REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA



Faculté de **T**echnologie

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Génie Civil

Spécialité : Géotechnique

Etude et traitement de glissement de terrain sur la RN24 au PK 113 + 500

Présenté par

KHELLIFA Kamel

GACEMI Turkia

Proposé et Dirigé par

Dr. MESSAD Ali

Promotion Juin 2022

REMERCIMENT

Début, nous tenons à remercier et à exprimer au terme de ce travail, nous avons saisis cette occasion pour exprimer nos remerciements tout d'abord à notre dieu le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.

En second lieu, nous tenons à remercier nos parents pour leur contribution, leur soutien et leur patience durant ces longues années d'études.

En Troisième lieu, nous tenons à remercier et à exprimer nos gratitudes à notre encadreur **M. MESAAD Ali** qui nous a orienté et nous a soutenu durant notre projet de fin d'études.

Enfin nous adressons nos sincères remerciements vont également à touts les enseignants du département de Génie civil option Géotechnique de l'université de Médéa, et touts les enseignants qui ont participé à notre formation.

Merci a toutes et a tous

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

Après mon DIEU pour leurs sacrifices

A Mes chers parents qui ont sacrifié leur vie Pour moi et qui ont été mon repère, Mon point de départ et ma locomotive Durant toute ma vie.

A mes sœurs, mes proches et toute la famille

Khellifa Kamel

Dédicace

Oh Dieu, apprend nous ce qui nous profité, dieu loué pour la gloire de son visage et la grondeur de sa puissance.

Je dédié ce modeste travail à :

- Mon Père : qui tient le charisme, la personne qui m'a appris le don sans attendre, celui que je porte son nom avec fierté, le plus beau jeune qui j'ai vue, c'est mon exemple dans la vié.
- Mon mère : celle qui m'a donné la fierté et la confiance, la source de la tendresse et la pitié, elle m'a appris le don, la force et l'amour.
- Ma sœur Sara : le secret de ma joie et mon seul refuge .
- A mes frères, Oussama, Mohammed, Rahaf ghofrane .
- Mon petit ange : Youcef Rafik.
- A mes chers amies et toutes mes proches.
- A Tout personnes qui m'ont aider pendant la réalisation ce modeste travail .

Gacemi Turkia

ملخص :

إنزلاقات التربة من الظواهر الطبيعية الخطيرة والمعقدة تحكمها أسباب وعوامل شتى، وهي منتشرة وشائعة في ولاية بومرداس .وقد تسبب انزلاق التربة المتمركز بمدينة دلس ولاية بومرداس بإتلاف جزء من الطريق (RN24 PK 113 + 500). نهدف من خلال عملنا هذا إلى إجراء فحص و دراسة جهِ تقنية للظاهرة ، لهذا بدأنا بعموميات حول حركات التربة وبالضبط انزلاق التربة مميزاتها، أنواعها، مختف أسبابها، والحلول المقترحة لها وطرق حسابها.

بعد ذلك قمنا بتحليل رقمي لهذا المنحدر بواسطة برنامج Talren4 الثنائي الأبعاد من خلال استعمال طريقة (Bishop) بهدف حساب معامل الأمن .و أخيرا حللنا بتدعيم المنحدر بجدار ترابي

الكلمات المفتاحية : انزلا قات التربة , Talren4, Bishop .

Résumé :

Les glissements de terrains sont des phénomènes très dangereux et très complexes qui dépendent de plusieurs paramètres et critères, répandu à la wilaya de BOUMERDES.

Ce phénomène survenu au Dellys (BOUMERDES) a fait beaucoup de dommage sur la route «RN 24 PK 113 + 500».

Notre travail a pour objectif de faire une étude géotechnique du phénomène. A cette fin, on a débuté notre étude par des généralités sur le glissement de terrains, les types, les propriétés, les causes et les méthodes adoptées pour le calcul de ce type de problème.

L'analyse numérique du talus a été faite avec un code de calcul bidimensionnel, intitulé Talren4 qui utilise la Méthode (Bishop), dans le but de déterminer le coefficient de sécurité.

Le renforcement du talus a ensuite été analysé en introduisant mur en gabion .

Mot clés : Les glissements de terrains , mur en gabion, Bishop, Talren4.

Abstract :

Landslides are very dangerous and complex phenomena that depend on several parameters and criteria, widespread in the wilaya of BOUMERDES.This phenomenon which occurred at Dellys (BOUMERDES) caused many damage on the road “RN 24 PK 113 + 500”. Our work aims to make a geotechnical study of the phenomenon. To this end, we began our study with generalities on landslides, types, properties, the causes and the methods adopted for the calculation of this type of problem. The numerical analysis of the embankment was made with a two-dimensional computer code, entitled Talren4 which uses the Method (Bishop), in order to determine the safety factor .The reinforcement of the embankment was then analyzed by introducing a gabion wall.

Key words : gabion wall, Bishop, Landslides, Talren4.

Table des métiers

Remerciment

Dédicaces

Résumé

Table des métiers i

Liste des tableaux v

Liste des figures vi

Liste des notations viii

Introduction Générale 1

Partie I : Recherche bibliographique 2

Chapitre I : Les mouvements de terrain 3

I.1. Introduction : 2

I.2. Les mouvements de terrain : 2

I.2.1. Les mouvements lents et continus 3

I.2.2. Les mouvements rapides et discontinus 3

I.2.3. Description des principaux types de mouvement 3

I.2.3.1. Les écroulements 3

I.2.3.2. fluage : 4

I.2.3.3. Les glissements : 5

I.2.3.4. Les coulées : 5

I.2.4. Typologie des mouvements de terrain : 6

I.2.5.Conditions de stabilité : 6

Chapitre II : Les glissements de terrain 9

II.3. Glissement de terrain : 7

II.3.1. Les glissements plans : 8

II.3.2. Glissement rotationnel : 8

II.3.2.1. Glissement rotationnel simple : 9
II.3.2.1. Glissement rotationnel complexe : 9
II.3.3. Classification des glissements : 10
II.3.4. l'origine et les causes des glissements de terrain : 10
I.3.4.1. Les causes augmentant les moments moteurs : 10
II.3.4.2. Les causes diminuant les moments résistants : 11
II.3.4.3. Les causes naturelles : 11
II.3.4.4. Les Causes humaines : 12
II.3.4.5. Les Causes géologiques : 12
II.3.4.6. Les Causes morphologiques : 12
II.3.5. Phases des glissements : 13
II.3.5.1. Glissements de terrain actif : 13
II.3.5.2. Glissements de terrain réactivés : 13
II.3.5.3. Glissements de terrain inactifs : 13
II.3.6.Méthodes d'analyse des glissements :[5] 13
II.3..6.1.Notion de coefficient de sécurité : 13
II.3.6.2. Le calcul à la rupture 16
II.3.6.2.2. Ruptures rotationnelles (calcul à l'équilibre limite) : 17
Chapitre III : Les Techniques et les moyennes de confortement 26
III.1. Généralités : 23
III.2. Les différentes techniques : 23
III.2.1. Terrassements : 24
III.2.1.1. Remblai de pied : 25
III.2.1.2. Allègement en tête : 25
III.2.1.3. Reprofilage : 26
III.2.2. Dispositifs de drainage : 27
III.2.2.1. Collecte et canalisation des eaux de surface : 28

III.2.2.2. Tranchées drainantes : 28
III.2.2.3. Drains verticaux, galeries drainantes : 29
III.2.3. Introduction d'éléments résistants : 30
III.2.3.1. Ouvrages de soutènement : 30
III.2.3.2. Les murs de soutènements : 31
III.2.3.3. Les rideaux de palplanches : 31
III.2.3.4. La terre armée: 32
III.2.4. Les tirants d'encrage : 33
III.2.5. Le clouage : 34
III.2.6.Les géotextiles : 35
Conclusion bibliographique 41
Partie II : Etude d'un Glissement de terrain sur la RN24 PK 113 + 500 42
Chapitre I : Carde général de la région d'étude 43
I.1.Introduction : 42
I.2. Géologie générale : 42
I.3.Climat : 43
I.4.Sismicité : 43
I.5.Reconnaissance du site :[R] 44
I.5.1 : Caractéristiques géotechniques des sols : 46
I.5.1.1.Caractéristiques d'identification : 46
I.4.1.2. Caractéristiques mécaniques : 46
I.4.1.3.Caractéristiques chimiques : 46
I.4.2. Conclusion et interprétation : 49
Chapitre II : Etude De Stabilité De Glissement de terrain 52
Sur la RN24 PK 113+500 52
II.1.Introduction : 52
II.2. Présentation de logiciel TALREN : 52

II.2.1. Définition : 52
II.2.2. différents types de renforcements : 52
II.2.3. Un peu d'histoire : 52
II.2.4. Les fonctions du calcule : 53
II.2.5. Manuel d'utilisation : 54
II.3. Analyse de la stabilité de talus : 60
II.3.1. Données géotechniques : 60
II.3.2 : Caractéristique géométrique du talus : 61
II.3.3 - Vérification de la stabilité avant confortement : 61
II.3.4.Présentation des résultats de calcul : 62
II.3.5.Interprétation de résultat : 63
II.4.Vérification de la stabilité après le confortement : 63
II.4.2. Présentation des résultats de calcul : 63
II.4.3.Interprétation des résultats des calculs : 65
II.4 - CONCLUSION : 65
Conclusion Générale 67
Références Bibliographie 68

Liste des tableaux

Partie I : Recherche bibliographique

Chapitre II : Les glissements de terrain

Tableau II.1.Classification selon la vitesse de glissement. 10

Tableau II.2.Classification selon la profondeur de la surface de glissement. 10

Partie II : Etude d'un Glissement de terrain sur la RN24 PK 113 + 500

Chapitre I : Carde général de la région d'étude

Tableau I.1 : Données climatiques à Dellys. 43

Tableau I.2:Caractéristiques mécaniques c et φ correspondant à chaque essai. 47

Tableau I.3: Caractéristique chimiques. 47

Tableau I.4:Caractéristiques mécaniques $P_{C,}$ C_C et C_g correspondant à chaque essai. 48

Chapitre II : Etude De Stabilité De Glissement de terrain

Tableau II.1: Couche de sols. 61

Liste des figures

Partie I : Recherche bibliographique

Chapitre I : Les mouvements de terrain

Figure I.1 : Schéma des mouvements de terrain. 2

Figure I.2: Schéma type d'écroulement 4

Figure I.3 : Schéma général du mécanisme de fluage 5

Figure I.4 : Schéma type de coulée 6

Figure II.2 : Type de glissements 8

Figure II.4 : Rupture plan 17

Figure II.5 : Rupture rotationnelle..... 18

Figure II.7: Modélisation numérique. 21

Figure III.1 : Différentes méthodes de stabilisation par terrassement..... 24

Figure III.2 : Calcul de stabilité d'une butée de pied : Différentes surfaces de rupture à prendre en compte. 25

Figure III.3 : Allègement en tête. 26

Figure III.3 : Reprofilage : (a) adoucissement (b) risberme..... 27

Figure III.5 : Coupe type d'une tranchée drainante..... 28

Figure III.6 : Mur de soutènement. 31

Figure III.7 : Paroi de palplanche..... 32

Figure III.8 : Principe de la technique terre armée..... 33

Figure III.9 : Schéma de principe d'un tirant d'ancrage injecté..... 34

Figure III.10 : Un versant stabilisé par clouage. 35

Figure III.11 : L'utilisation du géotextile en jouant un double rôle le drainage et le Renforcement du talus..... 36

Partie II : Etude d'un Glissement de terrain sur la RN24 PK 113 + 500

Figure I.2: Escarpement du talus amont de l'ordre de 1.5 m 42

Figure I.3 : Carte de zonage sismique de l'Algérie. 44

Figure I.4. : Profil en long et implantation des sondages 45

Figure II. 1 : Manuelle d'utilisation 54

Figure II.2: la barre de boutons principale. 55

Figure II .3 : La barre de boutons contextuelle "Données". 55

Figure II.4 : la barre de boutons contextuelle "Phasage/Calculs". 55

Figure II.5 : exemple de tableau récapitulatif des couches de sol. 56

Figure II.6 : exemple de tableau récapitulatif des renforcements. 57

Figure II.7: gestion des phases et situations. 58

Figure II.8 : navigateur des phases et situations. 59

Figure II.9 : définition d'une nappe phréatique. 60

Figure II.10.La géométrie du modèle. 61

Figure II.11 : La géométrie représente les couches du terrain. 62

Figure II.12 : Le résultat Avec la méthode de Bishop (avec séisme). 62

Figure II.13 : Le résultat Avec la méthode de Bishop (sans séisme). 63

Figure II.14: Modélisation d'un système de confortement 64

Figure II.15: Coefficient de sécurité après confortement (sans séisme) 64

Figure II.16: Coefficient de sécurité après confortement (Avec séisme) 65

Liste des notations

Lettres latines

C : Cohésion du sol [KN/m2]

W : Teneur en eau du sol [%]

WL : Limite de liquidité d'un sol [%]

FS : Coefficient de sécurité [-]

F : Force stabilisante [KN/m2]

N : Réaction normale [KN/m2]

Nn : Réaction normale d'une tranche (n) [KN/m2]

W : Poids de la tranche [kN]

O : Centre de la surface de glissement [-]

R : Rayon de la surface de glissement [m]

E : Module d'Young [KN/m2]

EA : Rigidité normale [KN/m]

EI : Rigidité de flexion [KNm2/m]

G : Module de cisaillement [KN/m2]

K0 : Coefficient des terres au repos [-]

Kx : Perméabilité horizontale [m/jour]

Ky : Perméabilité verticale [m/jour]

H : hauteur [m]

Ux : déplacement dans le sence x [m]

Uy : déplacement dans le sence y [m]

Lettres grecques

τ : Contraintes de cisaillement ou Contrainte tangentielle [KN/m2]

σ : Contrainte [KN/m2]

σ' : Contrainte effective ($\sigma' = \sigma - u$) [Kpa]

$\sigma 3$: Contrainte principale mineur [Kpa]

$\sigma 1$: Contrainte principale majeur [Kpa]

Φ : Angle de frottement interne du sol [°]

Ψ : Angle de dilatance du sol [°]

ε : Déformation longitudinale en [%]

ν : Coefficient de Poisson [-]

γsat : Poids volumique du sol saturé [KN/m3]

γw : Poids volumique de l'eau (environ9,8) [KN/m3]

γh : Poids volumique humide du sol [KN/m3]

γs : Poids volumique des grains [KN/m3]

γd : Poids volumique sec du sol [KN/m3]

Abréviations

UU : Non consolidé non drainé.

CD : Consolidé drainé.

MEF : Méthode des éléments finis.

MC : Modèle de Mohr Coulomb.

HSM : Modèle de sol avec écrouissage (Hardening Soil model).

SSM : Soft Soil Model.

SSCM : Soft Soil Creep Model

Introduction Générale

Les glissements de terrain sont des mouvements qui affectent les talus et les versants naturels. Ils peuvent provoquer des dommages importants aux ouvrages et aux constructions avec un impact économique sur certains projets, surtout ceux qui, pour des raisons diverses n'ont pas fait l'objet d'étude préliminaires suffisantes et parfois jusqu'à causer des victimes. Ils surviennent à la suite d'événements naturels ou anthropiques.

L'étude des glissements de terrain relèvent d'une démarche pluridisciplinaire qui fait appel au géologue, au géomorphologue, à l'hydrogéologue sous la direction d'un géotechnicien expérimenté .Au nord de l'Algérie, ces phénomènes comptent parmi les risques naturels les plus fréquents. Notre étude porte sur un cas dans la wilaya de **BOUMERDES.**

Le travail présenté dans ce mémoire a pour objet d'étude et traitement de terrain survenus à DELLYS, pour mener à bien ce travail, nous avons :

Notre travail a été articulé en deux parties :

La première partie étude bibliographique est divisée en trois chapitre :

- Chapitre I : Généralités sur les mouvements de terrain.
- Chapitre II : Les glissements de terrain.
- Chapitre III : Les Techniques et les moyennes de confortement.

La première partie se termine par une conclusion bibliographique.

La deuxième partie Etude d'un Glissement de terrain sur la RN24 PK 113 + 500 est divisée en deux chapitres :

- Chapitre I : Carde général de la région d'étude.
- Chapitre II : Etude De Stabilité De Glissement de terrain sur la RN24 PK113+500.

Le mémoire se termine par une conclusion générale.

Partie I :

Recherche bibliographique

Chapitre I :

Les mouvements de terrain

I.1. Introduction :

Les mouvements de terrain sont des phénomènes géologiques qui évoluent dans le temps suivant des influences internes et externes. Ce chapitre met le point sur les mouvements de terrain, généralité sur les glissements et les techniques de confortement de glissement de terrain.

I.2. Les mouvements de terrain :

Un mouvement de terrain est un déplacement, plus ou moins brutal, du sol ou du sous sol sous l'effet de sollicitations naturelles (fonte des neiges, pluviométrie anormalement forte, séisme, etc.) ou anthropiques (terrassement, vibration, déboisement, exploitation de matériaux ou de nappes aquifères, etc.).

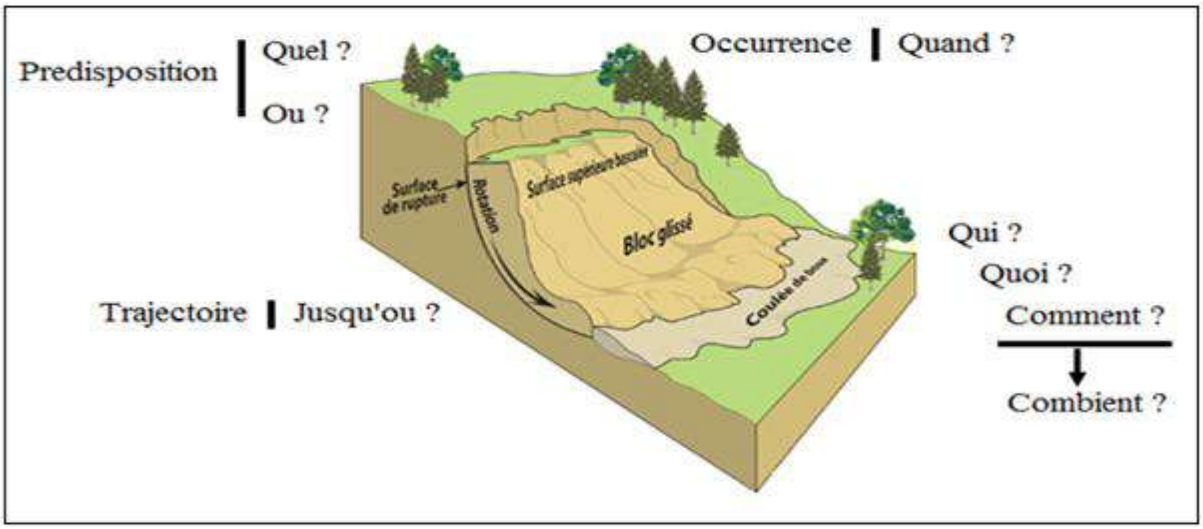


***Figure I.1** : Schéma des mouvements de terrain.*

Ils recouvrent des formes très diverses qui résultent de la multiplicité des mécanismes initiateurs (érosion, dissolution, déformation et rupture sous charge statique ou dynamique), eux-mêmes liés à la complexité des comportements géotechniques des matériaux sollicités et des conditions de gisement.

Il existe divers critères choisis, intervenants dans les mouvements de terrain. Leur classification est souvent motivée par la spécialité des auteurs, (critère géologique, critères d'âge du glissement, critères géomorphologique, critères mécaniques, ainsi que la vitesse de mouvement).

La classification présentée ici est agréée par le Comité International de Géologie de l'Ingénieur (Nemcoka, Pasek, Rybar, 1972). **[1]**

I.2.1. Les mouvements lents et continus

- Les tassements et les affaissements de sols.
- Les glissements de terrain le long d'une pente.
- Le glissement à surface de rupture circulaire : se produit généralement dans des matériaux homogènes.

I.2.2. Les mouvements rapides et discontinus

- L'effondrement du toit des cavités souterraines, L'évolution des cavités souterraines naturelles (dissolution de gypse) ou artificielles (carrières et ouvrages souterrains marnières) peut entraîner l'effondrement du toit de la cavité et provoquer en surface une dépression généralement de forme circulaire.
- les écroulements et les chutes des pierres ou des blocs.
- Retrait-gonflement des argiles : est un Phénomène caractéristique des sols argileux, aussi appelé mouvement de terrain différentiel, lié aux variations en eau du terrain. Le sol se comporte parfois comme une éponge : il se gonfle en présence d'eau et se rétracte en son absence.
- Les glissements de terrain.
- Les coulées boueuses et torrentielles.

I.2.3. Description des principaux types de mouvement

Ils sont divisés en quatre catégories, définies par Colas et Pilot en 1976 et repris d'une manière universelle **[2]** :

- Les glissements;
- Les écroulements;
- Les fluages;
- Les coulées.

I.2.3.1. Les écroulements

Les écroulements sont des chutes soudaines de masses rocheuses importantes l'écroulement type est représenté par l'effondrement d'un pan de falaise vertical. Ces

mouvements se produisent rarement mais peuvent être catastrophiques .Ils sont divisés en 3 types :

- Ecroulements rocheux de falaise;
- Ecroulements par fluage ou glissement d'une couche tendre ;
- Ecroulements ou effondrements.

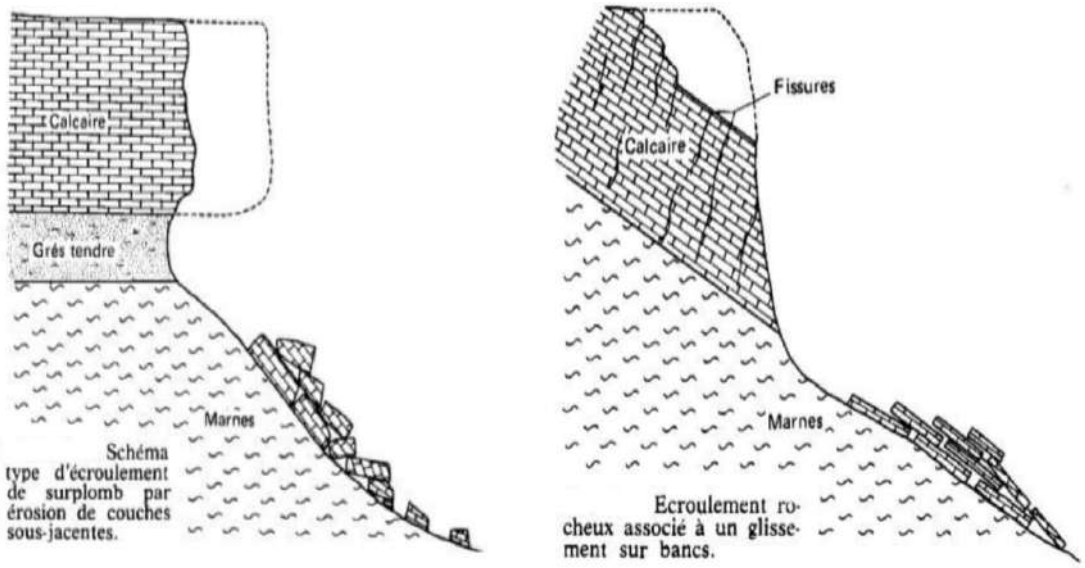


Figure I.2: *Schéma type d'écroulement* ***[2]***

I.2.3.2. fluage :

Le mouvement se produit lentement sans modification des efforts appliqués. En fait ces efforts conduisent à une sollicitation de la structure proche du sol de la rupture, l'état ultime pouvant être soit la stabilisation, soit la rupture :

- les déplacements dans le massif en mouvement sont continus mais les vitesses faibles,
- on ne peut mettre en évidence de surface de rupture.

Ces mouvements affectent principalement des versants naturels divers.

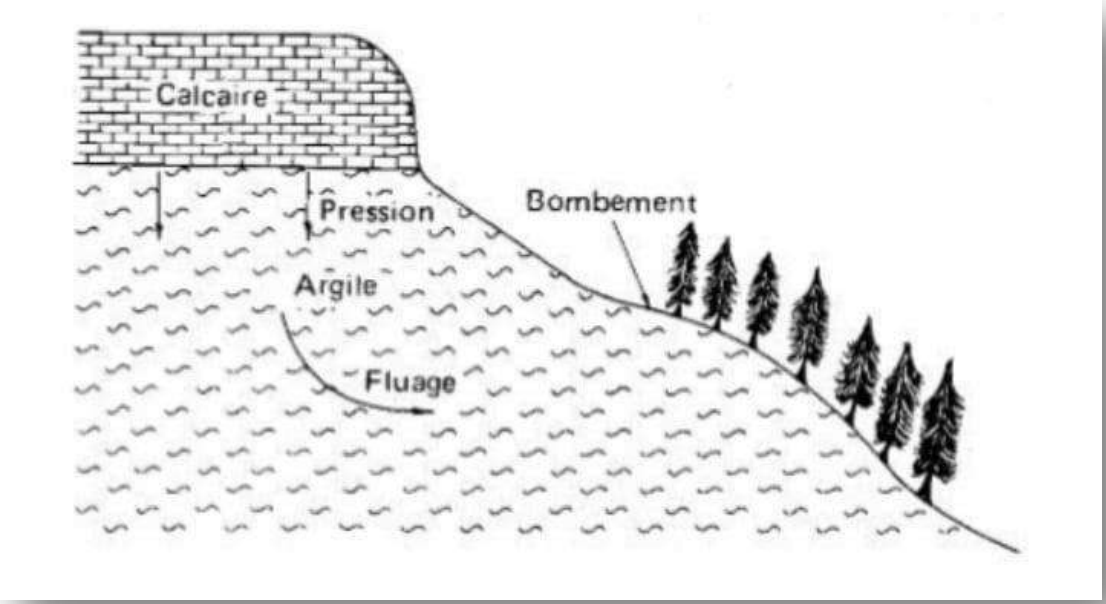


Figure I.3** : Schéma général du mécanisme de fluage **[2].

I.2.3.3. Les glissements :

Qui correspondent au déplacement en masse, le long d'une surface de rupture plane, courbe ou complexe, de sols cohérents (marnes et argiles).

I.2.3.4. Les coulées :

- Les coulées constituent des mouvements de terrain qui s'assimilent largement autant à des problèmes de transport de matériaux par l'eau, qu'à des problèmes de glissement. Cependant, ce sont souvent des matériaux issus de glissements qui alimentent les coulées, ces matériaux étant alors repris par un torrent.

Les coulées peuvent intéresser des matériaux très sensibles (argiles sensibles de Scandinavie qui se liquéfient dès qu'elles sont déformées) et donner des coulées de boue.

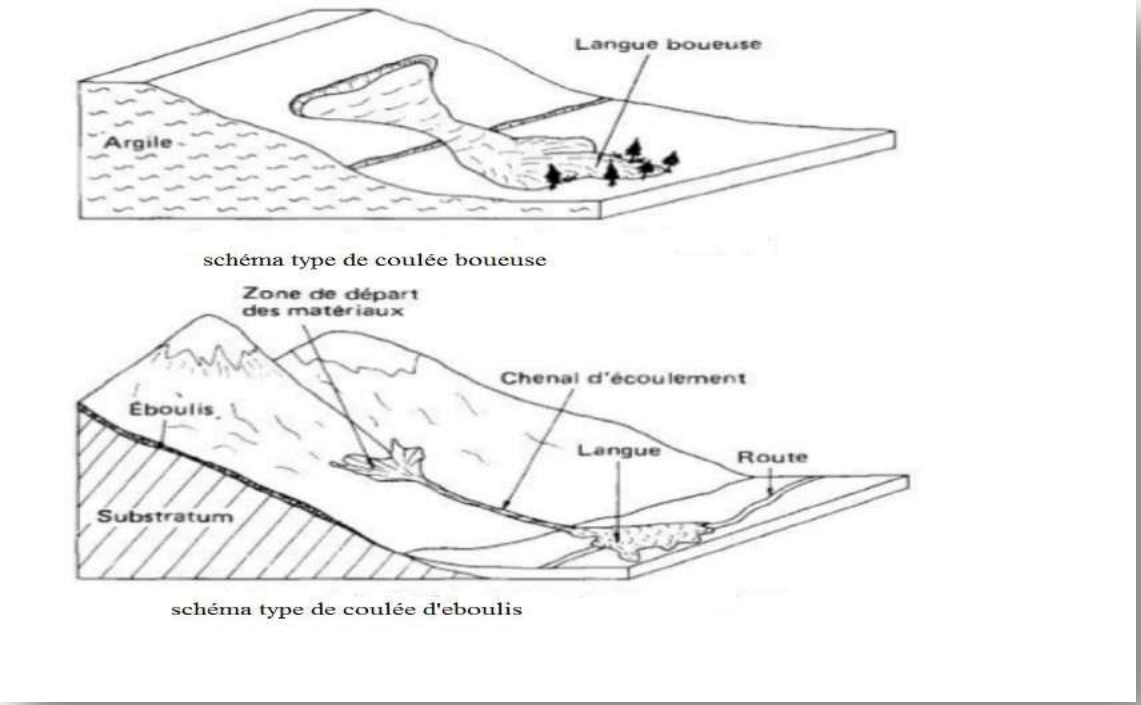


Figure I.4** : Schéma type de coulée **[2].

I.2.4. Typologie des mouvements de terrain :

Les mouvements qui affectent les versants sont extrêmement variés par leurs dimensions, leur morphologie, leur pétrographie et leur évolution cinématique. De nombreuses classifications ont été proposées, fondées sur différents critères qui sont : la morphologie, la cinématique et la vitesse du mouvement, la nature des matériaux et la cause de la rupture. De façon simplifiée, selon le mode de déplacement des matériaux sur les talus et versants. **[3]**

I.2.5.Conditions de stabilité :

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

- sa géométrie,
- la résistance au cisaillement des sols ou des roches,
- les pressions de l'eau interstitielle,
- les sollicitations extérieures (climatiques et anthropiques).

Chapitre II :

Les glissements de terrain

II.3. Glissement de terrain :

Les glissements de terrain sont des mouvements de masse qui se développent dans des matériaux meubles et, en général, argileux. Contrairement aux éboulements rocheux qui se manifestent le plus souvent brutalement, les glissements évoluent en général lentement, cette notion à toutefois un caractère relatif nous le verrons.



Figure II.1: *Glissements de terrains*

Le volume des glissements de terrain est très variable : de quelques mètres cube (loupes) à plusieurs millions de mètres cubes (versants entiers). Le moteur de ce phénomène est toujours la pesanteur. C'est-à-dire le sol se déplace sous l'effet de la gravité.

✓ ***Les facteurs déclenchant sont généralement :***

- Les modifications du régime hydraulique (saturation du matériau, augmentation de pressions interstitielles, etc.).
- Les terrassements.
- L'érosion naturelle (ruissellement, érosion de berges…..).
- Les accélérations produites par des séismes.

Les glissements se répartissent en deux grandes classes d'études distinctes :

- Les glissements plans.
- Les glissements rotationnels simples ou complexes.[**1]**

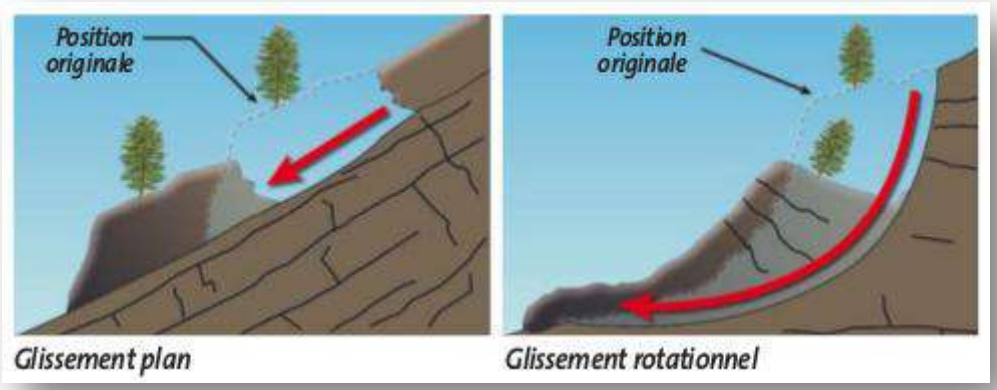


Figure II.2 : *Type de glissements*

II.3.1. Les glissements plans :

Les glissements plans se produisent par cisaillement et par translation sur un plan incliné plus ou moins régulier, où la masse en mouvement se comporte comme un monolithe dont les déformations sont très petites et très localisées au niveau de la surface de rupture.

On peut citer comme causes :

- Glissement d'un matériau d'altération sur un niveau «lubrifiant» (limon sur argile) ;
- Glissement d'une couche mince des caractéristiques mécanique médiocres sur un substratum ;
- Glissement par extension d'une couche peu résistante.

II.3.2. Glissement rotationnel :

Ce type de glissement se traduit par un basculement de la masse le long d'une surface courbe plus ou moins circulaire.

Les glissements rotationnels ont quelques caractères communs, dont on distingue essentiellement :

- des fissures de traction apparaissant en tête ;
- un escarpement correspondant au départ de la surface de glissement ;
- un bourrelet de pieds formé à la base par la masse glissée.

II.3.2.1. Glissement rotationnel simple :

Le basculement de la masse se fait le long d'une surface (glissements superficiels), ou en profondeur (glissements profonds) dans un milieu généralement homogène et isotrope, c'est-à-dire des sols non affectés par des discontinuités géologiques.

Les causes d'instabilité peuvent être dues soit à :

- Une augmentation des sollicitations ;
- Une modification des caractéristiques mécaniques (perte de résistance au cisaillement) des sols.

II.3.2.1. Glissement rotationnel complexe :

Ce type de glissement résulte d'un emboîtement les uns dans les autres de glissements rotationnels simple, dont la surface de rupture globale est non circulaire (glissements par escalier) évoluant généralement dans les milieux hétérogènes et anisotropes.

Les ruptures non circulaires peuvent avoir différentes causes :

- anisotropie de structure,
- anisotropie mécanique,
- caractéristiques mécaniques variant en profondeur,
- suppression d'une butée de pied entraînant une rupture régressive ou un effondrement.

Dans les glissements rotationnels complexes on peut citer :

- les glissements en escalier : constitué par un ensemble de glissement en courbes peu profonds créant une topographie en escalier.
-
- Les glissements par suppression de la butée et effondrement d'un coin de terrain,
- Les glissements composés : ces derniers peuvent être une composition des différents glissements précédemment décrits. La géométrie des couches peut induire une surface de rupture qui se compose d'une composition d'éléments plans et d'éléments courbes.

II.3.3. Classification des glissements :

Les glissements peuvent être classés selon la profondeur estimée de la surface de glissement et selon la vitesse moyenne à long terme des mouvements. **[4]**

Tableau II.1.Classification selon la vitesse de glissement. **[4]**

Glissement	Surface de glissement
Substabilisé, très lent	0 – 2 m
Peu actif, lent	2 – 10 m
Actif (ou lent avec phases rapides)	> 10 m

Tableau II.2.Classification selon la profondeur de la surface de glissement. **[4]**

Glissement	Surface de glissement
Superficiel	0 – 2 m
Semi-profond	2 – 10 m
Profond	> 10 m

II.3.4. l'origine et les causes des glissements de terrain :

En règle générale, les glissements sont dus à des modifications soit dans les moments résistants, soit dans les moments moteurs. Il y a rupture lorsque les moments moteurs sont supérieurs ou égale aux moments résistants, d'origine naturelle ou anthropique. **[3]**

I.3.4.1. Les causes augmentant les moments moteurs :

- Augmentation de la hauteur d'une pente.
- Enlever le sol au pied de la pente.
- Ajouter une charge au sommet.
- Abaisser le niveau d'eau à l'extérieur de la pente.
- Augmentation de la pression d'eau dans les fissures de traction.
- Augmentation du poids volumique par saturation.
- Séisme ou charge dynamique . **[3]**

II.3.4.2. Les causes diminuant les moments résistants :

- Augmentation de la pression interstitielle.
- Liquéfaction des sols.
- Gonflement des sols et annulation de la succion.
- Altération lessivage.
- Rupture progressive (fluage). **[3]**

II.3.4.3. Les causes naturelles :

Il y a plusieurs facteurs naturels qui peuvent causer des défaillances de pente, sont :

- Des précipitations intenses ou des dépôts de neige soulèveront la nappe phréatique;
- Diminuer la résistance du sol et augmenter le poids du matériau associé.
- Rapide fonte des neiges dans les montagnes - fonte rapide de la neige ajoute de l'eau au sol Masse sur les pentes.
- Fluctuation des niveaux d'eau due à l'action de la marée.
- Abaissement des niveaux d'eau dans les rivières, réservoirs, etc.
- Erosion due à un écoulement continu sur une pente. Le retrait de l'orteil Et support latéral d'une masse de sol par écoulement d'eau dans les ruisseaux, les rivières…etc.
- Action des vagues peut entraîner une instabilité de la masse du sol.
- Dépôt de sédiments lâches dans les zones delta.

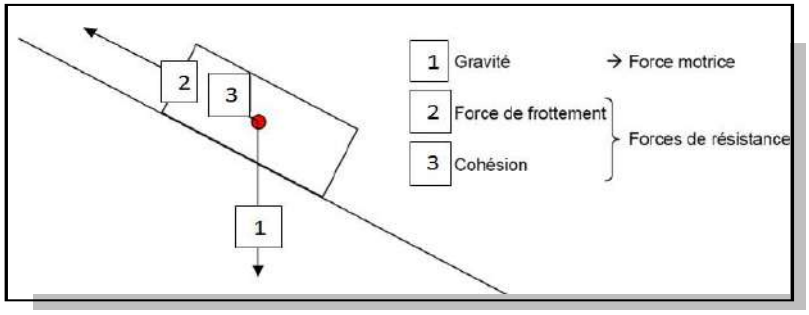


***Figure II.3** : Schéma représentant les différentes forces s'exerçant sur un massif de sol (Christian chapeau & Jean-Louis).*

- Décomposition des roches
- Vibrations du sol créées lors des tremblements de terre.
- Activité volcanique - Dans les zones où existe un volcan existant, les dépôts de cendres

Volcaniques, sont sujets à l'érosion et soumis à des flux de boue en raison des Précipitations intenses. **[3]**

II.3.4.4. Les Causes humaines :

- Excavation de la pente ou de son orteil.
- Chargement de la pente ou de sa crête.
- Réduction (des réservoirs).
- Déboisement.
- Irrigation.
- Exploitation minière.
- Vibrations artificielles.
- Fuite d'eau des services publics. **[3]**

II.3.4.5. Les Causes géologiques :

- Matériaux faibles ou sensibles.
- Matériaux usés.
- Matériaux cisaillés, joints ou fissurés.
- Une discontinuité orientée vers l'orientation (literie, schistosité, faiblesse, discordance, contact, etc.)
- Contraste de la perméabilité et / ou de la rigidité des matériaux. **[3]**

II.3.4.6. Les Causes morphologiques :

- Le soulèvement tectonique ou volcanique.
- Rebondissement glaciaire.
- Érosion fluviale, ondulatoire ou glaciaire de la pente ou des marges latérales.
- Érosion souterraine (solution, tuyauterie).
- Déplacement de la pente de chargement ou de sa crête.
- Enlèvement de la végétation (par le feu, la sécheresse).

- Décongélation.
- Détérioration par congélation et décongélation.
- L'altération du rétrécissement et de la houle. **[3]**

II.3.5. Phases des glissements :

Les glissements de terrain se caractérisent par des phases d'activité variables : des périodes de vitesse de glissement plus élevée avec des phases de calme apparent. **[4]**

II.3.5.1. Glissements de terrain actif :

Un glissement de terrain est considéré comme actif si un mouvement peut être constaté Le déplacement peut être minime, les déformations de moins d'un millimètre étant toute foi difficilement détectables.

Les glissements actifs comprennent les glissements présentant des vitesses plus ou moins constantes à long terme tout comme les glissements avec des phases successives d'accélérations. **[4]**.

II.3.5.2. Glissements de terrain réactivés :

Désigne les glissements de terrain qui quittent une phase inactive pour entrer dans une phase active. Habituellement, les glissements de terrain réactivés se déplacent le long d'une surface de glissement existante. **[4]**

II.3.5.3. Glissements de terrain inactifs :

Désigne les glissements de terrain restés immobiles pendant plusieurs années. Ceux-ci se subdivision en quatre catégories:

- Glissements bloqués;
- Glissements latents;
- Glissements abandonnés;
- Glissements stabilisés. **[4]**.

II.3.6.Méthodes d'analyse des glissements :[5]

II.3..6.1.Notion de coefficient de sécurité :

Le calcul de stabilité des talus consiste à déterminer un coefficient (facteur) de sécurité F par lequel il apprécie la marge de sécurité vis-à-vis de la rupture, c'est-à-dire, dont le coefficient de sécurité est le plus faible. Ce coefficient peut être écrit de la façon suivante :

$$F = \frac{\tau_{max}}{\tau}$$

Dans laquelle τ_{max} désigne la résistance au cisaillement maximale que peut mobiliser le sol en un point, définit par : $\tau_{max} = c + \sigma_{max} \tan \varphi$

τ : représente la contrainte de cisaillement s'exerçant effectivement en ce point.

✓ **Choix de la valeur de F dans le calcul de stabilité**

Il faut d'abord rappeler que l'application de ce coefficient réducteur a pour raison d'être fondamentale de se tenir « raisonnablement » éloigné de la rupture.

Dans cette optique générale, on peut distinguer deux rôles principaux joués par ce facteur F :

1er rôle : se tenir plus au moins éloigné de la rupture selon la valeur que l'on attribue au site à protéger, ou encore selon l'importance du risque humain qui est associé à une éventuelle rupture dans cette optique, F apparaît donc comme un « coefficient d'assurance ».

Il ne faut jamais perdre de vue que plus F est élevé plus le projet sera cher ; l'assurance se paie. L'application de ce «coefficient d'assurance » suppose que la valeur de la résistance limite qui définit la rupture est connue.

2ème rôle : prendre en compte et « digérer » les différentes causes d'imprécisions et d'erreurs qui peuvent fausser le résultat d'un calcul.

Rappelons les deux causes principales d'erreurs, lesquelles peuvent d'ailleurs se combiner, voir s'additionner.

- Incertitude sur la valeur réelle qui peut d'ailleurs changer avec le temps des paramètres pris en compte dans le calcul. (c, γ, φ, u). Cette incertitude est d'autant plus grande que les investigations sur le site sont plus réduites.
- Hypothèses et simplifications adoptées dans le développement d'un calcul de stabilité : leur importance se trouve sensiblement réduite par l'introduction des calculs sur ordinateur qui permettent de serrer de plus en plus la complexité

des donnés réelles du site. Dans ce dernier rôle, le coefficient F apparaît comme un « coefficients d'ignorance ».

Finalement, la valeur de F qu'on adopte dans un projet implique l'examen et la prise en compte des deux fonctions distinguées précédemment, lesquelles se trouvent ensuite confondues dans le chiffre retenu. Il n'y a donc, en la matière, que des cas d'espèces, et un choix correct de F suppose une bonne pratique de ces problèmes.

✓ **Recherche du coefficient de sécurité du talus :**

Nous avons décrit dans les paragraphes précédents la méthode généralisée de calcul du coefficient de sécurité d'une surface. Il est nécessaire de rechercher la surface présentant le plus faible coefficient de sécurité. Si on suppose que cette surface est circulaire, la recherche pourra se faire de manière systématique en faisant varier le centre du cercle aux nœuds d'une grille rectangulaire définie à l'avance et en faisant également varier les rayons des cercles.

Il existe de nombreux logiciels permettant de traiter ces problèmes. Certains logiciels proposent des procédures de recherche automatique du centre du cercle le plus défavorable. Certains autres sont basés sur une extension des méthodes de tranches en 3D (le volume est alors découpé en colonnes et plus en tranches). Les coefficients de sécurité tridimensionnels sont supérieurs aux coefficients de sécurité bidimensionnels.

✓ **Caractéristiques mécaniques à prendre en compte :**

La rupture d'un talus peut se produire au cours des travaux ou après un certain temps. Les études de stabilité doivent donc être effectuées, pour les sols fins, à court et à long terme. A court terme le calcul s'effectuera en contraintes totales et les caractéristiques mécaniques à prendre en compte sont celles issues d'un essai UU. A long terme le calcul s'effectuera en contraintes effectives et les caractéristiques mécaniques à prendre en compte sont celles issues d'un essai CD ou éventuellement CU (caractéristiques c' et φ').

Pour un calcul a priori (cas des petites déformations), les caractéristiques mécaniques à considérer sont les caractéristiques maximales .

Pour un glissement qui s'est déjà produit et que l'on cherche à conforter les caractéristiques mécaniques à considérer sont les caractéristiques résiduelles.

II.3.6.2. Le calcul à la rupture

L'analyse de la stabilité des talus est traitée comme un problème d'équilibre limite. Le calcul à la rupture suppose que le terrain se comporte comme un solide rigide-plastique. Le critère de plasticité (ou rupture) est défini par une loi classique (Mohr-Coulomb en général). Ce critère atteint au niveau de limite du volume étudie (surface de rupture potentielle).

Les méthodes à l'équilibre sont les méthodes les plus couramment employées. Elles sont basées sur hypothèses que l'équilibre statique du volume étudie est assuré. En général l'écriture des équations d'équilibre conduit à un système hypostatique et les méthodes diffèrent par les hypothèses qu'elles envisagent pour résoudre le système d'équation (hypothèse sur le point d'application des forces, leur inclinaison ou leur intensité).

Les ruptures planes représentent un cas particulier très simple dans son principe. Pour les surfaces de rupture de forme quelconque, le calcul est beaucoup plus complexe.

Pour évaluer la stabilité des talus par une méthode à l'équilibre limite, il existe des méthodes linéaires et non linéaires. Les méthodes linéaires sont des méthodes directes de calcul de F, mais les méthodes non linéaires nécessitent un processus itératif.

II.3.6.2.1 Rupture plane :

Le modèle de calcul est celui d'un massif de sol infini reposant par une interface plane sur un substratum, avec un écoulement parallèle à la pente

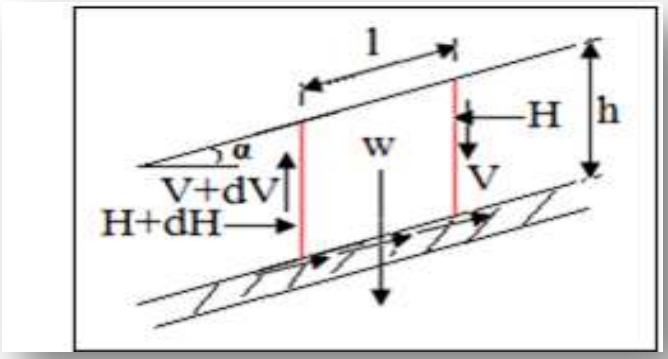


***Figure II.4** : Rupture plan*

Compte tenu de l'hypothèse de pente infinie, on peut admettre que les forces externes horizontales et verticales s'équilibrent de part et d'autre. En écrivant que la résultante des forces appliquées est nulle, on peut calculer le coefficient de sécurité avec la formule suivante :

$$F = \frac{2c'}{\gamma h \sin 2\alpha} + \frac{\tan \varphi'}{\tan \alpha}$$

II.3.6.2.2. Ruptures rotationnelles (calcul à l'équilibre limite) :

Dans le cas des ruptures circulaires, le coefficient de sécurité F est défini comme étant le rapport des moments des forces résistantes par rapport aux moments des forces motrices

- ✓ **Méthodes d'analyses globales**

Nous avons mentionné à plusieurs reprises que, dans des terrains plutôt meubles et homogènes, les surfaces de rupture observées seront souvent circulaires en deux dimensions et ellipsoïdales en trois dimensions. La théorie du calcul à la rupture permet de montrer que pour un terrain homogène la forme théorique est en fait une spirale logarithmique (en deux dimensions).

La plupart des calculs à l'équilibre limite considèrent que le problème est bidimensionnel.

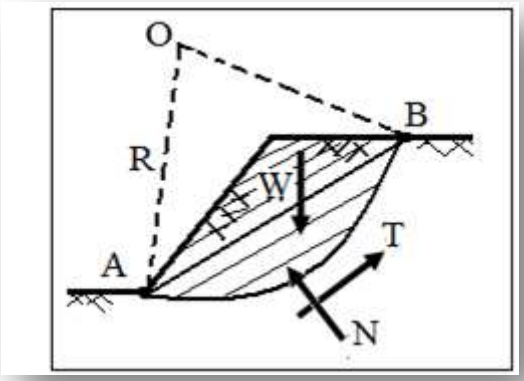


***Figure II.5** : Rupture rotationnelle.*

Cette méthode dite globale permet de déterminer le coefficient de sécurité dans le cas :

- ✓ D'un terrain homogène et isotrope défini par ses caractéristiques : g, c, φ.
- ✓ D'un talus de hauteur H faisant un angle α avec l'horizontal.

Le coefficient de sécurité de différents cercles peut être calculé analytiquement (si des hypothèses sur la répartition des contraintes le long de la surface de rupture sont effectuées) et le coefficient de sécurité du talus est le plus faible de ces coefficients. Il existe des abaques permettant de déterminer le coefficient de sécurité et la position de la surface de rupture la plus défavorable dans ces cas simples (Méthode de Taylor, de Caquot ou de Biarez).

- ✓ **Méthodes des tranches généralisées**

Les terrains sont rarement homogènes et isotrope, et l'utilisation de la méthode globale est donc limitée. Les méthodes dites de tranches sont souvent utilisées.

Le principe est de couper verticalement le volume étudié en un certain nombre de tranches.

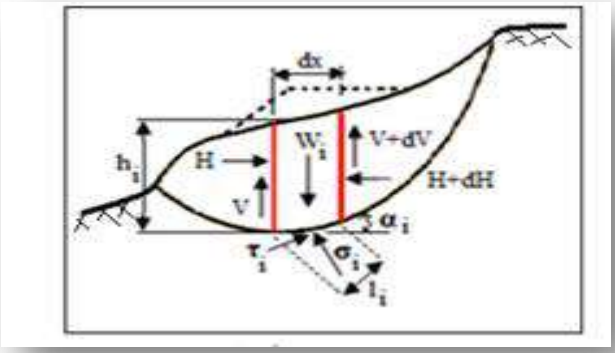


Figure II.6 *: Calcule par la méthode des tranches.*

En général les surfaces de rupture considérées sont des cercles, mais certaines méthodes de tranches (Serma, par exemple) ne nécessitent pas cette hypothèse.

L'équilibre de chaque tranche **i** est examiné en effectuant un bilan des forces :

- ✓ Son poids $W_i = \gamma_i h_i dx$
- ✓ Les efforts intertranches, qui se divisent en efforts verticaux (V et V +dV) et horizontaux (H et H+dH).

La résistance au cisaillement se décompose en :

- ✓ Une composante normale : $N_i = \sigma_i l_i = \sigma_i \frac{dx}{\cos \alpha_i}$
- ✓ Une composante tangentielle : $T_i = \tau_i l_i$

D'où : $T_i = \frac{T_{max}}{F} = \frac{c_i l_i + N_i \tan \varphi_i}{F}$

✓ **Méthode de Fellenius :**

Fellenius a fait l'hypothèse simplificatrice que les forces externes (horizontales et verticales) intertranches s'équilibrent.

Par définition le coefficient de sécurité est égal à la somme des moments résistants maximaux correspondant à toutes les tranches, divisée par la somme des moments moteurs relatifs également à l'ensemble des tranches. Il a pour expression :

$$F_{Fellenius} = \frac{\sum_{i=1}^{n} [c_i l_i + (w_i \cos \alpha_i - u_i l_i) \tan \varphi_i]}{\sum_{i=1}^{n} w_i \sin \alpha_i}$$

✓ **Méthode de Bishop :**

Quelle que soit la tranche considérée, seules les composantes horizontales des forces externes intertranches s'équilibrent. D'où l'expression suivante du coefficient de sécurité :

$$F_{Bishop} = \frac{\left(\sum_{i=1}^{n} c_i l_i + \sum_{i=1}^{n} w_i \tan \varphi_i\right) \Big/ \sum_{i=1}^{n} m_\alpha}{\sum_{i=1}^{n} w_i \sin \alpha_i}$$

Avec: $m_\alpha = \cos \alpha_i \left(1 + \frac{\tan \alpha_i \tan \varphi_i}{F}\right)$

La valeur de F est calculée par itération successive. La première itération est faite en adoptant, comme valeur de coefficient de sécurité obtenue par la méthode de Fellenius.

La méthode de Bishop est plus réaliste et le coefficient de sécurité obtenu par cette méthode est supérieur à celui obtenu par la méthode de Fellenius, l'écart peut atteindre 10%. Un calcul de stabilité effectué par la méthode de Fellenius donne donc une valeur pessimiste du coefficient de sécurité, il va donc dans le sens de la sécurité.

Ces calculs sont très longs à la main, par contre s'ils sont traités par ordinateur, les temps de calcul sont alors relativement brefs.

II.3.6.3. Méthodes numériques

La géotechnique utilise une gamme de méthodes numériques diverses et varies qui s'adaptent aux caractères des terrains (sols est roches). Les comportements des terrains sont souvent méconnus et non linaire sous des sollicitations induites, ce qui nécessite un effort particulier.

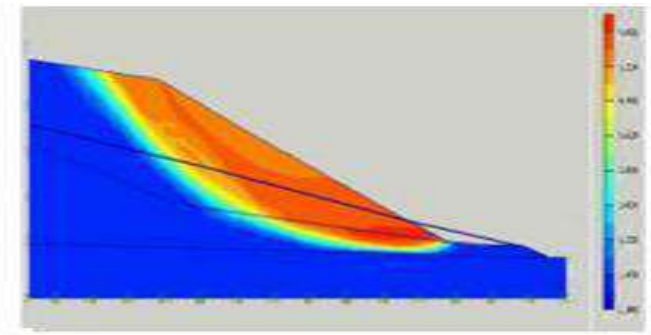


***Figure II.7**: Modélisation numérique.*

Ces méthodes ont pour but de décrire, d'expliquer ou de prédire le comportement d'une structure naturelle ou artificielle sur la base des lois physiques qui relient les variations des contraintes aux déformations et aux déplacements.

Les calculs en contraintes-déformations sont beaucoup plus lourds à mettre en œuvre que les calculs à la rupture, ils nécessitent connaissance des lois de comportement des matériaux et des contraintes initiales dans le massif, de plus ils ne conduisent pas à résultats aussi facile à analyser que les calculs à la rupture (un coefficient de sécurité), c'est pourquoi ces dernières sont encore largement utilisé. Dans la suite nous d'écrirons essentiellement les calculs à l'équilibre limite.

Ces méthodes de calcul ne permettront pas de répondre complètement aux questions sur les déplacements (on ne pourra jamais reproduire parfaitement la géométrie, l'hétérogénéité et le comportement des terrains in situ), mais ils donneront un certain nombre d'élément .

D'autres méthodes font des hypothèses différentes : il s'agit, entre autres, des méthodes dites de :

- ✓ **Janbu :** ligne d'action des forces intertranches située à 1/3 de la hauteur des tranches). Le calcul du coefficient de sécurité dépend du rapport de la profondeur de la surface de glissement à sa longueur ainsi que la nature du sol.

- ✓ **Spencer :** dans cette méthode le rapport de la composante horizontale à la composante verticale des forces intertranches constantes.

- ✓ **Morgestern et Price :** ont proposé rapport de la composante horizontale E et la composante verticale X des forces intertranches est donné avec la formule suivante : $X(x) = \lambda.f(x).E(x)$

✓ **Jaulin et al** : ont proposé deux méthodes satisfaisant les équations de l'équilibre avec une hypothèse porte sur la répartition des contraintes le long de la ligne de rupture, et que ces contraintes soient régulières et acceptables.

✓ **Méthode des perturbations** : L'idée est de partir d'une valeur approchée de l'effort normal σio q ue l'on perturbe en la multipliant par un terme P. On peut écrire formellement σi =σio P .Le choix consiste à formuler σio à partir de la méthode de Fellinius ; considérons une tranche de sol verticale sans effort intertranches (hypothèse de Fellinuis), son poids est wi. La composante normale de ce poids sur la facette inclinée à α en un point :

σ i o = wi cos αi.

Chapitre III :

Les Techniques et les moyennes de confortement

III.1. Généralités :

Le confortement des talus est défini comme l'ensemble des méthodes qui servent a stabilisés la masse de terrain instable.

La méthode de confortement choisie doit répondre aux exigences suivantes :

- **Coté résistance :** la méthode doit assurer la stabilité du talus, ainsi le mode de Renforcement ne génère aucun risque d'augmenter les efforts moteur de notre talus.
- **Coté économique :** le mode de renforcement doit être le moins coûteux et le plus disponible dans le marché, car il y a des modes de renforcement qui nécessitent Une importation, en règle générale on utilise ce qui est disponible **(**locale**)** et moins coûteux.
- **Coté technologique (ouvrabilité et maniabilité):** la méthode de renforcement doit être et ne demande qu'un minimum d'effort ainsi qu'on peut la réaliser facilement. **[6]**

III.2. Les différentes techniques :

Quand on veut consolider un glissement, peu importe que la surface de rupture soit circulaire, logarithmique, plane,...etc. Par contre, il est de la plus grande importance de connaître ses dimensions et d'avoir une idée sur son origine: surcharge, écoulement d'eau, altération des sols ou simplement ruissellement exceptionnel. Le choix de la méthode de consolidation en dépend. Face à un problème de stabilité, une première solution consiste à s'affranchir des mouvements de la pente instable sans les empêcher. Deux types de solutions sont possibles :

- implanter ou déplacer le bâtiment, l'ouvrage d'art ou la route en dehors de la zone en mouvement, dans un secteur reconnu comme stable
- concevoir l'ouvrage de telle sorte qu'il ne soit pas endommagé par le mouvement de terrain :

Si ce type de solution n'est pas retenu, on est amené à conforter la pente avec l'une des techniques présentées dans les paragraphes ci-après. Lorsqu'il s'agit de dimensionner un dispositif de confortement préventif, on recommande de prendre un coefficient de sécurité F=1,5 pour l'ouvrage en service. Dans une intervention De réparation après glissement, si le calage des caractéristiques mécaniques paraît de bonne qualité, le

coefficient de sécurité demandé peut se limiter à 1,3. Si toutefois certaines caractéristiques du site sont mal connues, ou si les techniques employées sont susceptibles de perdre de leur efficacité avec le temps (colmatage de drains par exemple), ou encore si l'on ne peut tolérer de déformations, on choisit plutôt F= 1,5.

III.2.1. Terrassements :

Les conditions de stabilité étant directement liées à la pente du terrain, le terrassement reste le moyen d'action le plus naturel. On peut distinguer trois groupes de méthodes De stabilisation par terrassement :

- les actions sur l'équilibre des masses : allègement en tête, remblai en pied
- les actions sur la géométrie de la pente : purge et reprofilage
- les substitutions partielles ou totales de la masse instable.

La figure III.1 Schématise les différentes actions de terrassement et les termes généralement employés pour les décrire. **[7]**

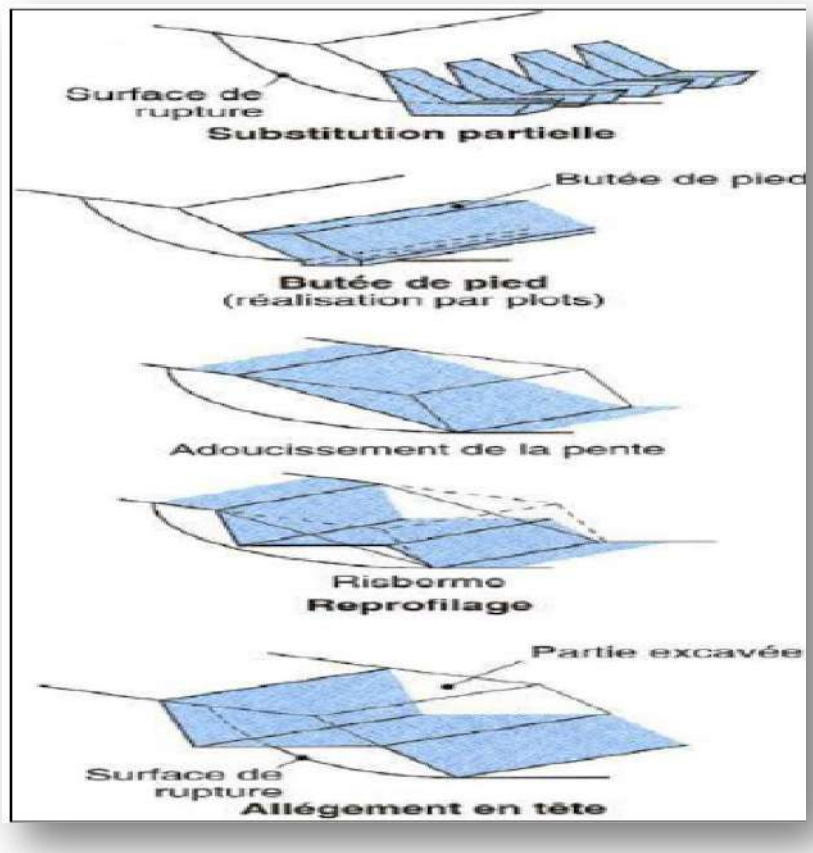


***Figure III.1** : Différentes méthodes de stabilisation par terrassement.*

III.2.1.1. Remblai de pied :

Le chargement en pied d'un glissement est une technique souvent utilisée, généralement efficace. L'ouvrage, également appelé banquette, berme ou butée, agit par contrebalancement des forces motrices. Pour qu'il soit efficace, il faut réaliser un ancrage dans les formations sous jacentes en place. Comme dans le cas d'un ouvrage de soutènement, le dimensionnement doit justifier De la stabilité au renversement, de la stabilité au glissement sur la base et de la stabilité au grand glissement. Mais en pratique, c'est la stabilité le long de la surface de rupture du glissement Déclaré qui est dimensionnant. La stabilité au grand glissement suppose que :

- l'ouvrage limite les risques de reprise du glissement en amont ;
- l'ouvrage ne déclenche pas d'autre glissement, par exemple à l'aval. **[7]**

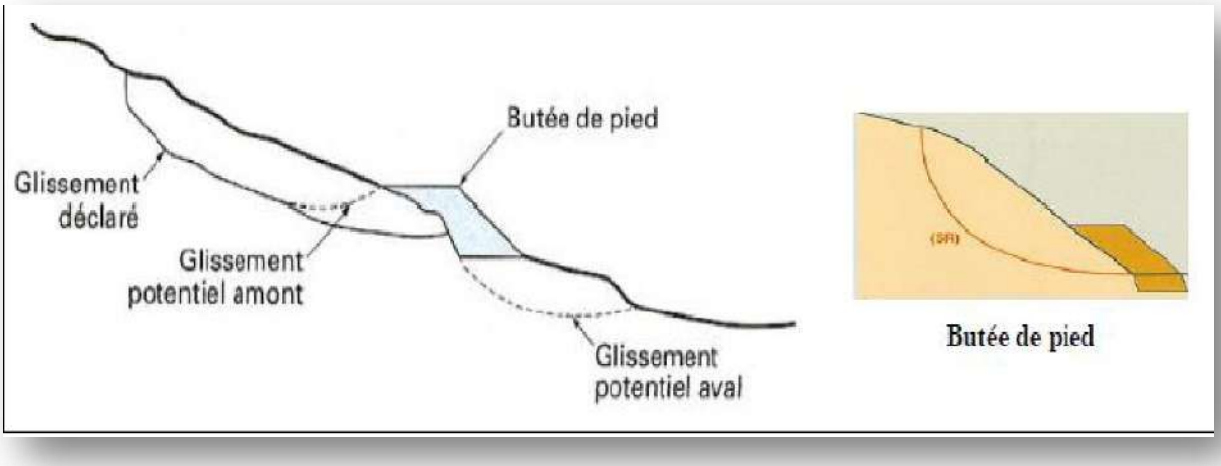


Figure III.2 : *Calcul de stabilité d'une butée de pied : Différentes surfaces de rupture à prendre en compte.*

III.2.1.2. Allègement en tête :

L'allègement en tête de glissement consiste à venir terrasser dans la partie supérieure. Il en résulte une diminution du poids moteur et, par conséquent, une augmentation du coefficient de sécurité. La méthode de dimensionnement consiste en un calcul de stabilité le Long de la surface de rupture déclarée en prenant en compte la modification de géométrie en tête. On peut également substituer le matériau terrassé par un matériau léger (polystyrène, matériau à structure Alvéolaire, etc.)[9].

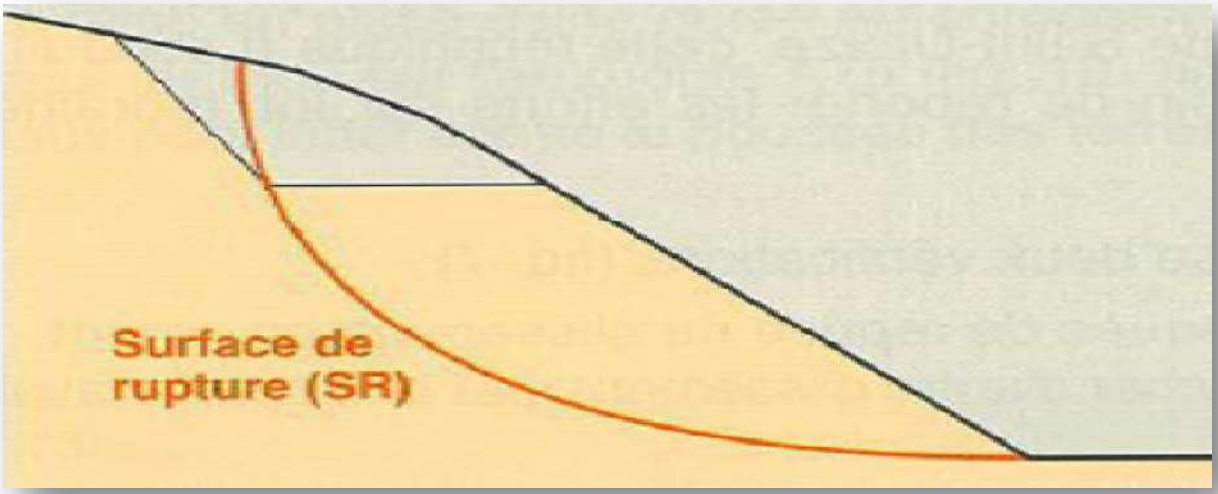


Figure III.3 : *Allègement en tête.*

III.2.1.3. Reprofilage :

Les conditions de stabilité d'un talus étant directement liées à sa pente, on peut assez simplement augmenter la sécurité par talutages du terrain naturel. Dans ce sens, le procédé s'apparente à l'allègement en tête : il consiste en un adoucissement de la pente moyenne.

Ce type de traitement est particulièrement bien adapté aux talus de déblais, et il est de pratique courante. Notons que l'exécution de risbermes a l'avantage d'améliorer la stabilité parrapport à une pente unique et de créer des voies d'accès pour l'entretien ou des travaux complémentaires. L'adoucissement de la pente est généralement mal adapté aux versants naturels instables car il met en jeu des volumes de sol très importants [9].

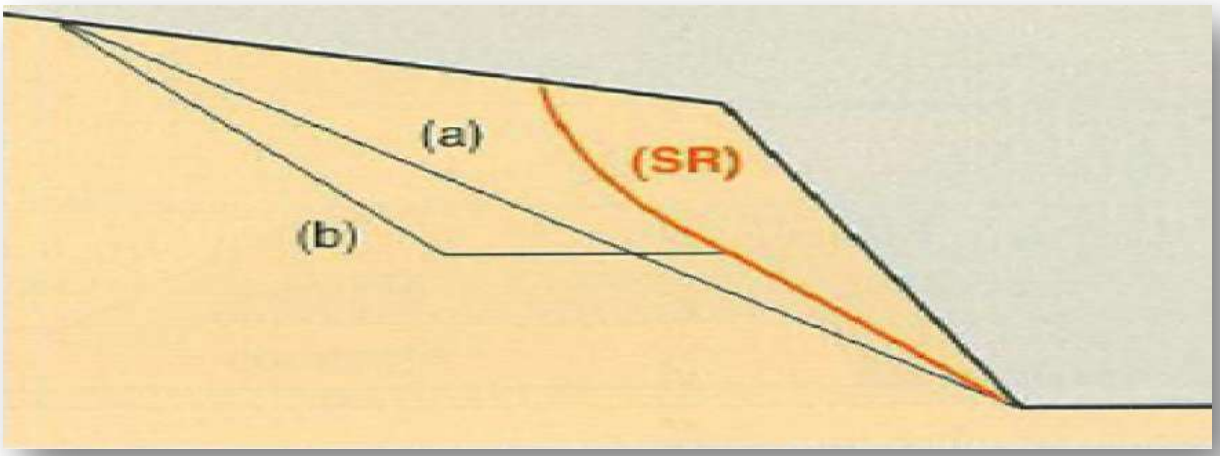


Figure III.3 : *Reprofilage : (a) adoucissement (b) risberme.*

III.2.2. Dispositifs de drainage :

Dans la plupart des cas de glissement, l'eau joue un rôle moteur déterminant. Aussi utilise-t-on couramment les techniques de drainage, Qui ont pour but de réduire les pressions interstitielles, au niveau de la surface de rupture lorsque celle-ci existe. C'est donc en termes de diminution de pression interstitielle, et non de débit d'exhaure, qu'il faut évaluer l'efficacité d'un dispositif de drainage. Les différentes techniques qui peuvent être mises en oeuvre pour atteindre cet objectif relèvent de deux options fondamentales :

- éviter l'alimentation en eau du site ;
- expulser l'eau présente dans le massif instable.

De nombreux paramètres conditionnent l'efficacité d'un système de drainage, en particulier la nature et l'hétérogénéité des terrains, la géométrie des couches aquifères, la perméabilité et l'anisotropie des sols, les alimentations et les exutoires. De ce fait, et compte tenu des difficultés de détermination de l'ensemble de ces éléments, le dimensionnement d'un système de drainage est fait en prenant un coefficient de sécurité plus élevé que celui pris pour d'autres techniques (terrassements, renforcements). Comme la plupart des ouvrages, les dispositifs de drainage nécessitent un entretien régulier qui, s'il n'est pas réalisé, peut leur Enlever toute efficacité. On distingue : les drainages de surface et les ouvrages de collecte des eaux, les tranchées drainantes, les drains subhorizontaux, les masques et éperons drainants, les drains verticaux, et enfin les galeries et autres ouvrages profonds.

Toutes ces techniques peuvent être utilisées seules ou associées, ou en complément d'autres techniques de stabilisation. **[7]**

III.2.2.1. Collecte et canalisation des eaux de surface :

L'objectif est de limiter les infiltrations dans le massif en mouvement. Les eaux peuvent provenir de zones de sources, d'un défaut d'étanchéité sur un réseau ou un bassin de stockage à l'amont ou plus simplement de l'impluvium et des eaux de ruissellement. En effet, les eaux de surface ont tendance à s'infiltrer dans les fissures, à stagner dans Les zones de faible pente et aggravent ainsi une instabilité amorcée. Aussi les ouvrages de collecte des eaux (fossés, caniveaux, cunettes) et l'étanchéification des fissures de surface, Bien que ne constituant pas des ouvrages de drainage à proprement parler, sont-ils réalisés en première urgence dans de nombreux cas de glissements. **[7]**

III.2.2.2. Tranchées drainantes :

Les tranchées drainantes, sont des ouvrages couramment utilisés pour rabattre le niveau de la nappe. Elles sont implantées sur le site de façon à venir recouper les filets d'eau (lignes de courant dans un horizon homogène, couche aquifère, venues d'eau ponctuelles, etc.).

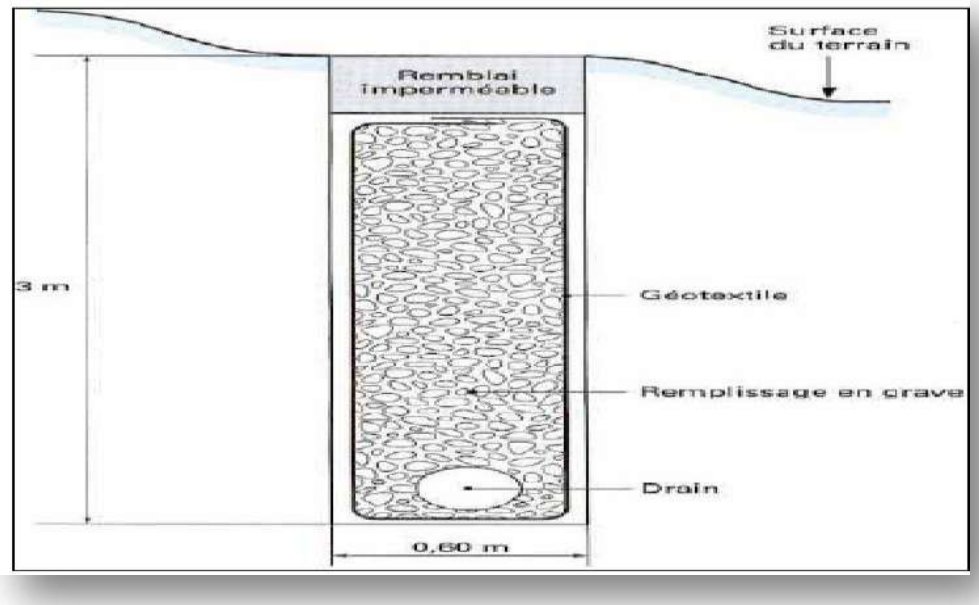


Figure III.5 : Coupe type d'une tranchée drainante.

Le choix de l'implantation (dans le sens de la plus grande pente ou dans un sens parallèle aux lignes de niveau, ou encore en épis), de la profondeur et de l espacement des tranchées dépend des résultats de l'étude hydrogéologique et conditionne l'efficacité du drainage. Ces tranchées peuvent être réalisées de plusieurs façons :

- à la pelle mécanique : la profondeur de la tranchée peut atteindre 5 à 6 m sur une largeur de l'ordre du mètre. Un drain souple est généralement placé au fond avec un sable propre en protection. Le remplissage est réalisé en matériau drainant ; un géotextile est parfois disposé comme filtre ;
- à la trancheuse : les profondeurs atteintes sont du même ordre de grandeur, mais la largeur de la tranchée est par contre réduite, de l'ordre de 30 cm. Un dispositif mécanisé permet de mettre en place un géotextile, le drain en plastique et le matériau drainant de remplissage ;
- à la haveuse de paroi : les profondeurs atteintes sont plus importantes (jusqu'à 20 m).

La technique de creusement est identique à celle utilisée pour les parois moulées, par panneaux successifs (de 2 à 3 m). La tenue des parois de la fouille est assurée par une boue biodégradable. **[7]**

III.2.2.3. Drains verticaux, galeries drainantes :

Les puits drainants équipés de pompes, installés en ligne, constituent un écran drainant, à condition bien sûr que la maintenance soit correctement assurée. Le forage de drains subhorizontaux depuis le fond de puits de gros diamètre permet d'accroître leur Rayon d'action. Les drains-siphons sont des forages verticaux équipés d'un système d'évacuation de l'eau par siphonage vers un point bas du versant (de cote inférieure à celle du fond de forage). Le creusement de galeries drainantes est une solution onéreuse mais efficace. Par exemple, le glissement du Bilan (Isère) qui menaçait la retenue EDF de Grand' maison a été traité avec succès par une galerie de 850 m de long, forée sous la surface de rupture, avec des forages verticaux ascendants (1300 m au total) **[7].**

III.2.3. Introduction d'éléments résistants :

On entend par éléments résistants les structures telles que :

- murs de soutènement
- tirants d'ancrage et murs ancrés
- clouages par des barres, des micros pieux
- rangées de pieux, de barrettes ou de profilés métalliques.

Ces techniques ne s'attaquent pas à la cause des mouvements mais visent à réduire ou à arrêter les déformations. Elles sont intéressantes dans les cas où les solutions curatives (terrassements et drainages) ne peuvent pas être techniquement ou économiquement mises en œuvre.

On peut également introduire des éléments résistants à titre préventif, de façon à éviter les déplacements, dont une conséquence serait de diminuer la résistance au cisaillement des sols.

La compatibilité des déplacements du sol et des structures doit être prise en compte lors du choix de ce type de technique. En effet, dans le cadre de travaux de stabilisation de glissements de terrain très actifs, l'exécution d'ouvrages rigides tels que des tirants précontraints n'est pas envisageable les déplacements du sol conduiraient à la rupture des tirants. Il est préférable de construire, dans ces cas, Des ouvrages qui supportent mieux les déformations **[7].**

III.2.3.1. Ouvrages de soutènement :

Les ouvrages rigides ne sont pas les mieux adaptés à la stabilisation des glissements de terrain, du fait de leur incompatibilité avec toute déformation ; en outre, le dimensionnement doit prendre en compte les efforts très importants engendrés par le glissement. Lorsque l'ouvrage est correctement ancré et suffisamment résistant vis-à-vis des efforts qui lui sont appliqués, il est fixe. La pratique est de dimensionner l'ouvrage en prenant en compte un effort limite de butée du sol en amont, qui est l'effort maximal apporté par les masses en mouvement (la déformation du sol étant une compression).Les ouvrages souples sont des structures obtenues à partir de gabions, de murs cellulaires, ou de sol renforcé par fils, par armatures synthétiques ou métalliques, par nappes de géotextiles, par grilles métalliques ou synthétiques. Ces ouvrages fonctionnent comme les massifs poids

décrits ci-dessus. On les dimensionne en deux phases : vis-à-vis de la stabilité interne selon une méthode propre à chacune des techniques, et vis-à-vis de la stabilité externe ainsi que décrit précédemment.

Ces techniques, qui admettent les déformations du sol, sont utilisées nettement plus couramment que les murs rigides **[8].**

III.2.3.2. Les murs de soutènements :

Les murs de soutènements sont les ouvrages réalisés dans le but de stabiliser un talus instable utilisant leurs poids propres ou leurs rigidités, Il existe deux types d'ouvrages :

- Les murs poids
- Les murs souples.

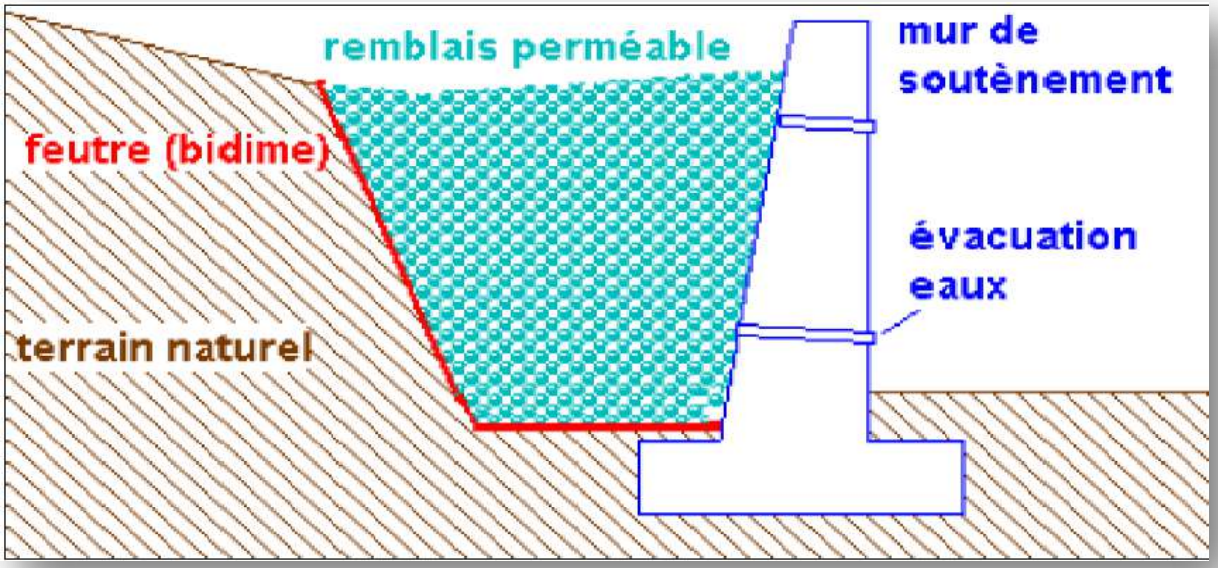


Figure III.6 : *Mur de soutènement.*

III.2.3.3. Les rideaux de palplanches :

Les rideaux de palplanches sont utilisés en soutènement provisoire ou permanent. Cette technique est applicable dans tous les terrains meubles. Ces rideaux sont auto stables pour une hauteur de terre à soutenir de 3 à 4 mètres. Au-delà ils doivent être ancrés. L'un des avantages de cette technique est la rapidité d'exécution. Par contre

leur utilisation pose des problèmes particuliers en site urbain en raison des nuisances Crées par le fonçage à proximité d'habitations **[7].**

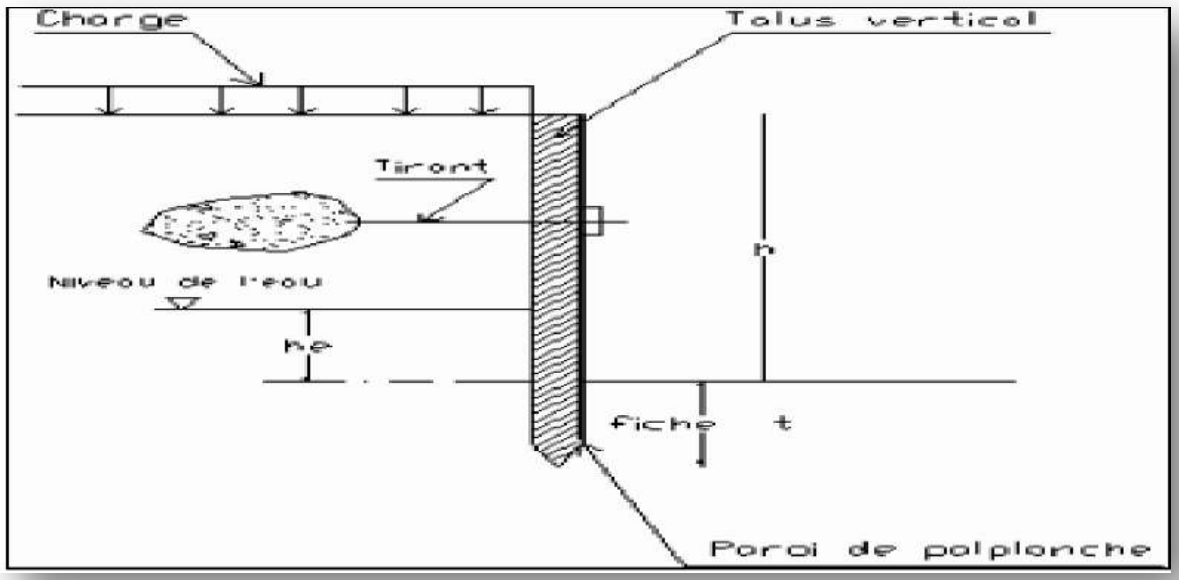


Figure III.7 : Paroi de palplanche.

III.2.3.4. La terre armée:

La terre armée fut mise au point par H.VIDAL en 1963. Cette technique de renforcement de remblais consiste en association de trois éléments principaux à savoir :

- **un sol :** plus ou moins frottant constituant la majeure partie du remblai et devant posséder un certain nombre de caractéristiques mécaniques.
- **des inclusions :** horizontales et linéaires appelées "armatures" qui jouent le rôle d'éléments de renforcement.
- **un parement :** anciennement métallique, aujourd'hui plutôt constitué d'éléments béton préfabriqués (écailles), dont la fonction mécanique est très limitée [9].

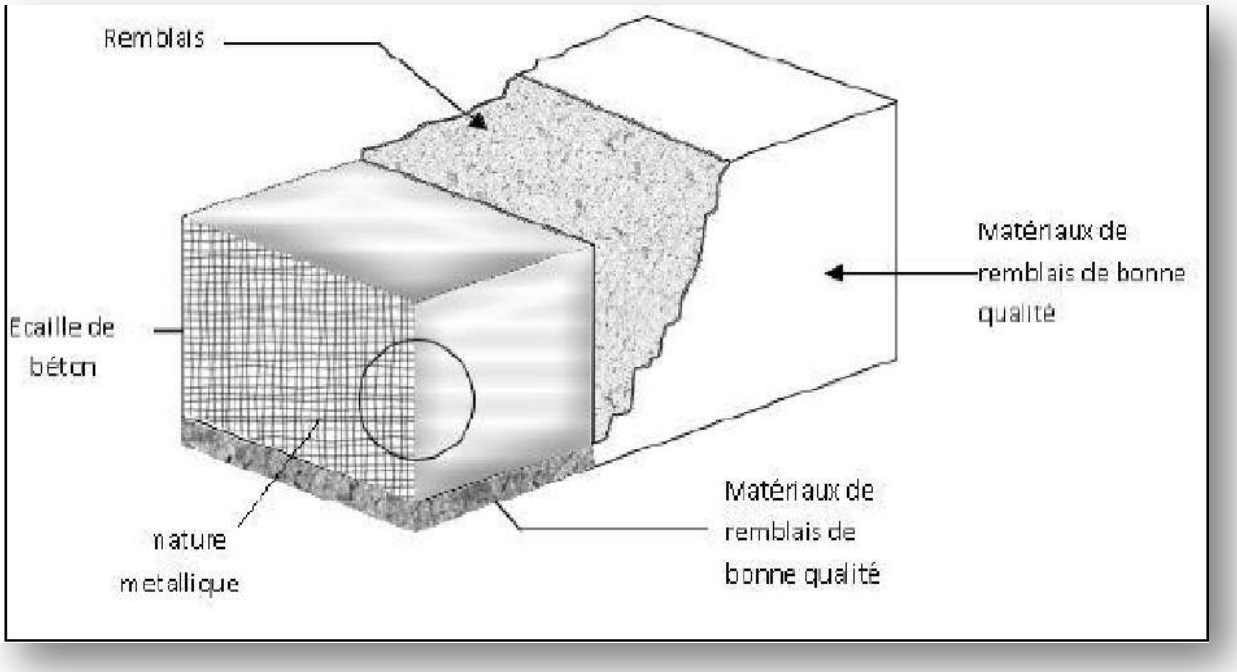


Figure III.8 : *Principe de la technique terre armée.*

III.2.4. Les tirants d'encrage :

Le principe de base consiste à mobiliser un certain volume de terrain ou de rocher encaissant, afin de rétablir ou de renforcer la stabilité d'une fondation, au glissement ou au soulèvement. Un tirant est constitué par une armature continue au diamètre d'une trentaine ou quarantaine de millimètres (barre unique ou faisceau de barres, tube, fils ou torons parallèles, câble,) scellée dans un forage sur une partie de sa longueur, par injection de coulis ou de mortier de scellement, ou ancrée mécaniquement dans un terrain [9].

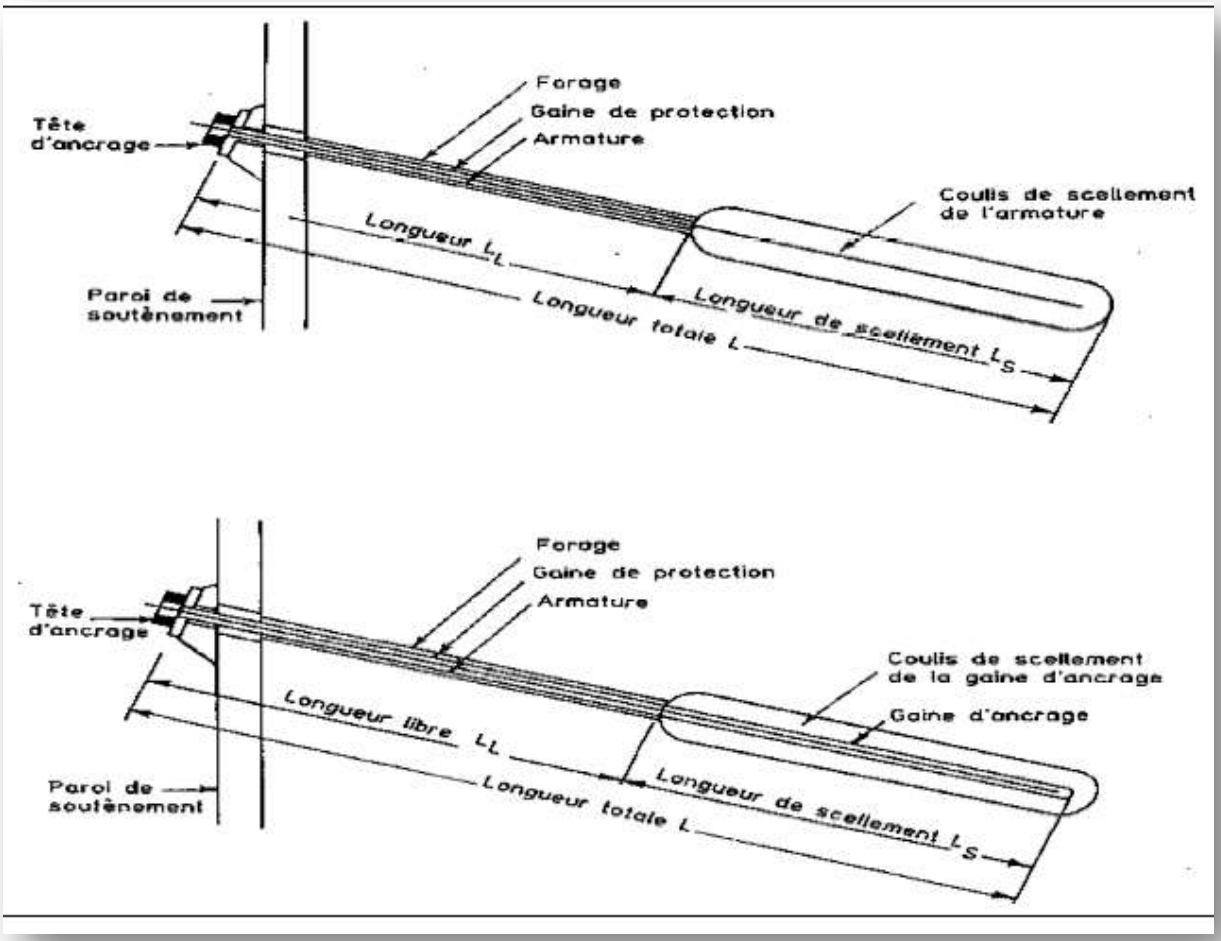


Figure III.9 : *Schéma de principe d'un tirant d'ancrage injecté.*

III.2.5. Le clouage :

Désignée aussi par le terme cloutage. Les armatures, généralement métalliques, sont déposées perpendiculairement aux lignes de glissements éventuelles. La technique repose sur un transfert des efforts du sol vers les barres par mise en butée du terrain. Il en résulte une cohésion apparente du sol clouté, ce qui explique le succès du procédé **[7].**



Figure III.10 : *Un versant stabilisé par clouage.*

III.2.6.Les géotextiles :

Les géotextiles sont des produits textiles à bases de fibres polymères utilisées au contact d'un sol dans le cadre d'application dans le domaine de la géotechnique et du génie civil. Leurs domaines d'utilisation sont très vastes et concernent aussi bien la géotechnique routière, les centres de stockage des déchets, les aménagements hydrauliques, la stabilisation des sols et le renforcement des fondations….etc. Les principales fonctions des géotextiles sont :

- **La séparation :** éviter l'interpénétration des sols de nature et de granulométrie Différente (en vue de maintenir leurs performances initiales).
- **La filtration :** assurer le passage de l'eau perpendiculairement au plan de la nappe en retenant les particules de sol.
- **Le drainage :** assurer le passage de l'eau dans le plan de la nappe.
- **Le renforcement :** améliorer la résistance d'un massif de sol dans lequel il est inclus.
- **La protection :** protéger une structure fragile (géo membrane) contre des éléments poinçonnant.

- **La lutte contre l'érosion :** limiter les mouvements des particules de sol en surface causés par l'eau ou le vent **[7].**



Figure III.11 : *L'utilisation du géotextile en jouant un double rôle le drainage et le Renforcement du talus.*

Conclusion bibliographique

Tout au long de cette étude bibliographique, je me suis attelé à regrouper presque toutes les théories qui traitent le phénomène de glissement de terrain et tout ce qui en découle dans un cadre prédéfini.

Dans la première étape on a cité brièvement la définition d'un mouvement de terrain, et dans la deuxième étape nous avons identifié et différencié tous (les types, les cause, classification, les phase) de glissement, ainsi que les méthodes de calcul de stabilité des pentes. Ces méthodes sont basées essentiellement sur la détermination du coefficient de sécurité F_S.

Partie II :

Etude d’un Glissement de terrain sur la RN24 PK 113 + 500

Chapitre I :

Carde général de la région d’étude

I.1.Introduction :

Le site, objet de notre étude, que nous appellerons "Glissement de terrain, Extension de capacité sur la RN n°24/ PK 113+500, Dellys (wilaya de BOUMERDES) ", se trouve a la commune de BOUMERDES, Il a pour coordonnées géographiques :

- Latitude : 36° 81' N ;
- Longitude : 03° 53' E.
- X = 402.00
- Y = 608.50

Dellys est une ville côtière sur le littoral algérien, elle est un chef-lieu de commune situé à 51 km de la ville de BOUMERDES, chef-lieu de wilaya, à 105 km à l'est d'Alger et à 40 km au nord de Tizi-Ouzou.**[8]**



***Figure I.1** : Photo 1 : Affaissement générale de la route*



***Figure I.2**: Escarpement du talus amont de l'ordre de 1.5 m*

I.2. Géologie générale :

D'après la carte géologique de Dellys N° 8 au 1/50 000 ème, (M.Raymond 1984), la géologie de Dellys est constituée essentiellement par les formations du Présien-Lutétien inférieur caractérisés par des calcaires marneux à rares silex. Sur l'axe sud-ouest, on trouve des grès micacés alternant des marnes feuilletées brune, ces débris de grès plus ou moins éboulés, indiquant l'extension d'une ancienne plage à l'altitude moyenne de 50 m de l'Est de Dellys jusqu'au-delà de l'oued Oubay.[R]

I.3.Climat :

Le climat à Dellys est chaud et tempéré, de type méditerranéen. En été, les pluies sont moins importantes qu'elles ne le soient en hiver. La classification de Koppen est de type Csa. La température moyenne est de 17.5 °C et la moyenne des précipitations annuelles dépasse les 800 mm**.[9]**

Tableau I.1 : Données climatiques à Dellys.

Données climatiques à Dellys .

Mois	jan.	fév.	Mars	avril	mai	juin	jui.	août	sep.	oct.	nov.	déc.	année
Température minimale moyenne (°C)	8,5	8	10	11,9	14,7	18,4	21,6	22,5	20	17	12,5	9,7	
Température moyenne (°C)	11,1	11	12,9	15	17,8	21,7	24,9	25,6	23	20	15	12,2	**17,5**
Température maximale moyenne (°C)	13,8	13,8	15,8	17,7	20,5	24,6	27,8	28,6	25,9	23	17,8	14,9	
Précipitations (mm)	132	101	79	66	49	8	2	5	35	72	137	137	**823**

I.4.Sismicité :

Le règlement parasismique Algérien (R.P.A.) a établi des règles, qui sont en fonction de l'intensité de l'action sismique d'une région, pour tenir compte de la probabilité d'occurrence d'un séisme dans une région d'étude. Ces règles, qui ont été révisées récemment après le séisme du 21 mai 2003 de Boumerdès, divisent le territoire Algérien en cinq (05) zones sismiques :

- **Zone 0** sismicité négligeable ;
- **Zone I** sismicité faible ;
- **Zone II a et II b** sismicités moyenne ;
- **Zone III** sismicité élevée

Ces zonalités sont représentées sur "Carte de zonage sismique». Nous

Remarquons que la région de BOUMERDES, comprenant le site étudié, se trouve dans la **"Zone III de sismicité élevée "**,

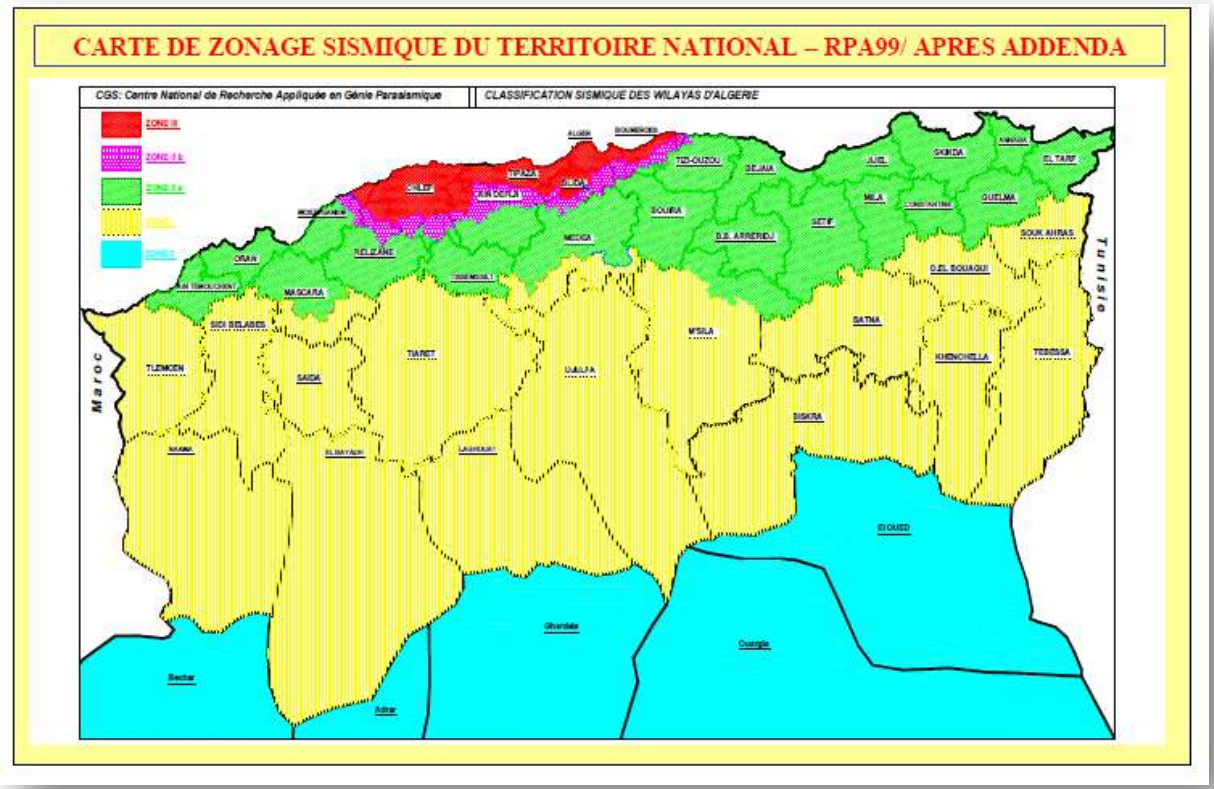


Figure I.3 *: Carte de zonage sismique de l'Algérie.*

I.5.Reconnaissance du site :[12]

Une compagne de reconnaissance comporte la réalisation de :

- ✓ deux sondages carottés de 20 m de profondeur chacun.
- ✓ deux essais au pénétromètre dynamique poussés jusqu'au refus.
- ✓ Pose de piézomètre avec mesure du niveau d'eau.

La description visuelle des échantillons intacts et remaniés de chaque sondage a permis de localiser les couches de sols suivantes :

- **Sondage N°1** :

  0.00 – 1.00 m : Remblai

  1.00 – 10.00 m : Alluvions de oued de diamètre décimétrique à centimétrique enrobés dans une matrice marneuse.

  10.00 – 18.00 m : Marne feuilletée friable, altérée grisâtre avec de fissures remplies de calcaire.

  18.00 – 20.00 m : Marne calcaire.

- **Sondage N°2** :

  0.00 – 1.30 m : Terre végétale.

  1.30 – 5.00 m : Argile marneuse jaunâtre avec passage marno-calcaire dure.

  5.00 – 10.00 m : Marne grisâtre.

  10.00 – 20.00 m : Marne feuilletée avec des fissures remplies de cries avec passage marno-calcaire très dure.

- Le plan d'implantation des sondages est donné sur la figure suivante :

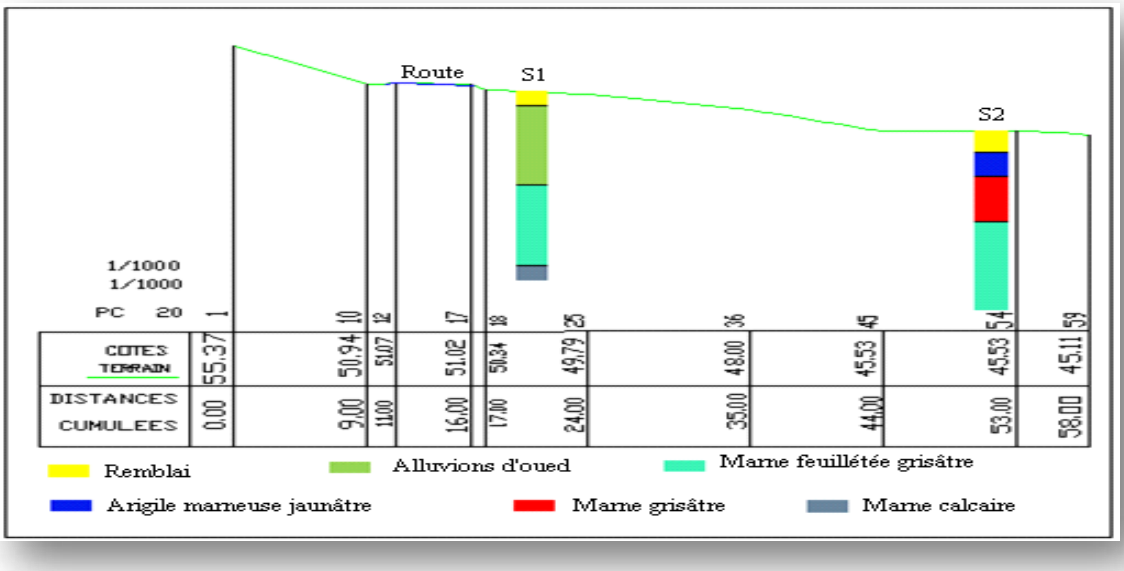


***Figure I.4**. : Profil en long et implantation des sondages*

I.5.1 : Caractéristiques géotechniques des sols :

I.5.1.1.Caractéristiques d'identification :

Les essais d'identification présentés ci-après ont été effectués à partir d'échantillons récupérés des sondages.

Les sols en place présentent un poids volumique humide γ_h variant de 19,7 à 21,9 kN/m^3, une teneur en eau w comprise entre 14,6 et 28,5 % et un degré de saturation S_r compris entre 70 et 100%..L'analyse granulométrique montre un pourcentage de passants à 2 mm varie de 62% à 100%, celui des passants à 80µ varie de 46% à 97%. Le pourcentage des passants à 2µ varie de 50% 98%. Cet essai caractérise essentiellement un sol fin.

La limite de liquidité w_l varie de 46 à 66 % pour un indice de plasticité I_p compris entre 23 et 34. Le diagramme de plasticité de Casagrande classe les sols en place comme des argiles plastique à très plastique dure.

I.4.1.2. Caractéristiques mécaniques :

- ✓ **Caractéristiques de cisaillement et de rupture :**

Les caractéristiques de cisaillement c et ont été déterminées à partir des résultats d'essais de cisaillement à la boite de Casagrande. Les résultats de ces essais sont consignés dans le tableau 2.

- ✓ **Caractéristiques œnométriques :**

Sept échantillons non remaniés ont fait l'objet d'essais œnométriques, afin d'apprécier la compressibilité du sol. Les résultats de ces essais caractérisent un sol normalement consolidé à sur consolidé, gonflant et assez compressible (tableau 3)

I.4.1.3.Caractéristiques chimiques :

Deux échantillons remaniés provenant du sondage N°1 et 2 ont fait l'objet d'une analyse chimique sommaire. Cette analyse semble indiquer un sol argileux non agressif (tableau 4).

Tableau I.2:Caractéristiques mécaniques c et φ correspondant à chaque essai.

Sondage N°	Profondeur (m)	***c*** (bars)	(°)
01	12.70 – 13,00	0.30	13
	13.40 – 13.80	0.20	14
	15.00 – 15.40	0.50	14
02	2.20 – 2.50	0.20	10
	6.00 – 6.40	0.25	13
	9.00 – 9.40	0.15	16
	16.00 – 16.40	0.25	16

Tableau I.3: Caractéristique chimiques.

Sondages N°	Profondeur (m)	Les carbonates %	Les sulfates %	Les chlorures %	Observations
01	12.70 – 13,00	11.67	Traces	0.23	sol argileux non agressif
02	2.20 – 2.50	2.50	Traces	0.18	sol argileux non agressif

Tableau I.4:Caractéristiques mécaniques P_C, C_C et C_g correspondant à chaque essai.

Sondage N°	Profondeur (m)	P_C	C_C	C_g	Observation
01	13.40 – 13.80	2.80	29.77	27.03	Sol surconsolidé, gonflant et assez compressible
	15.00 – 15.40	3.11	28.47	17.59	Sol surconsolidé, gonflant et assez compressible
02	2.20 – 2.50	2.09	21.86	5.63	Sol surconsolidé, gonflant et assez compressible
	6.00 – 6.40	2.00	24.92	9.62	Sol surconsolidé, gonflant et assez compressible
	9.00 – 9.40	1.88	22.97	5.97	Sol normalement consolidé, gonflant et assez compressible
	15.70 – 16.00	3.20	28.47	9.75	Sol normalement consolidé, gonflant et assez compressible
	16.00 – 16.40	3.28	24.01	9.43	Sol normalement consolidé, gonflant et assez compressible

- ✓ **L'essai au pénétromètre dynamique**

L'analyse des pénétrogrammes, présentés en annexes, montre une allure différente pour les deux essais réalisés.

Au niveau de l'essai N°1 : les résistances sont faibles sur les deux (02) premiers mètres et correspondent au remblai de nature argileuse. Au-delà de 2 m de profondeur, les résistances varient entre 30 et 60 bars jusqu'à 7.00 m de profondeur, il s'agit de la couche alluvionnaire enrobée dans une matrice marneuse. Les résistances augmentent à partir de 7.20 m et atteignent une résistance au refus de 460 bars.

Au niveau de l'essai N°2 : les résistances varient en dents de scie sur les quatre premiers mètres, les résistances sont faibles, inférieures à 50 bars. De l'ordre de 80 à 100 bars, elles correspondent à la couche d'argile, de 2.00 à 3.60 m de profondeur, les résistances augmentent jusqu'à 383 bars, ce qui correspond à la couche de nature argilo-marneuse avec passage marno-calcaire dure. Au-delà de 10 m de profondeur, les résistances varient entre 50 et 400 bars jusqu'au refus qui atteint à 10 m avec 465 bars de résistance, il s'agit d'une couche de marne grise.[R]

I.4.2. Conclusion et interprétation :

Les investigations géotechniques in situ ont permis de reconnaître un sol formé par :

- Un remblai de 1.00 à 1.30 m d'épaisseur, des alluvions à l'amont (S1) jusqu'à 10.00 m et de marne à l'aval (S2) allant jusqu'à 20 m de profondeur.
- Un substratum épais de nature argileux à marneux jusqu'à la fin des sondages carottés.

Les essais en laboratoires ont permis de caractériser les formations marneuse comme un sol fin détrempé à saturé moyennement de plasticité élevée, normalement consolidé à sur consolidé, gonflant et assez compressible.

Ce type de sol est très sensible à l'eau. Ainsi nous estimons que la cause du glissement étudié est due, particulièrement, à la nature du sol et à la présence d'eau dans cette zone.

Chapitre II :

Etude de stabilité de glissement de terrain sur la RN24 au PK 113+500

II.1.Introduction :

L'étude de stabilité, objet de ce rapport a été effectuée à l'aide du programme TALREN4 dont le calcul est basé sur la méthode des tranches. Ce programme consiste à tester plusieurs surfaces de ruptures probables des glissements observés correspondant à des coefficients de sécurité minimums (Fs≤1).

II.2. Présentation de logiciel TALREN :

II.2.1. Définition :

TALREN est un logiciel permettant la vérification de la stabilité d'ouvrages géotechniques, avec ou sans renforcements. Ce logiciel est utilisé pour obtenir les résultats de stabilité avant la réalisation et pour découvrir les techniques de renforcement les moins chers et plus stable. **[10]**

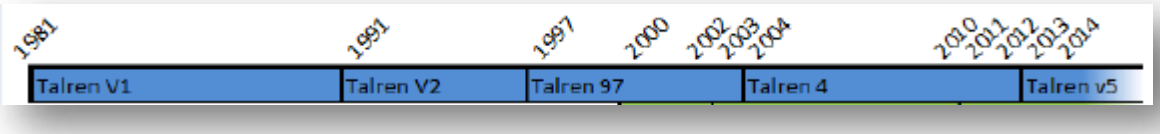
TALREN permet d'étudier :

- les pentes naturelles,
- les pentes de déblais/remblais,
- les ouvrages en terre .**[10]**

II.2.2. différents types de renforcements :

- tirants précontraints,
- clous,
- pieux et micropieux,
- géotextiles,
- géogrilles,
- Terre armée et bandes en polymères. [10]

II.2.3. Un peu d'histoire :



Echelle temporel.

- Versions UNIX : TALREN v1 Années 1981 ;
- Versions DOS : TALREN v2.x et TLREN v3.x Années 1990 ;
- 1ère version Windows: TALREN97 v1.x ET v2.x 1997;
- Dernière version Windows : TALREN 4 v1.x Juillet 2004 ;
- TALREN 4 v2.x Mars 2007.[**10]**

Commercialisation "active" depuis le début des années 1990.

TALREN: logiciel développé dans le cadre du Projet National Clouterre 1991 La partie des recommandations qui traite du dimensionnement des murs cloués est basée sur des concepts et théories utilisés dans le développement du logiciel TALREN.

II.2.4. Les fonctions du calcule :

Les principaux types de données :

- Géométrie.
- Caractéristiques des sols.
- Surcharges.
- Renforcements.
- Conditions hydrauliques.
- Accélérations sismiques.
- Coefficients partiels.
- Options de calcul [12].

II.2.5. Manuel d'utilisation :

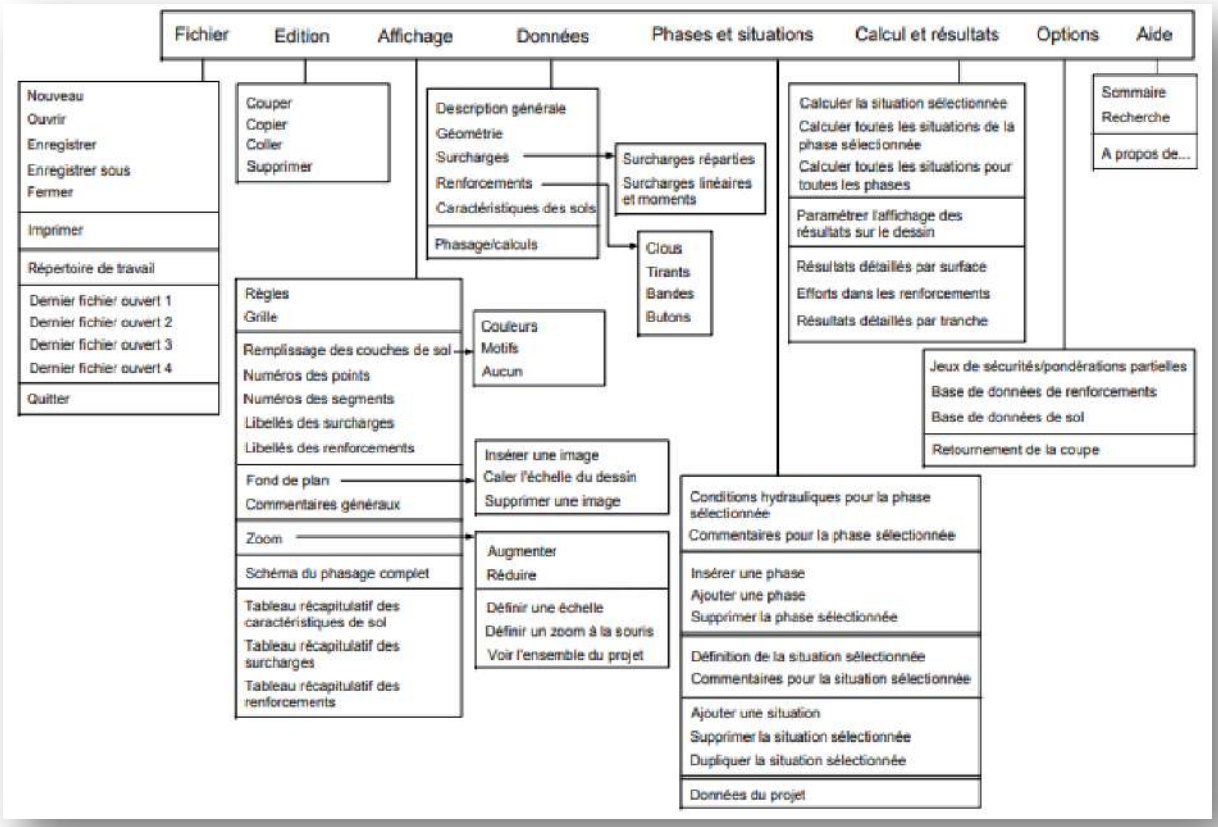


Figure II. 1 : Manuelle d'utilisation [11].

- **La barre de boutons principale :**

  Les boutons ci-dessus correspondent dans l'ordre aux fonctions suivantes :

  - Nouveau fichier ;
  - Ouvrir un fichier ;
  - Enregistrer un fichier ;
  - Imprimer ;
  - Zoom sur une fenêtre définie par l'utilisateur ;
  - Zoom avant ;
  - Zoom arrière ;
  - Copier dans le presse-papier l'élément sélectionné ;
  - Capture d'écran ;
  - Commentaires généraux.

Les boutons comportent chacun une légende, qui s'affiche lorsque la souris passe dessus



Figure II.2: *la barre de boutons principale.*

- **Les barres de boutons contextuelles :**

Les boutons ci-dessous correspondent dans l'ordre aux fonctions suivantes :

- Outil "Sélection".
- Description générale du projet.
- Dessin de lignes géométriques.
- Dessin de surcharges (surcharges réparties puis torseurs).
- Dessin de renforcements (clous, tirants, bandes puis butons).
- Définition des jeux de caractéristiques de sol (ouverture d'une boîte de dialogue).
- Basculement en mode "Phasage/Calculs".



Figure II .3 : *La barre de boutons contextuelle "Données".*

- **Barre de boutons contextuelle "Phasage/Calculs" :**

Celle-ci comporte principalement les boutons et objets équivalents aux fonctions des menus "Phases et situations" et "Calculs et résultats" :

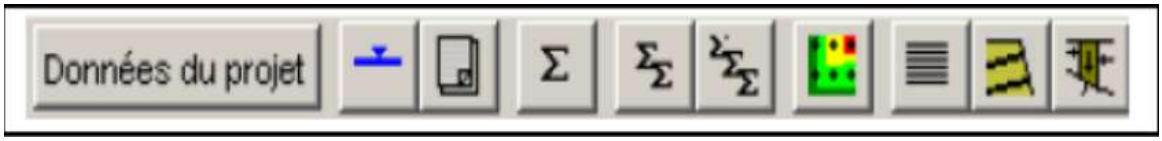


Figure II.4 : *la barre de boutons contextuelle "Phasage/Calculs".*

Les boutons ci-dessus correspondent dans l'ordre aux fonctions suivantes :

- Basculement en mode "Données".
- Définition des conditions hydrauliques (ouverture d'une boîte de dialogue).
- Propriétés de la situation sélectionnée (ouverture d'une boîte de dialogue).

- Calcul de la situation sélectionnée.
- Calcul de toutes les situations de la phase sélectionnée.
- Calcul de toutes les situations pour toutes les phases.
- Configuration de l'affichage graphique des résultats (ouverture d'une boîte de dialogue, accessible seulement si des résultats sont disponibles pour la situation affichée).
- Résultats détaillés par surface (ouverture d'une boîte de dialogue, accessible seulement si des résultats sont disponibles pour la situation affichée).
- Efforts dans les renforcements (ouverture d'une boîte de dialogue, accessible seulement si des résultats sont disponibles pour la situation affichée).

➢ Résultats détaillés par tranches (ouverture d'une boîte de dialogue, accessible seulement si des résultats sont disponibles pour la situation affichée).

- **Tableau récapitulatif des caractéristiques de sol :**

Cette option ouvre une fenêtre dans laquelle est affiché un tableau récapitulatif de tous les jeux de caractéristiques définis. Toutes les caractéristiques figurent dans le tableau, excepté les caractéristiques "complexes" du type anisotropie de cohésion et d'angle de frottement, pour lesquelles il est simplement indiqué qu'elles sont définies par plusieurs valeurs.

Le tableau peut être déplacé, et peut être conservé à l'écran pendant que l'utilisateur continue à travailler dans Talren 4. L'utilisateur ne peut modifier aucune donnée dans le tableau. S'il souhaite le faire, il doit passer par "Données" et "Caractéristiques de sol" (menu ou bouton).

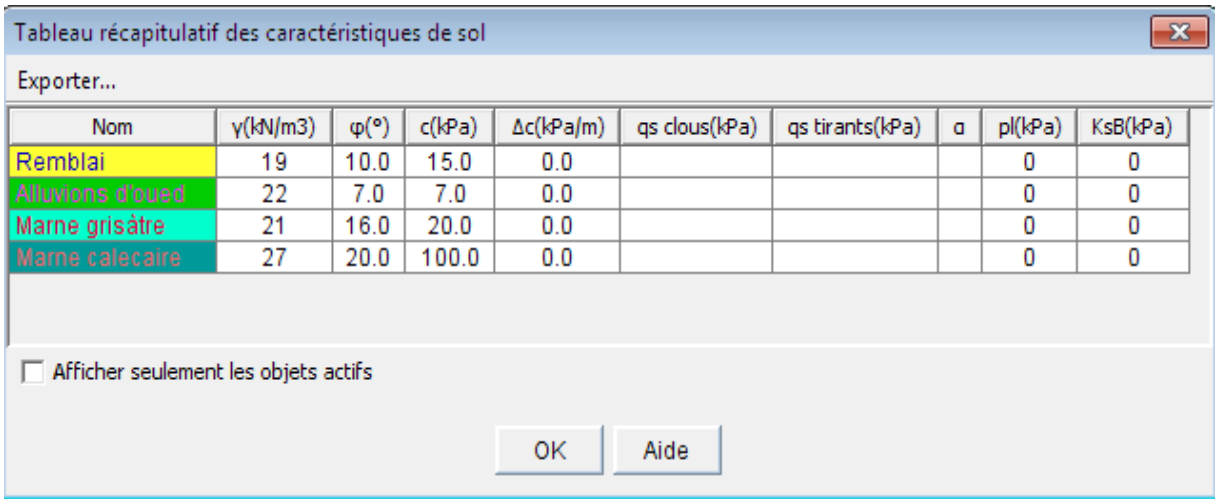


Figure II.5 : *exemple de tableau récapitulatif des couches de sol.*

- **Tableau récapitulatif des renforcements:**

  Cette option ouvre une fenêtre dans laquelle sont affichés 4 tableaux récapitulatifs de tous les renforcements définis, accessible par des onglets (un tableau par type de renforcement : clous, tirants, bandes et butons), Seuls les types de renforcements pour lesquels des éléments ont été définis dans le projet sont présentés. Si aucun renforcement n'est défini dans le projet, l'option "Tableau récapitulatif des renforcements" est grisée dans le menu "Affichage". Le tableau peut être déplacé, et peut être conservé à l'écran pendant que l'utilisateur continue à travailler dans Talren 4

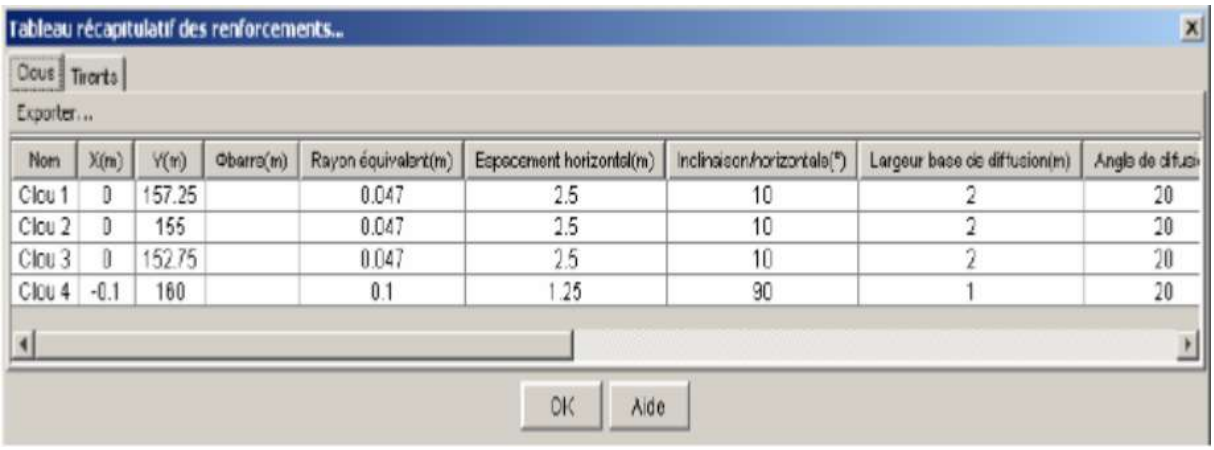


Figure II.6 : *exemple de tableau récapitulatif des renforcements.*

Une case à cocher dans la fenêtre permet à l'utilisateur de choisir s'il souhaite afficher tous les renforcements définis, ou seulement ceux qui sont actifs dans la phase courante. En mode "Données", l'utilisateur n'a pas le choix : tous les renforcements définis sont affichés.

L'utilisateur ne peut modifier aucune donnée dans les tableaux. S'il souhaite le faire, il doit passer par "Données" et "Renforcements" (menu ou boutons).

- **Gestion du phasage :**

  TALREN 4 permet d'étudier des projets, et non plus seulement des coupes, c'est-à-dire que la gestion du phasage d'exécution est intégrée au logiciel : à partir d'une coupe initiale (qui doit comporter tous les éléments qui seront utilisés dans le phasage : lignes géométriques, caractéristiques des sols, surcharges, renforcements), il est possible de définir dans le même fichier plusieurs phases d'exécution successives (chaque phase correspondant à une coupe du projet) :

  - Activation/désactivation d'éléments de sols, surcharges, ou renforcements,

- Modification de certaines caractéristiques de sols,
- Modification des conditions hydrauliques.

- Il n'est donc plus nécessaire de créer plusieurs fichiers pour étudier les phases successives d'un même projet.
- D'autre part, il est possible de définir plusieurs situations de calcul pour une même phase. Les situations peuvent se distinguer les unes des autres principalement par :
- Une méthode de calcul différente,
- Un jeu de coefficients de sécurité/pondération partiels différent,
- Des conditions sismiques différentes,
- Une définition des surfaces de rupture différente.

Il est ainsi possible, par exemple, pour une même phase de calcul (donc une même coupe) de vérifier la stabilité de plusieurs types de surfaces de rupture (plusieurs points de passage pour des cercles par exemple), ou de comparer la situation fondamentale et la situation avec séisme.

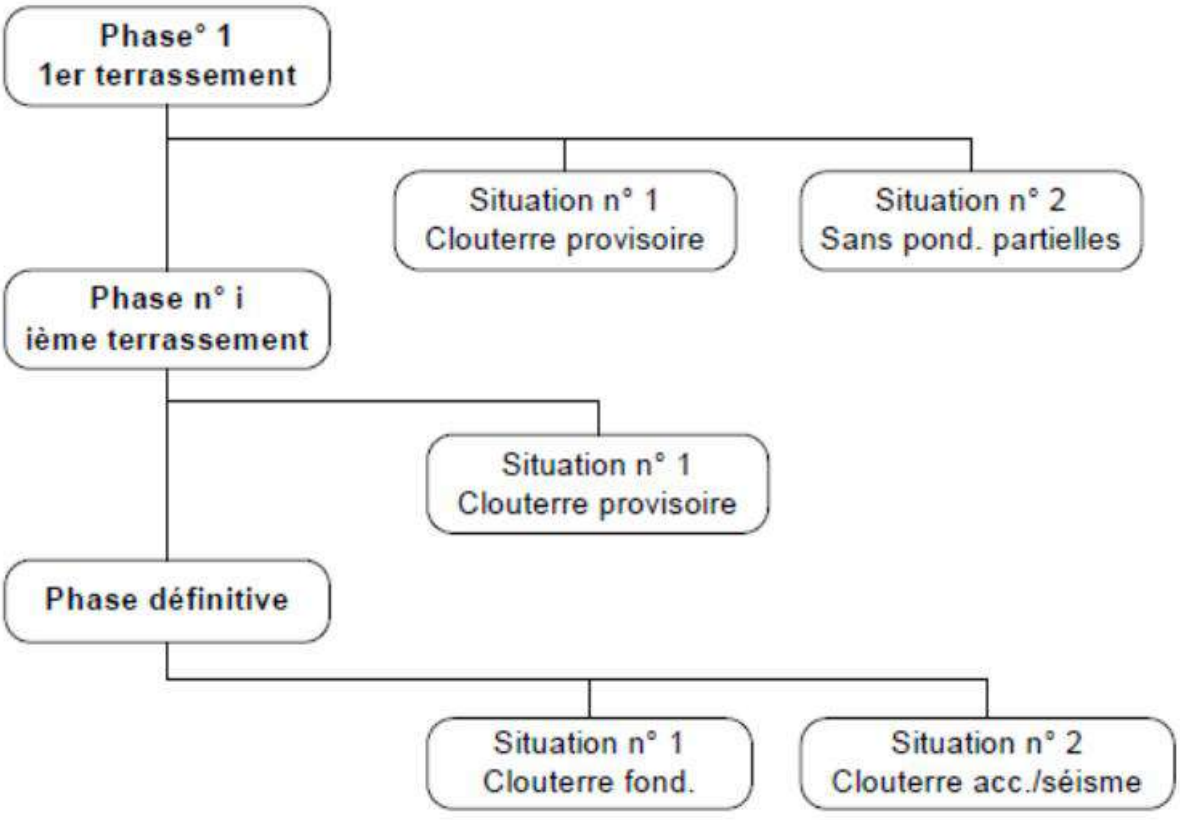


Figure II.7: *gestion des phases et situations.*

Chaque calcul porte sur une situation de calcul d'une phase d'exécution, Les calculs pour chaque situation de chaque phase sont indépendants des calculs des autres situations et autres phases. Par exemple, le résultat du calcul pour la situation m de la phase n ne dépend ni des résultats de la phase n-1 ni des résultats de la situation m-1 ni d'aucun autre résultat.

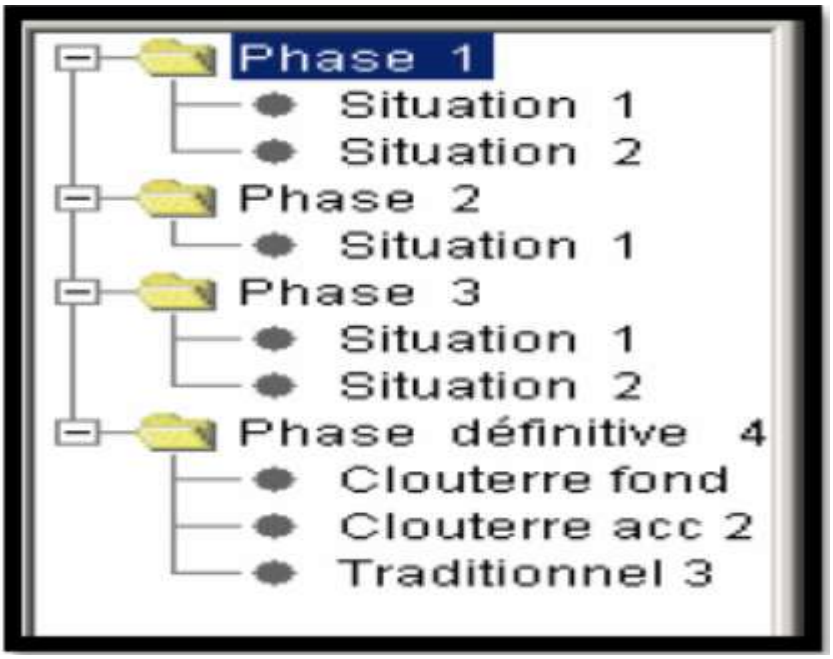


Figure II.8 : *navigateur des phases et situations.*

Il faudra donc lancer autant de calculs pour un fichier projet que de situations définies pour toutes les phases du fichier projet.

- **Les conditions hydrauliques :**

  On accède à la définition des conditions hydrauliques par le menu "Phases et situations" puis l'option "Conditions hydrauliques pour la phase sélectionnée", soit par la même option dans le menu contextuel (clic droit sur le libellé d'une phase),

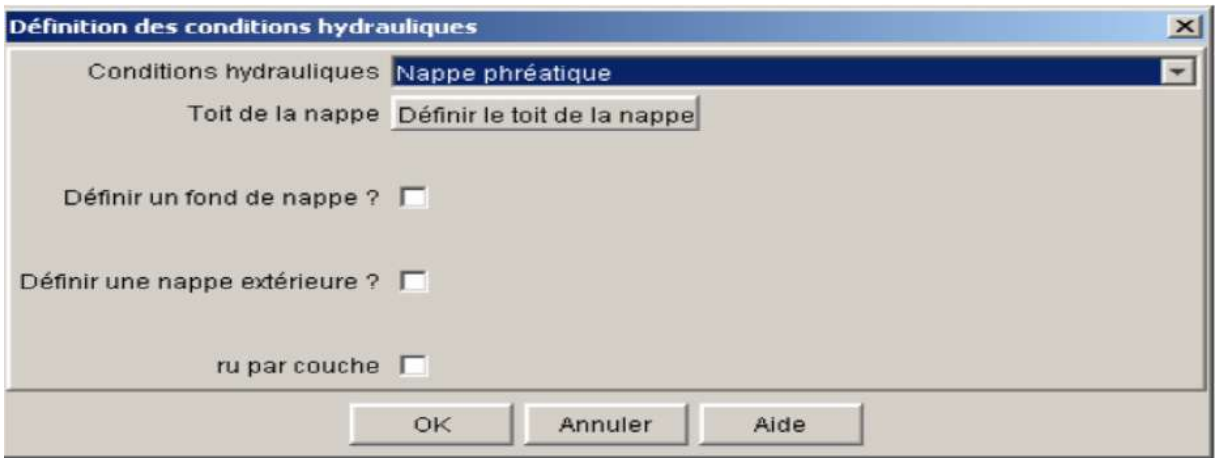


Figure II.9 : *définition d'une nappe phréatique.*

Il suffit de choisir l'option "Nappe phréatique" puis de cliquer sur le bouton "Définir le toit de la nappe". Une nouvelle boîte de dialogue s'ouvre alors et permet de saisir les points définissant la surface de la nappe.

II.3. Analyse de la stabilité de talus :

II.3.1. Données géotechniques :

Nous allons effectuer une analyse quantitative du cas de glissement situé à la route RN n°24/ PK 113+500, Dellys wilaya de BOUMERDES, avec le code de calcul TALREN V4 (la méthode utilisées est Bishop), nous souhaitons quantifier la stabilité en terme de coefficient de sécurité, et de comprendre la cinématique du problème.

- **La surcharge :**

La surcharge utilisée est d'environs 30 KPa.

- **Méthode d'analyse de calcul :**

  Bishop : Quand la surface de rupture est en forme d'arc, on adopte la méthode de Bishop.

- **Coefficient de sécurité :**

  Pour les glissements, dans le cas normal (stable à long terme durant le service), le coefficient de sécurité doit être Fs ≥ 1.50 ; dans le cas anormal (sous l'effet sismique), on demande un

  coefficient de sécurité Fs ≥ 1.30.

II.3.2 : Caractéristique géométrique du talus :

Tableau II.1: Couche de sols.

	Nom	γ	φ	c	Δc
1	Remblai	19.00	10.00	15.00	0.00
2	Aluvillon	22.00	15.00	30.00	0.00
3	Marne grise	20.00	20.00	70.00	0.00
4	Gabion	24.00	36.00	100.00	0.00

II.3.3 - Vérification de la stabilité avant confortement :

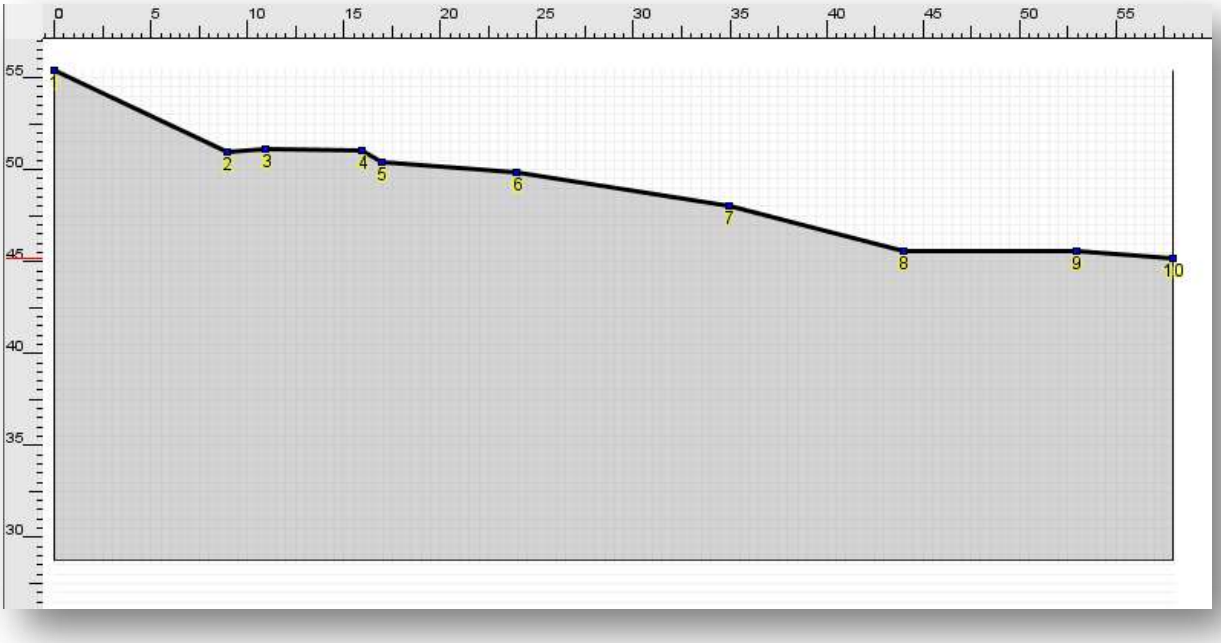


***Figure II.10**.La géométrie du modèle.*

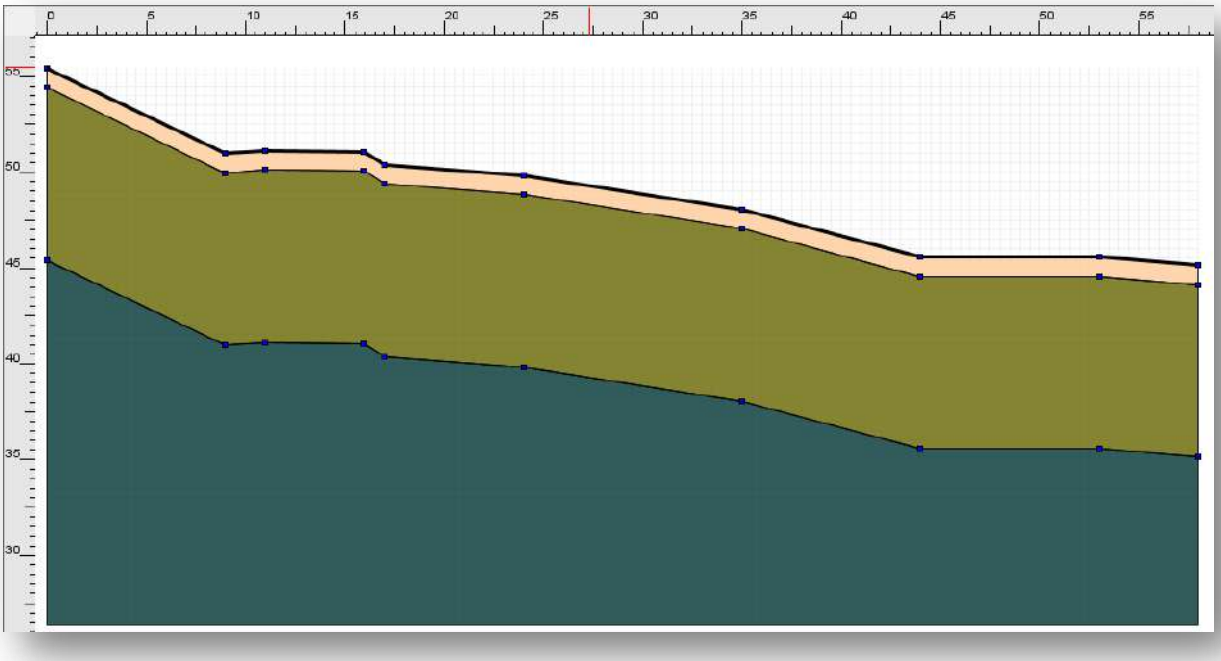


Figure II.11 *: La géométrie représente les couches du terrain.*

II.3.4.Présentation des résultats de calcul :

- **Calcul avec la méthode de Bishop :**

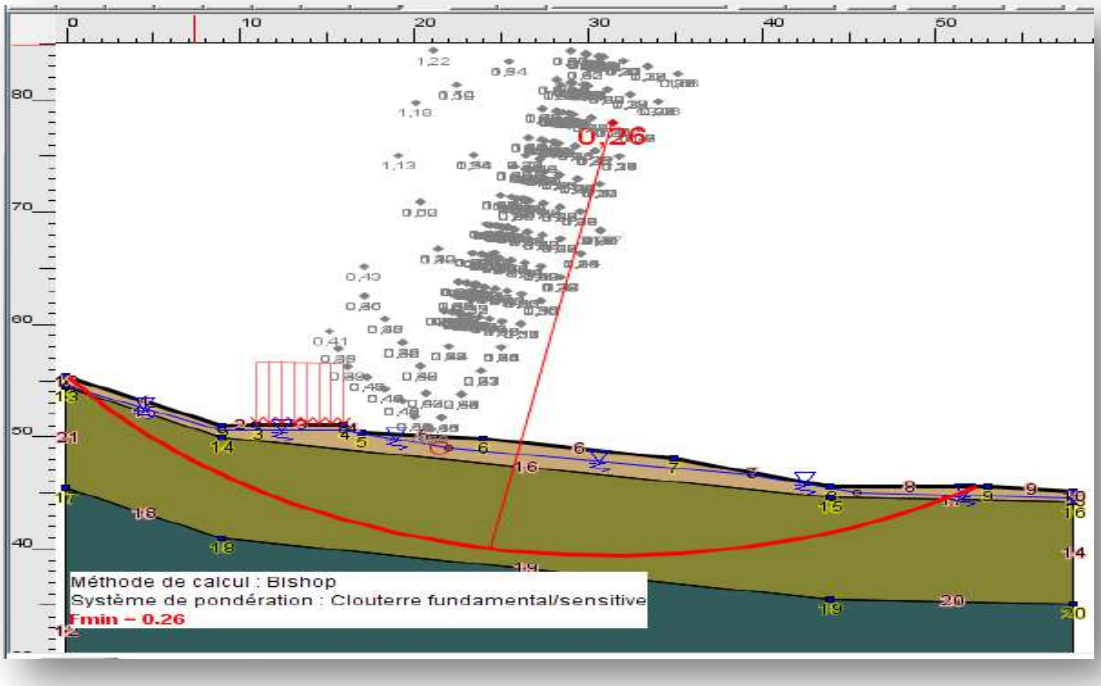


Figure II.12 : *Le résultat Avec la méthode de Bishop (avec séisme).*

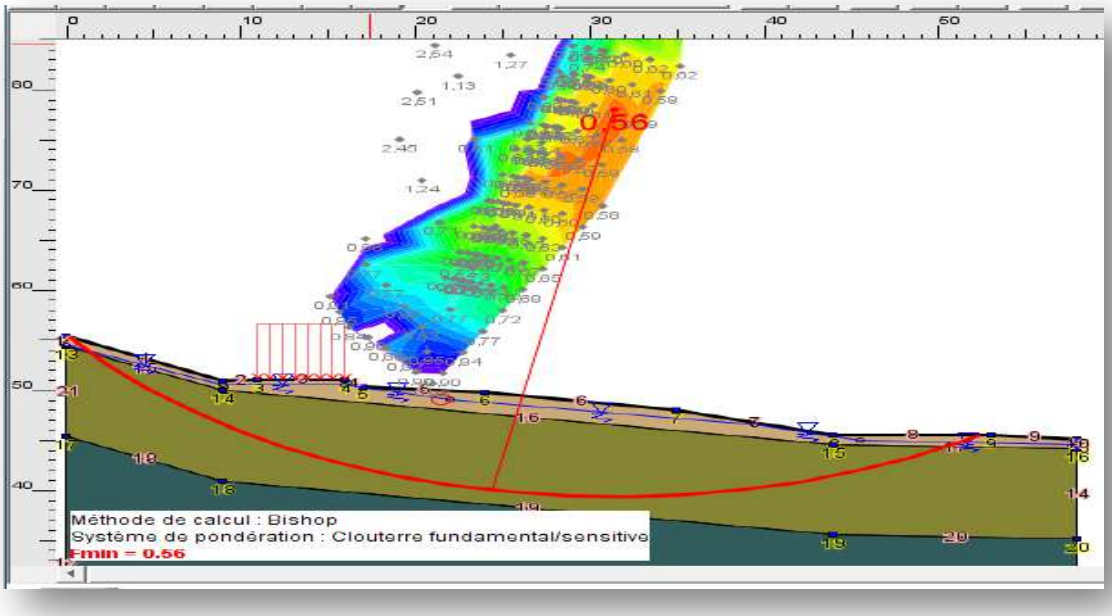


Figure II.13 : *Le résultat Avec la méthode de Bishop (sans séisme).*

II.3.5.Interprétation de résultat :

Le coefficient de sécurité (Fs) du talus avant confortement, calculé avec la méthode de bishop (prise en compte de la nappe phréatique), est de :

- Méthode de Bishop (avec séisme) = 0.26
- Méthode de Bishop (sans séisme) = 0.56

Dans cette cas on remarque que le coefficient de sécurité est inférieur à 1, ce qui montre que le talus est instable. Par conséquent, nous allons proposer une solution de confortement pour stabiliser ce talus et résoudre le problème du glissement rencontré.

II.4.Vérification de la stabilité après le confortement :

II.4.1. Définition du confortement choisi :

Pour remédier à ce problème, il a été étudié un système de renforcement, qui consiste en la mise en œuvre d'une mur en Gabion avec un hauteur h = 4m et longueur L = 4m

II.4.2. Présentation des résultats de calcul :

- **Géométrie du modèle :**

Le décapage du corps de glissement sera fait après l'exécution de mur en gabion .

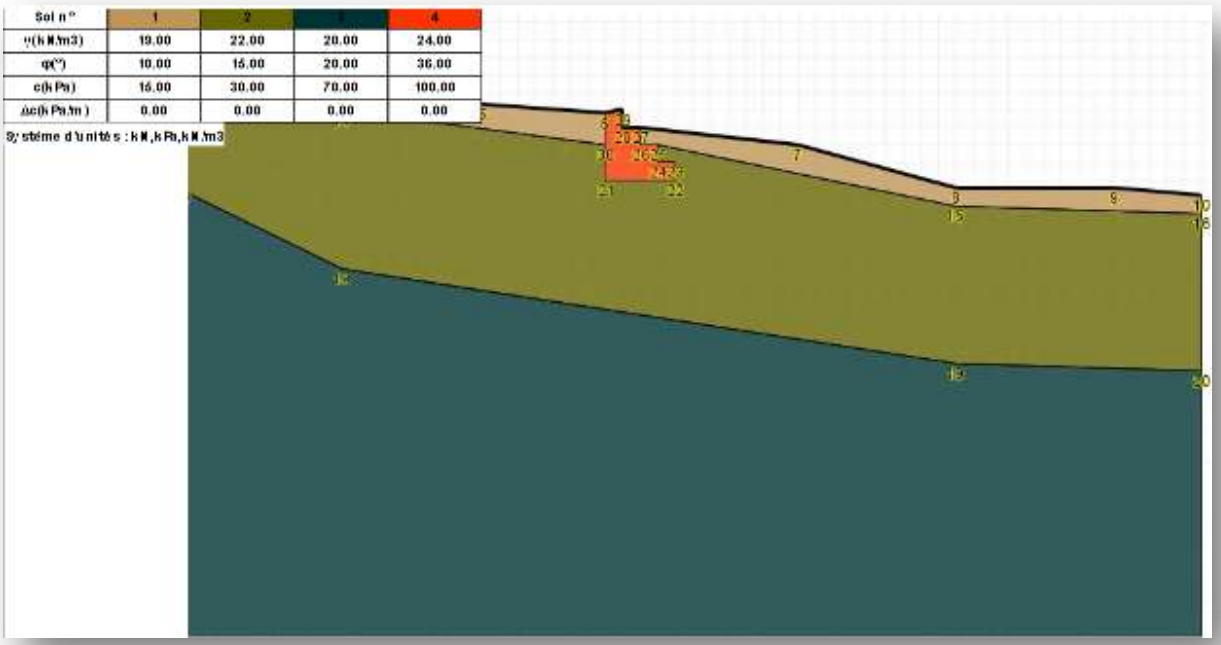


Figure II.14: Modélisation d'un système de confortement

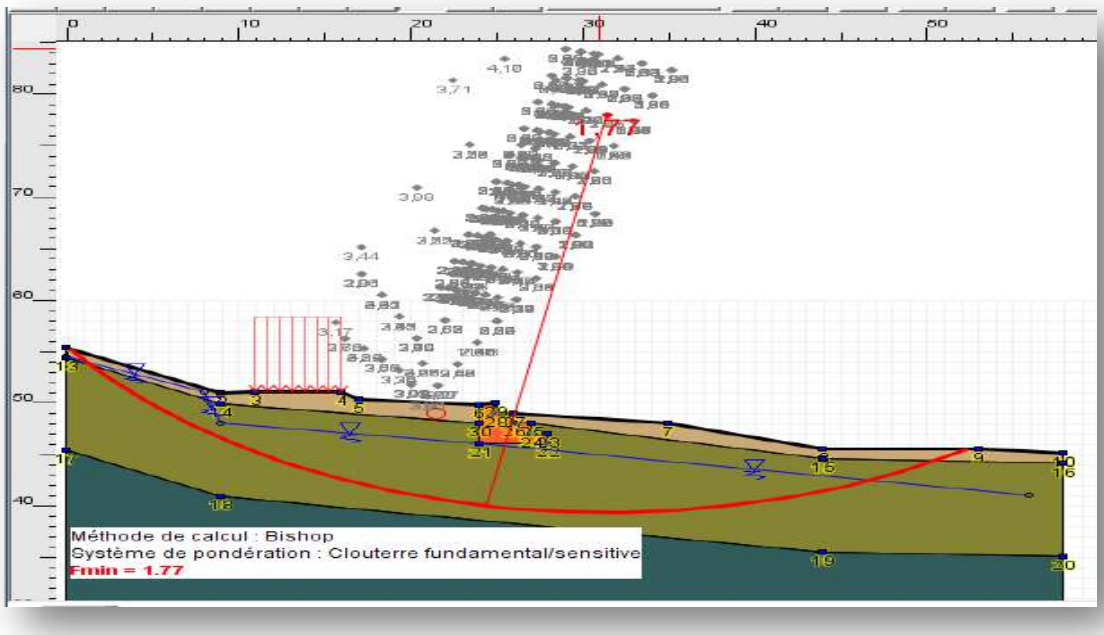


Figure II.15: *Coefficient de sécurité après confortement (sans séisme)*

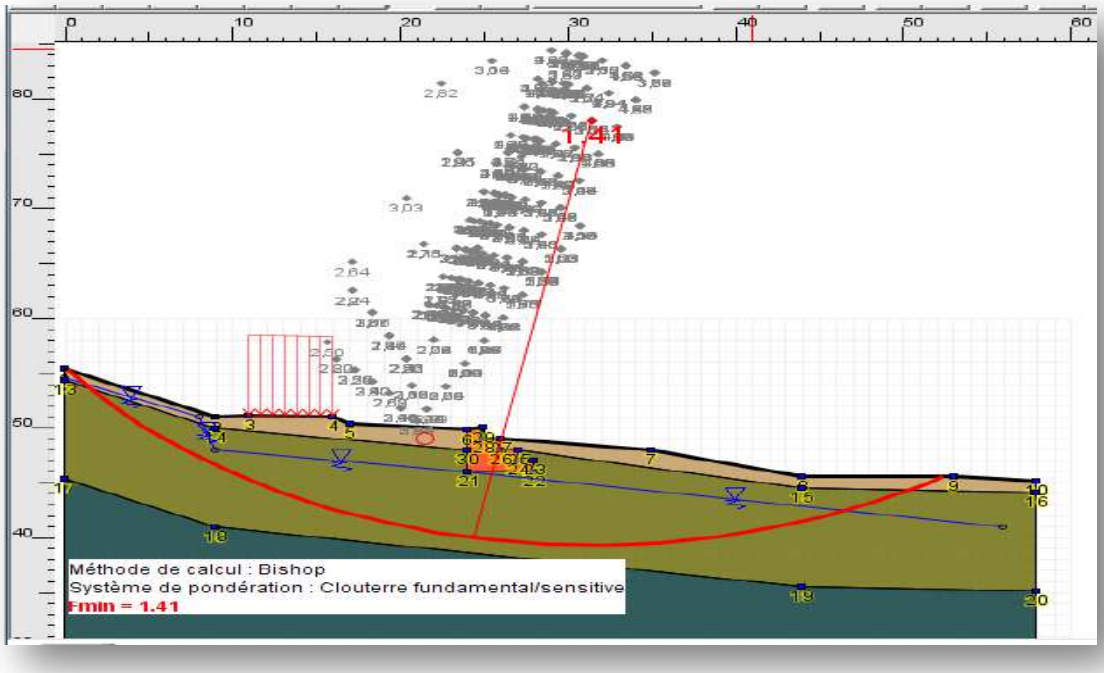


Figure II.16: Coefficient de sécurité après confortement (Avec séisme)

II.4.3.Interprétation des résultats des calculs :

Les résultats de calcul sont très satisfaisants et montrent une stabilité du talus, du fait que les coefficients de sécurités calculés après la mise en place de mur en gabion, atteint de valeur raisonnable et devient plus stable tel que ; Fb = 1.71(sans séisme) et Fb = 1.41(avec séisme) Cette petite variation au niveau de la valeur de coefficient de sécurité implique que le choix de méthode de calcul n'est pas important pour cette modélisation, mais tout ça confirme qu'on a toujours sur la marge de sécurité.

II.4 - CONCLUSION :

Les résultats de calculs montrent clairement que la solution de confortement proposée pour le glissement situé à la route RN n°24/ PK 113+500, Dellys wilaya de BOUMERDES, donne un gain de sécurité appréciable.

Conclusion Générale

L'étude présentée dans ce mémoire avait pour finalité d'étudier la stabilité d'un glissement de terrain au niveau de la wilaya de BOUMERDES sur la RN 24.

En ce qui concerne la méthodologie, on a analysé le mouvement du terrain, afin de localiser les surfaces de rupture potentielles. Cette analyse est menée à l'aide d'un calcul par le logiciel « TALREN 4 ». Elle a permis de localiser la surface du glissement critique qui s'étend de l'accotement de la route jusqu'au pied du talus sur une profondeur de 7 m.

L'ensemble des observations et analyses effectuées sur site de glissement confirment que ce mouvement est dû à une diminution des caractéristiques mécaniques du sol en place.

A partir de cette analyse, une mode de stabilisation a été étudiée et chaque ouvrage de confortement est associé à un coefficient de sécurité qui témoigne de son degré d'efficacité.

Donc , nous avons proposés un système de renforcement par mur en gabion.

Enfin, on peut dire que lors de l'étude de la stabilité d'un glissement, ce qui compte, c'est la cause du glissement afin de pouvoir lutter efficacement contre elle. Mais il est important de connaitre la géologie du site, le comportement du sol, les variations des niveaux des eaux, ainsi que la surface de rupture pour pouvoir orienter les idées et proposer des hypothèses et des modèles de calcul adéquats.

Références Bibliographie

[1] : wikipedia. [En ligne] Février 2017. https://fr.wikipedia.org

[2] :COLAS G. & PILOT G. (1976). Description et classification des glissements de terrain.Bull. Liaison Labo. Ponts et Chaussées, «Sp. «Stabilité des talus», p .21-30., Paris.

[3] :M.Ali [2017]. «Analyse et modélisation d'un glissement de terrain CW 138 PK17+350 », mémoire de master, l'université Dr Yahia Fares de Médéa.

[4] :M.Mouna[2016]. « ANALYSE D'UN GLISSEMENT DE TERRAIN SUR LA RN AU(PK82+700) », mémoire de master, l'université Dr Yahia Fares de Médéa.

[5] : Bouafia. A (2011) conception et calcul des ouvrages géotechniques, édition pages bleus Alger.

[6]:Aissa Mohamed Hamza, « Analyse et Modélisation D'un Glissement Terrain », Mémoire,Centre Universitaire Khemis Miliana, Médéa, [en ligne].Disponible: http:// www. Mémoire online.com/02/13/6911/m_Analyse-et-modelisation-d-un-glissement-de-terrain-Cas-de-Sidi-Youcef-Beni-Messous-Alger-5.html. [Consulté le 10 février 2017].

[7] : Bendjeddou Azzeddine, « Etude des glissements routiers Au Nord Est de l'Algérie », Faculté des Sciences et de la technologie, mémoire Magister en : Génie Civil, [En ligne]. Disponible : http:// thesis.univ-biskra.dz /2202/1/genie_civil_m3_2015.pdf. [Consulté le 29 février 2017].

[8] Achour Cheurfi, Dictionnaire des localités algériennes : villes, villages, hameaux, ksars et douars, mechtas et lieux-dits, Casbah-Editions, impr. 2011, ©2011 (ISBN 978-9961-64-336-5 et 9961-64-336-4, OCLC 947843177, lire en ligne [archive]), p. 386-389.

[9] : « Climat Dellys: Température de l'eau à, Température moyenne Dellys, Pluviométrie, diagramme ombrothermique pour Dellys - Climate-Data.org » [archive], sur *fr.climate-data.org* (consulté le 23 mars 2021).

[10] : Notices gratuites de fichiers PDF TALREN 4, Logiciel TALREN 4 Terrasol, [En ligne], Disponible: http:// www. Notices-gratuites. com/aa159a708facef187 af123d849 e90bf3/pdf_talren%204.html[consulté le 13 avril 2017].

[11] : Notices gratuites de fichiers PDF TALREN 4, « LOGICIEL TALREN 4 – V1.x B. Manuelle d'utilisation, [En ligne], Disponible : http://www.notices gratuites.com/ aa159a 708 facef187af123d849e90bf3/pdf_talren%204.html, [Consulté le 13 avril 2017]

[12] : rapport géotechnique