



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République algérienne démocratique et populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

جامعة الشهيد الشيخ العربي التبسي - تبسة

Université Echahid Cheikh Larbi Tebessi – Tébessa

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

# Étude géomécanique de l'effet de l'extraction des minerais sur la stabilité des talus d'une à ciel ouvert

Présenté et soutenu par

Akram DAANI

Devant le jury:

	Grade	Etablissement
Président :	Dounia AMRANI	MAA Université Echahid Cheikh Larbi Tebessi - Tébessa
Encadrant :	Zied BENGHAZI	MCB Université Echahid Cheikh Larbi Tebessi - Tébessa
Examineurs :	Adel DJELLALI	MCA Université Echahid Cheikh Larbi Tebessi - Tébessa



Année universitaire : 2022-2023

Tébessa le : 08/06/2023

## Lettre de soutenabilité

Noms et prénoms des étudiants :

1 . DAANI Akram

Niveau : **2<sup>ème</sup> année Master** Option : Géotechnique

Thème : **Étude géomécanique de l'effet de l'extraction des minerais sur la stabilité des talus d'une à ciel ouvert**

Nom et prénom de l'encadrant : Benghazi Zied

Chapitres réalisés	Signature de l'encadrant
Chapitre I : Généralités sur les mines à ciel ouvert	
Chapitre II : Rôle de la géotechnique dans les mines à ciel ouvert	
Chapitre III : Présentation du cas d'étude	
Chapitre IV : Modélisation numérique	

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

مؤسسة التعليم العالي: جامعة الشهيد الشيخ العربي التبسي - تبسة

تصريح شرفي  
خاص بالالتزام بقواعد النزاهة العلمية لانجاز بحث

أنا الممضي أدناه،

السيد (ة) ..... محمد بن أكي ..... الصفة: طالب، أستاذ باحث، باحث دائم: ..... عبد المسيس

الحامل لبطاقة التعريف الوطنية/ رخصة السياقة رقم: ..... 109252179 ..... والصادرة بتاريخ .. 16.05.2018 ..  
المسجل بمعهد ..... المعهد الجزائري للتكنولوجيا ..... قسم ..... الميكانيكا ..... و..... الميكانيكا .....  
والمكلف بإنجاز أعمال بحث (مذكرة التخرج، مذكرة ماستر، مذكرة ماجستير، أطروحة دكتوراه)، عنوانها:

..... Etude géométrique de l'extraction du minerai .....  
..... sur la stabilité de talus dans un minéral ouvert .....

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

التاريخ: ..... 20.06.2018 .....

إمضاء المعني (ة)







مقرر رقم : مؤرخ في 2023/05/29

يتضمن تعيين لجنة مناقشة مذكرة الماستر

إن مدير جامعة العربي التبسي بتبسة،

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

- و بمقتضى المرسوم التنفيذي رقم 12-363 مؤرخ في 8 أكتوبر 2012، بعدل و يتم المرسوم التنفيذي رقم 09-08 المؤرخ في 04 جانفي 2009 و المتضمن إنشاء جامعة العربي التبسي بتبسة،

- و بمقتضى المرسوم التنفيذي رقم 08-265 المؤرخ في 17 شعبان عام 1429 الموافق 19 غشت سنة 2008 الذي يحدد نظام الدراسات للحصول على شهادة الليسانس وشهادة الماستر وشهادة الدكتوراه، لاسيما المادة 9 منه،

- وبموجب القرار رقم 362 المؤرخ في 09 جوان 2014 الذي يحدد كميات إعداد ومناقشة مذكرة الماستر، لاسيما المادتان 10 و 11 منه،

- وبموجب القرار رقم 1380 المؤرخ في 09 أوت 2016 والمتضمن مواومة التكوينات في الماستر بعنوان جامعة تبسة في ميدان "علوم وتكنولوجيا"

- وبموجب القرار رقم 375 المؤرخ في 15 جوان 2020 المعدل لمعق القرار 1080 المؤرخ في 13 أكتوبر 2015 والمتضمن تأهيل ماستر الفروع ذات تسجيل وطني بجامعة تبسة، اختصاص حيوتقي

- وبعد الاطلاع على محضر المجلس العلمي لمعهد المناجم المؤرخ في .....

بقر ما يأتي:

المادة الأولى: تُعَيَّن بموجب هذا المقرر لجنة مناقشة مذكرة الماستر المحضرة من طرف الطالب (s)

ضعفي أكرم، المولود (s) بتاريخ 1997/10/27 ب الونزة - تبسة ،

والموسومة ب Etude géomécanique de l'effet de l'extraction du minéral sur la stabilité de talus dans une mine à ciel ouvert

والمسجل (s) بمعهد المناجم

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

رقم	الاسم والتَّلقب	الرتبة	مؤسسة الانتماء	الصفة
1	عمراتي دنيا	أستاذة مساعدة - أ	جامعة العربي التبسي - تبسة	رئيسة
2	زياد بن غازي	أستاذ محاضر - ب	جامعة العربي التبسي - تبسة	مشرفا
3	جلالي عادل	أستاذ محاضر - أ	جامعة العربي التبسي - تبسة	ممتحنا

المادة 3: يكف رئيس قسم المناجم والجيوتكنولوجيا بتنفيذ هذا المقرر الذي يُسَلَّم نسخة عنه إلى كل من الطالب المعني والمشرف على

المذكرة وأعضاء لجنة المناقشة فور توقيعه

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

حُرِّز ب تبسة، في 2023/05/29

عن المدير، وبتفويض منه

مدير معهد المناجم

عبدالمسي زويبير  
مدير معهد المناجم





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



مقرر رقم: مؤرخ في: 2023/05/30

يتضمن الترخيص بمناقشة مذكرة الماستر

إن مدير جامعة العربي التبسي بتبسة،

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

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

- وبمقتضى المرسوم التنفيذي رقم 08-265 المؤرخ في 17 شعبان عام 1429 الموافق 19 غشت سنة 2008 الذي يحدد نظام الدراسات للحصول على شهادة الليسانس وشهادة الماستر وشهادة الدكتوراه، لاسيما المادة 9 منه،

- وبموجب القرار رقم 362 المؤرخ في 09 جوان 2014 الذي يحدد كفايات إعداد ومناقشة مذكرة الماستر، لاسيما المادة 7 منه،

- وبموجب القرار رقم 1080 المؤرخ في 13 أكتوبر 2015 والمتضمن تأهيل ماستر الفروع ذات تسجيل وطني بجامعة تبسة.

- وبموجب القرار رقم 375 المؤرخ في 15 جوان 2020 المعدل الملحق القرار 1080 المؤرخ في 13 أكتوبر 2015 والمتضمن تأهيل ماستر الفروع ذات تسجيل وطني بجامعة تبسة، اختصاص جيوتقني

- وبموجب المقرر رقم ..... المؤرخ في 2023/05/29 والمتضمن تعيين لجنة مناقشة مذكرة الماستر،

- وبعد الاطلاع على مقرر تعيين لجنة مناقشة مذكرة الماستر المؤرخ في .....

يقرر ما يأتي:

المادة الأولى: يُرخصُ للطالب(ة) ضعني أكرم، المولود (ة) بتاريخ 1997/10/27 بـ الونزة - تبسة، بمناقشة مذكرة الماستر والموسومة بـ

Étude géomécanique de l'effet de l'extraction du minerai sur la stabilité de talus dans une mine à ciel ouvert

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

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

حُرز ب تبسة، في: 2023/05/30

عن المدير، ويتقويض منه

مدير معهد المناجم

د. عولمي زويبير  
مدير معهد المناجم





على الرغم من التقدم المحرز من حيث المعرفة بظواهر عدم استقرار منحدرات عمليات التعدين وطرق الحساب وتقنيات التعزيز ، فإن استغلال الموارد المعدنية في حالة المناجم المفتوحة في العالم والجزائر يثير مشكلة تدهور استقرار المنحدر ، بغض النظر عن استقرار الكتلة الصخرية. الهدف من هذا العمل هو دراسة تأثير استغلال الموارد المعدنية من منجم الحفرة المكشوفة في جبل شاغورة (منجم ونزة) على البيئة المباشرة ، أي منحدرات منحدرات المدرجات العاملة ، الناتجة عن التحركات الأرضية الناجمة عن التكوين. من منطقة التمزق. يتم استخدام تحليل العناصر المحدودة باستخدام رمز الكمبيوتر geoslop لتحديد منحني الفشل الذي يكون خطر الانزلاق على طول هو الأعلى من ناحية ، ومن ناحية أخرى القيمة المقابلة لعامل الأمان

**الكلمات المفتاحية:** التعدين السطحي ، الميكانيكا الجيولوجية ، التعدين ، ثبات المنحدرات ، النمذجة العددية

## Résumé

Malgré les progrès réalisés en matière de connaissance des phénomènes d'instabilité des pentes des exploitations minières, des méthodes de calcul et des techniques de confortement, l'exploitation des ressources minérales dans le cas des mines à ciel ouvert dans le monde et en Algérie pose le problème de dégradation de la stabilité de talus, et ce quel que soit la stabilité du massif rocheux. L'objectif de ce travail est l'étude impacts des exploitations des ressources minérales à partir de la mine à ciel ouvert de Djebel Chagoura (mine de Ouenza) sur l'environnement immédiat à savoir les glissements de talus de gradins en exploitation, résultant des mouvements de terrains engendrés par la formation de la zone de rupture. Une analyse par éléments finis à l'aide d'un code de calcul geoslop est utilisée pour déterminer d'une part la courbe de rupture le long de laquelle le risque de glissement est le plus élevé, d'autre part la valeur correspondante du facteur de sécurité.

**Mots clés :** Mines à ciel ouvert, Géomécanique, Exploitation minière, Stabilité des talus, Modélisation numérique.

## Abstract

Despite the progress made in terms of knowledge of the phenomena of slope instability of mining operations, calculation methods and reinforcement techniques, the exploitation of mineral resources in the case of open-pit mines in the world and in Algeria poses the problem of degradation of slope stability, regardless of the stability of the rock massif. The objective of this work is the study of impacts of mineral resource exploitation from the open-pit mine of Djebel Chagoura (Ouenza mine) on the immediate environment, namely the landslides of embankments of stands in operation, resulting from the ground movements generated by the formation of the rupture zone. A finite element analysis using geoslope calculation code is used to determine the fracture curve along which the risk of slippage is highest and the corresponding safety factor value.

**Keywords:** Open-pit mines, Geomechanics, Mining, Slope stability, Numerical modeling

# Sommaire

Titre	Page
Résumé	i
Liste des notations et des abréviations	iii
Liste des figures	iv
Liste des tableaux	vi
Sommaire	viii
Introduction générale	1
<b>Chapitre 1 : Généralités sur les mines à ciel ouvert</b>	<b>3</b>
1. Introduction	4
2. Les mines ciel ouvert	4
3. Les Méthodes d'exploitation à ciel ouvert	7
3.1. Critères de choix d'une méthode d'exploitation	8
3.2. L'exploitation par découvert	9
3.3. L'exploitation par fosse	9
3.4. Principaux éléments d'une exploitation à ciel ouvert	10
3.4.1. Gradins	10
3.4.2. Bords	11
3.4.3. Contour de la carrière	12
3.4.4. Talus	12
4. Rôle de la géotechnique dans les mines à ciel ouvert	13
5. Conclusion	14
<b>Chapitre 2 : Rôle de la géotechnique dans les mines à ciel ouvert</b>	<b>15</b>
1. Introduction	16
2. La géotechnique	16
2.1. Mécanique des sols	17
2.2. Mécanique des roches	17
2.3. Etude géotechnique	17
2.3.1. Reconnaissance « in-situ »	17
2.3.2. Différents essais en laboratoire	19
3. La géomécanique	20

3.1. Les propriétés physico-mécaniques des roches	20
4. Le glissement de terrain	30
Glissement plan	31
Glissement rotationnel simple	32
Glissement rotationnel complexe	32
Principales causes des glissements	33
5. Les glissements rocheux	34
Glissement plan	34
Glissement dièdre ou en coin	36
Glissement pseudo-circulaire	36
Principales causes des glissements de terrain	36
Les actions extérieures qui agissent sur le sol	37
6. Calcul de la stabilité des talus	38
Le facteur de sécurité	39
Méthode de calcul à la rupture	41
Méthode des blocs	41
Méthode de tranches	42
Méthodes globales	42
Principes des méthodes de l'équilibre d'une tranche	42
7. Conclusion	48
<b>Chapitre 3 : Présentation du cas d'étude</b>	49
1. Introduction	50
2. Historique de la mine de l'Ouenza	50
3. Cadre géographique de Djebel Ouenza	52
4. Géologie de la région du Djebel Ouenza	53
Cadre tectonique	57
Cadre hydrogéologique	57
5. La minéralisation	59
6. Etat des réserves	62
7. Méthode d'exploitation	63
Travaux d'abatage	66
Transport-chargement	68
8. Traitement du minerai	70



9. La mise à terril	72
10. Conclusion	72
<b>Chapitre 4 : Modélisation numérique</b>	<b>74</b>
1. Introduction	75
Présentation de talus étudié	75
3. Définition de GEOSLOPE	77
3.1. Defline	78
3.2. Solve	80
3.3. Contour	80
4. Etude de la stabilité	82
4.1. Le model géotechnique	82
4.1.1. Géométrie du modèle	82
4.1.2. Caractéristique des matériaux	82
4.2. Facteur de sécurité	83
4.2.1 Phase 0	83
4.2.2 Phases 1-5	85
4.2.3. Phase finale	85
4.3. Interprétation les résultats	87
5. Conclusion	87
Conclusion générale et recommandations	88
Références bibliographiques	89
Annexe A	I

## Liste des tableaux

<b>Tableau</b>	<b>Page</b>
<b>Tableau 2.1.</b> Valeurs de vitesses d'ondes P en fonction de la nature du sol.	19
<b>Tableau 2.2.</b> Types de roches selon la porosité.	21
<b>Tableau 2.3.</b> Echelle de dureté de Mohs	23
<b>Tableau 2.4.</b> Classification de l'argilité d'un sol selon l'indice de plasticité Ip	26
<b>Tableau 2.5.</b> Etat du sol en fonction de l'indice de consistance	26
<b>Tableau 2.6.</b> Classes de résistance à la compression des roches.	28
<b>Tableau 2.7.</b> Classification des roches en fonction de la résistance à la traction	29
<b>Tableau 2.8.</b> Classification selon l'évaluation de la vitesse moyenne de glissement et selon la profondeur de la surface de glissement.	34
<b>Tableau 2.9.</b> Différents exemples de définitions d'un coefficient de sécurité	39
<b>Tableau 2.10.</b> Equilibre des talus en fonction des valeurs théoriques du coefficient de sécurité	40
<b>Tableau 2.11.</b> Equilibre des talus en fonction des valeurs expérimentales du coefficient de sécurité	41
<b>Tableau 2.12.</b> Récapitulation de quelques méthodes des tranches	47
<b>Tableau 3.1.</b> Température et précipitation moyennes mensuelles et annuelles exprimées en (mm) de la station de Tébessa (1969-2007).	59
<b>Tableau 3.2</b> La minéralisation	60
<b>Tableau 3.3.</b> État récapitulatif des réserves géologiques actualisées au 2022.	62
<b>Tableau 3.4.</b> État récapitulatif des Réserves Exploitable actualisées au 31/12/22.	63
<b>Tableau 3.5.</b> Paramètres d'exploitation de la mine de l'Ouenza	64
<b>Tableau 3.6.</b> Profondeur de la fosse	65
<b>Tableau 3.7.</b> Les paramètres techniques d'abattage	67

<b>Tableau 3.8.</b> Chiffres prévisionnels de productions des engins de chargement et de transport	69
<b>Tableau 3.9.</b> Chiffres prévisionnels de production des concasseurs	70
<b>Tableau 3.10.</b> Disposition des stocks non concassé aux alentours de la mine	71
<b>Tableau 4.1</b> Géométrie Chagoura sud	82
<b>Tableau 4.2</b> propriétés physicomécanique de la roche	82
<b>Tableau4.3</b> valeur des facteurs de sécurité du talus gauche après l'avancement d'extraction	85
<b>Tableau4.4</b> valeur des facteurs de sécurité du talus droit après l'avancement d'extraction	85

## Liste des figures

<b>Figure</b>	<b>Page</b>
<b>Figure 1.1.</b> Mine à ciel ouvert (Ouenza)	5
<b>Figure 1.2</b> Schéma opérationstechnologiques Dans les roches dure	6
<b>Figure 1.3</b> Schéma opérationstechnologiques Dans les roches tender	7
<b>Figure 1.4.</b> Schéma de l'exploitation par découvert	8
<b>Figure 1.5.</b> Schéma de l'exploitation par fosse	10
<b>Figure 1.6.</b> Eléments géométriques d'exploitation	11
<b>Figure 2.1.</b> Diagramme contrainte déformation.	24
<b>Figure 2.2.</b> Essai limite d'Atterberg	25
<b>Figure 2.3.</b> Schéma de la Compression	28
<b>Figure 2.4.</b> Essai de traction direct	29
<b>Figure 2.5.</b> Cisaillement direct à la boîte de Casagrande	30
<b>Figure 2.6.</b> Détermination de C et $\varphi$	30
<b>Figure 2.7.</b> Glissement plan	31
<b>Figure 2.8.</b> Glissement rotationnel simple	32
<b>Figure 2.9.</b> Glissement rotationnel complexe	33
<b>Figure 2.10.</b> Glissement plan.	35
<b>Figure 2.11.</b> Rupture en dièdre ou en coin	35
<b>Figure.2.12.</b> Glissement pseudo-circulaire	36
<b>Figure 2.13.</b> Surface de rupture	39
<b>Figure 2.14.</b> Exemple d'une rupture circulaire	43
<b>Figure2.15.</b> Forces appliquées sur un trancher	44
<b>Figure 2.16.</b> Forces appliquées sur une tranche dans la méthode de Bishop simplifiée	45
<b>Figure 2.17.</b> Coordonnées de la surface du glissement	46
<b>Figure 3.1.</b> La mine de l'Ouenza.	50
<b>Figure 3.2.</b> Carte de situation géographique de la région d'Ouenza	52
<b>Figure 3.3.</b> Colonne stratigraphique synthétique Mellègue.	54
<b>Figure 3.4.</b> Coupe dans la structure anticlinale	55
<b>Figure 3.5.</b> Carte géologique de l'ensemble	61
<b>Figure 3.6.</b> Plan Topographique	65
<b>Figure 3.7.</b> Travaux d'abattage de mine de l'Ouenza Plan d'ensemble	66

<b>Figure 3.8.</b> Mode de chargement d'un trou de mine	68
<b>Figure 3.9</b> travaux de transport sur la mine de l'Ouenza	69
<b>Figure 3.10.</b> Schéma représentatif des opérations au niveau de complexe minier de l'Ouenza	72
<b>Figure 4.1.</b> La carte géologique Quartier Chagoura Sud-PIC	76
<b>Figure 4.2.</b> La carte Topographie Quartier Chagoura Sud-PIC	77
<b>Figure 4.3.</b> Exemple détermination de la surface de rupture par la méthode « Grid »	81
<b>Figure 4.4.</b> Exemple des points d'entrée et sortie de la surface de glissement. Radius ».	81
<b>Figure 4.5.</b> Model initial géotechnique de la coupe	81
<b>Figure 4.6.</b> Le model géotechnique de la coupe verticale initiale	84
<b>Figure 4.7.</b> Le model géotechnique de la coupe verticale initiale	84
<b>Figure 4.8.</b> Le model géotechnique après l'extraction	86
<b>Figure 4.9.</b> Le model géotechnique après l'extraction	86
<b>Figure A.1.</b> Calcul de phase 1 « SE »	II
<b>Figure A.2.</b> Calcul de phase 2« SE »	II
<b>Figure A.3.</b> Calcul de phase 3 « SE »	III
<b>Figure A.4.</b> Calcul de phase 4« SE »	III
<b>Figure A.5.</b> Calcul de phas1« NO »	IV
<b>Figure A.6.</b> Calcul de phase 2 « NO»	IV
<b>Figure A.7.</b> Calcul de phase 3« NO»	V
<b>Figure A.8.</b> Calcul de phase 4 « NO »	

## Liste des notations et des abréviations

$F_s$	Coefficient de sécurité [-]
$\tau_{\max}$	résistance au cisaillement [KN / m <sup>2</sup> ]
$T$	Contrainte de cisaillement [KN / m <sup>2</sup> ] H Hauteur [m]
$C$	Cohésion [KN / m <sup>2</sup> ]
$\gamma$	Poids volumique du sol [KN/m <sup>2</sup> ]
$\alpha$	Angle de talus [°]
$\varphi$	Angle de frottement [°]
$\gamma_s$	Poids volumique sec [KN / m <sup>3</sup> ]
$\gamma_{\text{unsat}}$	Poids volumique humide [KN / m <sup>3</sup> ]
$W$	Poids des terres en mouvement [KN]
$N$	Force normale [KN]

## Introduction générale

La géotechnique est une discipline qui étudie et applique les principes de la mécanique des sols et des roches à l'ingénierie des terrains. Son objectif est d'évaluer les propriétés géotechniques des sols et des roches, de comprendre leur comportement mécanique et de fournir des recommandations pour assurer la stabilité des structures et des ouvrages, y compris dans les mines à ciel ouvert.

Dans les mines à ciel ouvert, les glissements de terrain peuvent représenter un risque majeur pour la sécurité des travailleurs et la continuité des opérations minières. Un glissement de terrain se produit lorsque des matériaux du talus se déplacent de manière non contrôlée, généralement vers le bas de la pente. Plusieurs facteurs peuvent contribuer à ces glissements, tels que la géologie du site, l'angle du talus, les conditions hydrologiques et les forces externes telles que les séismes.

La stabilité des talus revêt donc une importance cruciale dans les mines à ciel ouvert afin de prévenir les glissements de terrain. Elle fait référence à la capacité des talus à résister aux forces internes et externes susceptibles de les perturber. Les ingénieurs géotechniciens évaluent les caractéristiques géologiques du site, réalisent des études géotechniques approfondies et utilisent des modèles informatiques pour évaluer la stabilité des talus et recommander des mesures de stabilisation appropriées.

Ce mémoire se propose de déterminer les paramètres géométriques des gradins et du talus, ainsi que les propriétés géotechniques de la mine de l'Ouenza du mont Mellegue. L'objectif est d'étudier le comportement géomécanique dans la zone d'étude en se basant sur une modélisation numérique du quartier Chagoura sud, afin de comprendre l'impact de l'extraction minière sur la stabilité du talus. Le mémoire est organisé en quatre chapitres :

Chapitre 1 : Généralités sur les mines à ciel ouvert.

Chapitre 2 : Définition de la géotechnique et problématique spécifique aux mines à ciel ouvert.

Chapitre 3 : Présentation du cas d'étude.



Chapitre 4 : Calcul de la stabilité du quartier Chagoura sud.

Ces différentes parties du mémoire permettront d'approfondir la compréhension de la stabilité des talus dans les mines à ciel ouvert et de proposer des recommandations appropriées pour assurer la sécurité et la durabilité des opérations minières.

# **Chapitre I: Généralités sur les mines à ciel ouvert**

### 1. Introduction

Le chapitre présent aborde l'exploitation minière à ciel ouvert, également connue sous le nom de mines à ciel ouvert (MCO). Cette méthode est largement préférée pour l'extraction du minerai des gisements proches de la surface. Elle offre des avantages économiques considérables par rapport aux méthodes d'exploitation souterraines. Ce chapitre examine les différentes techniques et méthodes utilisées dans les mines à ciel ouvert, ainsi que le rôle crucial de la géotechnique dans la sécurité et l'efficacité de ces opérations minières.

### 2. Les mines à ciel ouvert

L'exploitation minière à ciel ouvert est la méthode privilégiée pour extraire le minerai des gisements proches de la surface, souvent à des profondeurs allant jusqu'à 400 mètres. Le coût par tonne de minerai à extraire est généralement inférieur au coût d'extraction du minerai à l'aide de méthodes souterraines (Philippe, 2018).

Le choix de la méthode ouverte implique :

Possibilité d'agrandir la fosse (hauteur (ou profondeur), longueur et largeur).

La géométrie des flancs, avec des marches plus ou moins hautes et abruptes et des marches plus ou moins larges, est destinée à limiter le volume des stériles et à assurer la stabilité du talus (Philippe, 2018).

Selon la disposition des zones minéralisées, elles sont traditionnellement divisées en:

- Exploitation minière de découverte (pour les gisements stratifiés, les extensions horizontales peu profondes et importantes) .
- Exploitation à ciel ouvert (lorsque le gisement est enfoncé dans le sol et que l'extension latérale est réduite).

Pour les minerais de fer, c'est l'exploitation en fosse qui est la règle. L'exploitation minière à ciel ouvert nécessite généralement l'utilisation d'équipements de construction de taille « non standard » (excavatrices, camions à benne basculante,

chargeuses lourdes) tels que ceux que l'on trouve dans certaines grandes carrières et usines de granulats (Philippe, 2018).

L'amélioration technique constante de ces machines et leur adaptation aux méthodes d'extraction actuelles sont des facteurs déterminants dans le choix du mode d'exploitation optimal. Les progrès de ce type d'équipement et de sa capacité de chargement peuvent réduire le coût d'exploitation d'une mine, de sorte que de plus en plus de mines fonctionnent à ciel ouvert (Philippe, 2018).



**Figure 1.1.** Mine à ciel ouvert (Ouenza)

Une entreprise autonome dans le cadre duquel se réalise l'exploitation à ciel ouvert porte le nom de carrière ou découverte ou mine à ciel ouvert.

Dans l'ensemble des travaux miniers d'une mine ciel ouvert, on distingue quatre opérations technologiques principale (Kanute Mudianga):

- L'abattage (avec ou sans explosifs selon la nature de la roche) ;
- Le chargement des produits ;

- Le transport.

En mines à ciel ouvert, il existe deux schémas types des opérations technologiques selon qu'on se trouve dans les roches dures ou dans les tendres (Kanute Mudianga).

- L'exploitation dans les roches dures

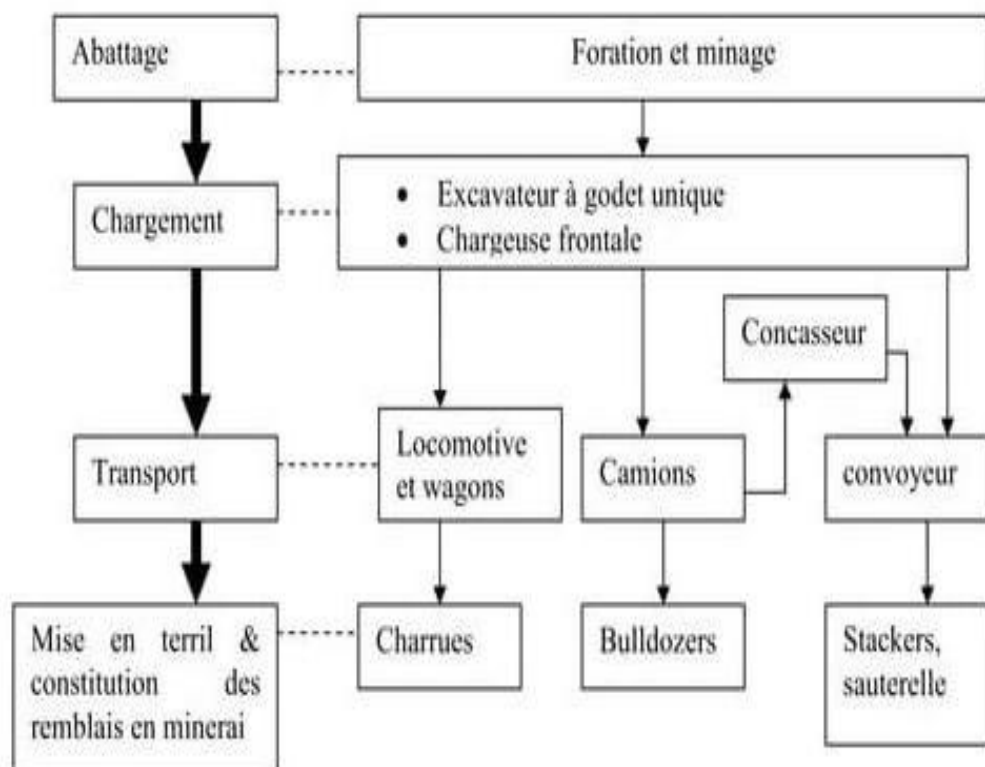
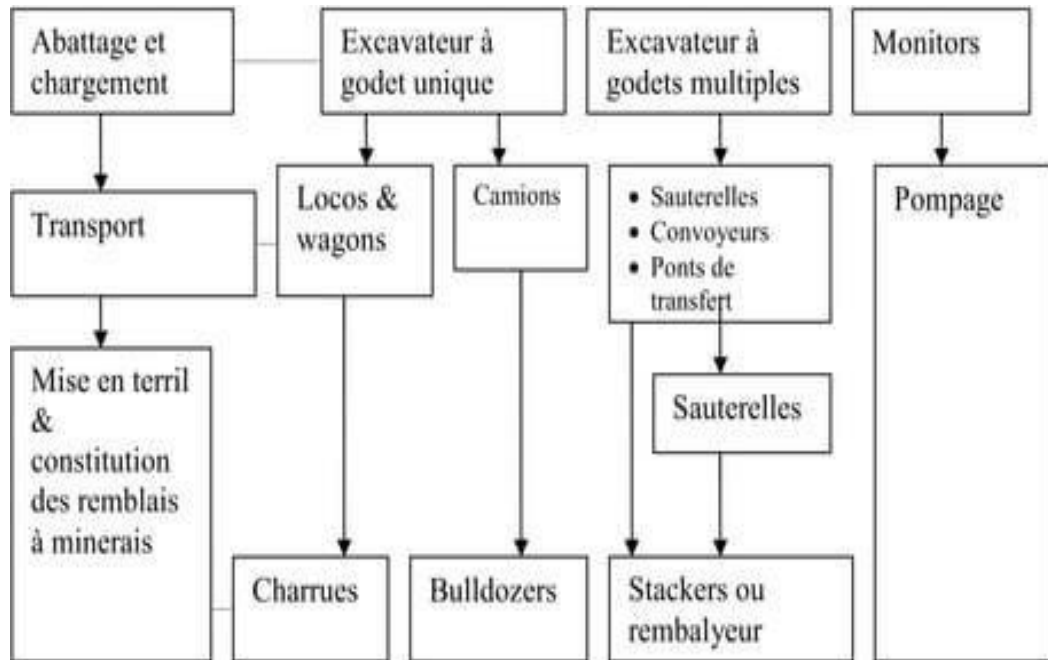


Figure 1.2 Schéma opérationstechnologiques Dans les roches dures (Kanute Mudianga).

• L'exploitation dans les roches tendres



**Figure 1.3** Schéma opérationstechnologiques Dans les roches tendres (Kanute Mudianga)

### 3. Les Méthodes d'exploitation à ciel ouvert

En général, toutes les méthodes d'exploitation débutent par un point commun : le découpage.

La tranchée de découpage constitue en fait la suite de la tranchée d'accès et coupe les horizons en direction d'une limite de la mine (ou de la carrière) à une autre.

L'exploitation d'un gradin commence par l'élargissement d'un ou de deux bords de la tranchée de découpage.

L'élargissement des bords de la tranchée de découpage est l'exploitation proprement dite du gradin.

Deux grandes méthodes d'extraction apparaissent selon la nature des formations géologiques composant les gisements :

- Exploitation de gisements de roches meubles (argiles, marnes, sables, calcaires friables...).
- Exploitation de gisements de roches massives (calcaires durs, gypse,

dolomie, basalte, granite...).



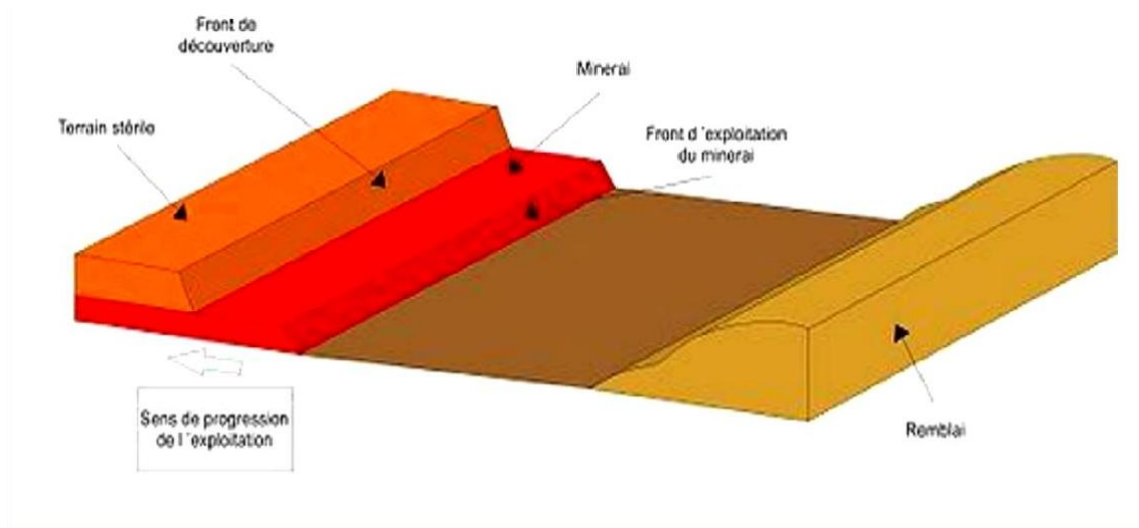
Dans le cas de roches meubles, la fragmentation du minerai sera réalisée à l'aide de moyens mécaniques seulement (bulldozer avec riper, pelles mécaniques...) alors que dans le cas de roches massives, il sera question de l'utilisation de substances explosives (Makhlouf, 2012).

Partant de ces principes, la méthode d'exploitation adaptée sera fonction des dimensions des gisements, de leur emplacement dans l'espace, du taux de recouvrement et des moyens à mettre en œuvre en fonction du niveau de production requis (Makhlouf, 2012).

### Critères de choix d'une méthode d'exploitation

Il faut tenir en compte dans le choix d'une méthode ces choses :

- La forme géométrique des corps minéralisés.
- La mécanique des roches.
- Disponibilité du matériel.
- Le déblocage et le soutènement.
- L'environnement



**Figure 1.4.** Schéma de l'exploitation par découvert (Philippe, 2018).

Il existe deux méthodes principales dans l'exploitation d'une mine à ciel ouvert :

### **L'exploitation par découvert**

Cette méthode s'applique aux gisements stratiformes, peu profonds et s'étendant fortement horizontalement.

Une tranchée ouverte est créée dans le recouvrement stérile sur la largeur totale à exploiter (elle est élargie progressivement vers les extrémités qui constituent le front de découverte) jusqu'au début de la surface de minéralisation : c'est la découverte. Ce procédé est continu, l'extraction et l'évacuation s'enchaînant (figure 2.1).

L'exploitation du minerai se fait à partir d'une tranche initiale qui progresse parallèlement à la découverte (front d'exploitation), les stériles étant remis en place au fur et à mesure pour combler l'excavation (front de remblayage).

Le matériel utilisé est divers: pelles, camions, draglines, pelles mécaniques, racleurs, etc.

Elle est utilisée surtout pour l'exploitation de gisements en roches tendres et elle est particulièrement développée dans les mines de charbon (graphite) (Makhlouf, 2012).

### **L'exploitation par fosse**

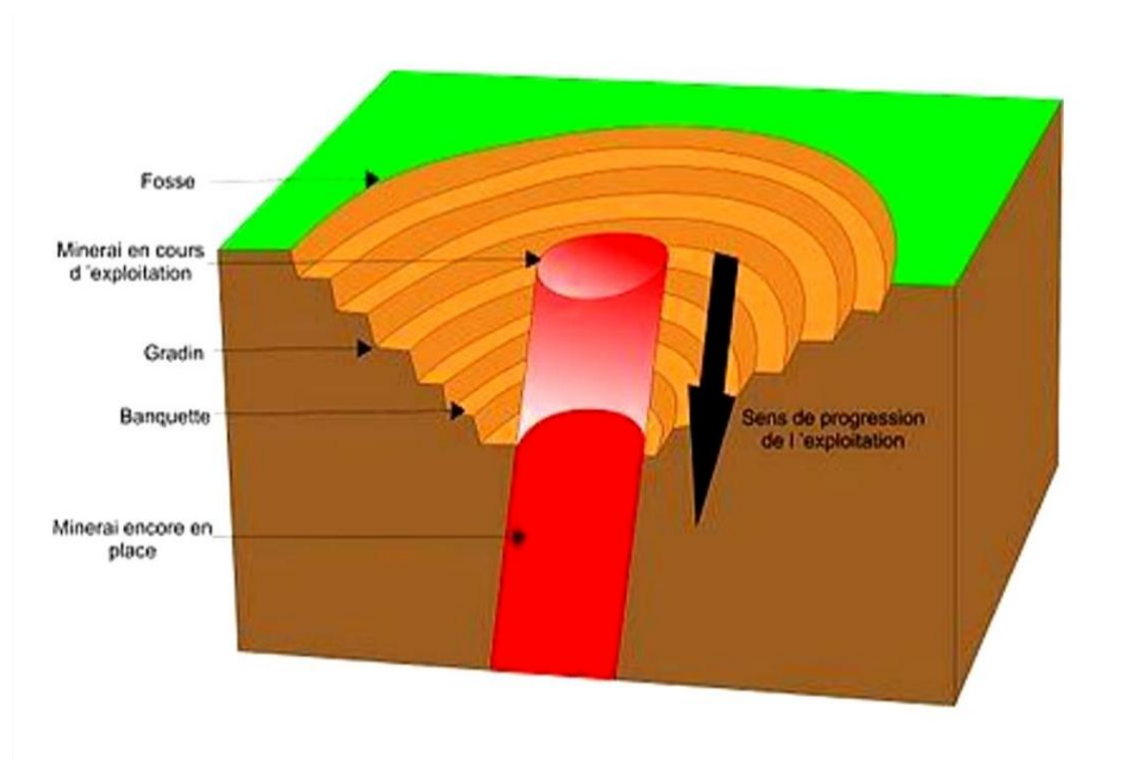
Cette méthode s'applique à l'extraction de minerai encaissé dans des roches dures, disséminé ou en veines profondes avec une extension latérale réduite.

Elle est réservée aux filons, aux couches fortement pentes et aux amas. Ainsi, dans ce type d'exploitation, la découverte va porter sur tout le volume du cône qui constitue la fosse.

Tous les matériaux stériles sont évacués hors de la fosse et stockés (pour remblayer éventuellement le trou).

Les parois de la fosse, pour des raisons de sécurité, doivent avoir une inclinaison horizontale limitée entre 30° et 70°, cette valeur variant selon la nature de la roche.

Seulement, le taux de découverte va s'accroître très vite avec la profondeur (plus la profondeur augmente, plus le cône augmente, impactant fortement sur la découverte totale), ce qui limite l'intérêt économique de la méthode (Makhlouf, 2012).



**Figure 1.5.** Schéma de l'exploitation par fosse. (Philippe, 2018)

### Principaux éléments d'une exploitation à ciel ouvert

Le stade principal en mine à ciel ouvert consiste à élargir petit à petit une tranchée de découpage dont les parois sont taillées et prennent par la suite la forme d'un gradin.

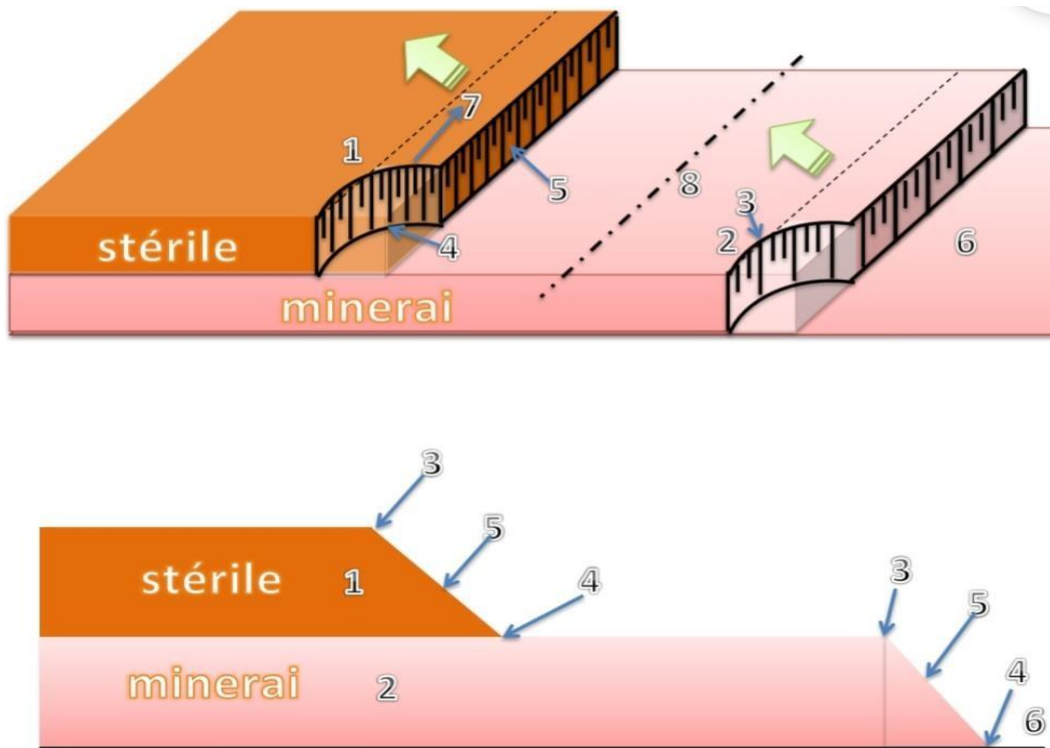
#### Gradins

C'est un élément fondamental technologique de l'exploitation à ciel ouvert représentant une partie des morts-terrains ou du gisement enlevé de manière autonome et qui est desservi par des moyens de transport qui lui sont propres (Kanute Mudianga).

Chaque gradin a généralement deux surfaces dégagées :

- Le front d'attaque ;
- Le talus du gradin.

Les éléments géométriques et technologiques sont sur la figure ci-dessous.



**Figure 1.6.** Eléments géométriques d'exploitation (Makhlouf, 2012)

- 1 Gradinstérile
- 2 Gradin minéralisé
- 4 Arrête supérieur
- 5 arrête inférieur
- 6 Talus du gradin aufront de taille
- 7 Plateforme de travail
- 8 Tranche d'enlevure
- 9 Axe de la voie de transport

### Bords

Les bords de la mine sont des surfaces latérales limitant les vides créés par l'exploitation. Ce sont des plates-formes et des talus des gradins.

On distingue :

- Les bords de travail ;
- Les bords inexploités.

Les bords de travail représentent un ensemble de gradins sur lesquels les travaux d'exploitation sont exécutés progressivement. Les bords inexploités sont des bords où l'on n'effectue pas les travaux d'exploitation et sont utilisés pour l'évacuation des produits et la sécurité des travaux (Kanute Mudianga).

Souvent, on prend comme niveau de référence, le niveau de la mer.

### **Contour de la carrière**

Le contour supérieur de la mine est l'intersection du bord supérieur de la mine et la surface vierge. Tandis que le contour inférieur est l'intersection du bord inférieur de la carrière et de son fond (Kanute Mudianga).

### **Talus**

La position principale du bord de la carrière en tout moment d'exploitation est caractérisée par le talus de la mine. Ce dernier représente une surface imaginaire passant par le contour supérieur et inférieur de la mine (Kanute Mudianga).

- L'angle de talus de la mine est déterminé en fonction de :
- La position de la profondeur d'exploitation.
- La largeur de la plateforme de travail et banquettes de sécurité.
- La tenue des roches formant le bord de la mine.

Pour les bords de travail, l'angle de talus est toujours inférieur à celui du bord inexploité.

D'une façon normale, on adopte des angles des talus plus faibles pour une roche de mauvaise tenue. Par contre, on adopte des angles plus élevés pour une roche de bonne tenue.

#### 4. Rôle de la géotechnique dans les mines à ciel ouvert

Le rôle de la géotechnique dans les mines à ciel ouvert est crucial pour assurer la sécurité et l'efficacité de l'exploitation minière. Voici quelques-uns des rôles principaux de la géotechnique dans ce contexte :

- **Évaluation des caractéristiques du sol et de la roche :** La géotechnique effectue des études approfondies pour comprendre les propriétés géologiques, géotechniques et mécaniques du sol et de la roche présente dans la mine à ciel ouvert. Cela permet de déterminer la stabilité des pentes, les propriétés de portance du sol et d'autres paramètres importants.
- **Conception des pentes et des talus :** La géotechnique joue un rôle clé dans la conception des pentes et des talus de la mine à ciel ouvert. En utilisant des méthodes d'analyse géotechnique avancées, elle évalue la stabilité des talus et recommande des angles de pente appropriés pour assurer la sécurité des opérations minières.
- **Surveillance de la stabilité des talus :** La géotechnique met en place des systèmes de surveillance pour surveiller en continu la stabilité des talus dans la mine à ciel ouvert. Cela peut inclure l'utilisation de capteurs géotechniques, de modèles numériques et d'autres techniques pour détecter les mouvements, les déformations ou les signes précurseurs de défaillance des talus.
- **Gestion des risques géotechniques :** La géotechnique évalue les risques géotechniques associés à l'exploitation minière à ciel ouvert, tels que les glissements de terrain, les effondrements ou les chutes de blocs. Elle développe des plans de gestion des risques pour minimiser ces dangers et met en œuvre des mesures de prévention appropriées, telles que des techniques de stabilisation des talus ou des méthodes de remblayage.
- **Planification minière et optimisation des opérations :** La géotechnique fournit des informations cruciales pour la planification minière et l'optimisation des opérations dans les mines à ciel ouvert. Elle aide à définir les limites de la mine, à évaluer les contraintes géotechniques pour l'emplacement des infrastructures minières, et à prendre des décisions éclairées sur la séquence d'extraction et les méthodes d'exploitation les plus appropriées.

## 5. Conclusion

Ce chapitre a exploré les différentes techniques et méthodes utilisées dans les mines à ciel ouvert, en mettant l'accent sur l'exploitation par découvert et l'exploitation par fosse. De plus, il a souligné le rôle crucial de la géotechnique dans la conception, la surveillance et la gestion des risques géotechniques dans les mines à ciel ouvert. En combinant une compréhension approfondie des caractéristiques géologiques et mécaniques du sol et de la roche avec des pratiques de conception et de surveillance appropriées, il est possible d'assurer la sécurité et l'efficacité des opérations minières à ciel ouvert.



**Chapitre II:  
Rôle de la  
géotechnique  
dans les mines  
à ciel ouvert**

## 1. Introduction

Ce chapitre porte sur la géotechnique, qui est l'étude de l'adaptation du travail humain aux sols et aux roches qui composent le terrain naturel. La géotechnique englobe les interactions sol-structure et utilise des disciplines telles que la géologie, la mécanique des sols, la mécanique des roches et les fondations structurelles. Les études géotechniques sont essentielles pour la construction d'ouvrages et la détermination des fondations, ainsi que pour les diagnostics structuraux.

De nombreux outils sont disponibles dans la mécanique des roches pour évaluer la stabilité des pentes rocheuses à savoir: la méthode de calcul à l'équilibre limite, la méthode des éléments finis, la méthode des différences finies et la méthode. En raison de la présence des discontinuités dans les massifs rocheux, la modélisation par la méthode des éléments finis s'avère l'outil le plus approprié pour modéliser ces pentes roche

## 2. La géotechnique

La géotechnique est l'étude de l'adaptation du travail humain aux sols et aux roches qui composent le terrain naturel. Il traite des interactions sol-structure et utilise la géologie, la mécanique des sols, la mécanique des roches et les fondations structurelles. (Parallèlement à la mécanique des sols, qui traite des matériaux meubles, la mécanique des roches traite des matériaux durs et les matériaux cimentaires traitent des catégories de matériaux intermédiaires entre le sol et la roche.)

Les études géotechniques ont pour objet principal les études de sol, notamment la détermination des fondations, pour la construction d'ouvrages (pavillons, bâtiments, voiries, ouvrages de génie civil, etc.), mais elles entrent également dans le cadre des diagnostics structuraux. Il traite également des phénomènes tels que le mouvement du sol (glissement, affaissement, etc.), la déformation (affaissement dû à la charge) et la résistance mécanique.

Les ingénieurs géotechniciens dirigent des équipes de forage, effectuent toutes sortes d'essais sur le terrain et en laboratoire et possèdent des connaissances en géologie, hydrogéologie, mécanique des terres et génie civil. Toutes ces connaissances

doivent être résumées afin de pouvoir construire au meilleur coût en toutes circonstances (Cambefort, 1971 ; Parez, 1983 ; Martin, 2008) .

### **Mécanique des sols**

Le domaine-là principalement primitif du talent géotechnique est la cinétique des sols. Il claustration des sédiments non consolidés à faiblard démenti textuels que le sable, la sédiment et l'erre qui forment régulièrement l'intimité des surfaces horizontales à cause les grandes villes, les zones adjacentes aux mers et aux rivières ou les dépressions intérieures. Des villes chez Amsterdam, Mexico et São Paulo posent un risque délicat aux constructeurs de grands bâtiments.

Les grands plans des méthodes utilisées ont été établies au arrivage de cette date et continuent d'convenir utilisées fors convenir perfectionnées dans des domaines spécifiques (Terzaghi & Peck, 1961 ; Martin, 2008 ; SIMSG).

### **Mécanique des roches**

Les agissements des roches dures n'avènement légèrement de problèmes dans L'équilibre des édifices courants. Il n'en est surtout aussi dans des actions transmettant au sol d'épouvantablement fortes contraintes pendant lequel les barrages, et fourrure dans les cavités, tunnels, mines ou carrières.

Il y a un découplé avantageux délicat à trouver au plus les dimensions des appuis que l'on doit enlever pendant un écrasement souterrain, dans ménager son effondrement (qui peut bien des conséquences catastrophiques) ou l'étendue et le summum des amphithéâtres pendant un écrasement à peuple ouvert. Le soin tient fourrure, à ce que les risques de griffure ne résultent non pas de La sujet analogue de la caillasse exclusivement de sa fissuration. Parfois virtuelle et aléatoire (Talobre, 1957 ; Panet, 1976).

### **Etude géotechnique**

L'étude géotechnique d'un sol passe par les phases suivantes :

- Reconnaissance in situ (forage, Prospection géophysique).
- Essais en laboratoires.

### **Reconnaissance « in-situ »**

La première reconnaissance visuelle, permet d'inscrire un meilleur programme de reconnaissance « in-situ » en fonction des sols rencontrés et des problèmes géotechniques pressentis.

Le programme peut supporter un éventail exagérément varié d'investigation que l'on présentera laconiquement entre ce qui suit :

### **a. Forages**

Pour pouvoir déterminer avec précision l'épaisseur et la composition des couches de sol existantes, des échantillons sont généralement prélevés sur un sol retravaillé ou intact pour des tests en laboratoire.

C'est le seul moyen de déterminer avec précision l'épaisseur et la composition des couches de sol existantes. Les tests de laboratoire prélèvent généralement des échantillons de sol traité ou intact.

Cette excavation permettra également d'enregistrer et de surveiller les niveaux des eaux souterraines à l'aide de mesures piézoélectriques. Ils peuvent être créés comme ceci :

- Manuel : Ce sont des puits creusés à la main ou à la pelle mécanique dont la profondeur ne dépasse pas 3-4 m. Ceux-ci permettent une reconnaissance visuelle directe des parois du puits et le retrait d'échantillons intacts et/ou altérés.
- Par tarières : les tarières sont des outils en spirale qui sont enfoncés dans le sol et peuvent couvrir le terrain qu'ils traversent pendant leur travail. La profondeur d'exploration est limitée à environ 10 mètres et les types de sols sont identifiés visuellement.
- Avec une perceuse : Avec une tige de forage et un trépan diamanté, vous pouvez pénétrer à des profondeurs de plusieurs dizaines de mètres. Les couches de sol généralement sont identifiées visuellement et les échantillons sont prélevés intacts ou modifiés pour des tests de laboratoire.

### **b. Méthodes géophysique**

- Prospection sismique : le principe consiste à mesurer la vitesse de propagation des ondes primaires ou ondes P (les mieux rapides) et à en déduire la nature sol traversé.

**Tableau 2.1.** Valeurs de vitesses d'ondes P en fonction de la nature du sol (Academie de montpellier, 2020).

Nature du sol	Vitesse $V$
Argiles et limons	400-1500
Sables et gravies	300-1200
Roches altérés	800-2500
Roches massives	200-6000

Ces méthodes permettent de déterminer de façon approximative l'épaisseur des différentes couches et à eux nature, elles-mêmes ne s'appliquent pas pour le cas de fortes teneurs en eau.

La prospection électrique : Cette insensibilisation est basée sur l'épaisseur de la résistance électrique d'un volume de sol dans deux électrodes placées en surface, sézigue permet d'influer les différentes couches de sols et à elles épaisseurs, et en général de contrôler l'homogénéité des terrains. Cette méthode est ressourcée adaptée pendant les sols à fortes teneurs en eau.

### Différents essais en laboratoire

Les essais réalisés en laboratoire sont :

- Les essais d'identification.
- Les essais mécaniques

### Essais d'identification:

- Teneur en eaux et masse volumique.
- Analyse granulométrique.

- Limites d'atterberg.
- Equivalent de sable
- Essai au bleu de méthylène (ou à la tache)

### **Essais mécaniques :**

- Essai PROCTOR.
- Essai CBR
- Essai Los Angeles.
- Essai Micro Deval.

## **3. La géomécanique**

La géomécanique, communément confondue avec la géotechnique, est un outil mathématique, nécessaire mais déficient. En effet, la géologie (géologie structurale, géomorphologie, géodynamique) et la géophysique (électricité, sismologie) déterminent la forme, l'état de la masse réelle du matériau terrestre à l'étude, nécessaires pour établir les conditions initiales, devraient fournir un modèle de comportement. Il décrit l'application des théories basées sur des "lois" linéaires et déterministes telles que Hooke, Coulomb, Terzaghi et Darcy, les limites du calcul analytique ou numérique du comportement schématique et fixe des environnements virtuels, c'est-à-dire les formalités.

Dans la pratique géotechnique, la géomécanique, la géologie et la géophysique sont étroitement liées, interdépendantes et complémentaires. Des moyens géophysiques permettent la 'visualisation' des coupes géologiques, du sous-sol pour en identifier la morphologie et la structure. Les modèles géométriques obtenus par levé et tomographie sismique sont essentiels pour la géomécanique afin de valider un modèle de calcul particulier (Hamond & al., 2000 ; Makhlouf, 2012).

### **Les propriétés physico-mécaniques des roches**

La connaissance du matériau rocheux implique la détermination d'un certain nombre de caractéristiques physiques et mécaniques. Celles-ci peuvent être déterminées d'une part par des essais en laboratoire sur des échantillons provenant soit de forages carottés, soit de blocs prélevés in situ et d'autre part par des essais effectués in situ soit dans des forages, soit dans des tranchées, des puits ou des galeries soit à partir du terrain

naturel.

La roche, tout comme le sol, est constituée de matériau solide et de vides. Ces vides peuvent être remplis soit d'air (échantillon sec), soit d'eau (échantillon saturé) soit des deux (échantillon humide). Il faut toutefois noter que certains vides ne sont pas accessibles à l'imbibition notamment ceux résultant de la formation de bulles de gaz enfermées dans le matériau solide (roches éruptives) (Grolier et al., 1990).

**a. La porosité**

La porosité d'une roche est le pourcentage d'espace vide (ou de pores) présent dans la roche. Elle peut influencer la capacité d'une roche à stocker et à transporter des fluides tels que l'eau ou les hydrocarbures.

C'est le rapport du volume des vides  $v_v$  de la roche au volume total  $V_t$  :

$$P = \frac{V_v}{V_t} \times 100 \tag{1}$$

Selon la porosité, les roches sont classées en quatre classes:

**Tableau 2.2.** Types de roches selon la porosité. (Jmvallee, 2005)

Roche de faible porosité	$0 < P < 5 \%$
Roche de porosité moyenne	$5 < P < 10 \%$
Roche de porosité élevée	$10 < P < 20 \%$
Roche de porosité très élevée	$P > 20 \%$

**b. Le poids volumique**

- **Le poids spécifique**

Le poids spécifique de la roche est le poids des grains  $P_s$  par unité de volume des grains  $V_s$  :

$$\gamma_s = \frac{P_s}{V_s} \tag{2}$$

- **Le poids volumétrique**

Le poids volumétrique est le poids de l'échantillon P, eau comprise, par unité de volume V :

$$\gamma = \frac{P}{V} \quad (3)$$

- **Le poids volumétrique sec**

Le poids volumétrique sec  $\gamma_d$  est le poids des grains  $P_s$ , par unité de volume de la roche V :

$$\gamma_d = \frac{P_s}{V} \quad (4)$$

### **C. Indice des vides**

L'indice des vides e est le rapport du volume des vides  $V_v$  au volume des grains

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad (5)$$

### **d. La teneur en eau**

La teneur en eau w est le poids de l'eau  $P_w$  rapporté au poids des grains  $P_s$  rapporté en pourcent :

$$w = \frac{P_w}{P_s} \times 100 \quad (6)$$

### **e. Degré de saturation**

Le degré de saturation  $S_r$  est le rapport de la teneur en eau w à la teneur en eau à la saturation  $W_s$  exprimé en pourcent :

$$S_r = \frac{W_v}{W_s} \times 100 \quad (7)$$



**f. Densité**

La densité qui mesure la quantité de masse contenue dans un volume donné. Elle est définie comme la masse d'un matériau par unité de volume. La densité est souvent exprimée en kilogrammes par mètre cube ( $\text{kg/m}^3$ ):

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. (Semmache, 2015)

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. (Semmache, 2015)

**g. Dureté**

La dureté d'une roche est une mesure de sa résistance à l'indentation ou à la rayure. Elle peut être mesurée à l'aide de différentes échelles, telles que l'échelle de Mohs ou l'échelle de dureté de Vickers.

**Tableau 2.3.** Echelle de dureté de Mohs.(Semmache, 2015)

Dureté	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Minéraux de Référence	Talc	Gypse	Calcite	Fluorite	Apatite	Orthose	Quartz	Topaze	Corindon	Diamant

### h. Module de Young

Le module d'élasticité est une mesure de la rigidité d'une roche et de sa capacité à récupérer sa forme initiale après avoir été soumise à une contrainte. Il est utilisé pour décrire le comportement élastique des roches:

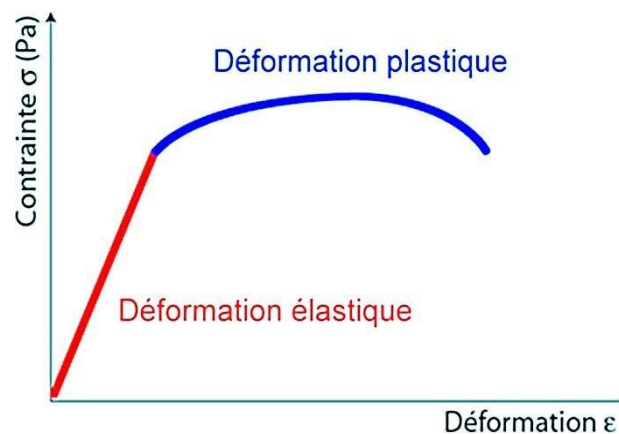
$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (9)$$

Où :

$\sigma$  est la contrainte (en unité de pression).

E est le module de Young.

$\varepsilon$  est l'allongement relatif, ou déformation (adimensionnel).



**Figure 2.1.** Diagramme contrainte déformation. (Semmache, 2015)

### i. Le coefficient de Poisson

Le coefficient de Poisson permet de caractériser la contraction de la matière perpendiculairement à la direction de l'effort appliqué:

$\nu$  : Contrainte transversale unitaire / allongement axiale unitaire

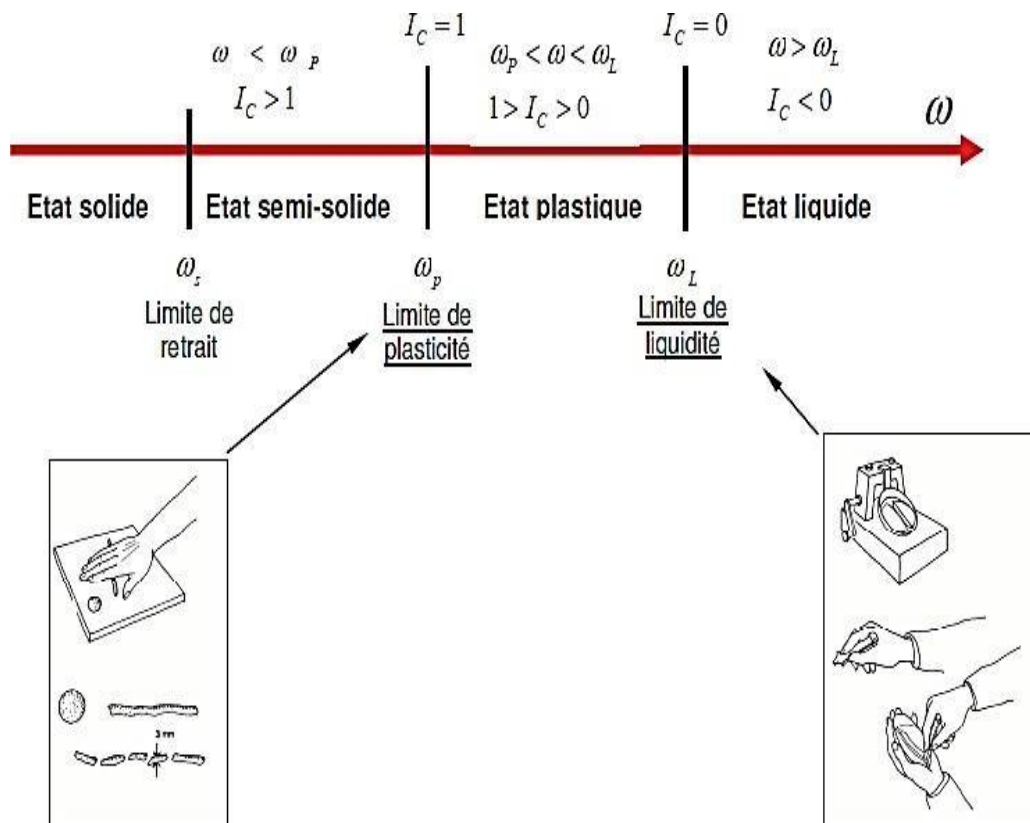
Ce coefficient est lié Module de Young (E) par la relation:  $E = 2G(1 + \nu)$ , relation qui est valable dans le domaine plastique seulement.

G : module de cisaillement

**j. Les limites d'Atterberg**

Elles définissent les différents états de consistance d'un matériau, en fonction de sa teneur en eau. Les trois limites d'Atterberg couramment utilisées sont :

On définit d'un manière arbitraire une limite de liquidité (WL) qui sépare l'état plastique de l'état liquide et une limite de plasticité (WP) qui sépare l'état plastique de l'état semi-solide.



**Figure 2.2.** Essai limite d'Atterberg. (Semmache, 2015)

**k. L'indice de plasticité IP**

Il mesure l'étendue du domaine de plasticité du sol. Il s'exprime donc par la relation:

$$IP = WL - WP \quad (10)$$

**Tableau 2.4.** Classification de l'argilosité d'un sol selon l'indice de plasticité  $I_p$ . (Semmaché, 2015)

Indice de plasticité $I_p$	Etat du sol
0-5	Non plastique
5-15	Peu plastique
15-40	Plastique
>40	Très plastique

**l. Indice de consistance  $I_c$**

Il représente, la teneur en eau relative par apport aux limites de liquidité et de plasticité ; il s'exprime par la relation suivante :

$$I_c = (WL - W)/I_p \quad (11)$$

**Tableau 2.5.** Etat du sol en fonction de l'indice de consistance. (Semmaché, 2015)

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

**m. La cohésion et de l'angle**

A partir des résultats des essais de cisaillement ou de traction et compression sur un échantillon donné, on peut calculer les valeurs de la cohésion et de l'angle de frottement interne par les formules suivantes:

$$C = \frac{(\sigma_c \times \sigma_t)}{2\sqrt{\sigma_c \times \sigma_t - 3\sigma_t^2}} \quad (12)$$

$$\varphi = \frac{\arcsin \frac{(\sigma_c - 4\sigma_t)}{(\sigma_c - 2\sigma_t)}}{2} \quad (13)$$

$$\tau = C + \sigma \operatorname{tg} \varphi \quad (14)$$

Où ;

$\tau$ : résistance au cisaillement

$\sigma_c$  : résistance à la compression

$\sigma_t$  : résistance à la traction

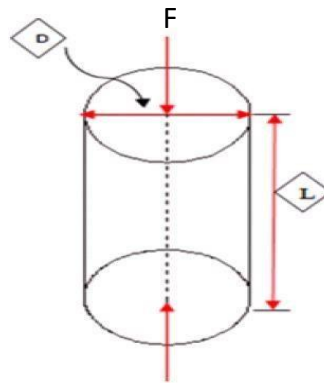
**n. Résistance à la compression**

Il s'agit de la capacité d'une roche à résister à une contrainte de compression appliquée dans une seule direction. Elle est mesurée en termes de la contrainte maximale qu'une roche peut supporter avant de se rompre. Elle est donnée par la formule suivante :

$$\sigma_c = \frac{F}{S} \quad (15)$$

F : effort (charge) maximale atteinte (juste avant la rupture).

S : est la surface de la section de l'éprouvette sur laquelle on applique l'effort F



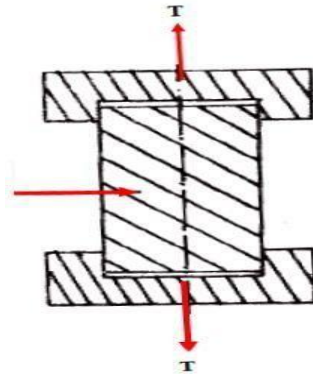
**Figure 2.3.** Principe de l'essai de Compression.

**Tableau 2.6.** Classes de résistance à la compression des roches. (Semmache, 2015)

Classe	Résistance $\sigma_c$ (MPa)	Description
R1	< 6	Résistance très faible
R2	6 à 20	Résistance faible
R3	20 à 60	Résistance moyenne
R4	60 à 200	Résistance élevée
R5	>200	Résistance très élevée

**o. Résistance à la traction**

C'est la capacité d'une roche à résister à une force de traction. La résistance à la traction est généralement plus faible que la résistance à la compression uniaxiale et varie d'une roche à l'autre.



**Figure 2.4.** Principe de l'essai de traction directe.

**Tableau 2.7.** Classification des roches en fonction de la résistance à la traction. (Semmache, 2015)

Roches	Faiblement Résistantes	Moyennes	Résistantes	Très résistantes
$\sigma_t$ (MPa)	0.40	1.5	4.00	>20

**p. Résistance de Cisaillement**

La résistance au cisaillement représente la résistance d'une roche à se déformer ou à se rompre sous l'effet de forces appliquées perpendiculairement à sa surface est généralement exprimée en termes de contrainte de cisaillement maximale (ou résistance au cisaillement non consolidée) ou de cohésion et d'angle de frottement interne.

L'appareillage nécessaire pour effectuer cet essai est la boîte de Casagrande  
 L'appareillage nécessaire pour effectuer cet essai est la boîte de Casagrande.

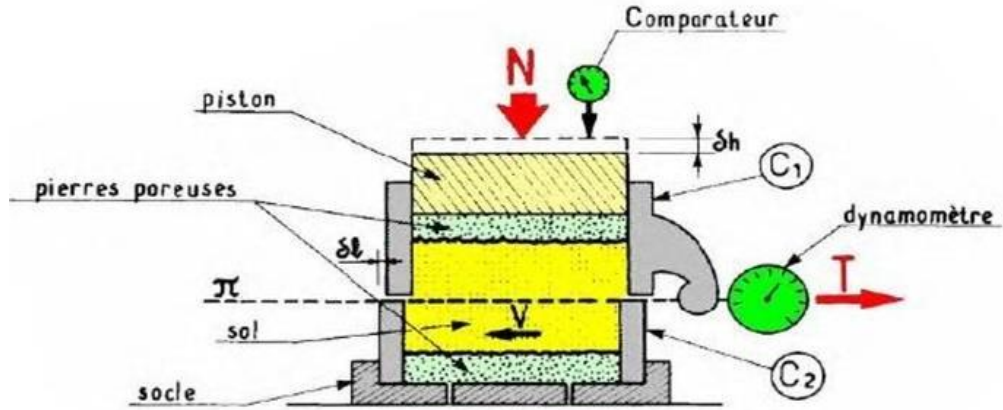


Figure 2.5. Cisaillement direct à la boîte de Casagrande.

La mesure de  $\sigma$  et de  $\tau$  à la rupture, déterminée sur trois ou quatre échantillons permet le tracé de la droite :

$$\tau = C + \sigma \operatorname{tg} \varphi \quad (16)$$

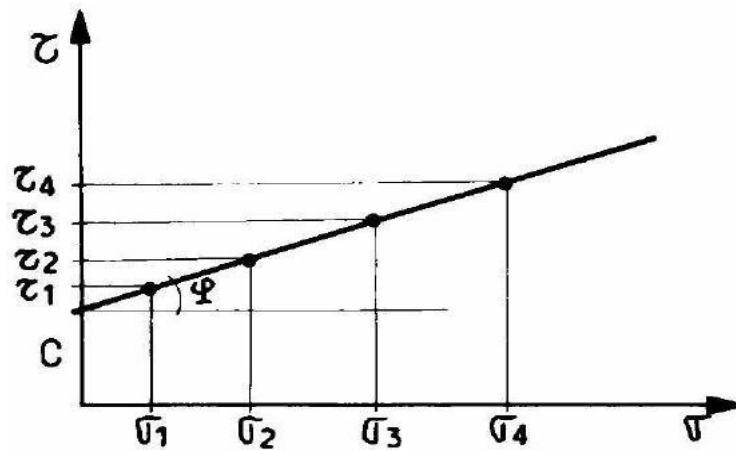


Figure 2.6. Détermination de C et  $\varphi$ .

#### 4. Le glissement de terrain

Un glissement de terrain est un phénomène géologique qui désigne le phénomène de descente d'une masse de terre sur une pente, sur un plan de glissement. Après la mise



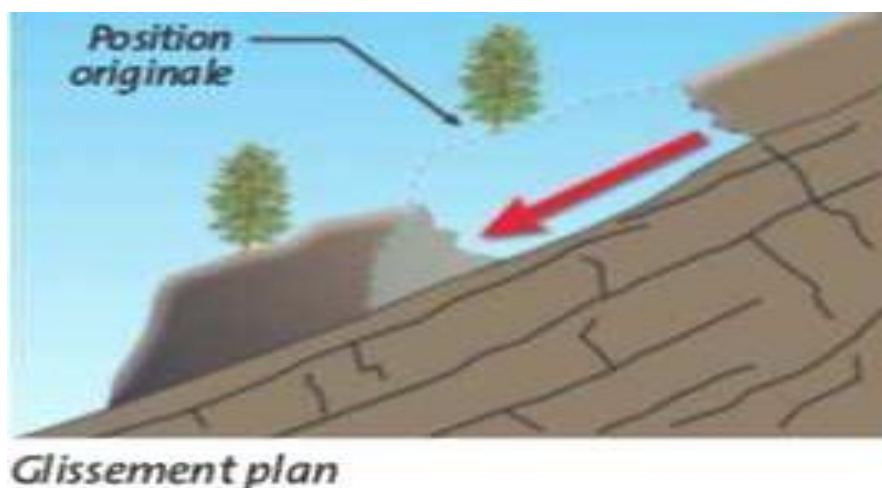
en mouvement le glissement de terrain conservera sa consistance et sa physionomie, ce qui le différencie des coulées de boue qui elles n'ont pas de forme propre. Des glissements de terrain peuvent être à l'origine de catastrophes naturelles, notamment suite à des fortes pluies, la déforestation peut être à l'origine de cette catastrophe naturelle.

Ils se caractérisent par la translation latérale d'une certaine masse de matériaux au niveau d'une surface de rupture nettement individualisée et se produisent généralement dans des matériaux faiblement cohérents (marnes, argiles.). Les glissements sont les mouvements qui affectent le plus fréquemment les ouvrages de génie civil et génie minier.

Selon la forme de la surface de rupture, on distingue trois types de glissements :

### **Glissement plan**

Il se produit suivant un plan, au niveau d'une surface de discontinuité géologique : zone entre deux matériaux de nature différente, failles, plans de stratification. La ligne de rupture suit une couche mince de mauvaises caractéristiques sur laquelle s'exerce souvent l'action de l'eau. Une telle couche est appelée « couche savon ».



**Figure 2.7.** Glissement plan.(Khalidouna, 2018)

### Glissement rotationnel simple

Ce type de glissement est très fréquent. La surface de rupture a une forme simple et peut être assimilée à un cylindre. Dans un tel glissement, on distingue: au sommet des fissures de traction et un escarpement, correspondant au départ de la surface de glissement, et à la base un bourelet formé par des matières glissées. Dans certains cas, la surface de rupture peut être assimilée à un cercle, d'où le nom de glissement circulaire.

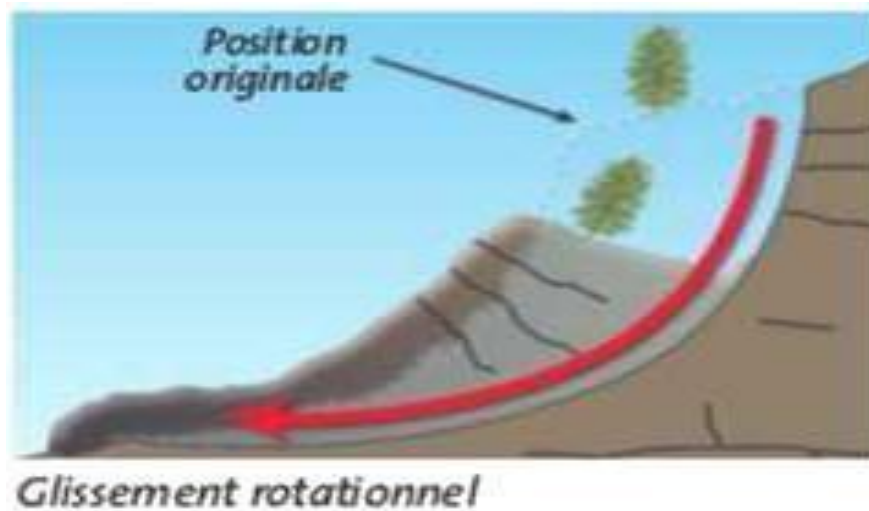
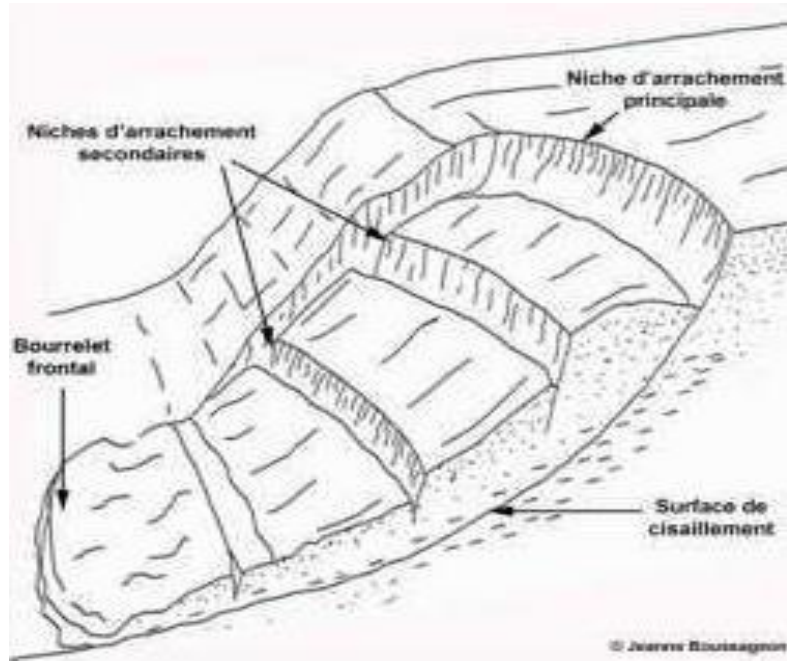


Figure 2.8. Glissement rotationnel simple. (Khaloudna, 2018)

### Glissement rotationnel complexe

Ce type de glissement est rare. Il s'agit de glissements multiples emboités les uns dans les autres, dus souvent à la suppression de la butée provoquée par le glissement précédent, ce qui entraîne des glissements successifs remontant vers l'amont.



**Figure 2.9.** Glissement rotationnel complexe. (Khaldouna, 2018)

Les glissements de terrain se différencient aussi par leur vitesse et par leur profondeur estimée de la surface de glissement.

Le tableau 2.8 présente la classification selon l'activité en fonction de l'évaluation de la vitesse moyenne de glissement à long terme et selon la profondeur de la surface de glissement.

**Tableau 2.8.** Classification selon l'évaluation de la vitesse moyenne de glissement et selon la profondeur de la surface de glissement. (Semmache, 2015)

Glissement	Vitesse de glissement	Glissement	Surface de glissement
Substabilisé, très lent	0 - 2 cm/an	Superficial	0 - 2 m
Peu actif, lent	2 - 10 cm/an	Semi profond	2 - 10 m
Actif (ou lent avec phases rapides)	> 10 cm/an	Profond	> 10m

## 5. Les glissements rocheux

### Glissement plan

C'est un glissement caractérisé par un mouvement de translation sur une discontinuité plane avec rupture lorsque les forces motrices dépassent la résistance au cisaillement des discontinuités. Les indices et les signes de son évolution sont les ouvertures de fissures en arrières. (Figure 2.10).

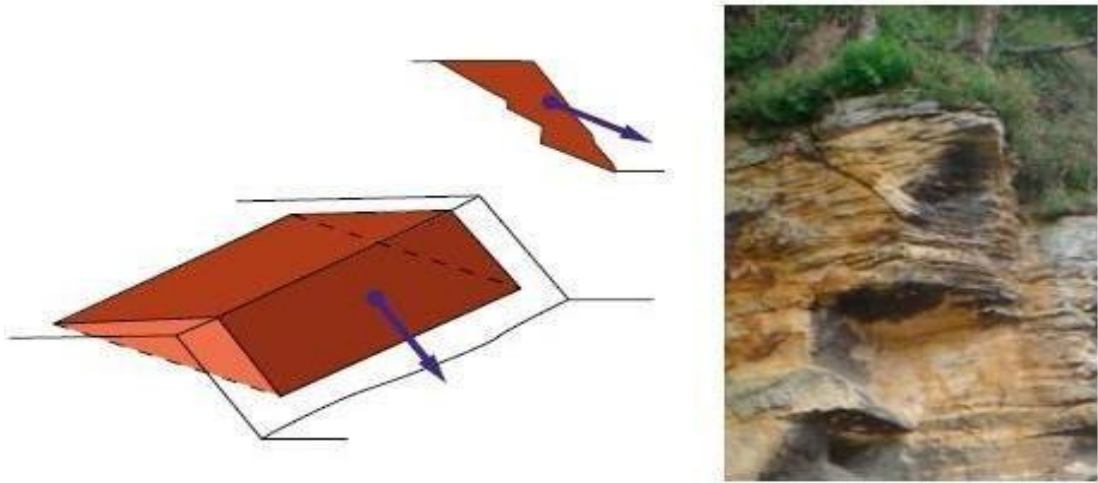
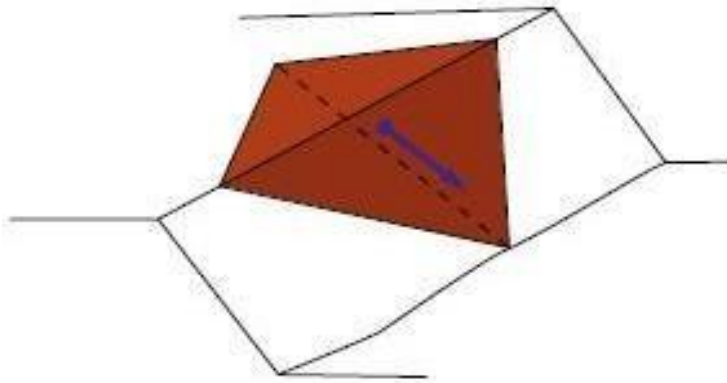


Figure 2.10. Glissement plan.

### Glissement dièdre ou en coin

Mouvement de translation combinée sur deux discontinuités formant un dièdre, avec rupture lorsque les forces motrices dépassent la résistance au cisaillement des discontinuités.

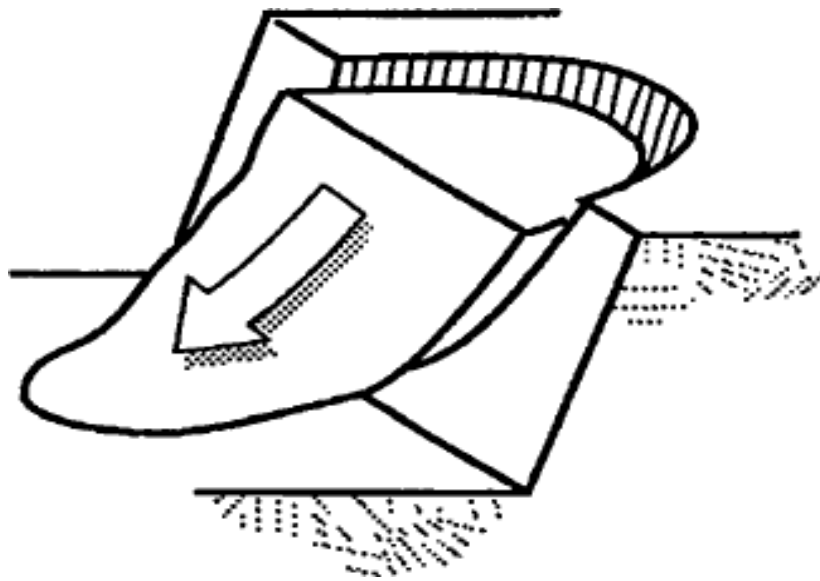
Comme pour le glissement plan, le dièdre doit recouper le versant avec un plongement aval suffisant. (Figure 2.11).



**Figure 2.11.** Rupture en dièdre ou en coin.

### **Glissement pseudo-circulaire**

Ce type de rupture affecte généralement les roches tendres ou très altérées se rapprochant du comportement des terrains meubles. (Figure 2.12).



**Figure 2.12.** Glissement pseudo-circulaire. (Makhlouf, 2012)

### **Principales causes des glissements de terrain**

Le processus d'instabilité d'une pente dépend de :

#### **La nature du terrain**

La nature de terrain dépend de la :

1) Géométrie de terrain La pente de la surface du terrain constitue le premier facteur de stabilité ou d'instabilité. La pente critique dépend de La nature des sols ou des roches (caractéristiques de résistance au cisaillement) et de la présence d'eau dans le massif.

#### 2) Résistance au cisaillement des sols ou des roches

Parmi les facteurs qui régissent la stabilité d'une pente, la résistance mécanique des sols et des roches constitue un élément essentiel. Le mécanisme de rupture mis en œuvre dans les phénomènes d'instabilité fait intervenir la résistance au cisaillement. Cette résistance, en un point donné, dépend de la nature du matériau, de son histoire et de l'état de contraintes qui règne au point considéré. L'état de contraintes est fonction des diverses sollicitations appliquées au massif (chargement, déchargement, fluctuation de la nappe phréatique...).

### **Les actions extérieures qui agissent sur le sol**

#### a) Actions hydrauliques

La compréhension du régime hydraulique du site est un élément essentiel pour l'analyse d'une instabilité. Ceci conduit à s'intéresser à une zone nettement plus grande que celle qui est en mouvement : en effet, les conditions d'alimentation peuvent être complexes et dépendre de couches de terrains situées bien en amont. La connaissance des conditions hydraulique les plus défavorables nécessite une longue durée d'observations sur le terrain. Par exemple, on peut choisir de prendre en compte les régimes hydrauliques mesurés durant une année dont la pluviométrie est décennale.

#### b) Les actions climatiques et anthropiques

Les facteurs climatiques prépondérants sont constitués par les apports d'eau. Les autres actions externes, susceptibles de modifier l'état d'équilibre d'un versant, résultent

principalement de modifications de géométrie, de chargements et de déchargements.

### c) Pluie, neige, évapotranspiration

Les nappes sont alimentées principalement par les pluies et la fonte des neiges. D'autres phénomènes peuvent se rajouter, comme des infiltrations à partir de fossés, de bassins de rétention et d'adduction d'eau ou de réseaux d'assainissement

### d) Séismes Les sollicitations sismiques

Peuvent être la cause de glissements de terrain, deux phénomènes entrent en jeu dans ce cas sont La liquéfaction des limons et sables fins saturés, susceptible de provoquer le glissement des formations sus-jacentes la force inertielle déstabilisatrice due au séisme lui-même.

## 6. Calcul de la stabilité des talus

Le problème de stabilité des talus est d'une importance capitale dans le cas des exploitations à ciel ouvert pour assurer la continuité de la production et sauvegarder les vies humaines et les engins de production.

L'analyse de la stabilité des pentes s'effectue habituellement à la rupture à l'aide de la méthode des tranches. Cette méthode donne par l'intermédiaire du coefficient de sécurité une idée de l'état d'équilibre de la pente étudiée par rapport à l'équilibre limite.

Les méthodes de calcul de stabilité des terrains sont basées sur la constatation suivante : Lorsqu'il y a glissement de terrain, il y a séparation d'une masse du sol du reste du massif et son glissement se fait suivant une surface de rupture. Ayant défini une surface de rupture « S », on étudie la stabilité de la masse (1) mobile par rapport au massif (2) qui est fixe.

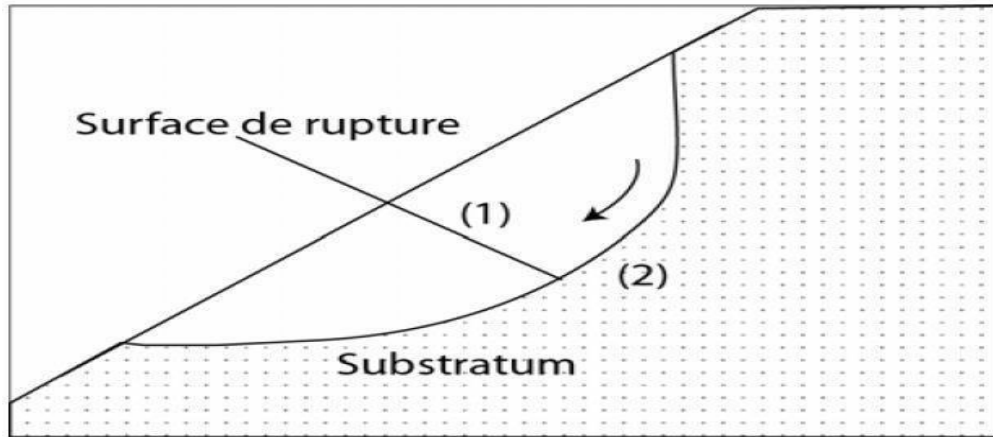


Figure 2.13. Surface de rupture.

### Le facteur de sécurité

Si les données géotechniques nécessaires sont définies, le calcul de la stabilité des pentes peut être effectué à l'aide d'une des méthodes de calcul connues. Le principe de calcul consiste à déterminer le facteur de sécurité  $F_s$  par lequel il faut diviser la résistance de la surface de glissement pour que la masse potentiellement stable soit à la limite de l'équilibre.

Tableau 2.8. Différents exemples de définitions d'un coefficient de sécurité (Lambe, 1973).

Definition	Formule
Rapport de contraintes	$F_s = \tau_{\max} / \tau$
Rapport de forces	$F_s$ $= E_{\text{résist}} / E_{\text{moteur}}$
Rapport de moment	$F_s$ $= M_{\text{résist}} / M_{\text{moteur}}$
Rapport de grandeurs	Par ex : $H / H_{\max}$

Pour évaluer la stabilité d'une pente, l'ingénieur doit choisir entre plusieurs définitions du coefficient de sécurité, ce coefficient peut être un rapport de forces, de



moments, de grandeurs par rapport à une grandeur limite comme le montre le tableau 2.9.

Les erreurs dues à l'exactitude des méthodes de calcul de la stabilité du bord.

Les incertitudes expérimentales de la détermination des propriétés physico-mécaniques des roches, comme par exemple la valeur moyenne du poids volumique des roches composant le massif.

Les incertitudes de la détermination de l'influence de la fissure.

L'influence des charges dynamiques provoquées par le tir, par le mouvement des moyens de transport et par les séismes.

Le tableau ci-dessous, nous donne les valeurs de FS en fonction de l'importance de l'ouvrage et des conditions particulières qui l'entoure.

**Tableau 2.10.** Equilibre des talus en fonction des valeurs théoriques du coefficient desécurité. (Khalidouna, 2018)

Facteur de sécurité $F_s$	Etat de l'ouvrage
$F_s < 1$	Danger
$F_s = 1$	Stabilité limité
$F_s \in ]1, 1.25[$	Sécurité contestable
$F_s \in ]1.25, 1.4[$	Sécurité satisfaisante pour les overages peu importants mais par contre c'est une sécurité contestable pour les talus des carriers à ciel ouvert.
$F_s > 1.4$	Sécurité satisfaisante

A l'issue des expériences une classification a été proposée par la société internationale de la mécanique des roches qui est la suivante :

**Tableau 2.11.** Equilibre des talus en fonction des valeurs expérimentales du coefficient de sécurité. (Semmache, 2015)

$F_s < 1$	Talus instable
$1 < F_s < 1.5$	Glissement possible
$F_s > 1.5$	Généralement stable

### Méthode de calcul à la rupture

Cette méthode se base sur la théorie de la mécanique des sols et considère que la rupture se produit lorsque les forces et les contraintes exercées sur un sol ou une structure atteignent leur maximum. L'objectif de la méthode de calcul à la rupture est de déterminer la capacité portante maximale et la stabilité d'une structure ou d'un sol en considérant les facteurs de sécurité.

La méthode de calcul à la rupture utilise des paramètres tels que la résistance au cisaillement du sol, les angles de frottement interne, les contraintes normales et les conditions de contrainte pour évaluer la stabilité d'une structure. Des analyses analytiques ou numériques peuvent être utilisées pour effectuer ces calculs, en utilisant des modèles de comportement des sols et des critères de rupture appropriés.

#### 6.2.1 Méthode des blocs

L'analyse des blocs implique l'évaluation de plusieurs paramètres, tels que la résistance de chaque bloc, l'orientation des plans de discontinuité, la rugosité des surfaces de contact entre les blocs, les contraintes exercées sur les blocs, les déformations potentielles, etc. Des méthodes analytiques ou numériques sont utilisées pour effectuer ces calculs.

Cette méthode est souvent utilisée en conjonction avec d'autres méthodes d'analyse d'évaluation pour obtenir une vision complète et précise de la stabilité

géotechnique.

### **Méthode de tranches**

Le découpage de la masse instable en tranches verticales a permis le développement d'un très grand nombre de méthodes, symbolisées par la méthode Suédoise de Fellenius (1927). Trois hypothèses sont rajoutées par apport à la méthode des blocs (FAURE, R.M., 2000) :

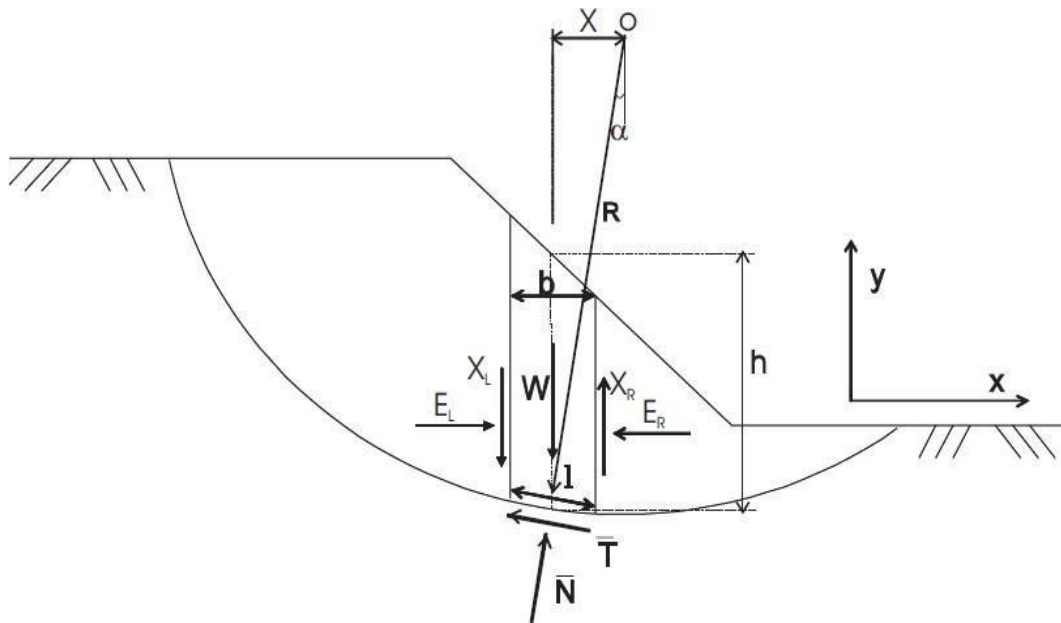
- Les bords des blocs sont devenus verticaux ;
- Le point de passage de la force à la base du bloc (de la tranche) est situé au centre de cette base ;
- Le coefficient de sécurité est unique et ne s'applique qu'à la base des tranches.

### **Méthodes globales**

- Les méthodes graphiques
- Méthode de Bell (1969)
- Méthode des perturbations

### **Principes des méthodes de l'équilibre d'une tranche**

Le principe de base de toutes ces méthodes est de découper le volume de sol étudié en un certain nombre de tranches et d'appliquer les différentes forces comme le montre à titre indicatif la figure. Toutes ces méthodes ont en commun la même difficulté qui est de trouver à la fois la surface critique, les contraintes normales et tangentielles le long de cette surface et le facteur de sécurité (sur le critère de rupture) en partant des équations d'équilibre. (Semmache, 2015)



**Figure.2.14.** Exemple d'une rupture circulaire. (Semmache, 2015)

Les forces agissant sur la tranche (figure 2.14) peuvent être définies comme suit :

$W$  = poids total de la tranche de largeur  $b$  et de hauteur  $h$

$N$ ,  $T$  = composantes normale et tangentielle de la force agissant à la base de la tranche

$X$ ,  $E$  = composantes verticale et horizontale des forces inter tranches

$b$  = épaisseur de la tranche ( $b = l \cos\alpha$ )

$\alpha$  = angle que fait la base de la tranche avec l'horizontale

$R$  = rayon du cercle de rupture de centre  $o$

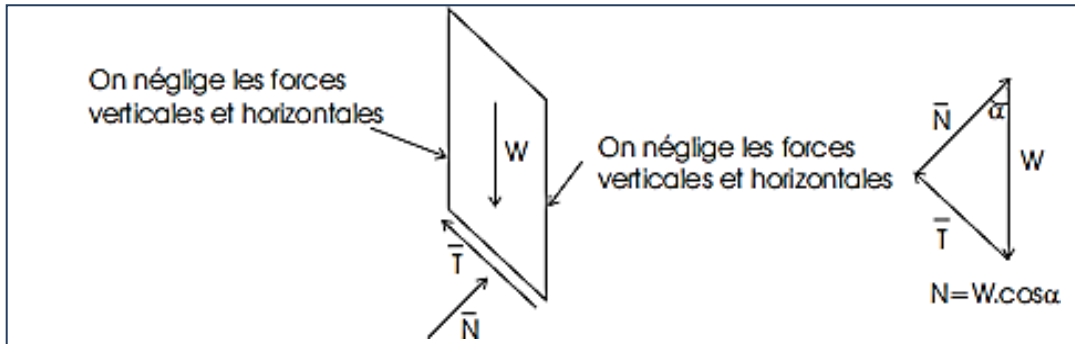
$l$  = longueur du plan de glissement de la tranche

$x$  = bras de levier du poids des terres

Définissons les efforts comme suit :  $N = \sigma l$  et  $T = \tau m l$

**a. Méthode de Fellenius (1927)**

Méthode des tranches basée sur une rupture circulaire. Cette méthode ne satisfait que l'équilibre des moments. Par ailleurs les forces inter-tranches sont supposées égales ou opposées.



**Figure 2.15.** Forces appliquées sur une tranche dans la méthode de Fellenius.  
(Semmache, 2015)

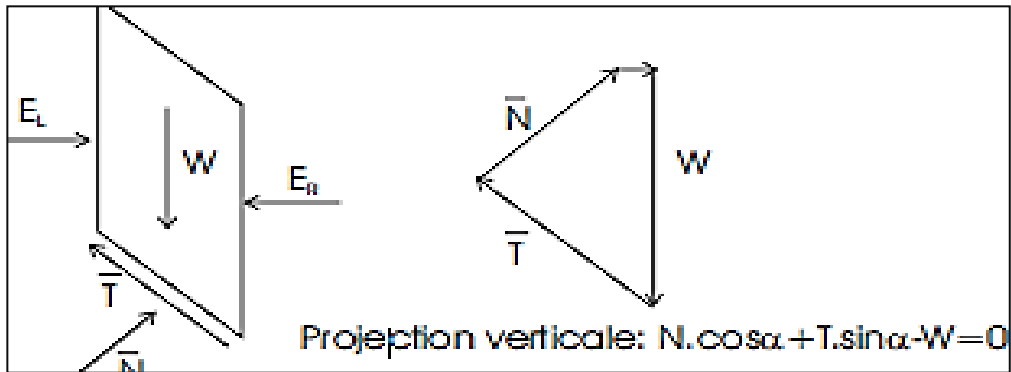
La méthode de Fellenius vérifie l'équilibre global des moments tout en négligeant les forces entre tranches.

$$F_s = \frac{\sum [c^f + (N - ul) \tan \phi^f] \cos \alpha}{\sum N \sin \alpha} \quad (16)$$

C'est une méthode moins précise que les autres méthodes des tranches et elle est sûre pour des sols homogènes seulement.

**b. Méthode simplifiée de BISHOP (1955)**

Méthode des tranches basée comme la précédente sur une rupture circulaire. Dans sa version simplifiée Elle ne satisfait que l'équilibre des moments, la composante verticale des forces inter- tranche est négligée. La version modifiée ne tient compte que des forces inter-tranches horizontales.



**Figure 2.16.** Forces appliquées sur une tranche dans la méthode de Bishop simplifiée. (Semmach, 2015)

La méthode de Bishop vérifie l'équilibre des moments ainsi que l'équilibre vertical pour chaque tranche, mais elle néglige l'équilibre horizontal des forces.

$$F_b = \frac{\sum[(c^f + (w-u) \tan \varphi^f)]}{m\alpha \sum W \sin \alpha} \quad (17)$$

Où

$$m\alpha = \cos \alpha (1 + \tan \alpha \tan \varphi^f) \quad (18)$$

### c. Méthode simplifiée de Janbu (1956)

La méthode de Janbu vérifie l'équilibre des forces horizontales et verticales tout en négligeant l'équilibre des moments.

$$F_j = \frac{\sum [c^f + (N-u) \tan \varphi^f] \cos \alpha}{\sum N \sin \alpha} \quad (19)$$

Généralement, on prend la valeur du coefficient obtenue avec la méthode de Fellenius comme point de départ de cette itération. Cette méthode est plus précise que celle de Fellenius et le calcul se prête particulièrement bien au traitement par ordinateur.

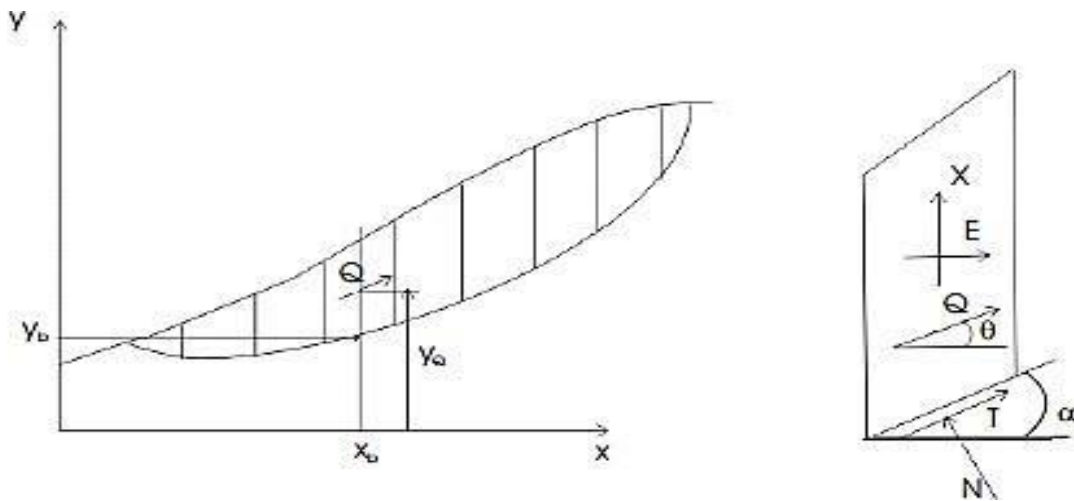
Si on projette parallèlement à la base de la tranche, cette équation équivaut à:

$$Ff = \frac{\sum[c^f l + (N-ul)\tan\varphi^f]}{\cos\alpha \sum W \tan\alpha} \quad (20)$$

#### d. Méthode Morgenstern-Price (1965)

La Méthode suppose que les forces entre les tranches sont parallèles entre elles afin de rendre le problème déterminé. Et la force normale N agit au centre de la base de chaque tranche.

Cette méthode vérifie l'équilibre horizontal et vertical des forces, l'équilibre des moments en un point quelconque.



**Figure 2.17.** Coordonnées de la surface du glissement.(Semmaché, 2015)

Les équations d'équilibre de cette méthode sont similaires à celles décrites précédemment (méthode Bishop, Janbu, etc.).

**e. Méthode de Spencer (1967)**

La méthode de Spencer répond entièrement aux exigences d'équilibre des forces et des moments te que :

$$\tan \theta = X_i/E_i = \text{constante} \quad (21)$$

**Tableau 2.12.** Récapitulation de quelques méthodes des tranches.

Méthodes	Surface de rupture	Hypothèses supplémentaires
FELLENIOUS [1936]	Circulaire	- Négliger les forces inter-tranches, $X = E = 0$ - Respecter l'équilibre des moments
BISHOP [1955]	Circulaire	- Négliger les forces verticales entre les Tranches $X = 0$ - Respecter l'équilibre des moments ainsi que l'équilibre vertical pour chaque tranche, mais négliger l'équilibre horizontal des forces
JANBU [1956]	Arbitraire	- Forces entre les tranches sont horizontales $X = 0$ - Respecter l'équilibre des forces horizontales et verticales - Négliger l'équilibre des moments
MORGENSTER Net PRICE [1965], Spencer [1967]	Arbitraire	- Forces entre les tranches sont parallèles entre elles - L'inclinaison $\theta$ varie linéairement à chaque tranche (Morgenstern et PRICE) et l'inclinaison $\theta$ est constante pour le cas de Spencer (1967) - $X = \lambda f(x) E$ , avec $f(x)$ variant continuellement le long de la surface du glissement. - Force normale agit au centre de la base de chaque tranche - Equilibre des forces horizontales et verticales ainsi que l'équilibre des moments sont respectés



## 7. Conclusion

La géotechnique joue un rôle crucial dans la construction et la stabilité des ouvrages en prenant en compte les caractéristiques des sols et des roches. Les ingénieurs géotechniciens doivent utiliser leurs connaissances en géologie, hydrogéologie, mécanique des terres et génie civil pour mener à bien les études géotechniques et garantir des constructions sûres et durables. Comprendre les causes des glissements de terrain est également essentiel pour prévenir les catastrophes naturelles et assurer la stabilité des pentes.

# **Chapitre III:**

# **Présentation**

# **du cas d'étude**

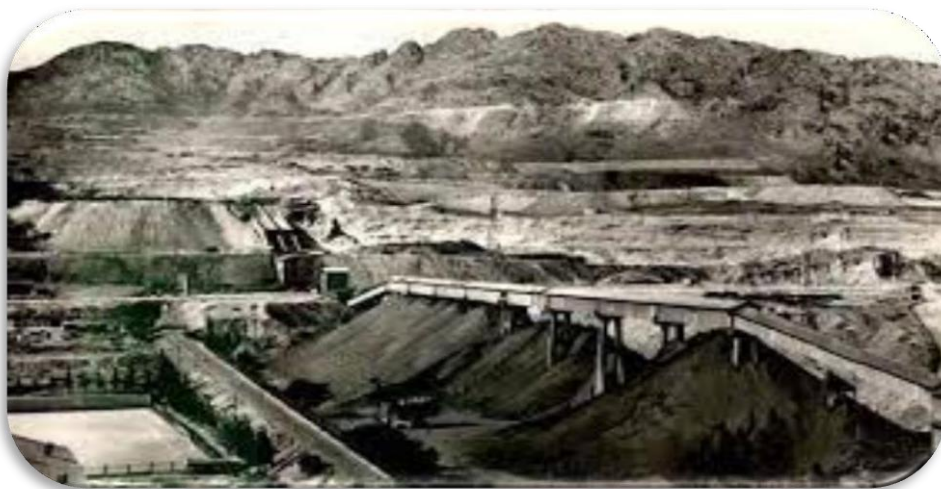
## 1. Introduction

Ce chapitre est une présentation du cas d'étude. Il porte sur l'historique de la mine de l'Ouenza, le cadre géographique de Djebel Ouenza, la géologie de la région et le cadre tectonique et hydrogéologique. La mine de l'Ouenza, située à proximité de la frontière algéro-tunisienne, a joué un rôle essentiel dans l'économie algérienne en tant que principale source d'approvisionnement en minerai de fer pour l'industrie sidérurgique nationale. D'où l'intérêt de garantir sa stabilité lors des travaux d'extraction du minerai.

## 2. Historique de la mine de l'Ouenza

Le gisement de fer de l'Ouenza se trouve à une dizaine de kilomètres de la frontière algéro-tunisienne, sur le prolongement du sillon Aurès-El Kef, à 70km au Nord de Tébessa et à 150 km au Sud-Est de Annaba. Il est relié à cette dernière par une voie ferrée électrique qui sert au transport du minerai de fer vers le complexe sidérurgique d'El Hadjar.

Le Gisement de fer de l'Ouenza entre dans l'histoire vers la fin du 19ème Siècle avec l'exploitation du Cuivre au niveau des Quartiers Douamis et Hallatif, comme l'atteste les vestiges encore existants sous formes de puits et de galeries. En effet, c'est vers 1875 que l'ingénieur des mines « J. Tissot » signale l'importance des affleurements du minerai de fer. (Lazizi, 2012)



**Figure 3.1.** La mine de l'Ouenza.(Lazizi, 2012)

- En 1875, l'ingénieur des mines J. Tissot signale l'importance des affleurements des minéralisations de fer de l'Ouenza ;
- En 1878, le premier permis de recherche de fer dans la région de l'Ouenza accordé au prospecteur F. R. Pascal ;
- En 1895, les travaux de recherche minière ont été entamés sur l'ensemble de la région de l'Ouenza ;
- En 1901, le prospecteur F. R. Pascal obtient la concession de Djebel Ouenza, ce qui lui permettant de fonder une société d'exploitation ;
- En 1913, la constitution de la société de l'Ouenza a entamé les travaux préparatoires pour l'exploitation du gisement de fer de l'Ouenza ;
- En 1921, c'est le début de la mise en exploitation du gisement de fer de l'Ouenza ;
- En 1927, la société de l'Ouenza obtient la concession de la mine de Boukhadra ;
- En 1930, c'est le début de la mise en exploitation du gisement de fer de Boukhadra, avec la mise en service de la voie ferrée qui relie Boukhadra-Ain Chenia (Ouenza)-Oued Kebarit ;
- En 1939, électrification de la voie ferrée ;
- En 1949, la grosse mécanisation de l'exploitation minière de l'Ouenza ;
- En 1966, la nationalisation des sociétés minières en Algérie et la mise sous contrôle de l'activité minière de l'Ouenza par la SONAREM (société nationale de recherche et d'exploitation minière) ;
- En 1967, c'était le début d'aménagement des installations du SKIP pour un déblocage du minerai en provenance de la partie amont du gisement ;
- En 1983, restructuration de la SONAREM et création de l'EN FERPHOS (Entreprise Nationale du Fer et du Phosphate) ;
- En 1990, l'autonomie de l'entreprise publique EN FERPHOS ;
- En 2001, un premier contrat de partenariat avec une firme étrangère fût signé. Il s'agit d'une entreprise Indienne ISPAT. Ce partenariat s'est développé en 2006 avec l'accaparement des actions d'Arcelor par le groupe Mittal Steel détenteur de l'entreprise indienne ISPAT. Une OPA qui donna naissance au groupe ArcelorMittal détenteur de 70% des actions de la mine de l'Ouenza contre 30% uniquement pour FERPHOS.
- En Octobre 2013, l'état Algérien a repris le contrôle de la mine en achetant 21% des actions d'ArcelorMittal dans la mine de l'Ouenza pour devenir majoritaire à hauteur de 51% et 49% pour ArcelorMittal.

Le gisement de fer de l'Ouenza constitue la principale source d'approvisionnement en minerai de fer de la sidérurgie nationale. Les trois quarts de la consommation du complexe sidérurgique d'El Hadjar, au temps du groupe SIDER, viennent de la Mine de l'Ouenza, cela en faisant abstraction de la production de la Mine de Boukhadra, qui vient en second lieu. Donc il tient un rôle très important dans l'économie algérienne, de par sa contribution au développement de l'industrie lourde dans le pays et spécialement dans la Wilaya en ce qui concerne l'emploi. (Lazizi, 2012)

### 3. Cadre géographique de Djebel Ouenza

La région des travaux se trouve entre le tell et l'Atlas Saharien à 170 km au sud-est d'Annaba et à 80 km au nord de Tébessa. à 15 km de la frontière algéro-tunisienne, sur la route nationale n°82 qui relie Tébessa à Souk-Ahras. Le massif de Djebel Ouenza est situé dans la région des monts de Mellègue, qui fait partie du diapyrisme triasique de l'Atlas Saharien oriental, formé dans son ensemble par une structure anticlinale orienté NE-SW. Cette structure est formée par les sédiments du Mésozoïque du Tertiaire et du Quaternaire (figure 3.3). (Semmache, 2015)



**Figure 3.2.** Carte de situation géographique de la région de l'Ouenza (Google Earth).

Le gisement ferrifère de l'Ouenza repose sur le flanc nord d'un massif montagneux qui culmine à 1288 m au niveau du pic, il est d'environ de 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 Koudiat Douamis, Koudiat Hallatif, la région des conglomérats, le quartier Sainte-barbe, le gisement de Chagoura (Nord, Sud, Pic) et le Koudiat ez 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, 2006).

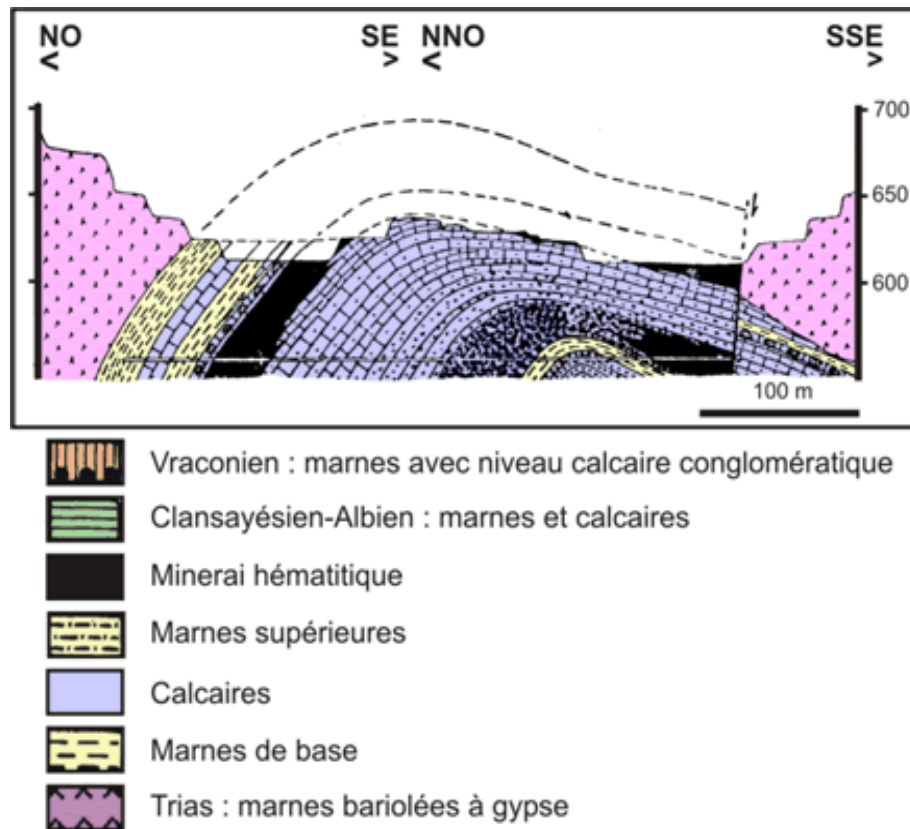
#### **4. Géologie de la région du Djebel Ouenza**

L'histoire des recherches au niveau du Djebel Ouenza remonte à l'année d'attribution du premier permis de recherche en 1878. C'est après la deuxième guerre mondiale qu'elles ont atteint leur apogée, plusieurs millions de mètres linéaires de sondage furent exécutés et plusieurs niveaux de galeries creusés. C'est durant cette période que de nouveaux quartiers furent découverts. Afin d'un éventuel accroissement des réserves, la nouvelle direction qui a pris récemment les commandes de la Mine, envisage de relancer les campagnes de recherches.



		Lithologie	Epaisseur (m)	Description lithologique		
CENOZOÏQUE	Quaternaire		⑥ 10-30	Dépôts clastiques d'origine continentale.		
	Néogène	Miocène		⑤ 10-150	Conglomérats à grains variés avec un ciment carbonaté, grès quartzeux et calcaire sableux avec intercalations d'argilites.	
		Eocène		200	Calcaires marneux à silex et intercalations de phosphates par endroits dans le mur.	
	PALÉOZOÏQUE	E U R	Maest.		250-300	Calcaires gris clairs, calcaires crayeux et marnes argileuses avec intercalation d'argiles dans la partie supérieure.
			Campan.		500-600	Marnes argileuses gris-foncées et des calcaires blancs dans la partie moyenne et supérieure.
		E R I E U R	Con-Sant.		500-600	Marnes argileuses grises et grises bleuâtres.
			Turo		④ 180-250	Calcaires en bancs, partiellement marneux à teinte noire et gris-foncée.
		S U P E R	Cénom.		③ 900-1000	Marnes gris-verdâtres et grises dans la partie supérieure, avec intercalations de calcaires marneux.
			Vracon.		② 500-600	Marnes et marnes-argileuses avec intercalations de calcaires argileux et argilites.
		E U R	Albien		480-600	Marnes grises et gris-foncées, noires dans la partie supérieure avec de minces intercalations de calcaires argileux.
			Clans		100-200	Marnes grises, gris-jaunes partiellement avec des intercalations de calcaires.
		M E C	Aptien		① 300-600	1- Faciès clastique, marnes argileuses avec intercalations de marnes sableuses et grès calcaires. 2- Faciès carbonaté, calcaires organo-détritiques, bioclastes, ooclastes et interclastes.
			Barrém		< 250	Calcaires et dolomies, argilites et argiles dans la partie supérieure (Grès à Mesloul). ?
	Jurassique		< 700	Formations marno-gypsifères bariolées avec peu d'intercalations de grès à grains fins, dolomies et calcaires marno-dolomitique.		
	Trias		< 700			

Figure 3.3. Colonne stratigraphique synthétique Mellège. (Bouzenoune, 1998)



**Figure 3.4.** Coupe dans la structure anticlinale. (Bouzenoune, 1998)

#### a) Stratigraphie

Les formations qui constituent le Djebel Ouenza sont :

##### - Quaternaire

Il est représenté par des éboulis, des dépôts torrentiels, du travertin et surtout par une croûte calcaire et des conglomérats. Il se caractérise par des grès et des marnes.

##### - Turonien

D'épaisseur relativement réduite, il se distingue par des assises calcaires séparées par des marnes ou marno-calcaires.



**- Cénomaniens supérieurs**

Peut être abordé par deux subdivisions distinctes : la base est formée d'une série marneuse et des calcaires noirs, alors que le sommet est formé de marno-calcaire intercalant de petits bancs à débris normaux à la stratification.

**- Cénomaniens moyens**

Il est caractérisé par des marnes vertes salées à la plaquette de calcite fibreuse intercalant à la base de minces lits marno-calcaire.

**- Cénomaniens inférieurs**

C'est des marnes noires très foncées.

**- Vraconien**

Petits bancs calcaires noirs séparés par des marno-calcaires gris bleuté et vers le bas des calcaires peu gréseux et des marno-calcaires très gréseux.

**- Albien**

Un banc de grès calcaire très dur limite cet étage vers son sommet, en dessous on trouve des marnes jaunes avec quelques couches de marno-calcaire très siliceuses.

**- Zone de Clansayes**

C'est des calcaires gréseux noirs alternant avec de marnes jaunes et marnes grises renfermant des niveaux marno-calcaires très siliceux.

**- Aptien**

Se voit sous un faciès récifal semblant se localiser vers le milieu ou le tiers inférieur de l'étage. Au-dessous d'une puissante série marno-calcaire on trouve quelques bancs de calcaire un peu gréseux et des alternances de grès calcaires et des marnes grises.

Les marnes lenticulaires récifales ont une puissance extrêmement variable 250m au nord du PIC d'Ouenza.

**- Barrémien**

Il n'affleure qu'au Djebel Harraba et Sidi Embarek et est représenté par une couche puissante de marnes grise-jaune.

**- Trias**

Il comprend des marnes multicolores à gypse qui emballent divers matériaux rocheux très salés de teinte verte, rouge ou violette.

**Cadre tectonique**

Les principaux traits structuraux de la région de l'Ouenza résultent des mouvements polyphasés dans lesquels les jeux du bâti sous-jacent jouent un rôle important. Ces mouvements ont déterminé l'évolution paléogéographique et structurale de la région. Les jeux distensifs ont facilité les transgressions marines et ont permis l'accumulation de puissantes séries sédimentaires en relation avec une importante subsidence. Les lignes structurales directrices ont été préfigurées tôt dans l'histoire géologique de la région. Cette histoire s'est traduite par :

- 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 orientés Nord-Ouest Sud-Est à Est Ouest.

**Cadre hydrogéologique**

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 minièresusceptible d'être influencée ou affectée par les travaux d'exploitation.

Néanmoins, il y a lieu de signaler l'existence d'un point d'eau au niveau du quartier conglomérat (coté 555) n'ayant pas fait l'objet d'une prospection hydrogéologique pour la connaissance de son extension et de son importance.

Par ailleurs, on note l'existence d'une source d'eau potable après traitement chimique à Souda, dotée d'une station de pompage qui alimente actuellement la mine de l'Ouenza pour l'arrosage des pistes.

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 (Dubordieu, 1956).

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 toute 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. En général toutes les roches de la mine sont fracturées et l'eau de pluie qui y tombe s'infiltré à travers les fissures. (Lazizi, 2012)

### **a. Réseau hydrographique**

En dehors de la source thermale de Hammam sidi Yahia située à 11,5 Km à vol d'oiseau au Sud-Ouest de la mine de Ouenza, de quelques suintements à la base des grès miocène et des quelques rares sources localisées dans les oueds, les points d'eau naturels dans la région de Ouenza sont très rares. (Lazizi, 2012)

Toutefois, du côté Est, dans la plaine du El Meridj, on aperçoit l'existence de quelques puits isolés dont l'eau est salée.

Le réseau hydrographique est représenté principalement par le Oued Mellègue 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.

### **b. Climat**

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 déversent durant les périodes pluviales dans les oueds, Mellègue pour le versant Nord-Ouest et oued El Kseub pour le versant Sud-Est.

Les données sur la température et la précipitation qu'on dispose, sont des valeurs moyennes mensuelles et annuelles, mesurées à la station de Tébéssa sur une période allant de 1969 à 2007.

**Tableau 3.1.** Température et précipitation moyennes mensuelles et annuelles exprimées en (mm) de la station de Tébessa (1969-2007), (Khoualdia et al, 2014).

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

## 5. La minéralisation

Les minerais sont constitués essentiellement d'hématite qui résulte de l'oxydation des amas de sidérose et de pyrite. Le carbonate provient lui-même du métamorphisme des calcaires récifaux de l'aptien. Les hydroxydes de fer sont le résultat de la désagrégation de l'hématite.

Outre le minerai de fer, il faut signaler une très faible présence de minéralisation poly métallique (Pb, Cu...), le long de la faille du pic.

Suite à la structure et la nature des roches, le gisement est divisé en **07 quartiers** ou gites principaux, et il s'agit de : Chagoura sud, pic, Chagoura nord, 6 Mai (Conglomérat+ Illout), Hallatif, Douamis et Zerga. (Sellaoui, 2020)

**Tableau.3.2.** La minéralisation. (Sellaoui, 2020)

<b>Les gites</b>	<b>Teneur moyenne Fe</b>	<b>Teneur SiO<sub>2</sub></b>
Chagoura sud-pic	<b>47.29%</b>	<b>5.48%</b>
Chagoura nord	<b>48%</b>	<b>5 à 6%</b>
6 Mai	Corps n°1 et 2 <b>50%</b>	<b>4.8%</b>
	Corps n°3 et 4 <b>45%</b>	<b>7%</b>
Hallatif-Douamis	<b>53%</b>	<b>5%- 2%</b>
Zerga	Hors exploitation	Hors exploitation

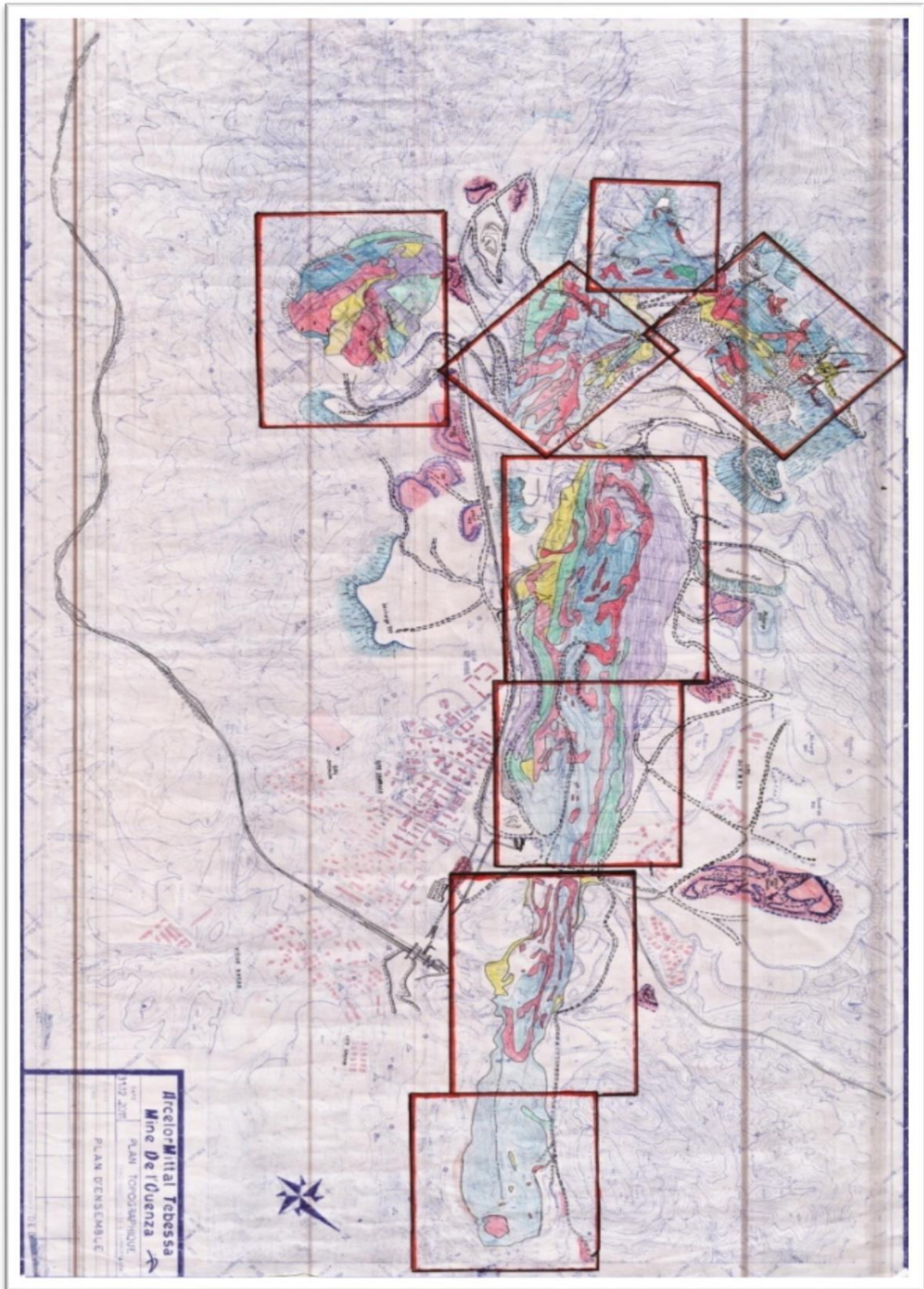


Figure 3.5. Schéma géologique de l'ensemble.[DED]



Fer



Marne



Calcaire

## 6. Etat des réserves

En générale, les réserves des corps minéralisés des quartiers ayant été explorés par des travaux miniers (galeries et recoupes) et par des sondages verticaux, inclinés et horizontaux exécutés soit à partir de la surface soit à partir des galeries sur de différents niveaux. (Semmache, 2015)

Les tableaux suivants présentent les réserves exploitables et les réserves géologiques des différents quartiers au niveau de mine de l'Ouenza

- Etat des réserves géologiques en fer du gisement :
  - 78083014 T avec une teneur moyenne de 49%.

**Tableau 3.3.** État récapitulatif des réserves géologiques actualisées au 2013.  
[FERPHOS]

Quartier	Réserves (T)	Fe (%)
Chagoura Pic	1947551	59,8
Chagoura Sud	20195062	48,8
Chagoura Nord	12823168	47,7
(ilot)St-Barbe	6011290	47,4
Conglomérat	4931028	51
Douamis	11327458	53
Zerga	3196457	42,7

- Etat des réserves exploitables en fer du gisement :
  - Minerai : **35364387 T** avec une teneur moyenne de **50.5%** ;
  - Stérile : **118562665 T.**



Les ressources minérales situées à l'intérieur de l'enveloppe de la fosse finale sont considérées comme prospect raisonnable d'extraction économique et de ce fait elles sont reportées comme étant des « Réserves Exploitablees ». Les ressources minérales situées à l'intérieur et en dehors de l'enveloppe de la fosse finale sont reportées comme étant des « Réserves Géologiques ». (Semmache, 2015)

**Tableau 3.4.** État récapitulatif des Réserves Exploitablees actualisées au 2013  
[FERPHOS].

Quartier	Réserves (T)	Fe (%)	Stérile
Chagoura Pic	6 637 049	53,5	26 482 796
Chagoura Sud	3 238 639	48,1	6981172
Chagoura Nord	9644 806	49,7	18668069
(ilot)St-Barbe	4 60 2653	48,44	19 156288
Conglomérat	376 686	46,6	1 779 731
Douamis	8 425 289	53,9	42 070 918
Zerga	2 350 266	42,7	2 862 127

- La production annuelle du minerai de fer est : **1700000 t/an** ;
- La production annuelle du stérile : **4980000 t/an** ;

## 7. Méthode d'exploitation

Le mode d'exploitation appliqué dans les différents quartiers de la mine de l'Ouenza est par creusage avec un seul bord exploitable, le contour de la mine n'étant pas fermé. L'exploitation de tels gisements, disposés sur un flanc de coteau de pente 35°, se fait de haut en bas. L'extraction du minerai est réalisée par gradin de 12 à 15 m (rarement 18 m). La dimension d'angle du talus varie de 70 à 80° et une largeur des bermes de 7 à 12 m. Selon le projet d'exploitation, la fosse finale aura une profondeur de 620 m, l'angle du bord de la mine sera de 32°. (Sellaoui, 2020)



Vu les propriétés mécaniques des roches et le type de matériels utilisé pour le chargement du tas des roches abattues, la hauteur moyenne des gradins est fixée à environ 15 m. Les paramètres d'exploitations sont représentés sur le Tableau .3.5.

**Tableau 3.5.** Paramètres d'exploitation de la mine de l'Ouenza (Lazizi, 2012)

Paramètres Quartiers	Hauteur des gradins	Nombre de gradins	Inclinaison des talus (en degrés)	Largeur des bermes, m
Zerga	12-18	18	70-80	8-12
Pic	10-15	9	70-80	6
Chagoura Sud	15	22	70-75	8
Chagoua Nord	10-15	12	75-80	8-12
6 Mai	12	22	70-80	6-12



**Figure 3.6.** Plan Topographique d'ensemble.[DED 2023]

**Tableau 3.6.** Profondeur de la fosse. (Lazizi, 2012)

Quartier	Profondeur(m)	niveau supérieur	niveau inférieur
PIC	240	1235	995
Chagoura Sud	262	995	733
Chagoura Nord	315	1160	845
Zerga	118	815	697
Sainte Barbe	293	845	552
Conglomérat	132	636	504
Hallatif	165	675	510
Douamis	180	675	495

### Travaux d'abatage



**Figure 3.7.** Travaux d'abatage de mine de l'Ouenza.

L'abatage représente un paramètre très important lors de l'exploitation, il est réalisé par les travaux de forage et de tir. Le cycle d'abatage comprend les opérations suivantes :

- Choix de l'emplacement des trous dans le chantier
- Foration des trous
- Chargement des trous par l'explosif
- Tir

#### **a. Foration**

Après le choix de l'emplacement de la partie de la plateforme à abattre selon un plan de forage et de tir élaboré par les responsables des quartiers, la foration des trous de mine se fait à l'aide des sondeuses de types Ingersoll Rand 10 (monté sur pneu), Atlas Copco ROC L8. Le diamètre des trous de foration est de 166 mm. (Semmache, 2015)

#### **b. Tir**

L'exploitation du minerai et du stérile se fait par des tirs d'abatage, dont le but est de fragmenter la masse rocheuse afin de permettre son évacuation. En moyenne, il y a huit tirs par mois, ce qui permet d'atteindre la production journalière du minerai et du stérile.

Dans la mine de l'Ouenza, il y a deux types d'explosifs qui sont utilisées en combinaison dans le même trou de mine : (Semmache, 2015)

- Anfomyl : contenant dans des sacs
- Marmanite : contenant dans des cartouches

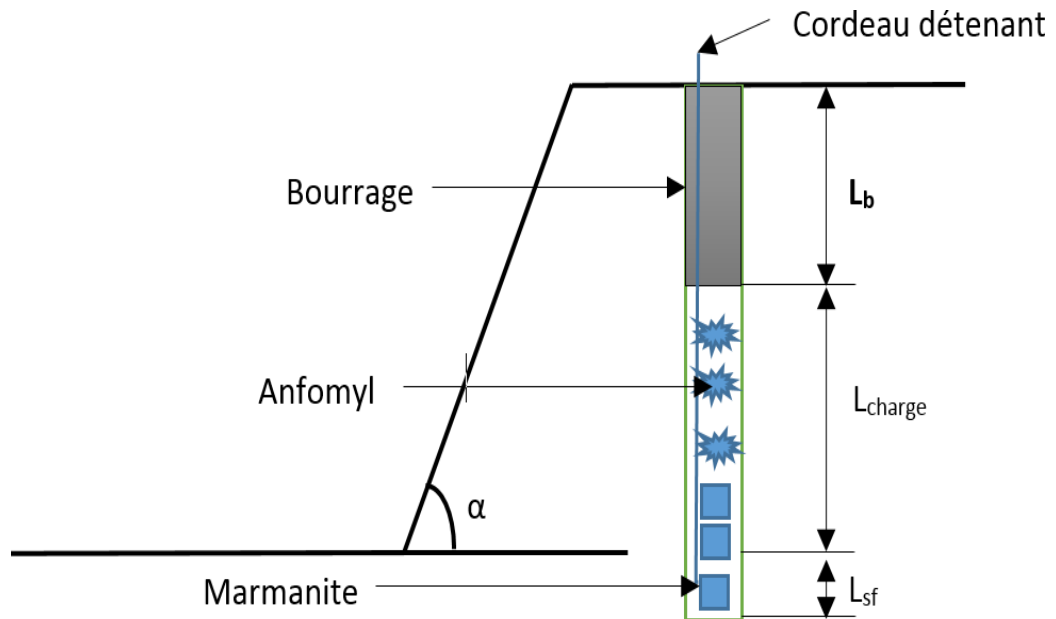
**Tableau 3.7.** Les paramètres techniques d'abattage (plan de tir, 03/2023)

Les paramètres	Unit é	Mesur es
Hauteur de gradin (Hg)	M	15
Profondeur de trou (Pt)	M	17
Longueur de Sur Foration (Lsf)	M	2
Ligne de moindre résistance (W)	M	5-6
Angle du talus	Deg ré	75
Distance entre trou (E)	M	4-5
Nombre de rangées	U	1
consommation spécifique	Kg/ m <sup>3</sup>	0,5
la charge explosif /trou	Kg	175

Après que les trous sont chargés jusqu'à une longueur de charge bien déterminée, il reste environ de 4 à 5.5 m pour le bourrage. Les roches pulvérulentes dégagées lors de l'opération de forage sont utilisées comme matériau de bourrage. En dernier étape, les trous de mines de chaque volées sont reliés les uns aux autres par des cordeaux détonant. Le tir est déclenché électriquement à l'aide d'un exploseur de marque Schaffler 816. L'abattage se réalise en une seule étape avec une quantité de charge explosive moyenne de l'ordre de 1,5 tonnes. Le volume moyen de la volée est de 4500



m3. Si le tir donne de gros blocs, difficiles à charger, transporter ou concasser, alors un débitage secondaire sera entrepris. Cette situation se produit en général dans les calcaires où le massif est fracturé et la roche est saine. Les paramètres du tir utilisés dans la mine de l'Ouenza sont résumés dans le tableau 3.7.



**Figure 3.8.** Mode de chargement d'un trou de mine. [PB Ouenza 2015]

### Transport-chargement

Dans la mine de l'Ouenza, ils utilisent des excavateurs d'une capacité de production estimée à 350T/h et des chargeurs de capacité de production qui peut atteindre 250 T/H comme moyen de chargement de tout venant dans les camions de transport. Les moyens de transport qui existent actuellement au niveau de la mine sont :

- Le transport par camion qui est appliqué dans tous les quartiers de la mine, ces camions ils ont une capacité de charge qui varie entre 55 et 65 tonnes ;
- Transport par convoyeur à bande, qui est un moyen très important dans le complexe de l'Ouenza. Et qui assure le cheminement de produit fini à la sortie de concasseur jusqu'à les trémies de chargements au niveau de la gare.

Le minerai est conduit vers le concasseur qui peut traiter des blocs de dimensions inférieures à un Mètre. (Semmache, 2015)



**Figure 3.9.** Travaux de transport sur la mine de l'Ouenza.

**Tableau 3.8.** Chiffres prévisionnels de productions des engins de chargement et de transport. [PB Ouenza 2015]

Engin	Opération	production(T/H)	Heurs effectifs/an	rendement(%)	Production Annuelle
pelle Komatsu PC1100	Chargement	350	8 040	34,5	970 830
pelle Komatsu PC1250	Dumper		7 776	34,5	938 952
<b>Total</b>	----	700	15 816	----	<b>1 909 782</b>
chargeuse Cat 988F	Alimentation	250	8 520	39,06	831 978
chargeuse Cat 988H	Concasseur		8 040	44,1	886 410
<b>Total</b>	----	500	16 560	----	<b>1 718 388</b>
Dumper Cat 773D 55t	Transport de produit extrait	100	7 776	30,36	236 079
Dumper Cat 773E 55t			7 776	44,85	348 754
Dumper Cat 773E 55t			7 800	44,85	349 830
Dumper Cat 773F 65t		120	7 776	50,37	470 013
Dumper Cat 773F 65t			8 040	44,85	432 713
<b>Total</b>	----	540	39 168	----	<b>1 837 388</b>

## 8. Traitement du minerai

Une fois le minerai extrait à partir des chantiers il est soumis directement au traitement mécanique qui consiste on la réduction des dimensions des blocs afin d'obtenir une granulométrie qui répond aux exigences des moyens de transport. Dans la mine de l'Ouenza il existe deux stations de concassage :

- La première station est située au niveau 803 m équipé par un concasseur à mâchoires, actuellement elle est alimentée par les camions venant des quartiers Chagoura Sud et Chagoura Nord. Le déchargement se fait dans une trémie de réception de capacité de 450 t.
- La deuxième station de concassage est située au niveau 660 m près de la gare d'expédition. Cette station est équipée par un concasseur à cône, en général elle est réservée pour les quartiers situés aux alentours et parfois elle est alimentée par le produit venant des autres quartiers lorsque le concasseur 830 tombe en panne. Le déchargement se fait dans une trémie de réception de capacité qui varie de 160 à 200 tonnes. (Semmache, 2015)

**Tableau 3.9.** Chiffres prévisionnels de production des concasseurs. [PB Ouenza 2015]

Machine	Production (T/H)	Heurs effectifs /an	Rendement (%)	Production Annuelle
concasseur RL- 660	500	5344	35,28	942 682
concasseur RL- 803	500	5360	38,08	1 020 544
<b>Total</b>	<b>1 000</b>	<b>10 704</b>	<b>----</b>	<b>1 963 226</b>

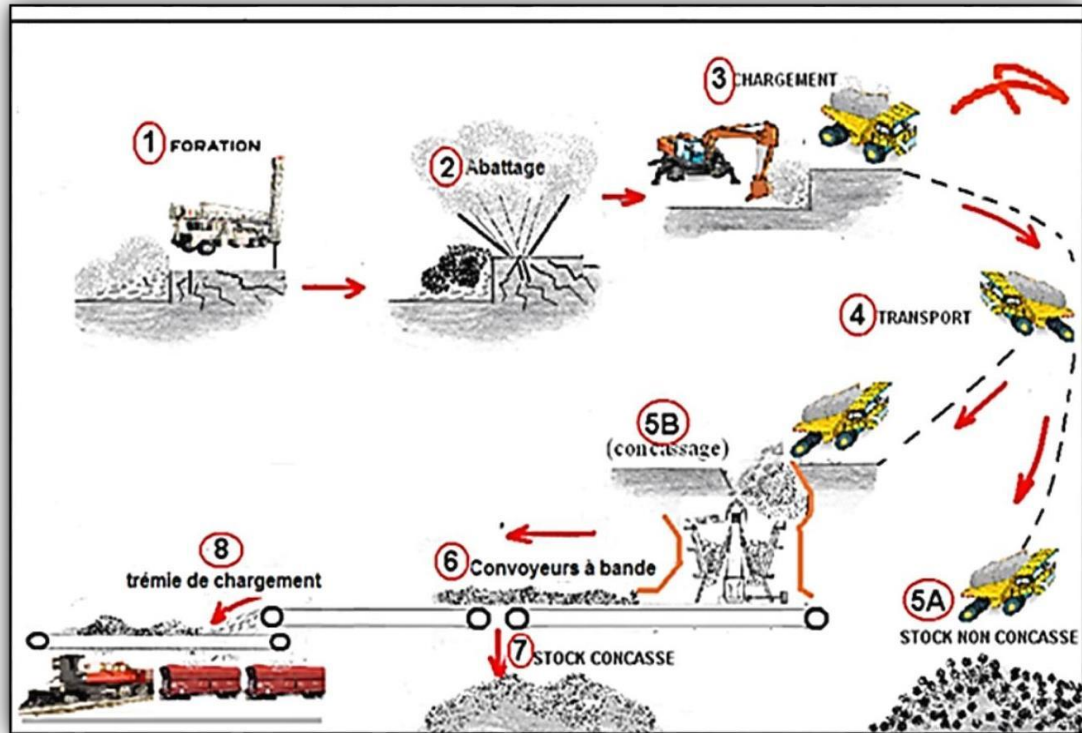
Aux alentours de la mine il y a des stocks en minerai (Triage), ils se diffèrent en qualité et en quantité l'un de l'autre. Ces stocks sont constitués de blocs de minerai et de stériles calcaires où d'autres roches lithologiques différentes. Les dimensions de ces derniers varient de quelques centimètres jusqu'à un mètre. Leurs dispositions par rapport aux deux concasseurs (803 et 660) est donnée dans (tableau 3.9).

Les concasseurs sont reliés aux trémies de chargements par des convoyeurs à bande (figure 3.10) sur une distance maximale de 3000 m. Les blocs de minerai envoyés au concasseur ont une taille nettement inférieure à la limite demandée pour le concasseur, car il y a un triage au niveau du chantier. Les blocs hors gabarits sont mis de côté pour subir un débitage secondaire. (Semmache, 2015)

**Tableau 3.10.** Disposition des stocks non concassé aux alentours de la mine  
(DED, 2012)

Stocks	Distance en mètres		Quantité (tonnes)	Qualité (% Fe)
	Concasseur 660	Concasseur 803		
Stock 900	4275	1300	225 240	35
882 Zerga	3525	800	5 120	38
770 Zerga	2675	850	52 836	39 .1
800 6Mai	2600	4425	3 520	46
760 Station Bull	1650	3450	2 620	46
660 Douamis	1175	2995	37 250	44
Stock 803	2425	250	30 000	48
733 Ilot	2300	1000	200 000	38
670 Bouadma	1125	2950	193 414	38





**Figure 3.10.** Schéma représentatif des opérations au niveau de complexe minier de l'Ouenza (DED, 2023)

## 9. La mise à terril

Le mise a terril consiste à déposer les stériles sur un terrain à proximité de la carrière. Les terrils doivent avoir une capacité suffisante, un terrain commode est situé en dehors de terrain productif mais pas très éloigné du champ minier. Les terrils peuvent être intérieurs ou extérieurs.

Dans le cas de la mine de l'Ouenza le terril est extérieur. D'une façon générale les endroits choisi pour le dépôt sont les ravins, les dépressions et les flancs de montagnes, le transport des roches stériles (en générale le calcaire et par fois les marnes) est effectué par camion. (Semmache, 2015)

## 10. Conclusion

Dans ce chapitre, on a présenté de manière détaillée l'histoire de la mine de l'Ouenza, mettant en évidence son rôle crucial dans l'approvisionnement en minerai de fer pour l'industrie sidérurgique nationale en Algérie. La mine de l'Ouenza a connu une évolution depuis son exploitation initiale au 19<sup>ème</sup> siècle jusqu'à sa nationalisation et sa restructuration ultérieure.

De plus, le cadre géographique de Djebel Ouenza, la géologie de la région et son cadre tectonique et hydrogéologique ont été examinés pour fournir une compréhension approfondie du contexte dans lequel se situe ce cas d'étude. Ces informations constituent une base solide pour la suite de l'analyse et des discussions dans le mémoire, permettant une exploration approfondie de l'exploitation minière à l'Ouenza.

# **Chapitre IV:**

# **Modélisation**

# **numérique**

## 1. Introduction

Le but de cette étude est de déterminer un modèle géométrie de talus pour notre projet. Pour cela, on va réaliser une modélisation de l'exemple. Dans cet exemple, on se propose d'étudier géomécanique de l'extraction sur la stabilité d'un talus par et voir son l'influence sur le coefficient de sécurité.

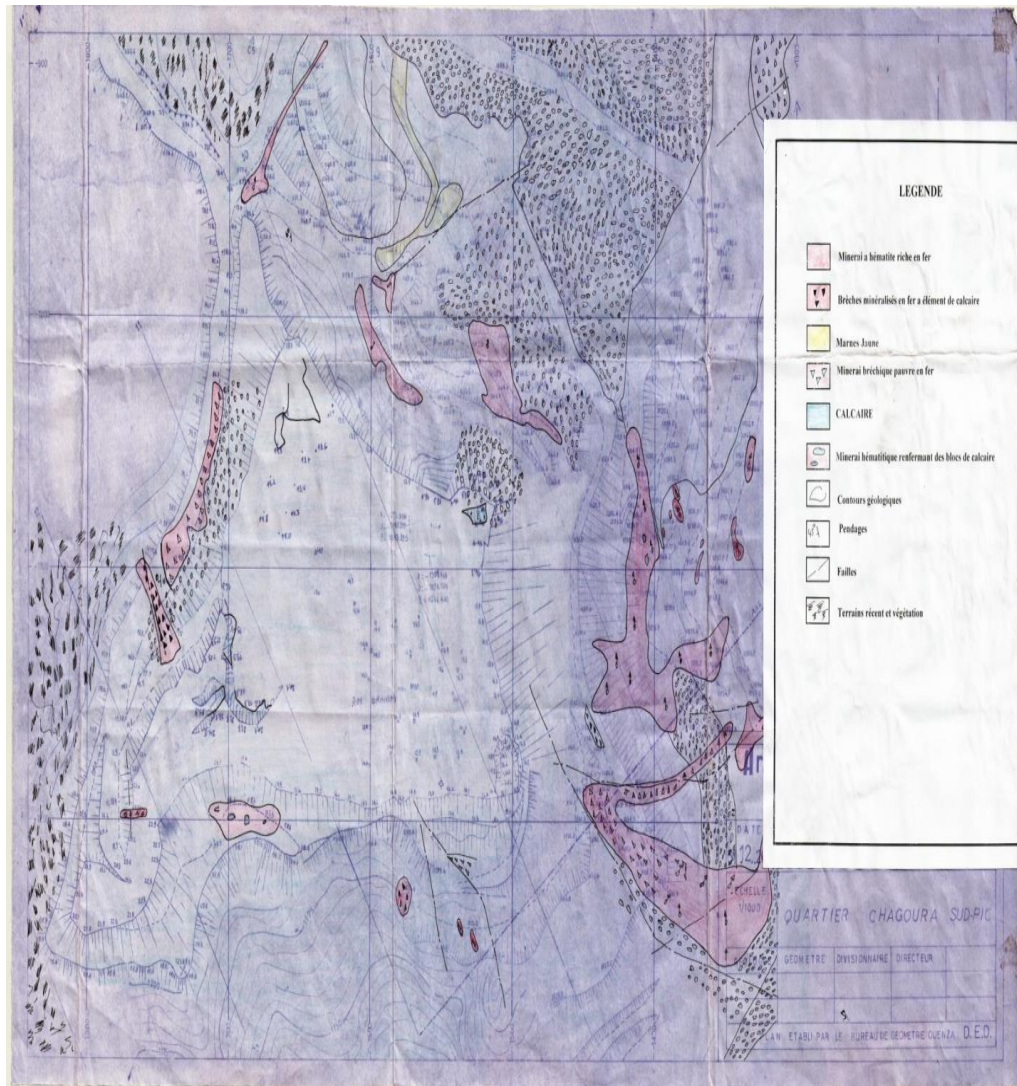
Le modèle a été établi et calculé avec le logiciel GEOSTODIU. Il sera utilisé Comme base de comparaison de coefficient de sécurité entre le talus avant l'extraction et après l'extraction. Les logiciels informatiques développés de nos jours facilitent la prise en compte de ces paramètres et conduisent à des solutions générales et plus réalistes de la stabilité des pentes. Ces logiciels peuvent utiliser à la fois les formulations d'équilibre limite et les méthodes des éléments finis pour décrire correctement le comportement des sols.

## 2. Présentation de talus étudié

Le chantier Chagoura Sud 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 Tébessa. 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.

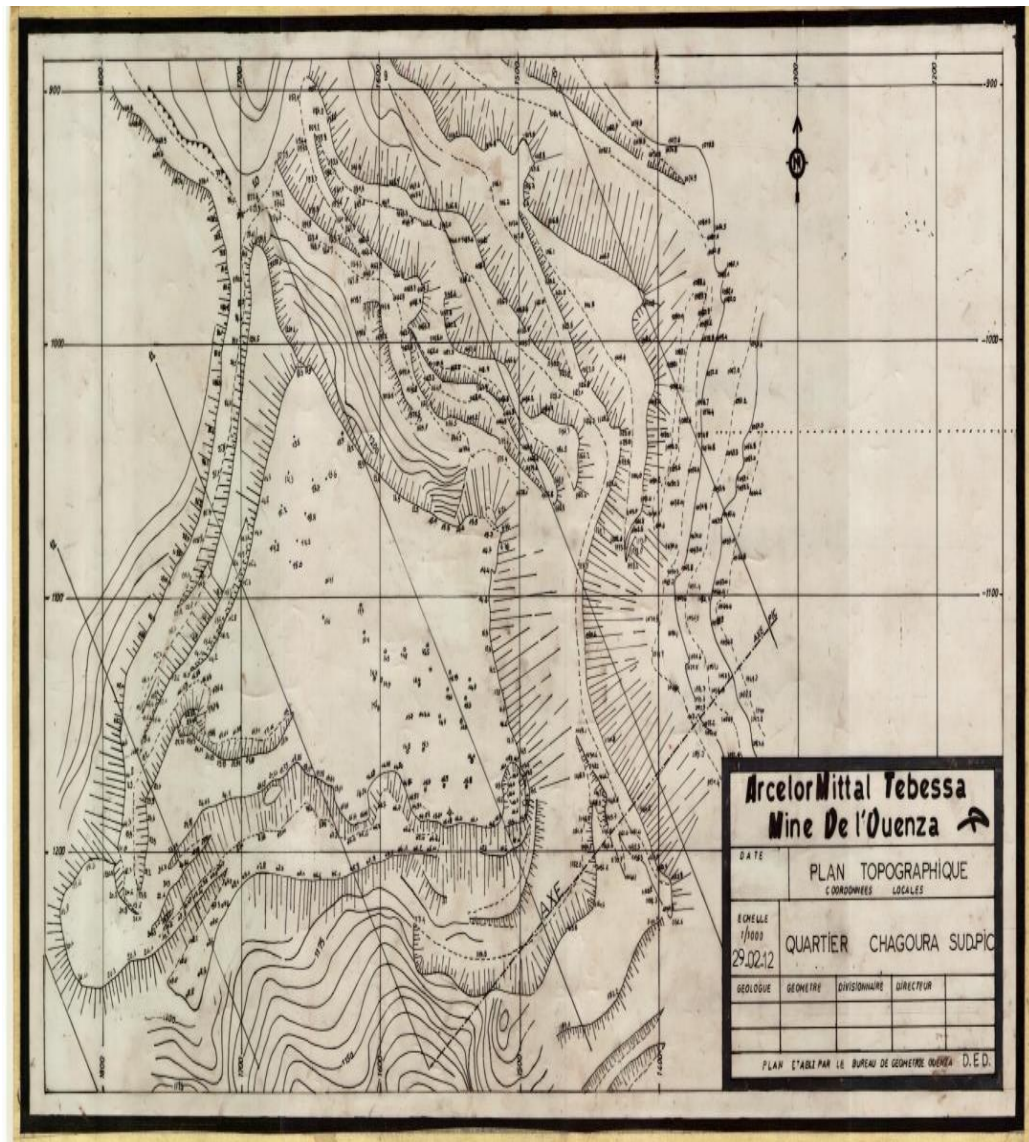
Ce gisement se trouve dans une structure anticlinale très fracturée. Il renferme deux types de minerai affleurant le long du quartier suivant deux filons (couches). Le premier est souvent riche et friable, le deuxième de couleur brun et extrêmement dur. Ce dernier a une grande importance de part sa qualité et sa quantité.

- Contour supérieur : niveau 995.
- Contour inférieur : niveau 733.



**Figure4.1.** La carte géologique Quartier Chagoura Sud-PIC.[DED]





**Figure 4.2.** La carte Topographie Quartier Chagoura Sud-PIC. [DED]

### 3. Définition de GEOSLOPE

GEO-SLOPE 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.

Elles permettent de calculer un coefficient de sécurité vis-à-vis d'un type de rupture bien défini. Le modèle géométrique est subdivisé en tranches verticales en 2D.

Il exécute plusieurs méthodes de recherches automatiques du centre de rotation de la surface de glissement potentiel jusqu'à atteindre le plus faible coefficient de sécurité.

Plusieurs programmes sont intégrés dans la fenêtre générale du logiciel :

**SEEP/W** : Permet de calculer les infiltrations des eaux.

**SIGMA/W** : Permet d'analyser les problèmes de la relation contraintes -déformations.

**QUAKE/W** : Permet de définir le comportement d'un terrain sous l'effet d'un séisme.

**TEMP/W** : Permet d'analyser les problèmes géotechniques du sol.

**SLOPE/W** : c'est le programme qui nous intéresse dans la présente étude.

Le présent logiciel comme tous les autres programmes de calcul sert 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 :

### **Defline**

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

### **KeyIn**

- 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
- Etiquetage du sol
- Rajout d'un titre d'identification du problème
- Eclaircir 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 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.

## **Solve**

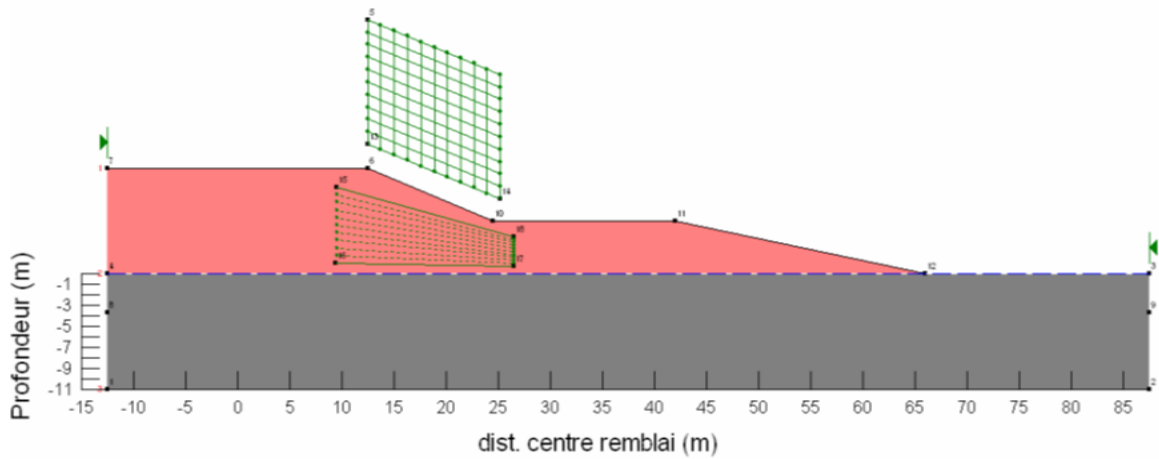
C'est l'étape de résolution du problème, à l'aide des méthodes classiques et la méthode des éléments finis et à partir des données introduites, on détermine le coefficient de sécurité  $F_s$ .

## **Contour**

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

### **a. Grid and Radius**

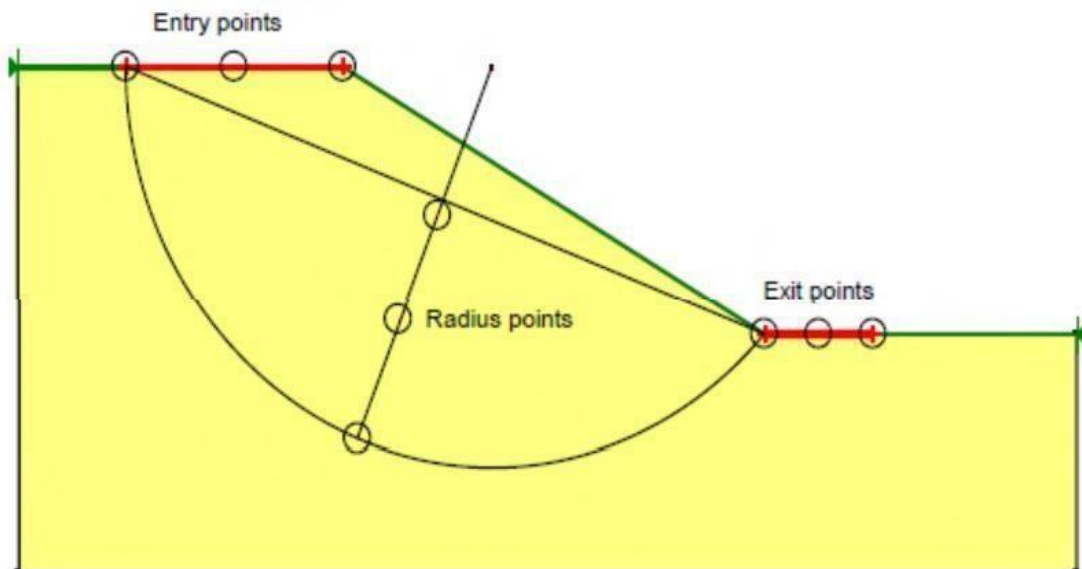
Cette option permet de définir à l'aide d'une grille la surface probable qui inclut l'axe du cercle de glissement et de définir aussi une grille qui inclut le deuxième point du rayon du cercle, alors le programme va tester plusieurs cercles de glissement où le rayon est compris entre l'un des points de la première grille définie par l'option Grid, et l'un des points définis par l'option Radius (le programme teste tous les cercles possibles).



**Figure 4.3.** Exemple détermination de la surface de rupture par la méthode « Grid ».

**b. Entry and Exit**

Cette méthode est plus simple que la précédente, car il suffit de sélectionner une partie de la pente où se trouve le premier point probable d'arc du cercle et une partie où se trouve le dernier point de d'arc du cercle (le programme teste les arcs compris entre deux parties de la pente).



**Figure 4.4.** Exemple des points d'entrée et sortie de la surface de glissement « Radius ».

#### 4. Etude de la stabilité

Ce cas est modélisé en deux dimensions. Le quartier est constitué d'une couche de calcaire, marne et fer. Pour le calcul de stabilité, l'hypothèse de déformation (plane, circulaire). Le comportement mécanique des matériaux suit le critère de Mohr-Coulomb avec les propriétés.

##### Le model géotechnique

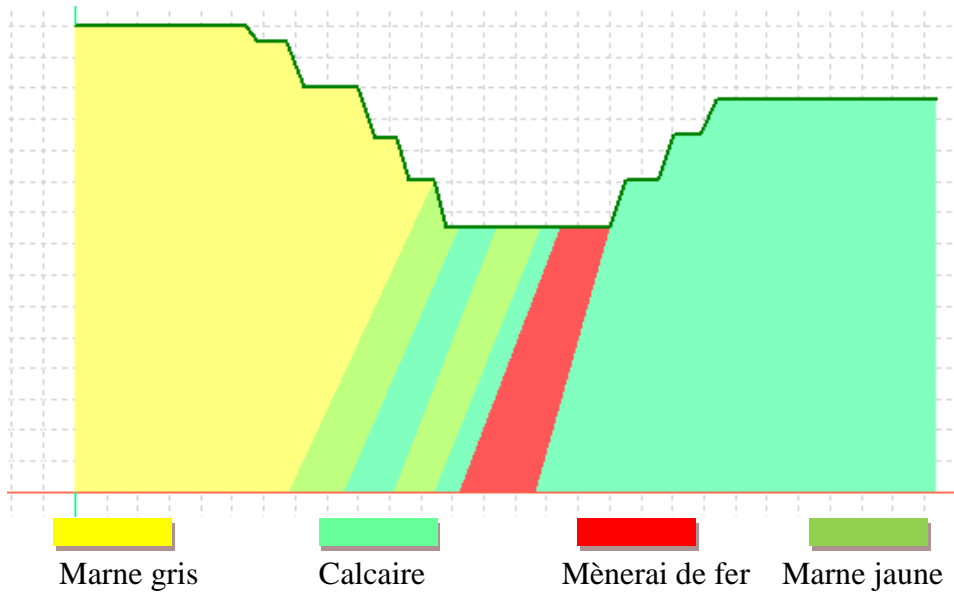
##### Géométrie du modèle

**Tableau 4.1.** Géométrie Chagoura sud.

Hauteur moyenne des gradins( m)	Angle du talus des gradins(°)	Langueur des Bermes(m)	Profondeur(m)	Angle du bord final(°)
15	70-75	8	240	35

**Tableau 4.2.** Propriétés physicomécanique de la roche. (Smmach, 2015).

propriétaires	$\gamma_s$ <i>kn/m2</i>	C	$\varphi$
Marnes jaune	26.64	67	27.62
Marne grise	26.23	44.3	31.03
calcaire	25.56	96.3	29.95
fer	27.81	105.7	28.45



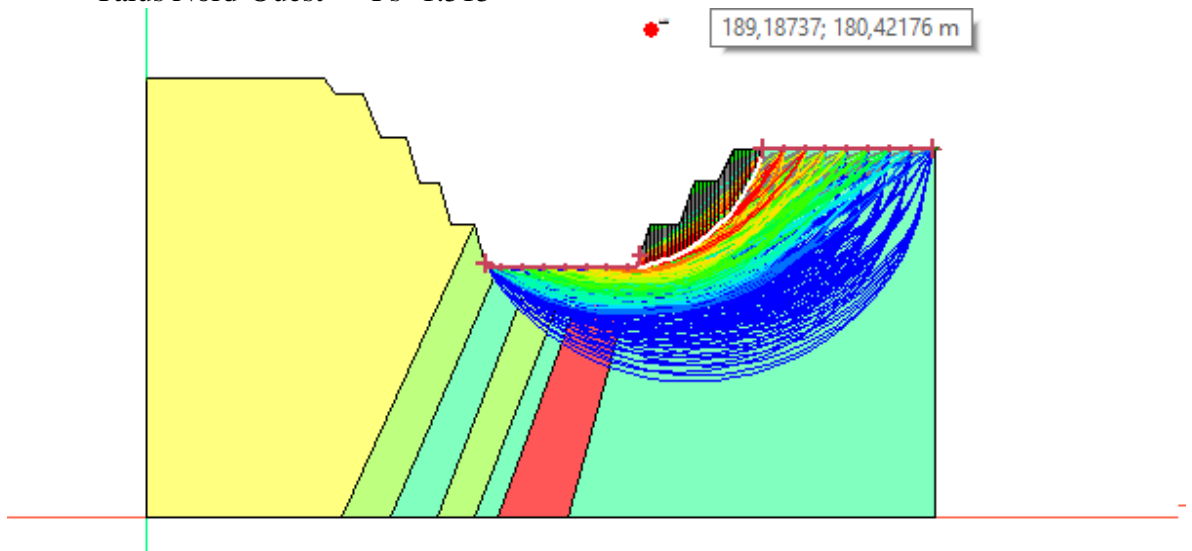
**Figure 4.5.** Model initial géotechnique de la coupe.

### Facteur de sécurité

Pour obtenir l'effet d'extraction, nous extrayons le gardien à chaque fois et calculons cet effet sur les deux côtés de la fosse de la mine jusqu'à ce que nous atteignons le Platform de la fosse. Les tableaux 4.3 et 4.4 présentent Fs des phases de calcul.

#### Phase 0 : La phase initiale du model.

- Talus Nord-Ouest  $Fs=1.515$



**Figure 4.6.** Le model géotechnique de la coupe verticale initiale.

- Talus Sud-Est.  $F_s=0.912$



**Figure 4.7.** Le model géotechnique de la coupe verticale initiale

**Phases 1-5 :** les phases d'extraction gradin par gradin

Les tableaux présenté phase de calcule  $F_s$  des d'extraction des gradins.

- Talus Sud-Est.

**Tableau 4.3.** Valeur des facteurs de sécurité du talus gauche après l'avancement d'extraction.

phase	n°1	n°2	n°3	n°4
$F_s$	0.899	0.991	1.018	0.912

- Talus Nord-Ouest.

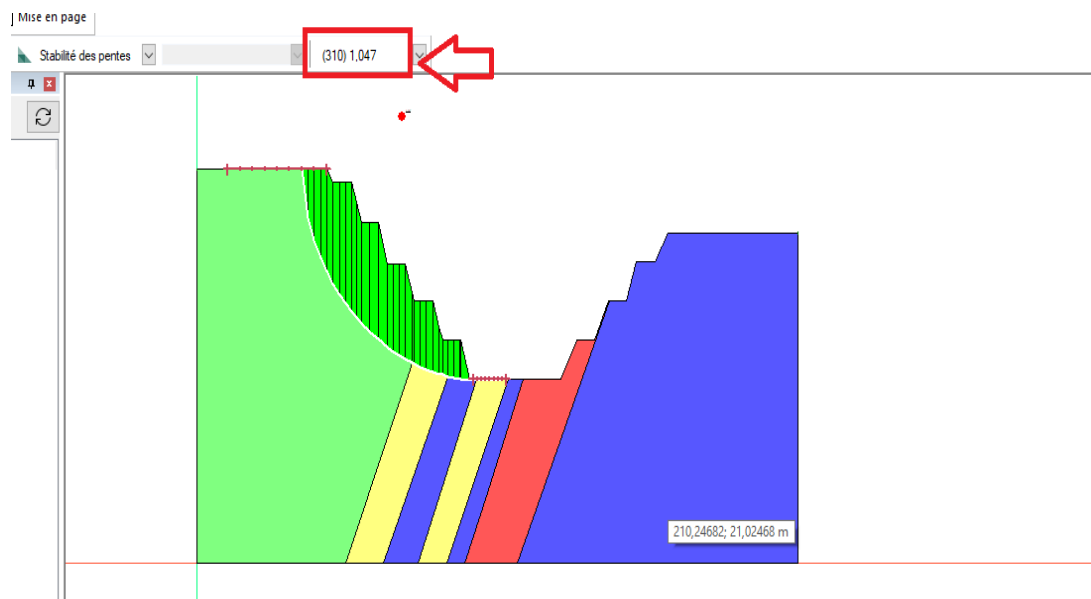
**Tableau 4.4.** Valeur des facteurs de sécurité du talus droit après avancement d'extraction.

Phase	n°1	n°2	n°3	n°4
Fs	1.515	1.676	1.742	1.63

### Phase finale

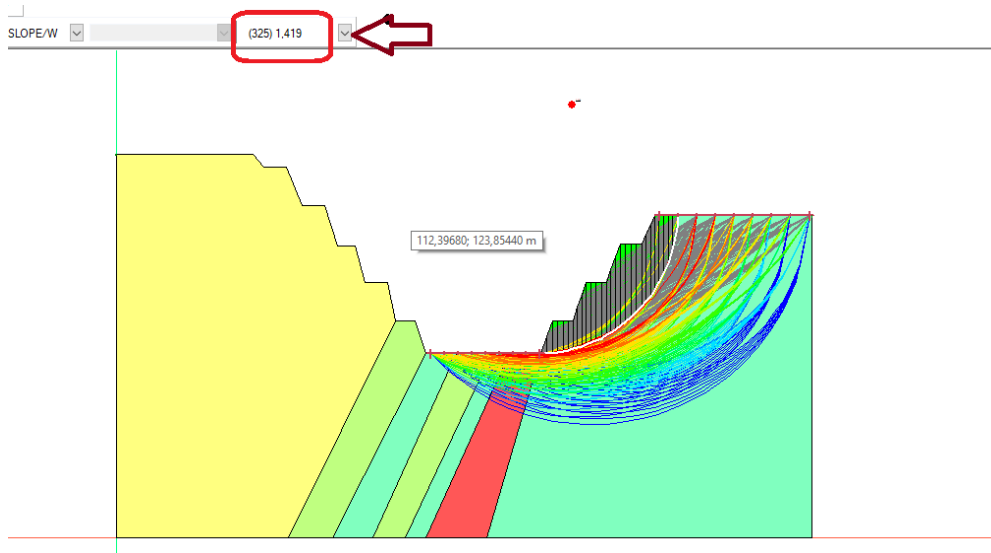
Le facteur de sécurité après l'avancement de l'extraction des tous les gradins et l'approfondissement de la fosse.

- Talus Sud-Est. Fs=1.047



**Figure 4.8.** Le model géotechnique après l'extraction.

- Talus Nord-Ouest.  $F_s=1.419$



**Figure 4.9.** Le model géotechnique après l'extraction.

Les figure et les tableaux représenté les plans de glissement possible et le facteur de sécurité par la méthode de Morgenstern Price.

### Interprétation les résultats

Les valeurs finales montrent que la pente latérale Sud-Est est dans la limite de stabilité et de potentiel de glissement  $F_s = 1,04$  et la valeur de la pente Nord-Ouest  $F_s = 1,419$  Sécurité satisfaisante et glissement faible mais possible.

## 5. Conclusion

À partir du processus de modélisation par logiciel Geoslope, le facteur de sécurité de modèles est limité au domaine 1.4 à 1.7 pour le gradin Nord-Ouest. Ce qui signifie que le risque observe de glissement est quasi inexistant. Mais de l'autre côté, le risque de glissement est très possible parce que la valeur du coefficient de sécurité entre 0.899 et 1.041.

Le facteur de sécurité est affaibli par rapport à la pente Sud-Est est parce que la couche de

marne forme la pente et la fosse est profonde, et la stabilité de la fosse pour la mine est du côté Nord-Ouest parce qu'elle est formé de calcaire, bonne roche par rapport à la marne et que la hauteur totale du gradin est relativement faible.



## Conclusion générale et recommandation

Le but de cette étude est d'étudier l'effet des travaux d'extraction du minerai de fer sur la stabilité de la mine à ciel ouvert de l'Ouenza.

Après une étude paramétrique des gradins du Quartier Chagoura Sud de la mine à ciel ouvert de l'Ouenza, en utilisant à la fois des méthodes, nous avons pu faire les constatations suivantes :

- La stabilité est influencée par la nature du terrain et la géométrie des gradins.
- Le gradin droit est plus stable que celui de la gauche.
- La marne possède des caractéristiques géomécaniques plus faibles que celles du calcaire.
- La simulation de l'avancement des travaux d'exploitation a conduit à l'augmentation du facteur de sécurité.

On recommande alors un reprofilage du talus en diminuant la pente des gradins.

## Références bibliographiques

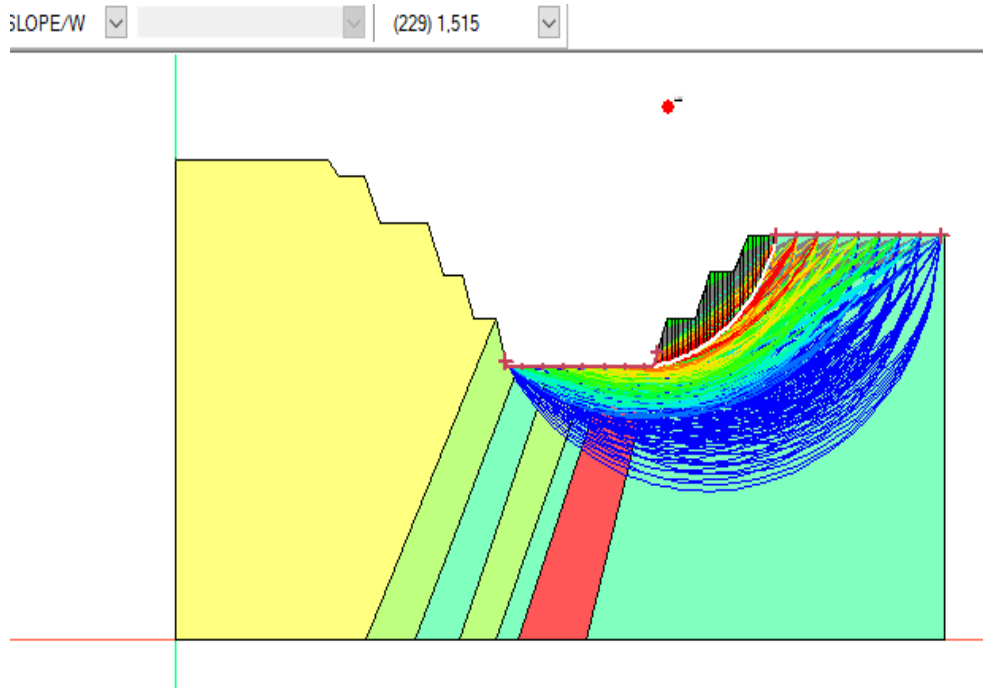
- ACADEMIE DE MONTPELLIER** (2020), La propagation des différents types d'ondes, disponible sur : [pedagogie.ac-montpellier.fr](http://pedagogie.ac-montpellier.fr)
- BOUZENOUNE A.** (1998), Le gisement de fer l'Ouenza (nord-est algérien), Laboratoire de géologie appliquée, Paris.
- CAMBEFORT H.** (1971), Introduction à la géotechnique, Eyrolles, Paris.
- GROLIER J., FERNANDEZ A., HUCHER M., RISS J.** (1990) «Les propriétés physiques des roches théories et modèles » Elsevier Masson.
- HOMAND F., DUFFAUT P., et al.** (2000), Manuel de mécanique des roches – Tome 1, Fondements - Presse de l'École des Mines, Paris.
- JMVALLEE**, étude de la porosité et de la perméabilité, disponible sur : [eduterre.ens-lyon.fr](http://eduterre.ens-lyon.fr)
- KAMULETE MUDIANGA N** « Cours d'exploitation des mines à ciel ouvert » Ingénieur civil des mines Docteur en sciences appliquées Professeur à l'Université de Lubumbashi.
- KHALDOUNA H.**, (2018), Analyse de la stabilité et modélisation numérique du talus de la résidence présidentielle de la wilaya Annaba, Mémoire de master en géotechnique, Université Baji Mokhtar – Annaba.
- LAZIZI M.**, (2012), La mine de l'Ouenza histoire et avenir », Arcelor Mittal.
- Martin P.**, (2008), Géotechnique appliquée au BTP, Eyrolles, Paris.
- PANET M.**, (1976), La mécanique des roches appliquée aux ouvrages du génie civil » - ENPC, Paris.
- PAREZ L.**, (1983), Étude géotechnique et reconnaissance des sols » projet de DTU. Presse Ponts et chaussées.
- PHILIPPE M.**, (2018), Les techniques et conditions d'exploitation des mines Aurifères, Compagnie minière de Boulanger (CMB).
- SELLAOUI K.**, (2020), Mesure et estimation du cycle de chargement et transport dans les conditions de mine de fer de l'Ouenza, Ecole nationale supérieure des mines de la métallurgie Amar L'Askri – Annaba.
- SEMMACHE M.F.**, (2015), Étude de stabilité des talus des gradins et des bords de la mine à ciel ouvert l'Ouenza », Ecole nationale polytechnique – Alger.
- SIMSG**, Société Internationale de Mécanique des Sols et de Géotechnique.

**TALOBRE J.** (1957), La mécanique des roches et ses applications, Dunod, Paris.

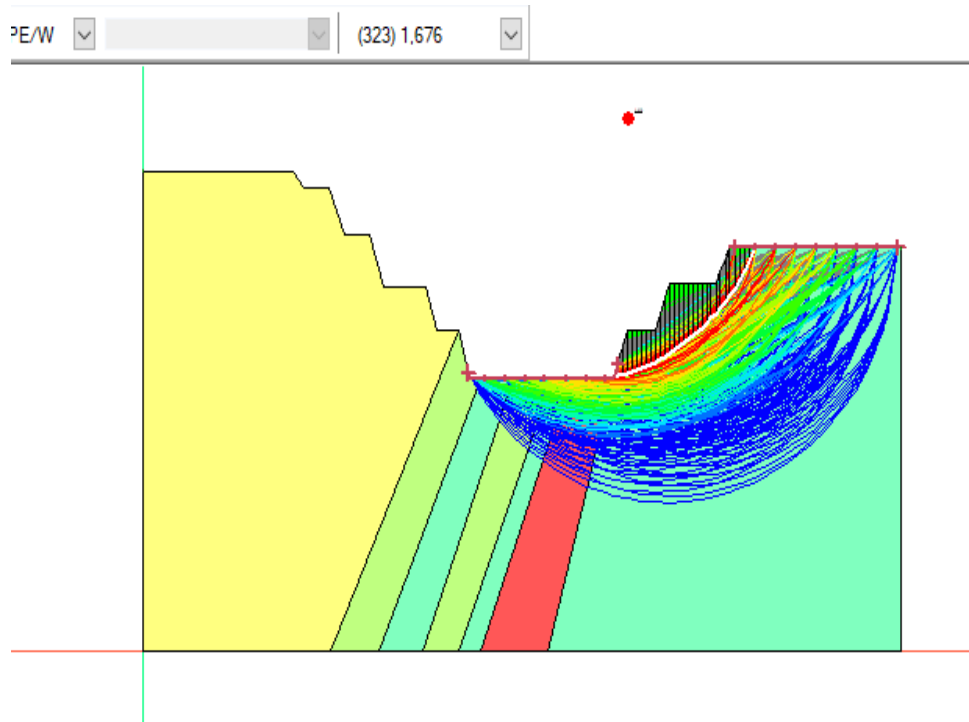
**TERZAGHI K., Peck R.B.**, (1961), Mécanique des sols appliquée aux travaux publics et aux bâtiments, Paris.

# **Annexe A**

# Annexe A



**Figure A.1.** Calcul de phase 1 « SE »



**Figure A.2.** Calcul de phase 2 « SE »

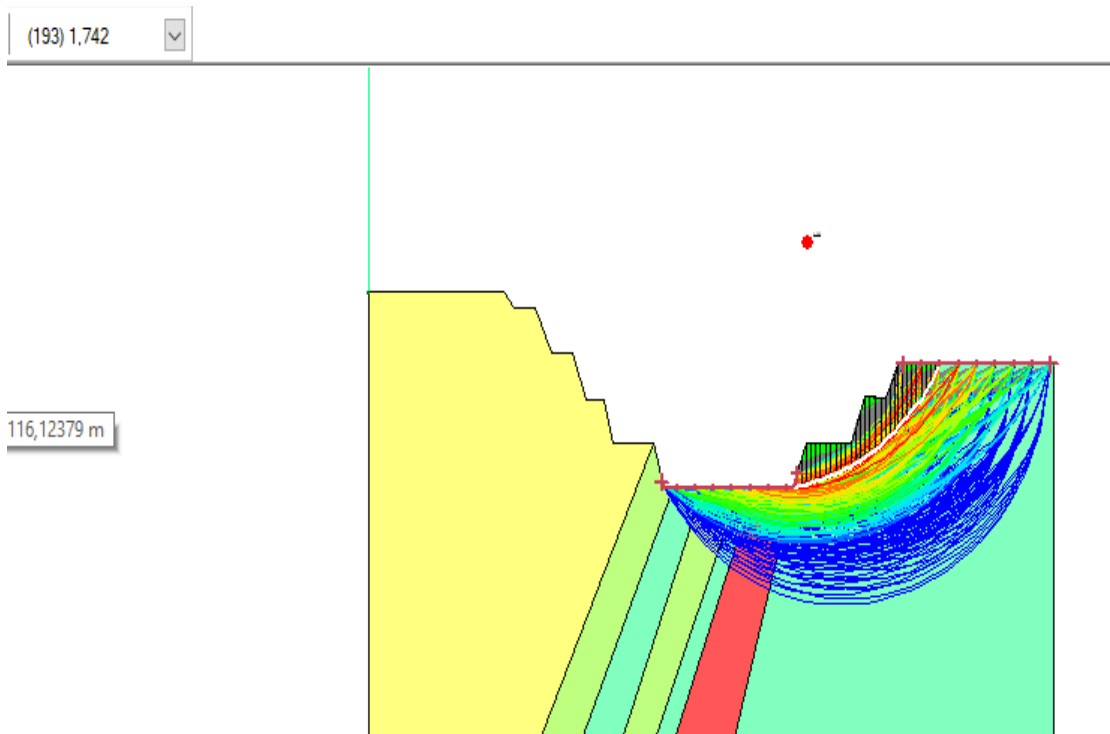


Figure A.3. Calcul de phase 3 « SE »

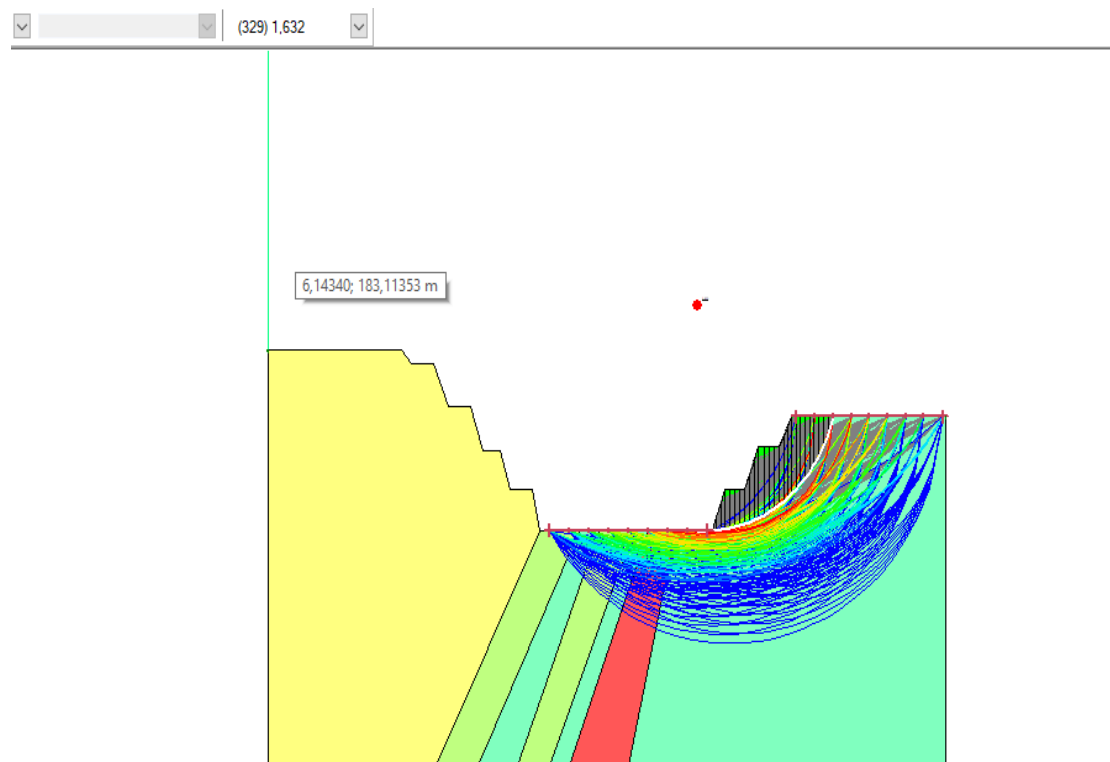
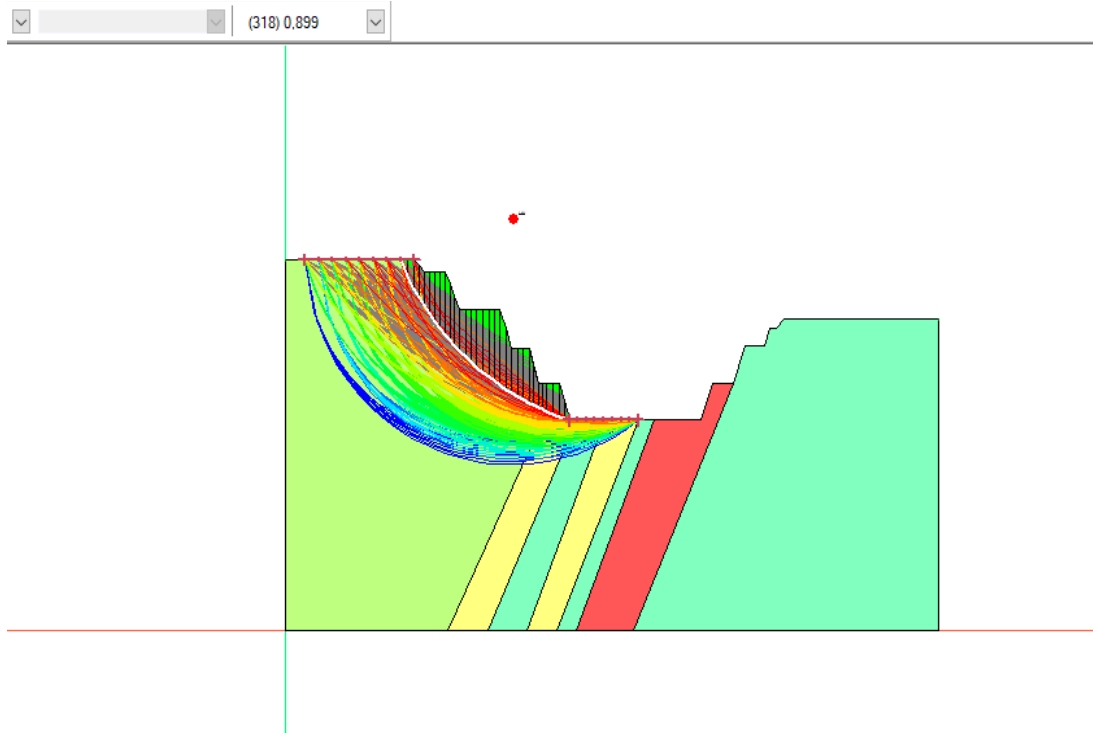
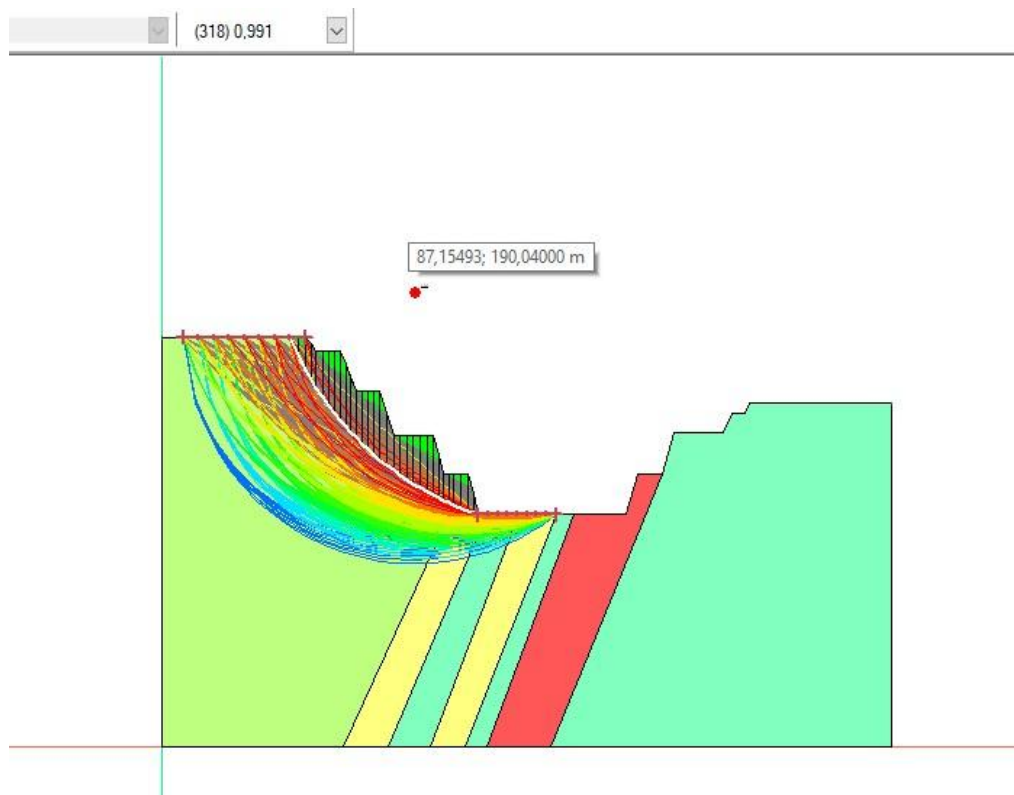


Figure A.4. Calcul de phase 4« SE »



**Figure A.5.** Calcul de phas1 « NO »



**Figure A.6.** Calcul de phase 2 « NO »

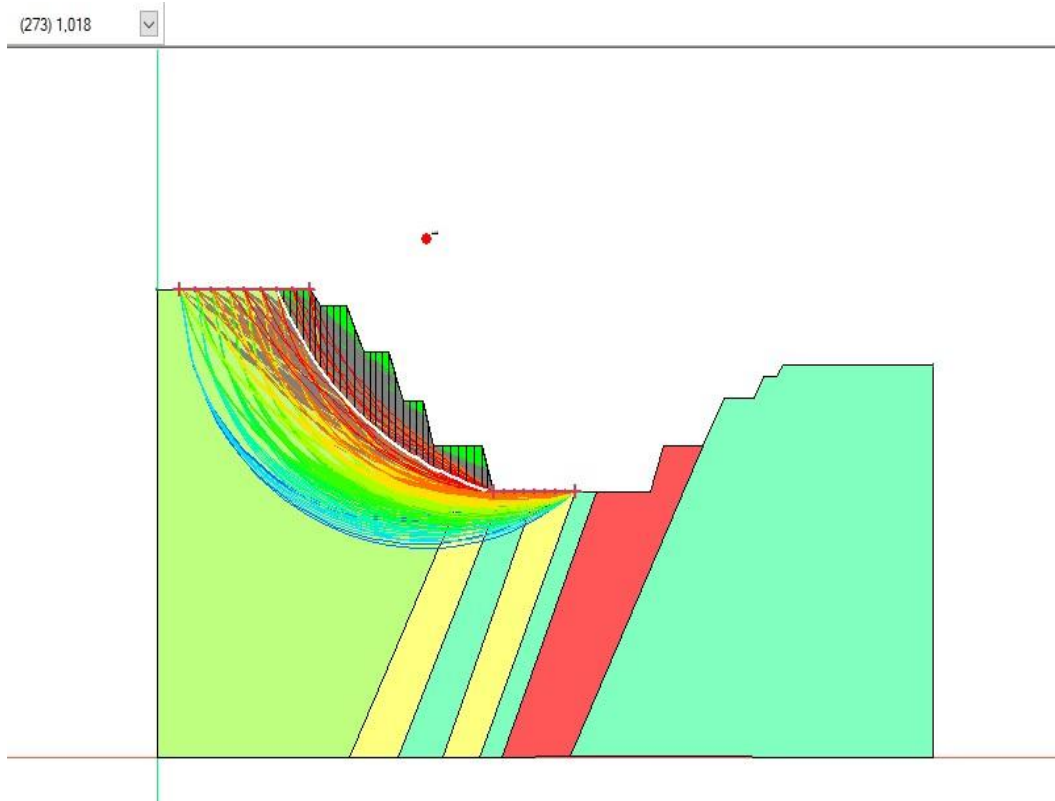


Figure A.7. Calcul de phase 3 « NO »

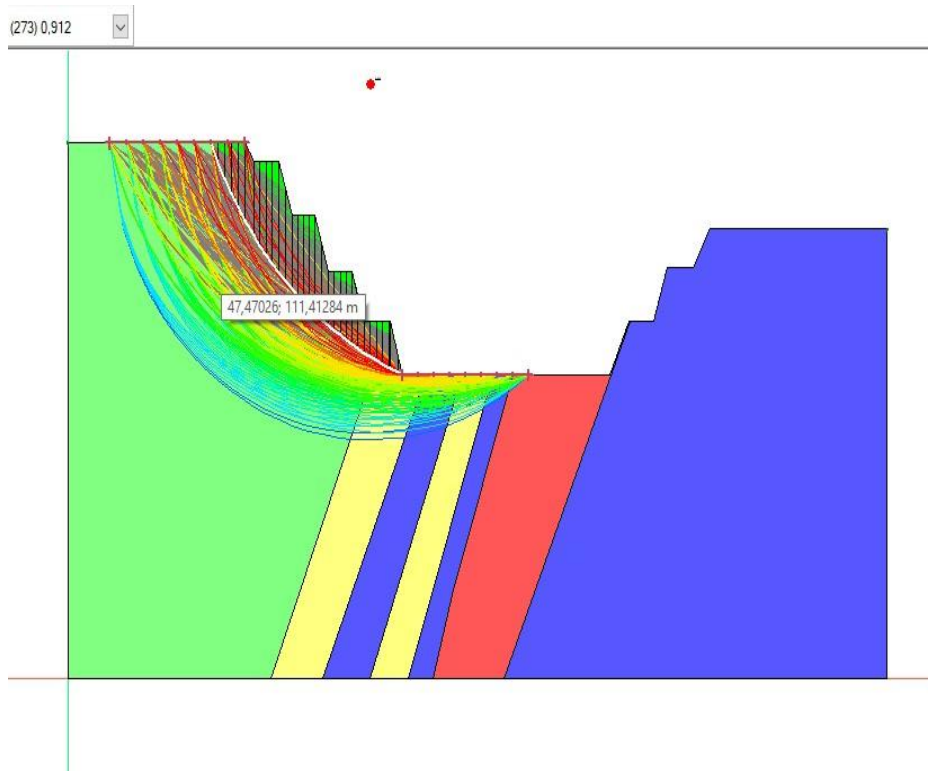


Figure A.8. Calcul de phase 4 « NO »

