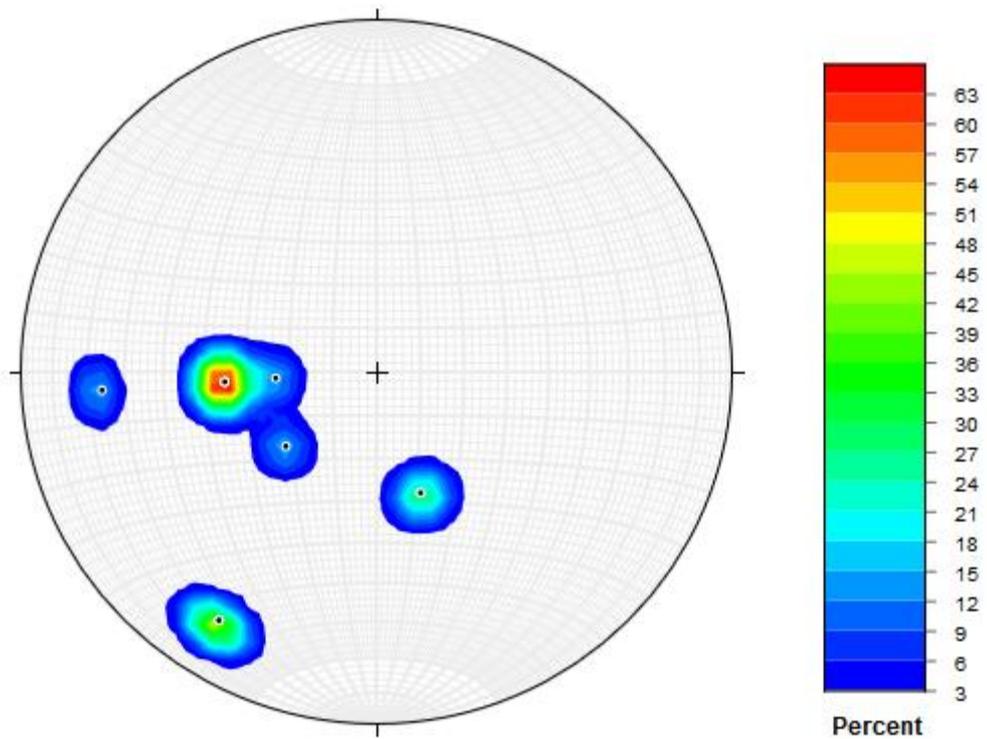


Figure 07 : Projection stéréographique section 03 / gradin 03

ANNEXE A



Photo 08 : section 07 gradin 03

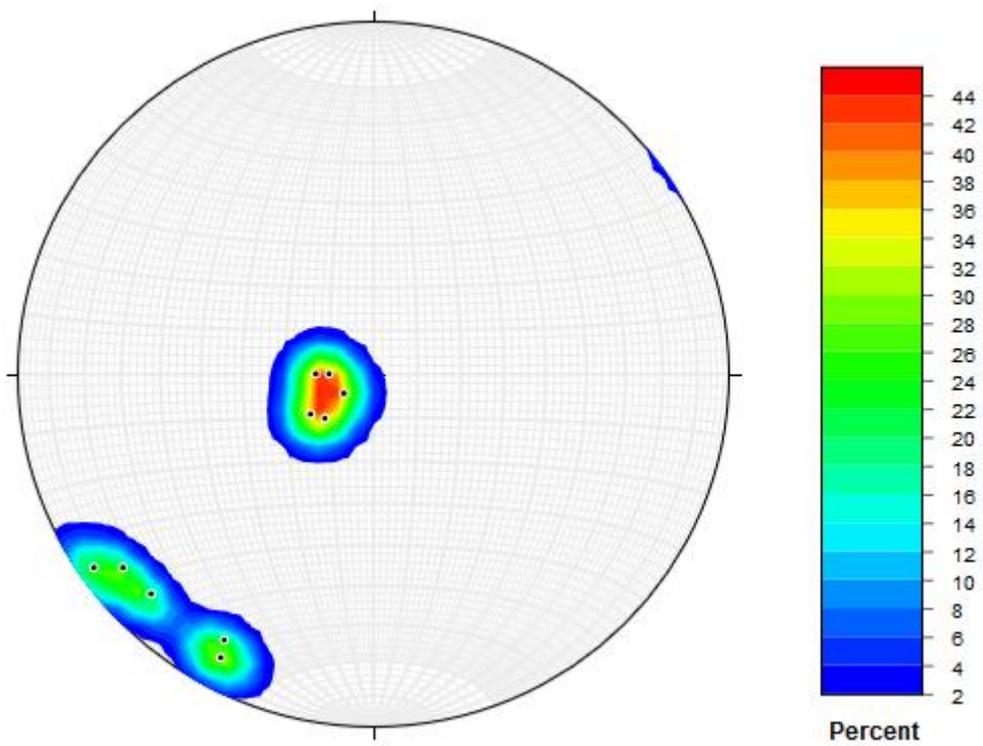


Figure 08 : Projection stéréographique section 07 / gradin 03



Photo 09 : section 13 gradin 03

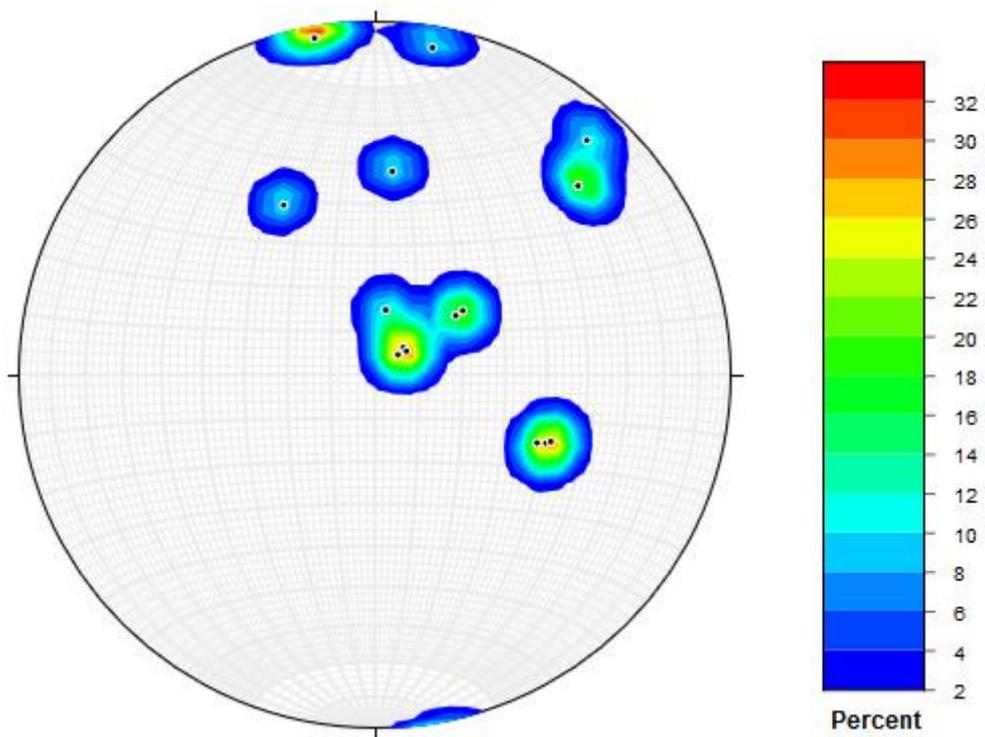


Figure 09 : Projection stéréographique section 13 / gradin 03

ANNEXE B

Tableau 01 : Paramètres de classification des roches et notes de pondération

Paramètre		Coefficient							
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	>200 MPa	100-200 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	10-25 MPa	3-10 MPa	1-3 MPa
	Note	15	12	7	4	2	1	0	
2	RQD		90-100	75-90	50-75	25-50	<25		
	Note		20	17	13	8	3		
3	Espacement des joints		>3m	1-3 m	0.3-1 m	50-300mm	<50mm		
	Note		30	25	20	10	5		
4	Nature des joints		Surface très rugueuse continues éponte en contact éponte non altérées	Surface légère rugueuse s épaisseur <1 mm éponte non altérées	Surfaces légère rugueuse s épaisseur <1mm Eponte altérées	Surfaces lustrées ou remplissage <5mm ou joint ouvert 1 à 5 mm joint continus	Remplissage mou >5 mm ou joint Ouverts > 5 mm joint continus		
	Note		25	20	12	6	0		
5	Venues d'eau	Débit 10m	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		Suintement (eau interstitielle)	Pression d'eau modérée	Problème sérieux de venues d'eau		
	Note		10		7	4	0		

Tableau 02 : Classification du massif rocheux selon le RMR; traduit de Bieniawski.

Classe du massif	RMR	Qualification
I	81-100	Excellente
II	61-80	Bonne
III	41-60	Moyenne
IV	21- 40	Faible
V	< 20	Très faible

ANNEXE B

Tableau 03 : le Tableau de classification de Romana

SMR =RMR _B + (F1.F2.F3) +F4					
Adjusting Factors for joint (F1.F2.F3)	α_j =DIP DIRECTION OF JOINT	β_j =DIP OF JOINT			
	α_s =DIP DIRECTION OF SLOPE	β_s =DIP OF SLOPE			
	Très favorable	Favorable	Moyen	Défavorable	Très défavorable
Glissement plan / $\alpha_j - \alpha_s$ /=	>30°	30°-20°	20°-10°	10°-5°	<5°
Toppling / $\alpha_j - \alpha_s - 180^\circ$ /=					
F1 VALUE	0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
Relationship	$F1 = (1 - \sin / \alpha_j - \alpha_s /)^2$				
/ β_j /=	<20°	20°-30°	30°-35°	35°-45°	>45°
F2 value /plane failure /toppling	0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
Relationship	1.00				
	$F2 = \text{tg}^2 \beta_j$				
plane failure $\beta_j - \beta_s$ =	>10°	10°-0°	0°	0°-(-10°)	<(-10°)
toppling $\beta_j + \beta_s$ =	<110°	110°-120°	>120°	-	-
F3 VALUE	0	-6	-25	-50	-60
Relationship	F3 (BIENIAWSKI ADJUSTMENT RATINGS FOR JOINT ORIENTATION 1976)				
F4 ADJUSTING FACTOR FOR EXCAVATION METHOD	F4= Empirical values for method of excavation				
F4 VALUE	Natural slope	Presplitting	Smooth blasting	Blasting or mechanical	Deficient blasting
	+15	+10	+8	0	-8

Tableau 04 : les classes du system SMR

SMR	Description	Stabilité	Plan de glissement	support
81-100	Très bien	Complètement stable	aucun	aucun
61-80	Bien	Stable	Certain blocs	Occasionnel
41-60	Normal	Partiellement stable	Certain joint	systematique
21-40	Mauvais	Instable	Glissement dièdre	Importance corrective
0-20	Très mauvais re-excavations	Complètement instable	Plan de glissement potentiel	re-excavations

ANNEXE B

Tableau 05 : Paramètres de classification system SQI :

Factors	Parameters	Categories and Ratings					
Geometry 0.17	Slope Height (m) (0.5)	<10	10-20	20-30	30-40	>40	
		Very low	Low	Medium	High	Very high	
	Rating	1	2	3	4	5	
	Slope angle (°) (0.35)	< 30	30-40	41-50	51-60	> 60	
		Very gradual	Gradual	Medium	Inclined	Too inclined	
	Rating	1	2	3	4	5	
	Bench angle (0.15)	Correct ¹	Incorrect ¹	-	-	-	
Rating	1-2	4-5	-	-	-		
Bench width (m) (0.25)	0-1	1-2	2-3	3-4	>4		
	Rating	5	4	3	2	1	
Geological 0.14	Formation type (0.50)	Type ¹ (0.40)	I	II	III	IV	V
		Rating	1	2	3	4	5
		Weathering degree (0.30)	1	2	3	4	5
	Faults ² (0.30)	Rating	1	2	3	4	5
		Exist	None exist	-	-	-	
		Rating	4-5	1-2	-	-	-
	Blocks (0.20)	RHRSm ² (1.00)	<51	51-153	153-333	333-459	>459
		Rating	1	2	3	4	5
	Empirical systems (Only one system: Q, RMR or SMR) (0.30)	Q (0.33)	40-1000	10-40	4-10	1-4	0.001-1
		Rating	1	2	3	4	5
		RMR (0.34)	100-81	80-61	60-41	40-21	20-0
		Rating	1	2	3	4	5
SMR (0.33)		100-81	80-61	60-41	40-21	20-0	
Rating	1	2	3	4	5		
Drainage system 0.11	Surface drainage (0.60)	Conservation state (0.35)	Very good	Good	Medium	Bad	Very bad
		Rating	1	2	3	4	5
		Maintenance state (0.45)	Good	Medium	Bad	-	-
		Rating	1	2	3	-	-
	Deep drainage (0.20)	Presence (0.20)	Yes	No	-	-	-
		Rating	1-2	4-5	-	-	-
		Presence (1.00)	Yes	No	-	-	-
		Rating	1-2	4-5	-	-	-
Bench Drainage (0.20)		Yes	No	-	-	-	
Rating		1-2	4-5	-	-	-	
Visual inspections 0.13	Conservation state (0.60)	Classification	Very good	Good	Medium	Bad	Very bad
		Rating	1	2	3	4	5
	Maintenance state (0.40)	Classification	Good	Medium	Bad	-	-
		Rating	1	2	3	-	-
Monitoring ³ 0.11	-						
Historical 0.07	Accidents on the slope ⁴ (0.70)	Rockfall (0.25)	None	Inactive	Some	Active	Very active
		Rating	1	2	3	4	5
		Plane (0.25)	None	Inactive	Some	Active	Very active
		Rating	1	2	3	4	5
		Wedge (0.25)	None	Inactive	Some	Active	Very active
		Rating	1	2	3	4	5
	Circular (0.25)	None	Inactive	Some	Active	Very active	
		Rating	1	2	3	4	5
Interventions (0.30)		Level 3	Level 2	Level 1	-	-	
Rating		1-2	3	4-5	-	-	
Environmental/Traffic 0.08	Seismic zone (0.30)	Type 2 (0.60)	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5
		Rating	5	4	3	2	1
		Type 1 (0.40)	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5-1.6
	Annual rainfall (mm) (0.50)		<100	100-500	500-1000	1000-2000	>2000
	Rating		1	2	3	4	5
	Traffic (0.20)	Max. speed (Km/h) (0.50)	50 – 60	60 – 70	70 – 90	90 – 100	100 - 120
		Rating	1	2	3	4	5
Av. daily traffic (0.50)		< 18000	1800 – 1900	1900 – 2000	2000 - 2200	> 22000	
Rating		1	2	3	4	5	
Protection 0.10	Surface protection (0.80)		<25%	[25%-50%]	50%	[50%-75%]	[75%-100%]
	Rating		5	4	3	2	1
	Vegetal cover (0.20)		Non exist	Punctual	Uniform	-	-
Rating		5	4-3	1-2	-	-	
Surroundings 0.09	Overload (0.60)		Yes	No	-	-	-
	Rating		5	1	-	-	-
	Surrounding vibrations (0.40)		Yes	No	-	-	-
Rating		5	1	-	-	-	

ANNEXE C

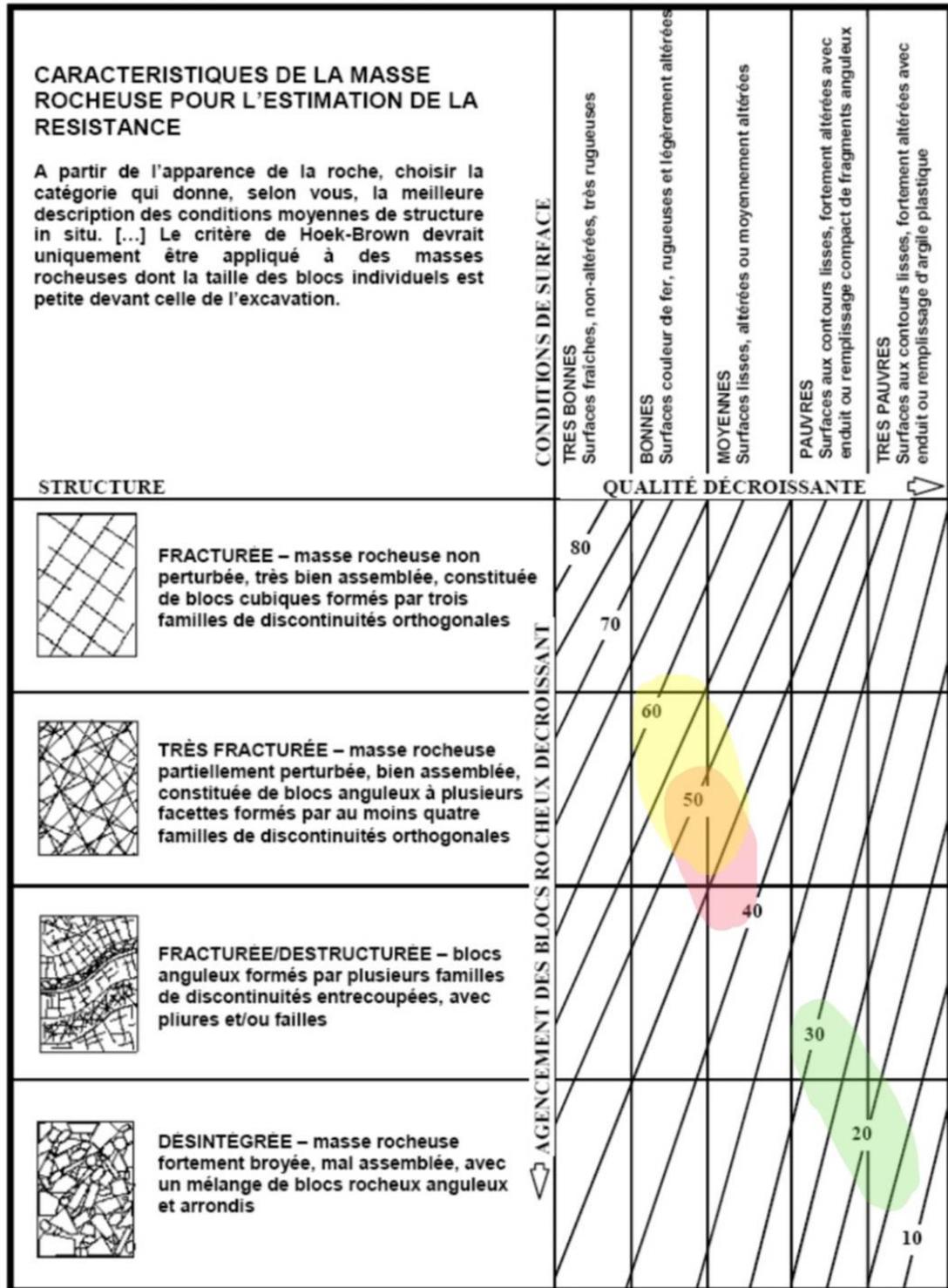


Figure 10 : classification GSI pour le gradin 01

● Fer ● Calcaire ● Marne

ANNEXE C

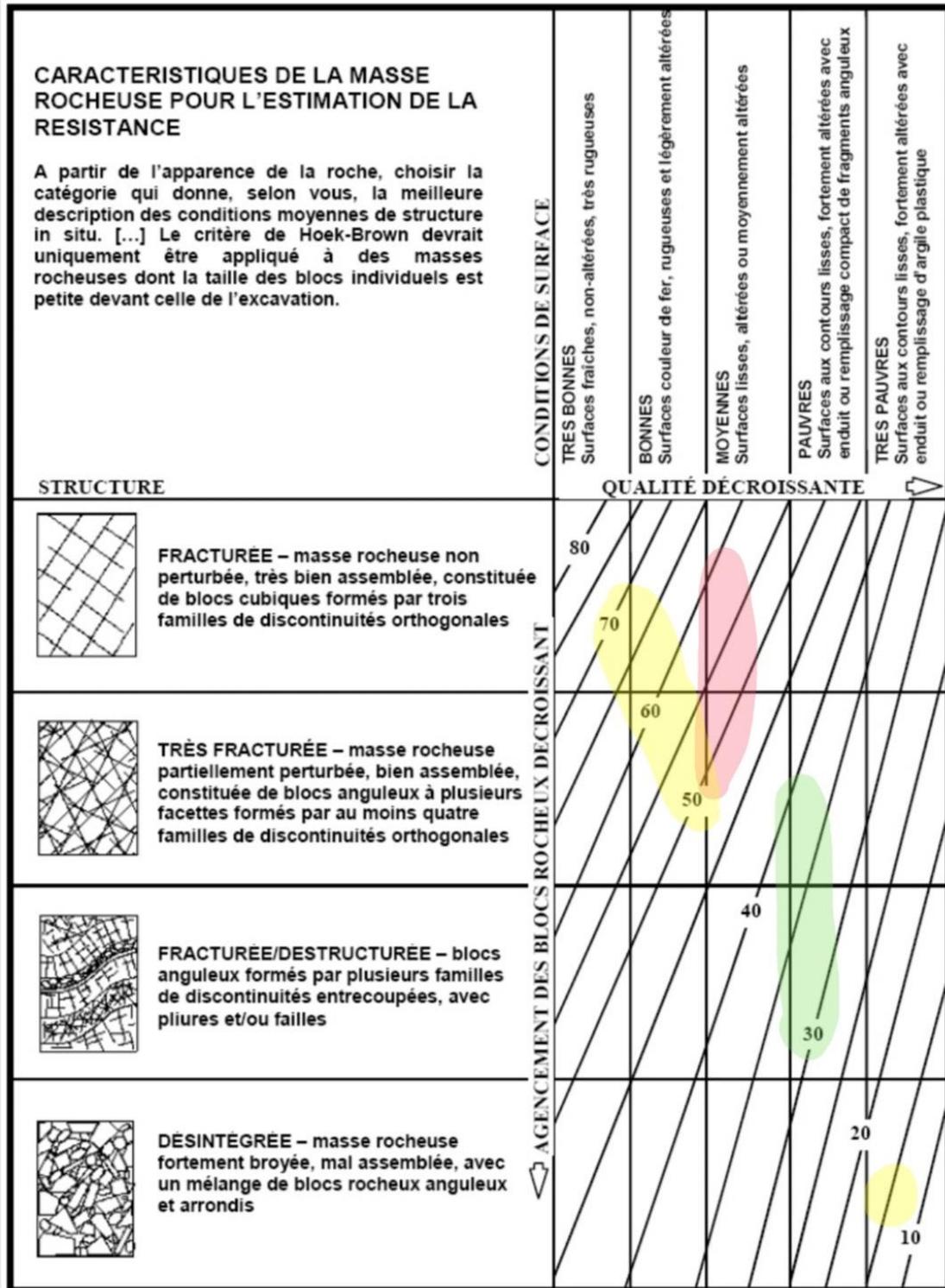


Figure 11 : classification GSI pour le gradin 02

● Fer ● Calcaire ● Marne

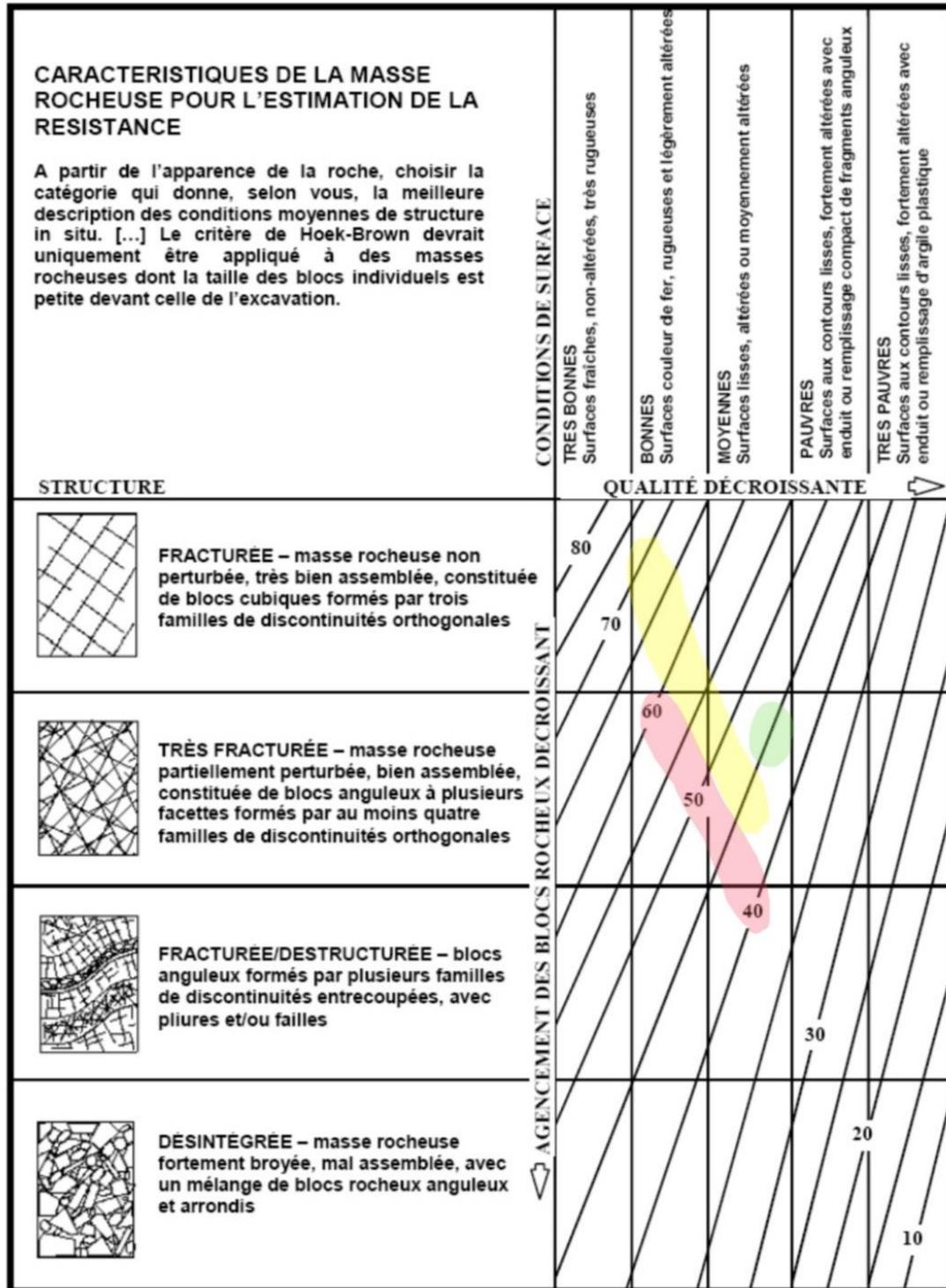


Figure 12 : classification GSI pour le gradin 03

● Fer ● Calcaire ● Marne