

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

*Ministère de L'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou*



**Faculté du génie de la construction
Département de génie civil**

Laboratoire Géo matériaux Environnement et Aménagement
(LGEA)

MÉMOIRE DE MASTER
Option : géotechnique et environnement

Thème :

***Calcul de stabilité des glissements de
terrain d'Azazga***

Présenté par :

Melle Hadjaz Djamilia

Encadré par :

Mr Melbouci Bachir

Master 2 : Promotion 2011-2012

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

*Ministère de L'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou*



**Faculté du génie de la construction
Département de génie civil**

Laboratoire Géo matériaux Environnement et Aménagement
(LGEA)

MÉMOIRE DE MASTER
Option : géotechnique et environnement

Thème :

***Calcul de stabilité des glissements de
terrain d'Azazga***

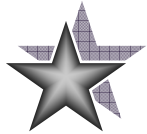
Présenté par :

Melle Hadjaz Djamilia

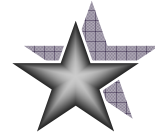
Encadré par :

Mr Melbouci Bachir

Master 2 : Promotion 2011-2012



Dédicaces



Je dédie ce modeste travail

A toute la famille, mon père, ma mère, mes frères et mes sœurs ;

A tout les amis et proches et

à toute personne ayant contribué à la finalisation de ce travail.

Djamila

Résumé

Azazga est une zone sérieusement concernée par le phénomène du glissement. La réactivation du phénomène ces dernières années a provoqué des dégâts matériels considérables sur les infrastructures et les habitations. Nous pourrions, de ce fait, émettre l'hypothèse que les Maitres d'ouvrages n'auraient pas accordé l'importance voulue à l'ampleur de ce phénomène lors de la réalisation de ces ouvrages.

Le modeste travail que nous présentons tente de circonscrire les causes de ces glissements et qui sont principalement liées à la nature géologique, géomorphologique et hydrologique de la zone.

Pour mieux saisir ce phénomène, nous avons pris un cas pratique de calcul de stabilité (POS A1 et A5) que nous avons mené d'abord manuellement et qui nous a permis de conclure à l'existence d'un glissement **plan**. Ensuite nous avons procédé au calcul de l'instabilité à l'aide du logiciel TALREN4 en considérant que le glissement est **circulaire**.

En définitive, un calcul de stabilité a été mené avec et sans confortement. Les colonnes ballastées comme moyen de confortement ont été testées et nous sommes parvenus à un coefficient de sécurité supérieur à 1,5, ce qui nous donne la certitude que le confortement est atteint.

SOMMAIRE

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

Chapitre I : Principaux mouvements des terrains

I. Introduction	4
I.1. Les mouvements de terrain.....	5
1. Caractérisation des mouvements de terrain.....	5
I.2. Les glissements	5
1. Les facteurs déclencheurs.....	6
2. Classification des glissements selon la forme	6
3. L'évolution des glissements de terrain.....	8
4. Vitesse moyenne de mouvement des glissements.....	9
5. Classification des glissements selon la vitesse.....	9
6. Classification des glissements selon la profondeur	9
7. Phases des glissements.....	10
I.3. Les écroulements et les éboulements.....	11
1. Chutes de pierres et de blocs.....	11
2. Eboulement.....	12
3. Ecroulement.....	13
I. 4. Coulées boueuses et glissements coulés.....	14
I. 5. Le fluage.....	15
I. 6. Synthèse.....	16
I. 7. Forme de la surface de rupture.....	17
I. 8. Pentes naturelles et talus artificiels.....	17
I. 9. Facteurs qui affectent la stabilité des talus.....	19
1. Les facteurs géométriques	19
2. Les facteurs géologiques.	19
3. Les facteurs climatiques	19
I.10. Méthodes de calcul de stabilité.....	20

1. Définition du Coefficient de sécurité.....	20
2. Méthodes de calcul de la stabilité	21
I.11. Conclusion.....	22

Chapitre II : Les méthodes de confortement

II. Introduction.....	24
II.1. Choix de la méthode	25
II.2. Terrassements.....	26
1. Remblai de pied.....	26
2. Allègement en tête.....	27
3. Reprofilage.....	27
4. Purge.....	28
5. Substitution totale ou partielle.....	29
II.3. Dispositifs de drainage.....	30
1. Collecte et canalisation des eaux de surface.....	30
2. Tranchées drainantes.....	31
3. Drains subhorizontaux.....	32
4. Masques et éperons drainants.....	33
5. Drains verticaux.....	34
6. Les galeries drainantes.....	34
II.4. Eléments résistants.....	35
1. Ouvrages de soutènement.....	35
2. Tirants d'ancrages.....	36
3. Le clouage.....	37
4. Cas des remblais sur sols mous.....	38
II.5 Les colonnes ballastées.....	39
1. Définition des colonnes ballastées.....	39
2. Aspect géotechnique.....	39
3. Domaines d'application Modes de mise en-œuvre.....	39
4. Modes de mise en-œuvre.....	40

Chapitre III : Les causes du glissement de terrain d'Azazga

III. Introduction.....	44
III.1 Histoire des glissements d'Azazga.....	45
III.2 Présentation du glissement qui affecte la ville d'Azazga.....	46
1. Etendue de la zone géotechnique défavorable.....	46
2. Mécanismes des glissements.....	46
III.3 Conditions majeurs à la formation du glissement de terrain d'Azazga.....	47
1. Le cadre géologique.....	47
2. Cadre géomorphologique.....	50
3. Cadre climatique et hydrologique	53
4. Sismicité.....	61
5. Appréciations géotechniques.....	63
III.4. Les causes probables du glissement d'Azazga	64
III.5 Conclusion.....	65

Chapitre IV : Le calcul de la stabilité au glissement avec TALREN

I.V. Introduction.....	67
IV.1. Facteurs de sécurité.....	68
IV.2. L'objectif du calcul de la stabilité.....	68
IV.3. La méthode par tranches.....	68
1. La mise en équation.....	68
2. Présentation de la méthode de BISHOP (1955).....	69
IV.4. Cas pratique.....	71
1. Présentation des POS.....	71
IV.5. Etude de la stabilité des POS.....	71
<i>a) Le glissement est plan.....</i>	71
<i>b) Le glissement est circulaire</i>	73
1. L'importance d'utilisation des programmes de calcul.....	76
2. Présentation de <i>TALREN4</i>	76

IV.6. Résultats de calcul pour la méthode de BISHOP avec <i>TALREN4</i>.....	81
1. Calcul de coefficient de sécurité (sans renforcement).....	81
2. Calcul de coefficient de sécurité avec renforcements	83
3. Calcul de coefficient de sécurité avec renforcements et système de drainage.....	85
IV.7 Conclusion.....	87
Conclusion générale	89
Bibliographie	
Annexe.	

Nomenclature

Majuscules Latines

E : Module d'Young.

F_S : Facteur de sécurité.

F : Force.

G : module de cisaillement du matériau

H : Effort horizontal sur le coté d'un bloc de sol

N : Réaction normale.

N_n : Réaction normale d'une tranche n.

R : Rayon du cercle de glissement.

R'' : La Somme des forces stabilisantes.

R_i : La résistance au cisaillement

S : Surface de chargement.

T : Réaction tangentielle.

T'' : La Somme des forces motrices.

T_n : Réaction tangentielle d'une tranche n.

T_i : Pressions (forces surfaciques).

U : Effort de la pression d'eau.

U_L : Effort de la pression d'eau latérale.

V : Effort vertical sur le coté d'un bloc de sol.

V_m : Volume de masse de sol.

W : Poids d'un bloc de sol.

X_i : Forces massiques (volumiques).

Minuscules latines

c : Cohésion.

c' : Cohésion effective.

c_i : Cohésion d'une couche i du sol.

c_{uu} : cohésion non consolidée, non drainée.

q : Force normale.

b_i : la largeur d'une tranche

Caractères grecques

γ : poids volumique.

γ_h : poids volumique humide.

γ_d : poids volumique sec.

φ' : Angle de frottement interne.

φ : Angle de frottement effective.

φ_i : Angle de frottement d'une couche i de sol.

α_i : l'angle d'inclinaison par rapport à l'horizontale de la tranche.

v_i : Champ de vitesse cinématique admissible.

β : inclinaison de la pente.

σ : contrainte normale.

τ : contrainte tangentielle.

Abréviation :

L'OMN : L'office national de la météorologie.

POS : Plan d'occupation des sols.

LCTP : Laboratoire central des travaux public.

CGS : Carte géo-sismique

LISTE DES FIGURES

Chapitre I

<i>Figure I.1.</i> Principaux éléments de description d'un glissement de terrain	5
<i>Figure I.2.</i> Un glissement	6
<i>Figure I.3.</i> Le glissement rotationnel	7
<i>Figure I.4.</i> Le glissement plan	7
<i>Figure I.5.</i> Glissement rotationnel complexe	8
<i>Figure I.6.</i> Chutes de pierres et de blocs	11
<i>Figure I.7.</i> Un Eboulement	12
<i>Figure I.8.</i> Liaison entre les éboulements et les chutes de blocs	12
<i>Figure I.9.</i> Un écroulement.	13
<i>Figure I.10.</i> Une coulée boueuse.....	14
<i>Figure I.11.</i> Le phénomène de fluage.	15
<i>Figure I.12:</i> Relations temps/mouvement de plusieurs types de glissements de terrain.....	17
<i>Figure I.13.</i> Rupture d'une pente naturelle.	18
<i>Figure I.14.</i> Rupture d'un talus artificiel	18
<i>Figure I.15.</i> Rupture d'un barrage en terre	19

Chapitre II

<i>Figure II.1. :</i> Phase terrassement pour stabilisation d'une pente.....	26
<i>Figure II.2 :</i> Remblai en pied.....	27
<i>Figure II.3 :</i> Allègement en tête.	27
<i>Figure II.4:</i> Adoucissement de la pente et Reprofilage	28
<i>Figure II.5 :</i> Schéma de purge.	28
<i>Figure II.6 :</i> Substitution totale des matériaux glissés a l'endroit de la tête sud du tunnel de Marnay.....	29
<i>Figure II.7 :</i> Substitution partielle	29
<i>Figure II.8 :</i> Dispositif de drainage superficiel	31
<i>Figure II.9 :</i> Tranchée drainante.	32
<i>Figure II.10 :</i> Drains subhorizontaux ; Drainage du glissement de Châtel Guyon (France)	32

Figure II.11 : Drains subhorizontaux; Stabilisation de la RD 56 à Muret (France)	33
Figure II.12 : Eperon drainant	33
Figure II.13 : Masque drainant	33
Figure II.14 : Types d'éperons drainants	34
Figure II.15 : Installation des drains verticaux	34
Figure II.16 : Chantier de réalisation des drains verticaux	34
Figure II.17 : Schéma des galeries drainantes.	35
Figure II.18 : Renforcement par tirants (voile ancré, poutres ancrées)	37
Figure II.19 : Phases d'exécution d'un mur en sol cloué.	38
Figure II.20 : types de sols à améliorer par colonnes ballastées	40
Figure II.21 : Colonnes ballastées réalisées par voie sèche.....	41
Figure II.22 : Etapes de réalisation d'une colonne ballastée par voie humide	41
Figure II.23 : Schéma de l'exécution d'une colonne pilonnée.	42

Chapitre III

Figure III.1 : Les différentes formations géologiques d'Azazga	49
Figure III.2 : Carte des pentes d'une partie de la ville d'Azazga	50
Figure III.3 : Histogramme de la période (1920-38)	54
Figure III.4 : Histogramme de la période (1989-92).....	55
Figure III.5 : Histogramme de la période (1992-93).....	56
Figure III.6 : Histogramme des précipitations annuelles.	57
Figure III.7 : diagramme de variation mensuelle de la température (1988-1997)	58
Figure III.8 : Diagramme des précipitations moyennes mensuelles	59
Figure III.9 : Histogramme précipitations moyennes annuelles	60
Figure III.10 : Carte de zonage sismique du territoire national – rpa99/ après addenda	62

Chapitre IV

Figure VI.1 : Les efforts exerçant sur une tranche.	69
Figure VI.2 : Equilibre d'une tranche de sol	70
Figure VI.3 : Une tranche de la coupe géologique des POS.....	72
Figure VI.4 : Le sens des coupes effectuées sur le MAPINFO	74
Figure VI.5 : Coupe géologique réalisée à partir des sondages (SC09, SC03, SC01).....	74
Figure VI.6 : Coupe géologique réalisée à partir des sondages (SC03, SC02).	75
Figure VI.7 : Identification des zones à l'écran (en mode phasage/calcul).....	77

Figure VI.8: Le menu, les barres de boutons et le navigateur	77
Figure VI.9: Exemple de principaux types de données.	78
Figure VI.10: La barre de boutons principale	78
Figure VI.11: la barre de boutons contextuelle "Données".	78
Figure VI.12: La barre de boutons contextuelle "Phasage/Calcul"	79
Figure VI.13: navigateur des phases et situations.	80
Figure VI.14: Caractéristiques du sol pour le 1 ^{er} profil avant renforcement	82
Figure VI.15: représentation de la ligne de rupture par la méthode de Bishop pour le 1 ^{er} profil	82
Figure VI.16: Caractéristiques du sol pour le 1 ^{er} profil avec le renforcement	83
Figure VI.17: Représentation de la ligne de rupture par la méthode de Bishop pour le 1 ^{er} profil après renforcement	84
Figure VI.18: Caractéristiques du sol pour le 1 ^{er} profil avec le renforcement et un système de drainage	85
Figure VI.19: Représentation de la ligne de rupture par la méthode de Bishop pour le 1 ^{er} profil avec renforcement et un système de drainage	85

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre I

Tableau I.1. Classification selon l'activité en fonction de l'évaluation de la vitesse moyenne de glissement à long terme	9
Tableau I.2. Classification selon la profondeur de la surface de glissement (En m sous la surface du sol)	10
Tableau I.3. Classification selon la taille des composants, les volumes et les vitesses.	13
Tableau I.4 : Eléments caractérisant les différentes familles de mouvements	16
Tableau I.5 : F_s en fonction de l'importance de l'ouvrage.	21

Chapitre II

Tableau II.1. : Présentation des différentes techniques de stabilisation des glissements de terrains.....	25
Tableau II.2 : Classification des ouvrages de soutènement d'après le mode de reprise de la poussée	36

Chapitre III

Tableau III.1 : Températures moyennes mensuelles 1920-38.....	54
Tableau III.2 : Températures moyennes mensuelles 1989-92	55
Tableau III.3 : Températures moyennes mensuelles 1992-93	56
Tableau III.4 : Températures moyennes annuelles	57
Tableau III.5 : Variation mensuelle de la température (1988-1997)	58
Tableau III.6 : Précipitations moyennes mensuelles	59
Tableau III.7 : Précipitations moyennes annuelles.	60
Tableau III.8 : Zoning sismique de l'Algérie (CGS.2003).....	62
Tableau III.9 : Les caractéristiques physico-mécaniques des formations	63

Chapitre IV

Tableau VI.1: Les données sur le site des pos fournies par le LCTP.....	72
Tableau VI.2: Profil géotechnique de calcul pour les deux coupes.	75
Tableau VI.3: Résultat de calcul du profil 1 avec la méthode de Bishop	82

Tableau VI.4: Résumé du résultat avant renforcement	83
Tableau VI.5: Résultat de calcul du profil 1 avec la méthode de Bishop avec renforcement.....	84
Tableau VI.6: Résumé du résultat avec renforcement	84
Tableau VI.7: Résultat de calcul du profil 1 avec la méthode de Bishop avec renforcement et système de drainage	86
Tableau VI.8: Résumé du résultat avec renforcement et avec un système de drainage.....	86

Introduction générale

Introduction générale

Les mouvements de terrains tout comme les autres phénomènes géologiques sont spécifique à certaines régions de notre pays. Leurs effets sont parfois dévastateurs et doivent être appréhendés sérieusement.

Ils se manifestent par des déplacements d'une masse de terre cohérente le long d'une surface de rupture. Les volumes de sol mis en jeu sont très variables, ils dépendent de la profondeur de la surface de glissement allant de quelques mètres à plusieurs dizaines de mètres. Ainsi, l'extension des glissements de terrain peut varier du simple glissement de talus très localisé, au mouvement de grande ampleur touchant l'ensemble d'un versant.

Dans ce contexte, le présent travail de fin d'études se propose de mieux saisir certains mécanismes impliqués dans l'apparition du phénomène. Le site permettant d'illustrer cette recherche est situé à l'intérieur du périmètre urbain d'Azazga. Il regroupe les plans d'occupation des sols (POS): A1 (21ha) et A5 (31 ha).

Dans cette perspective, nous avons divisé notre mémoire en quatre chapitres :

- Dans le premier chapitre, on a défini globalement les différents types de rupture liés aux mouvements de terrain ainsi que leurs principales causes.
- le deuxième chapitre renferme, d'une manière un peu moins approfondie mais exhaustive, les différentes méthodes de confortement des pentes instables et renforcement des sols.
- Dans le troisième chapitre, nous avons abordé les diverses causes à l'origine des glissements intervenus dans le site précité (Azazga).
- le quatrième chapitre est consacré au calcul du coefficient de sécurité avant et après confortement dans les POS indiqués

Chapitre 1

I. Introduction

Les glissements de terrain sont des phénomènes géomorphologiques présents dans de nombreuses régions du globe. Ils constituent un risque majeur pour les populations, car ils peuvent engendrer des dommages conséquents aux biens et provoquer dans certains cas des catastrophes.

Le territoire constitué de montagnes, soumis à des conditions géographiques et météorologiques difficiles, est particulièrement concerné par ce risque, et fait l'objet d'études scientifiques approfondies. De nombreux paramètres, naturels ou anthropiques, conditionnent l'apparition et le développement des glissements de terrain tels la géologie, la pente, l'hydrogéologie, etc.

L'objectif de ce chapitre est de définir en premier lieu les différents types de mouvement de terrain selon leur vitesse et selon la morphologie de leur surface de rupture, d'envisager en second lieu les principales causes qui peuvent mobiliser ces glissements.

I.1 Les mouvements de terrain

Ce sont les effets de la gravité sur le matériau terrestre, associée à des événements déclencheurs: séismes, fortes précipitations, excavations naturelles ou artificielles, etc.

1. Caractérisation des mouvements de terrain

L'évolution dans le temps d'un glissement de terrain peut conduire à distinguer 4 familles qui se différencient par la brutalité du phénomène :

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

I.2 Les glissements

Le glissement est défini comme un déplacement d'une masse de terrain meuble ou rocheux le long d'une surface de rupture par cisaillement qui correspond souvent à une discontinuité préexistante. Il peut provoquer des dommages importants aux ouvrages et aux constructions.

Les principaux éléments morphologiques d'un glissement sont représentés sur *(Figure I.1)*

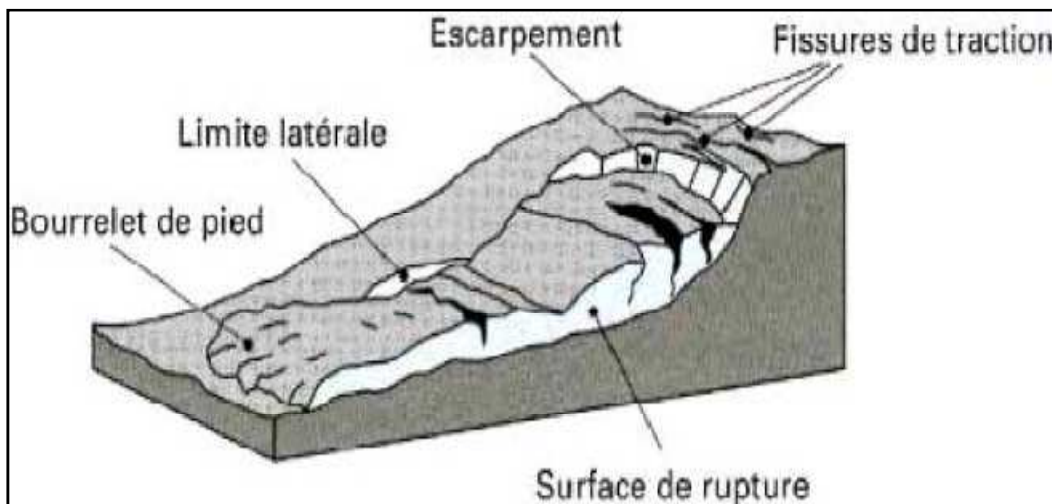


Figure I.1. Principaux éléments de description d'un glissement de terrain [10]



Figure I.2 : Un glissement

1. Les facteurs déclencheurs sont généralement

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

2. Classification des glissements selon la forme

La forme de la surface de rupture a permis de définir trois grandes catégories de glissement :

- Glissement rotationnel simple
- Glissement plan ;
- Glissement rotationnel complexe

a. Les glissements de type rotationnel

Ces glissements sont en général de volume limité. Ils se produisent principalement dans des terrains meubles homogènes surtout argileux et silteux. Dans une coupe verticale, la surface de glissement est **circulaire**. En règle générale, le mécanisme du glissement ne provoque qu'un faible remaniement interne du matériel glissé.

Des dépressions avec des fissures de traction sont souvent visibles dans la moitié supérieure du glissement, alors que la masse glissée tend à s'étaler et à se désagréger au front du glissement, où peuvent se former des écoulements de boue (coulées de terre) en cas de saturation en eau de la masse.

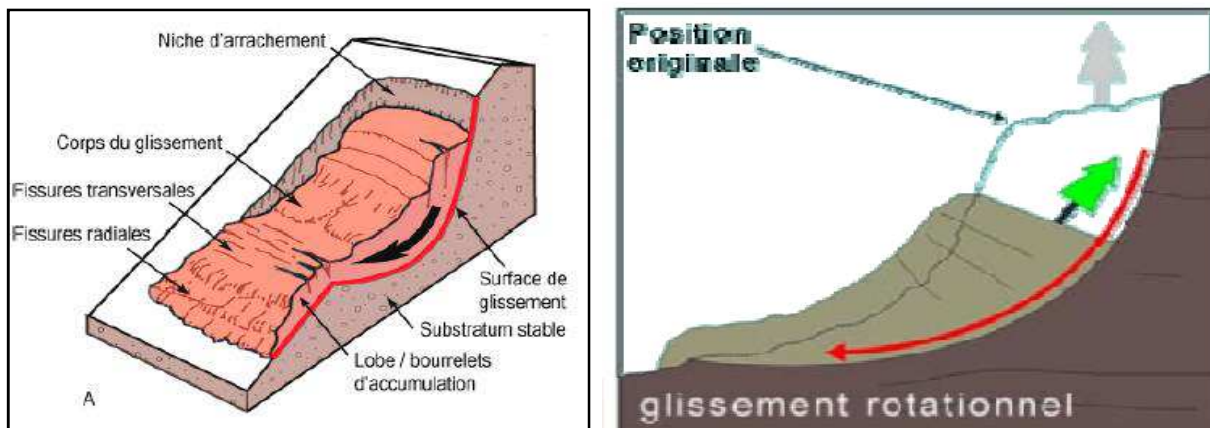


Figure I.3 : Le glissement rotationnel.

b. Les glissements translationnels :

Lors de glissements translationnels, les couches de terrain ou les ensembles de couches stratifiées glissent sur une zone de faiblesse existante (pendage stratigraphique, discontinuité stratigraphique, schistosité, plan de fissure ou de rupture). En plan, la taille de tels glissements est très variable et peut comprendre des surfaces allant de quelques mètres carrés à plusieurs kilomètres carrés.

L'épaisseur des masses en mouvement atteint fréquemment plusieurs dizaines de mètres.

Les schistes marno-calcaires ou les schistes métamorphiques sont les formations les plus sujettes à ce genre de glissement.

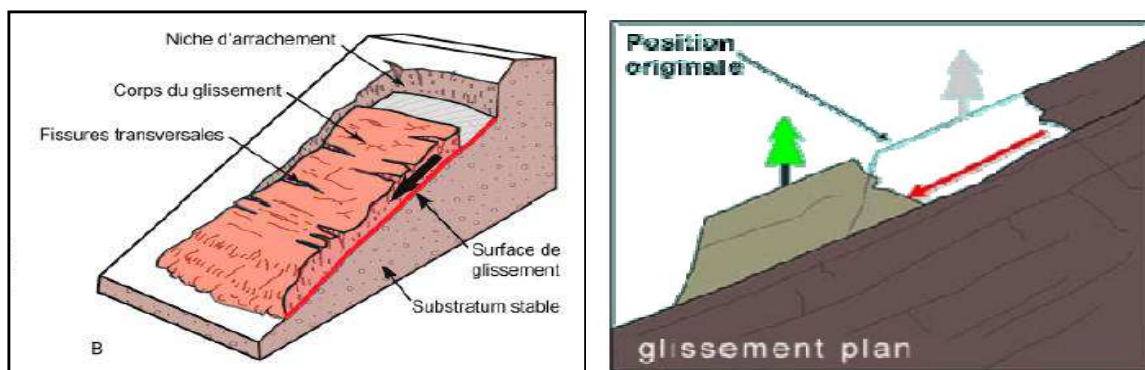


Figure I.4: Le glissement plan

En considérant la longueur du glissement **L** et son épaisseur **D**, Hutchinson et Skempton (1969) sont parvenus à définir un critère pour différencier les deux types de glissements :

- Si $D/L < 0.15$, le glissement de translation prédomine.
- Si $0.15 < D/L < 0.35$ on considère que la rupture à lieu par rotation.

c. *Glissement rotationnel complexe*

Il s'agit de glissements multiples « emboîtés » les uns dans les autres. L'apparition du premier glissement, en bas de la pente, conduit à une perte de butée pour les terres situées au-dessus, et ainsi provoque des glissements successifs remontant vers l'amont.

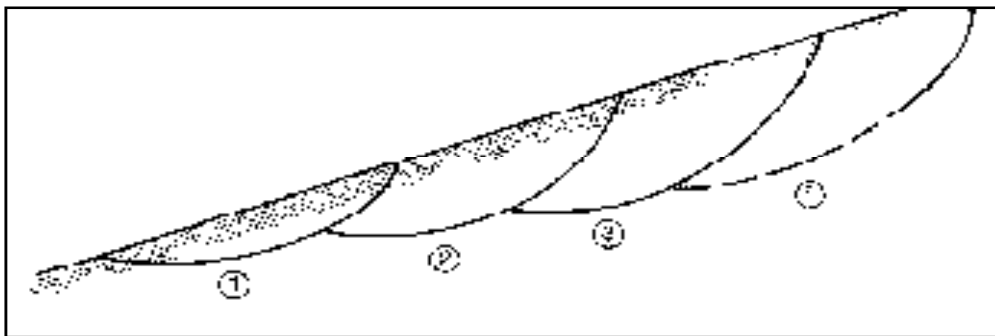


Figure 1.5: Glissement rotationnel complexe. [17]

3. L'évolution des glissements de terrain dans le temps suit généralement les quatre phases suivantes :

La phrase 1 : correspond à des mouvements à vitesse pratiquement constante, en général faible (quelques mm/an à quelques cm/an) qui peuvent durer très longtemps (10 à 50 ans). C'est le cas observé pour de nombreuses pentes proches de la limite de stabilité et où des mesures précises montrent qu'il existe en fait de tels mouvements. Ces mouvements se traduisent par des désordres sur les ouvrages ou les habitations, mais tant que le comportement reste identique il n'y a pas danger imminent de catastrophe.

La phrase 2 : pourrait être considérée comme une variante de la phase 1. Lorsque les mouvements ont globalement une vitesse constante, mais avec les variations du niveau d'eau dans le terrain. On peut dire que ce type de mouvement est vraisemblablement le plus commun. Les vitesses moyennes sont très variables (de 1 cm à 50 cm/an). Cette phase peut durer des siècles

La phrase 3 : est une phase d'accélération continue menant à la rupture (grande vitesse), sa durée est limitée (quelques jours à 2 ou 3 mois).

La phrase 4 : est celle des mouvements rapides catastrophiques au cours de laquelle il se produit un réajustement des masses conduisant à un nouvel état d'équilibre, en général plus stable que le précédent. Cependant, on n'est pas à l'abri de reprise de mouvements ultérieurs.

Les étapes décrites ne surviennent pas obligatoirement les unes après les autres. On peut avoir plusieurs cycles successifs dans l'histoire d'un glissement lorsque certaines conditions se modifient dans le temps.

4. Vitesse moyenne de mouvement des glissements

La vitesse moyenne de mouvement des glissements atteint le plus souvent quelques millimètres par an pour un glissement substabilisé, très lent, et quelques centimètres à quelques décimètres par an pour un glissement actif.

Il existe quelques cas exceptionnels où le glissement peut être bien plus rapide et où la masse en mouvement, sans perdre sa compacité, peut atteindre plusieurs décimètres par jour. Exceptionnellement, des mouvements très rapides peuvent se produire.

Tableau I.1: Classification selon l'activité en fonction de l'évaluation de la vitesse moyenne de glissement à long terme. [4]

Glissement	Vitesse de glissement
substabilisé, très lent	0 – 2 cm /an
peu actif, lent	2 – 10 cm /an
actif (ou lent avec phases rapides)	> 10 cm /an

5. Classification des glissements selon la vitesse

a) *Glissement permanent* :

Mouvement régulier vers l'aval sur une longue période. La masse se déplace le long d'une surface de glissement existante.

b) *Glissement de terrain spontané* :

Mouvement relativement rapide vers l'aval de terrain meuble et/ou de roche suite à un déclenchement subit. Contrairement au glissement permanent, le glissement spontané forme toujours une nouvelle surface de glissement ou zone de rupture (coulée de boue par exemple).

6. Classification des glissements selon la profondeur

Les glissements peuvent être classés selon la profondeur estimée de la surface de glissement et selon la vitesse moyenne à long terme des mouvements (comme mesure de leur activité). Lors de l'évaluation du danger potentiel que représente un glissement, on ne doit pas seulement considérer le volume ou la vitesse du glissement.

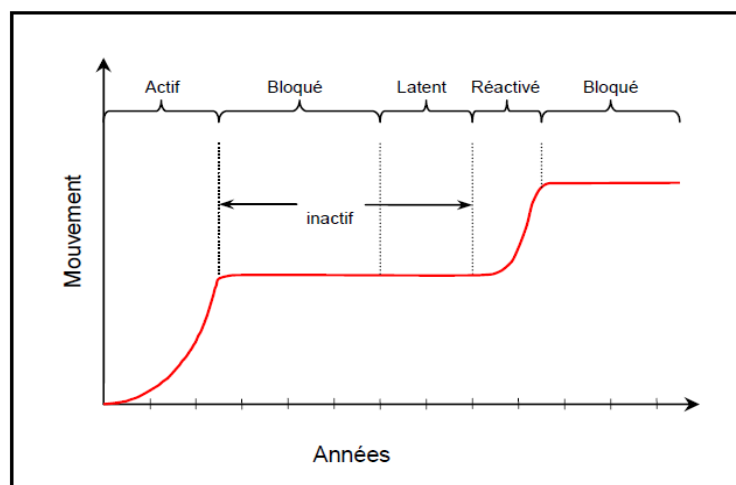
Il faut aussi tenir compte des mouvements différentiels qui se manifestent et qui peuvent conduire au basculement des bâtiments ou à la formation de fissures. Les glissements peuvent aussi se transformer en glissements coulée (coulées de terre) et atteindre des zones très étendues.

Tableau I.2: Classification selon la profondeur de la surface de glissement
(En m sous la surface du sol) [4]

Glissement	Surface de glissement
superficiel	0 – 2m
semi profond	2 – 10m
profond	>10m

7. Phases des glissements

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



Différentes phases de l'activité d'un glissement de terrain [2]

- **Glissements de terrain actifs**

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 toutefois difficilement détectables.

Les glissements actifs comprennent les glissements présentant des vitesses plus ou moins constantes à long terme tout comme les glissements avec phases successives d'accélération.

- **Glissements de terrain réactifs**

Ce mouvement 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.

- **Glissements de terrain inactifs**

Ce mouvement désigne les glissements de terrain restés immobiles pendant plusieurs années, comme les **Glissements stabilisés**, leurs facteurs déclencheurs ont été enrayés grâce à des mesures d'assainissement.

I.3. Les écoulements et les éboulements

Les éboulements au sens large (phénomènes de chute) sont des mouvements rapides de masses. Le matériel éboulé, qui s'est détaché du massif rocheux selon des surfaces de discontinuité (pendage, schistosité, fissures ou fractures), parcourt la plus grande partie de son déplacement dans l'air. Ces phénomènes peuvent être classés en trois catégories: chutes de pierres et de blocs, éboulements et écoulements.

1. Chutes de pierres et de blocs :

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



Figure I.6: Chutes de pierres et de blocs

Les vitesses de chute vont généralement de 5 à 30 m/s, dans les pentes dont l'inclinaison est inférieure à 30° environ, les pierres et les blocs en mouvement tendent en général à s'arrêter. La forêt joue un rôle très important, par le fait que l'énergie cinétique de la plupart des blocs est fortement réduite par leurs chocs contre les arbres. L'estimation du volume des matériaux rocheux qui présente un danger potentiel de chute n'est possible qu'au moyen d'études détaillées de la roche.

2. Eboulement

Lors d'un éboulement, un volume de roche important, se fragmente plus ou moins rapidement, se détache en bloc du massif rocheux et s'éboule. Le volume de matériaux concernés est en général compris entre 100 et 100000 m³ par événement. Dans des cas exceptionnels, des volumes sensiblement plus grands peuvent s'ébouler.

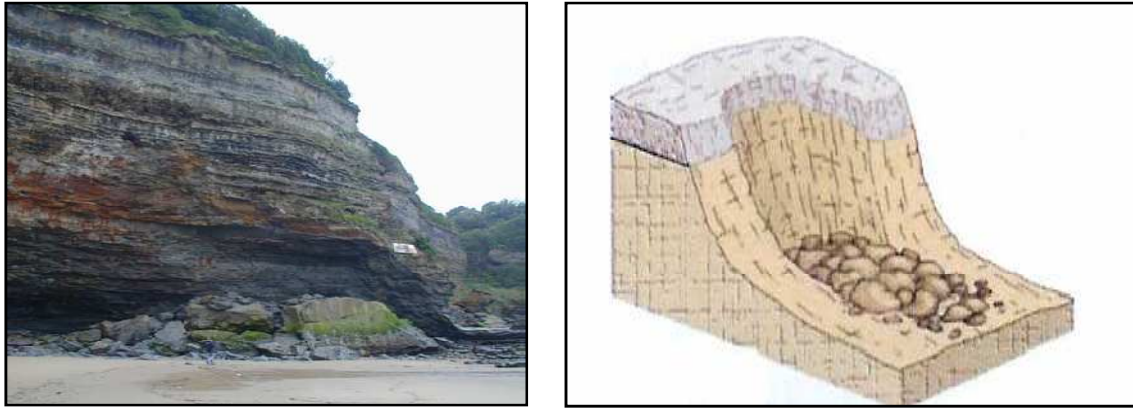


Figure I.7: Un Eboulement

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

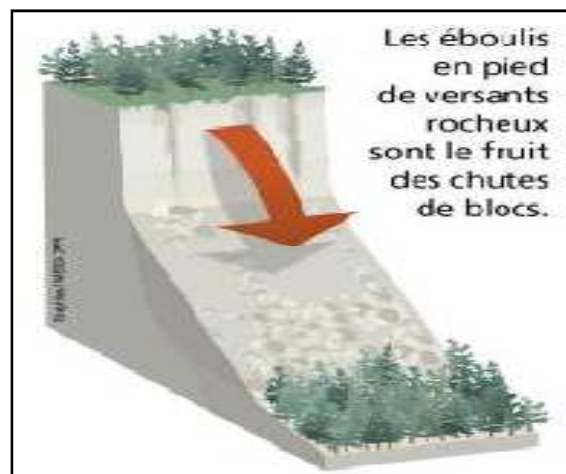


Figure I.8: Liaison entre les éboulements et les chutes de blocs

3. Ecoulement

Lors d'un écoulement, un grand volume du massif rocheux (un à plusieurs millions de m³) se détache soudainement, sans que le mode de rupture correspondant ne soit déterminant. Le mécanisme initial peut par exemple s'expliquer par le développement d'une surface de glissement inclinée.

Le mécanisme de mouvement de l'écoulement est déterminé par la topographie, de même que par l'interaction marquée entre les composants de la masse écoulée et par leur fragmentation intense.

Les caractéristiques particulières de ce phénomène sont des vitesses de chute élevées de plus de 40m/s et de très grandes distances de transport pouvant souvent atteindre plusieurs kilomètres. Compte tenu des grands volumes concernés, les écoulements peuvent modifier le paysage de façon durable. Les énormes masses écoulées forment souvent des barrages naturels dans les vallées de montagne, obstruant les cours d'eau et créant des retenues.

En cas de rupture catastrophique du barrage, elles entraînent un danger d'inondation pour les régions en aval.



Figure I.9 : Un écoulement. [4]

Le tableau ci-dessous résume les principales caractéristiques qui nous permettent de différencier entre ces phénomènes.

Tableau I.3: Classification selon la taille des composants, les volumes et les vitesses. [4]

Chute de pierres	$\varnothing < 50\text{cm}$
Chute de blocs	$\varnothing > 50\text{cm}$
Eboulement Volume Vitesse	100 – 100000m ³ 10 – 40m/s
Écoulement Volume Vitesse	> 1 million .m ³ > 40m/s

I.4. Coulées boueuses et glissements coulés

Les coulées de boue désignent tous les mouvements de sols ou formations superficielles, en relation directe avec le franchissement des limites de liquidité. Les coulées concernent des matériaux meubles généralement saturés, comme les formations argileuses, ou à granulométrie très fine (argilite normalement consolidée à sur-consolidée, marnes, schiste argileux...) fissurées et saturées à plasticité moyenne.

Les coulées boueuses se caractérisent par une déformation et un écoulement de type viscoplastique ou fluide de forte intensité. Elles constituent le type de glissement le plus liquide.

Leurs vitesses d'avancement sont très irrégulières : on observe des arrêts de mouvement ainsi que des reprises brusques. La vitesse semble liée au degré de saturation en eau du sol et plus généralement aux pressions interstitielles. Ces valeurs dépendent en général de la pluviométrie, la coulée se caractérise donc par des mouvements saisonniers. Dans les régions montagneuses, elles sont souvent provoquées par des pluies torrentielles, elles peuvent atteindre une vitesse de 90 km/h.

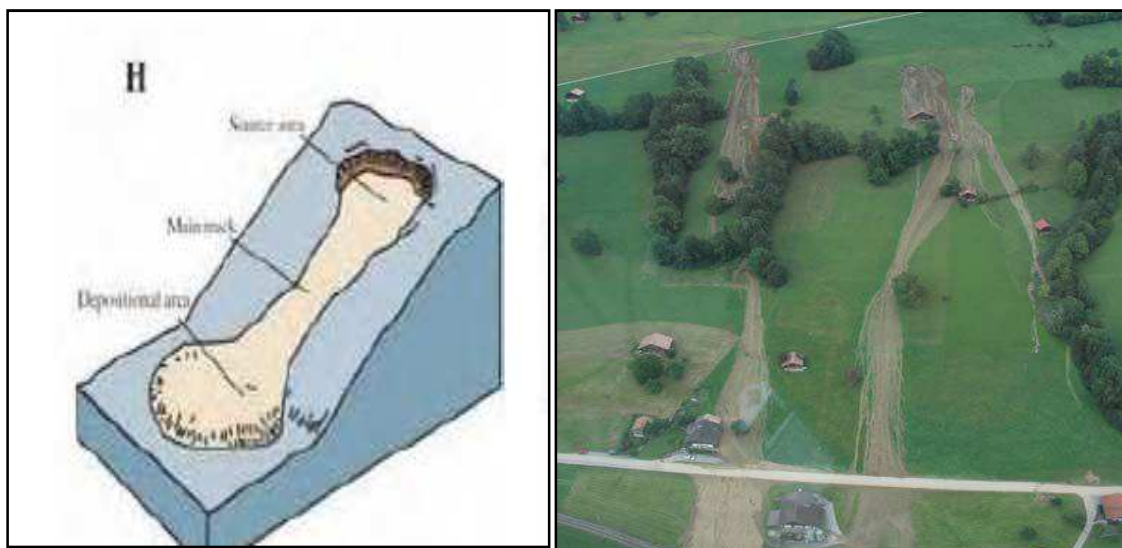


Figure 1.10: Une coulée boueuse [4]

Une coulée active présente, comme un glissement, une morphologie particulière qui peut se décomposer en trois grandes parties :

- a) une zone source : zone en forme de cuvette ;
- b) une zone de transition : chenal, limité par des levées latérales et alimenté par la zone source où transitent les matériaux mobilisés ;
- c) une zone d'accumulation: zone de faible pente où les matériaux ont tendance à s'accumuler.

Cette situation est parfois plus marquée puisque les matériaux du glissement, en cours de progression, deviennent à l'aval des matériaux sources pour la génération d'une coulée de boue. Pour ce type d'événement, on parle de **glissement coulée**.

Les coulées boueuses se comportent donc, d'un point de vue rhéologique, comme un fluide à seuil, c'est-à-dire un fluide qui a besoin d'une sollicitation en cisaillement minimum pour s'écouler.

I. 5. Le fluage

Le fluage est caractérisé par des mouvements lents et continus, mais à des vitesses faibles. Dans le cas de fluage, il est difficile de mettre en évidence une surface de rupture.

Le mouvement se produit généralement sans modification des efforts appliqués contrairement au glissement. En fait, le matériau est sollicité à un état proche de la rupture. Ce type de mouvement peut : soit se stabiliser, soit évoluer vers une rupture. La **Figure I-11** montre le mécanisme du phénomène de fluage.

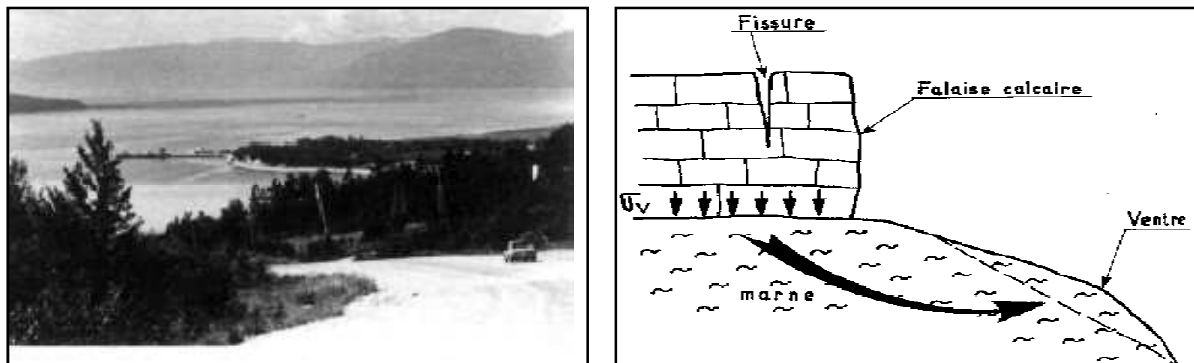


Figure I.11: Le phénomène de fluage. [17]

Un cas spécial de fluage est la **solifluxion**. C'est un phénomène des sols en surface sur des pentes très faibles, il est la conséquence des climats périglaciaires. Lors de l'alternance gel/dégel, la teneur en eau du matériau croît superficiellement et les mouvements s'accélèrent.

I. 6. Synthèse :

Le tableau 3 présente les différentes familles de mouvement et leur caractérisation en termes de nature de matériaux, de vitesse de déplacement, de volumes déplacés et de facteurs déclenchant.

Tableau I.4 : Eléments caractérisant les différentes familles de mouvements [3]

Terrain		Vitesse moyenne	volume	Facteurs déclenchant
Glissement	Sols massif fracturés	Très lente à moyenne	De quelque m ³ à plus de dix millions de m ³	Eau ; terrassements
Fluage	Formations meubles	Très lente	De quelque m ³ à plus de dix mille m ³	Chargement, évolution, du matériau
Eboulement	Massifs rocheux	De très lente à très rapide	De quelque m ³ à plus de dix mille m ³	Eau, gel-dégel, séisme
Coulée	Sols argileux et limoneux lâches	Très rapide	De 10 à plusieurs centaines de milliers de m ³	Très fortes pluies, Rupture de digue

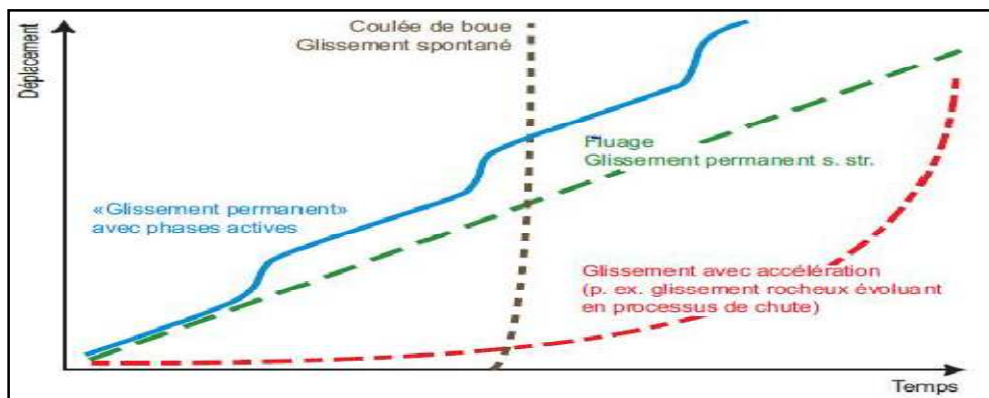


Figure I.12: Relations temps/mouvement de plusieurs types de mouvements de terrain.

I. 7. Forme de la surface de rupture (*l'allure du glissement*) :

La forme des surfaces de rupture dépend essentiellement des caractéristiques du matériau.

Dans les terrains plutôt rocheux, les surfaces de glissement sont liées aux surfaces de discontinuité. Dans les terrains plus meubles et homogènes, les surfaces de rupture sont apparues sous forme de cercles en deux dimensions ou sous forme d'ellipsoïdes en trois dimensions.

Dans des terrains hétérogènes, les surfaces de rupture peuvent former une combinaison de surfaces circulaires et planaires, ou une forme quelconque. La surface de rupture, d'une manière générale, passe par les zones de terrain dont les caractéristiques sont les plus faibles.

I. 8. Pentures naturelles et talus artificiels :

Nous pouvons classer les types de rupture en deux groupes, ceux qu'on observe dans les pentures naturelles et ceux relatifs aux talus artificiels :

- Pentures naturelles :

Ce sont des talus peu homogènes et présentant des variations géologiques et éventuellement des discontinuités. Les accidents observés dans ce cas montrent qu'il est possible de classer les instabilités en glissement, écoulement, coulée boueuses et éboulement.

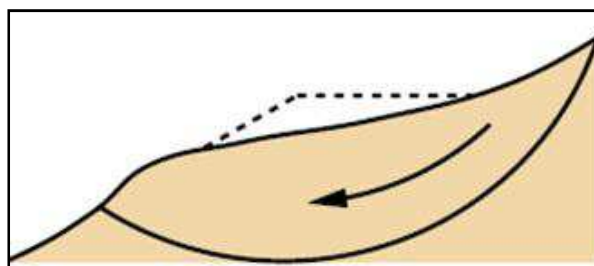


Figure I.13: Rupture d'une pente naturelle. [4]

- Talus artificiels :

Ils sont essentiellement affectés par des glissements et parfois par des phénomènes de fluage. On peut les classer en fonction des types d'ouvrages :

- talus en déblai.
- talus en remblai sur sol non compressible.
- talus en remblai sur sol compressible.
- digues et barrages en terre.

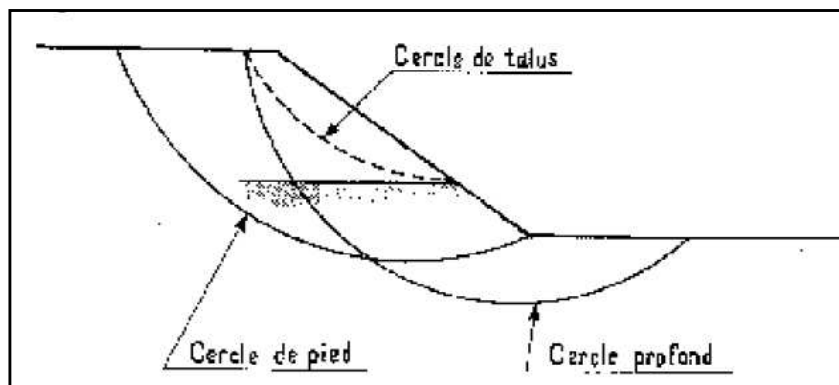


Figure I.14: Rupture d'un talus artificiel [17]

Pour chaque type, on peut identifier certains modes de rupture, ils sont distingués ci-dessous:

➤ **Talus en déblais et talus en remblais sur sols non compressibles [20]**

Les ruptures ont, d'une façon générale, l'allure de glissements rotationnels circulaires. On distingue:

- les cercles de talus se produisent généralement dans les sols hétérogènes, la base du cercle correspondant à une couche plus résistante.
- les cercles de pied (sont les plus courants dans ce type d'ouvrages).
- les cercles profonds ne se produisent que dans le cas où le sol situé sous le niveau du pied du talus est de mauvaise qualité.

Si le facteur de sécurité vis-à-vis de la rupture est peu élevé tout en étant supérieur à 1, il peut se produire un fluage du sol de fondation entraînant un tassement anormal du remblai latéral de la couche molle et une perte de résistance du remblai ou de la fondation ou des deux.

➤ Digues et barrages en terre

L'étude de la stabilité des talus amont et aval est la partie essentielle de la conception des barrages en terre. Différents cas doivent être étudiés en tenant compte de l'état des pressions interstitielles à l'intérieur de la digue.

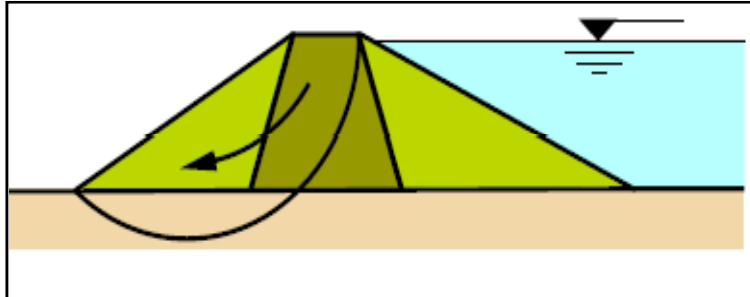


Figure I.15: Rupture d'un barrage en terre [20]

Pratiquement, on calcule le facteur de sécurité F_s le long des cercles de glissement supposés :

- pendant la construction et peu après la construction.
- lorsque le barrage vient d'être rempli.
- lors d'une vidange rapide

I. 9. Facteurs qui affectent la stabilité des talus

1. Les facteurs géométriques :

Les facteurs géométriques ont une influence sur la stabilité des talus, soit ils augmentent ou ils diminuent le risque de glissement. Citons quelques paramètres qui sont liés directement à la géométrie du talus : la dénivellation et l'inclinaison.

2. Les facteurs géologiques

Les principaux facteurs géologiques qui affectent la stabilité des talus sont :

- La nature des matériaux formant le talus.
- La discontinuité dans la formation des couches, le pendage des couches et la direction du pendage.
- Les fissurations des substratums qui sont dues aux mouvements des plaques tectoniques.

3. Les facteurs climatiques

Les principaux facteurs climatiques sont :

- l'altération qui est due aux changements climatiques brusques : La température élevée, la pluie, le vent...etc.
- l'augmentation des pressions interstitielles par infiltration d'eau.
- l'accumulation des précipitations qui fragilisent les substratums.
- l'intensité des orages.

Prenons l'exemple des eaux de pluie qui s'infiltrent dans le sol et engendrent l'augmentation du niveau de la nappe. L'augmentation du niveau de la nappe induit à son tour une augmentation de la contrainte de cisaillement dans le sol qui provoque le glissement de terrain.

I.10. Méthodes de calcul de stabilité:

1. Définition du Coefficient de sécurité:

Le principe de calcul de stabilité des talus consiste à déterminer le facteur de sécurité FS par lequel il faut diviser la résistance de la surface de glissement pour que la masse potentiellement stable soit à la limite de l'équilibre. Ce facteur peut être écrit de la façon suivante:

$$FS = \tau_{lim}/\tau$$

τ : contrainte de cisaillement s'exerçant le long de la surface.

τ_{lim} : Résistance au cisaillement du sol.

Le coefficient de sécurité est lié :

- à l'approche adoptée pour calculer ce coefficient.
- à l'état de contraintes dans le milieu (Méthode adoptée).
- aux propriétés du milieu.
- à l'hypothèse de la forme de la surface de rupture.

Le coefficient de sécurité FS peut être aussi déterminé en fonction des forces ou des moments des forces résistantes et motrices comme suit :

- Dans le cas des glissements plans :

$$FS = \frac{\sum \text{des forces résistantes}}{\sum \text{des forces motrices}}$$

- Dans le cas des glissements circulaires:

$$FS = \frac{\sum \text{des moments de forces résistantes}}{\sum \text{des moments de forces motrices}}$$

Le tableau ci-dessous, nous donne les valeurs de F_s en fonction de l'importance de l'ouvrage et des conditions particulières qui l'entourent :

Tableau I.5 : F_s en fonction de l'importance de l'ouvrage. [4]

F_s	Etat de l'ouvrage
<1	danger
1.0-1.25	Sécurité contestable
1.25-1.4	Sécurité satisfaisante pour les ouvrages peu importants. Sécurité contestable pour les barrages.
>1.4	Satisfaisante pour les barrages

➤ En condition normale, Fellenius propose un seuil égale à 1.25, alors que $FS = 1.5$. Pour Bishop (L'approche de Fellenius est plus conservatoire que celle de Bishop).

2. Méthodes de calcul de la stabilité :

Pour la stabilité du glissement, l'analyse se fait habituellement au moyen des méthodes de calcul à la rupture qui donnent, par l'intermédiaire du coefficient de sécurité, une idée de l'état d'équilibre du massif:

a) **Méthode globale** (La méthode des perturbations) : elle repose sur les hypothèses suivantes :

- Courbes de rupture est de forme quelconque ;
- Facilité pour introduire des efforts externes.

b) **Méthode des tranches** : Développée pour les ruptures circulaires par *Fellenius* perfectionnée par *Bishop*, elle se base sur les hypothèses suivantes :

- Le sol en mouvement est découpé en tranches verticales (au moins 25)
- On écrit l'équilibre de chaque tranche et on constate un déficit de $n-2$ équations pour résoudre.
- Le choix de ces $n-2$ équations différencie les méthodes

I.11 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons montré les différents types de glissements qui existent dans la nature. Le traitement et l'étude de ces différents cas, nécessite quelques documents à savoir les cartes: topographiques, géologiques, hydrogéologique, en vue de procéder à une étude détaillée du site instable.

Chapitre II

II. Introduction

Les méthodes d'amélioration des sols sont l'un des outils dont dispose l'ingénieur pour résoudre les problèmes de stabilité ou de déformations qu'il rencontre lors de l'élaboration d'un projet. De nombreuses techniques ont été développées par les ingénieurs géotechniciens au cours du 20ème siècle. Elles permettent l'amélioration des caractéristiques géotechniques et les propriétés mécaniques des terrains.

Elles sont efficaces pour 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.

Lorsqu'il s'agit de dimensionner un dispositif de confortement préventif, on recommande de prendre un coefficient de sécurité $FS = 1,5$ pour l'ouvrage en service.

II.1. Choix de la méthode:

Le choix d'une méthode de confortement résulte de la prise en compte de :

- L'analyse des paramètres techniques du site.
- La connaissance des techniques de stabilisation.
- Les impératifs technico-économiques.

D'une manière générale, les méthodes de confortement peuvent être groupées en :

- a) Terrassements (modifications géométriques comme déchargement, reprofilage et substitution, réduction de la pente).
- b) Introduction des éléments résistants dans le sol.
- c) . Renforcement par inclusions rigides ou souples (clouage ou géotextile).
- d) Traitement chimique ou biologique.
- e) Diminution de la pression d'eau par drainage.

Tableau II.1 : Présentation des différentes techniques de stabilisation des glissements de terrains. [4]

	Principe de stabilisation	Moyens techniques	F final
Butée de pied	Rééquilibrage des masses	remblai	1.20 à 1.30
Allègement en tête	Rééquilibrage des masses	Déblai	1.20
Purge totale	Le massif est stable après la purge	Déblai	1.50
Reprofilage	Adoucissement de la pente	Déblai	1.20
Substitution Totale	Apport de matériau de Meilleure résistance	Déblai, Remblai	1.50
Substitution Partielle: bêche, Contrefort, Eprons, masque	Apport de matériau de meilleure résistance	Déblai, Remblai	1.20
Substitution en tête, matériau allégé	Diminution du moment moteur	Déblai, Polystyrène Matériau Alvéolaire	1.20
Collecte et canalisation des eaux de surfaces	Limiter les pressions interstitielles	Cunettes, Drains Agricoles	1.30
Tranchées Drainantes	Diminuer les Pressions interstitielles	Trancheuse, Haveuse, Pelle	1.30
Drains Subhorizontaux	Diminuer les pressions interstitielles	Drains Plastiques, Moyens de forage	1.30
Drainages Profonds	Diminuer les pressions interstitielles	Drains verticaux, Puits, galeries	1.30

Soutènements	Apporter un effort stabilisateur horizontal	Ouvrages Fixes, Ouvrages Souples	1.50
Tirants d'ancrages	Apporter un effort Stabilisateur horizontal	Torons, Barres	1.20
Clous	Apporter un effort Stabilisateur perpendiculaire à la surface de rupture	Barres Tubes, Micro-pieux	1.20 à 1.30
pieux	Apporter un effort Stabilisateur horizontal	Pieux bétons, Profilés H, palplanches	1.10 à 1.20

II.2. 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.



Figure II.1 : Phase terrassement pour stabilisation d'une pente.

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.

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.

Les ouvrages de butée en plus de leur action gravitaire, peuvent assurer un drainage du massif même si l'on ne cherche pas cet effet. Il est recommandé d'utiliser un matériau drainant et auto-stable, et d'organiser la collecte et l'évacuation des eaux.

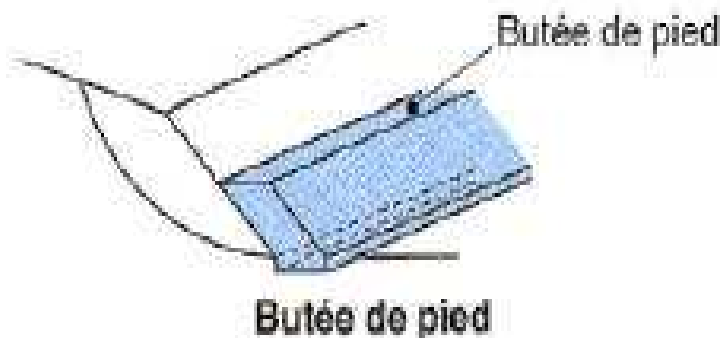


Figure II.2 : Remblai en pied.

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 la géométrie en tête. On peut également substituer le matériau terrassé par un matériau léger (polystyrène, matériau à structure alvéolaire, etc.).

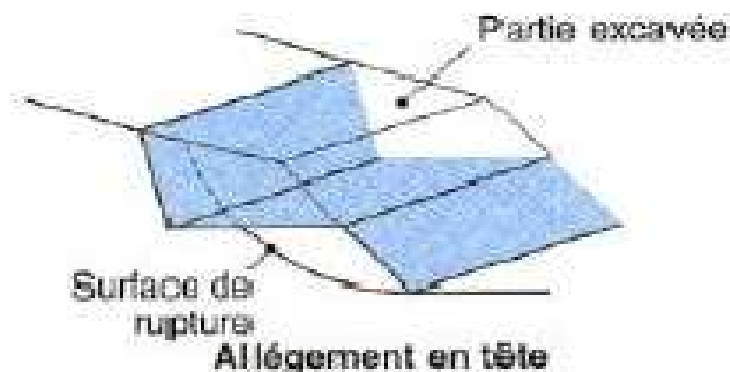


Figure II.3 : Allègement en tête.

3. Reprofilage

Les conditions de stabilité d'un talus étant directement liées à sa pente, on peut assez simplement augmenter la sécurité par retalutage 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. L'adoucissement de la pente est généralement mal adapté aux versants naturels instables car il met en jeu des volumes de sol très importants.

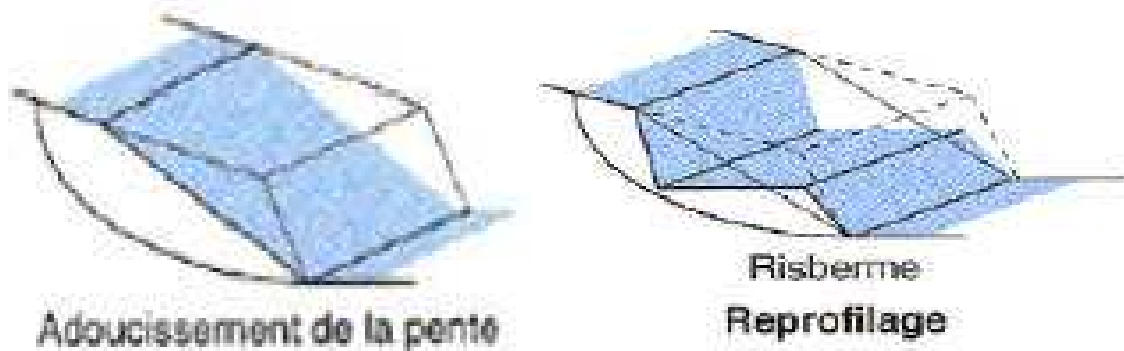


Figure II.4: Adoucissement de la pente et Reprofilage

4. Purge

Les techniques de terrassement s'accompagnent fréquemment de purges du matériau déplacé par le glissement. Cette solution est généralement limitée aux glissements de taille modeste. On peut, dans certains cas, purger l'ensemble du matériau glissé à condition que la surface mise à nu soit stable.

Quand le terrain est en forte pente et donc difficilement accessible aux engins autres que les bouteurs, la purge constitue le seul moyen de confortation, notamment si la profondeur de la rupture est faible.

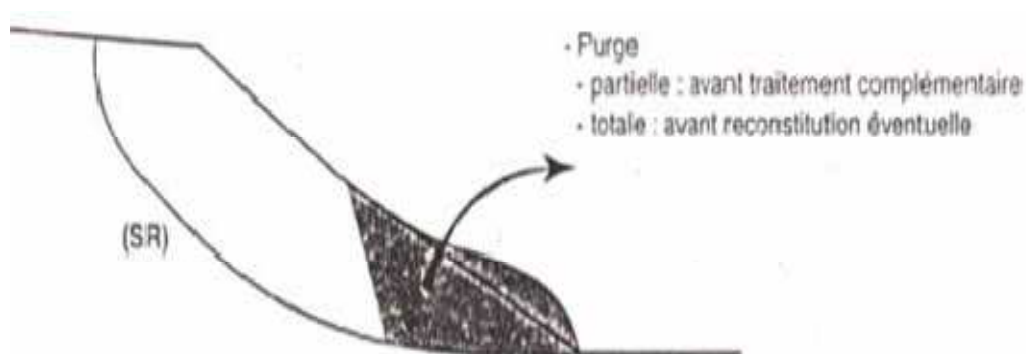


Figure II.5: Schéma de purge.

5. Substitution totale ou partielle

La solution à priori la plus simple pour traiter un glissement est d'éliminer la masse glissée en tout ou en partie, et de reconstituer le talus à l'aide d'un matériau frottant de bonne qualité, qui assure, le plus souvent, un drainage en plus de son action mécanique.

a) Substitution totale des matériaux glissés

La substitution totale consiste à venir purger l'ensemble des matériaux glissés et à les remplacer par un matériau de meilleure qualité. Cela permet de reconstituer le profil du talus initial.

La vérification de l'efficacité du traitement nécessite de recourir à un calcul de stabilité dans lequel on prendra en compte les caractéristiques du nouveau talus (matériau de substitution et matériau intact en place).

On recherchera la surface de rupture potentielle la plus défavorable et on s'assurera que le coefficient de sécurité du projet est supérieur à $F=1.5$

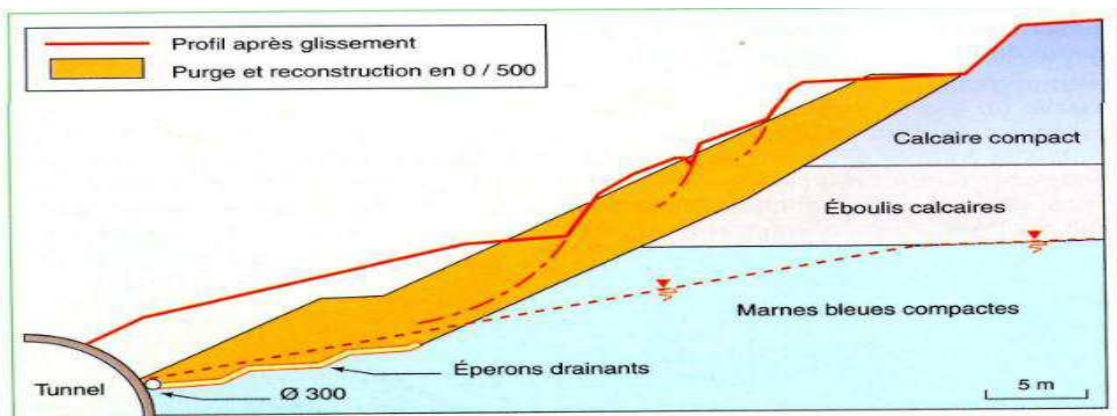


Figure II.6 : Substitution totale des matériaux glissés à l'endroit de la tête sud du tunnel de Marnay.

b) Substitution partielle des matériaux glissés



Figure II.7: Substitution partielle

En pratique, la substitution totale est limitée par les conditions de réalisation de la purge : Profondeurs importantes, présence d'eau, mauvaise tenue des matériaux. On peut limiter le terrassement en exécutant des bêches, des contreforts, des masques et des éperons.

II.3. 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. Les différentes techniques qui peuvent être mises en œuvre 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

1. Collecte et canalisation des eaux de surface

Les assainissements et les drainages de surface collectant les eaux de ruissellement, limitent les infiltrations et permettent ainsi d'éviter la saturation des terrains. Ils agissent aussi en diminuant l'alimentation des nappes.

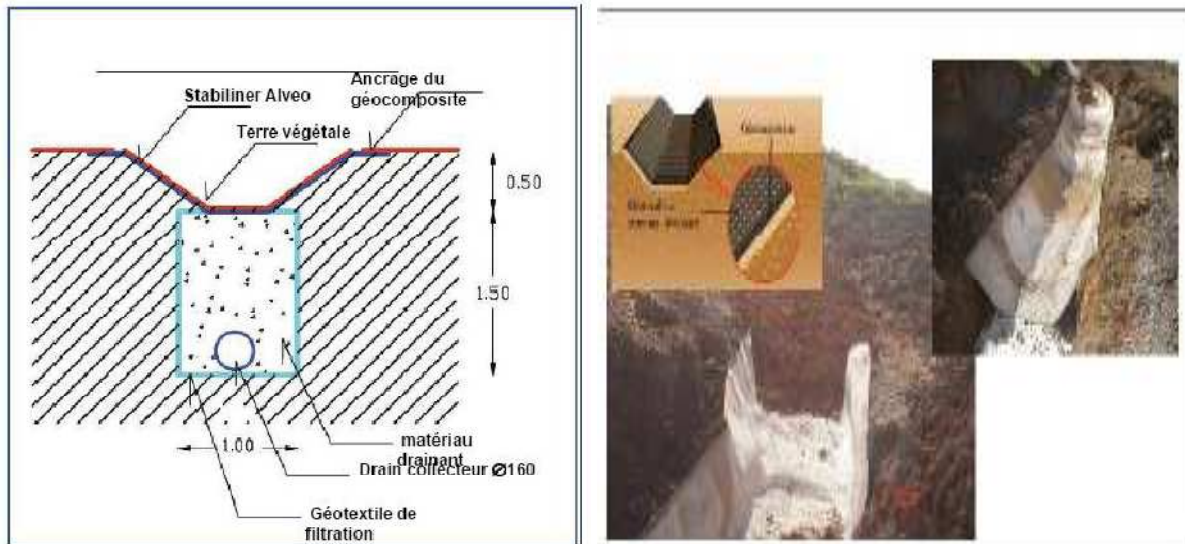


Figure II.8: Dispositif de drainage superficiel.

Ils empêchent également les érosions de surface qui, à terme, peuvent conduire à des désordres et à des instabilités. Les eaux collectées doivent être évacuées vers des zones non sensibles. Les ouvrages de collecte des eaux (fossés, caniveaux, cunettes), bien que ne constituant pas des ouvrages de drainage à proprement parler, sont réalisés en première urgence dans de nombreux cas de glissements.

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.). Le choix de l'implantation (dans le sens de la plus grande pente ou dans un sens parallèle aux lignes de niveau), la profondeur et l'espacement des tranchées, dépendent des résultats de l'étude hydrogéologique et conditionnent l'efficacité du drainage. Ces tranchées peuvent être réalisées de plusieurs façons: à la pelle mécanique, à la trancheuse ou à la haveuse de paroi.

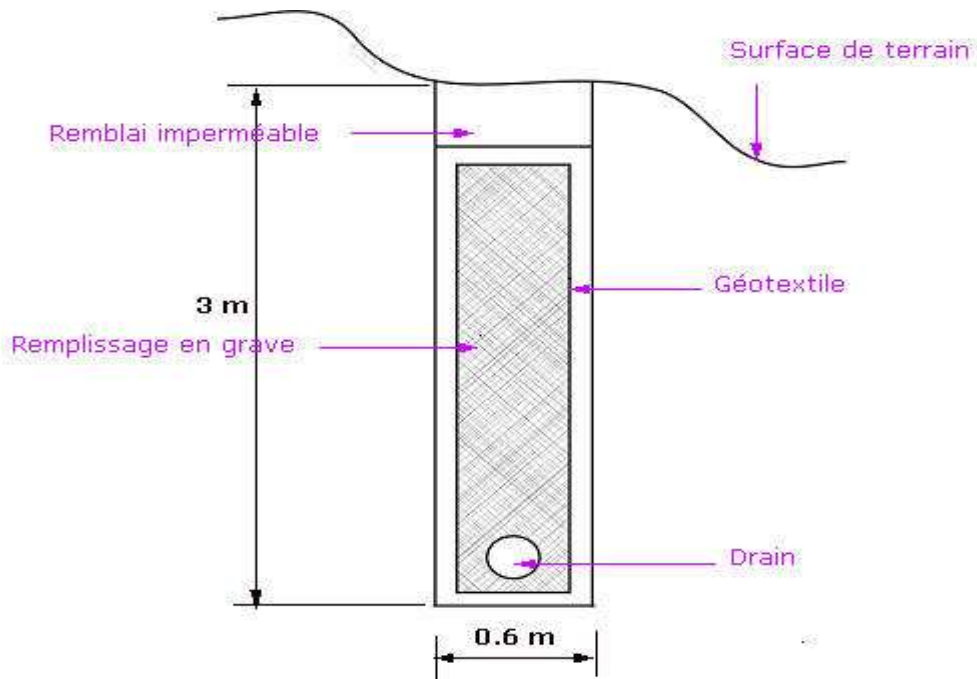


Figure II.9: Tranchée drainante.

3. Drains subhorizontaux

Cette méthode est utilisée quand la nappe est trop profonde pour être atteinte par des drains superficiels. La meilleure justification de l'utilisation de drains subhorizontaux est le cas d'un aquifère assez perméable (sable, roche extrêmement fracturée) dont l'émergence est masquée par des terrains moins perméables (éboulis argileux).

La méthode est souvent inefficace dans des formations argileuses (trop faible perméabilité, circulation trop diffuse). Toutefois, le rabattement de la nappe, si faible soit-il, pourra suffire dans certains cas. L'emploi de drains subhorizontaux permet d'en améliorer fortement la stabilité en captant l'eau de nappes. Il s'agit de forages remontants, équipés de tubes spéciaux inattaquables \varnothing voisin de 10 cm, longueur pouvant atteindre 100 m.

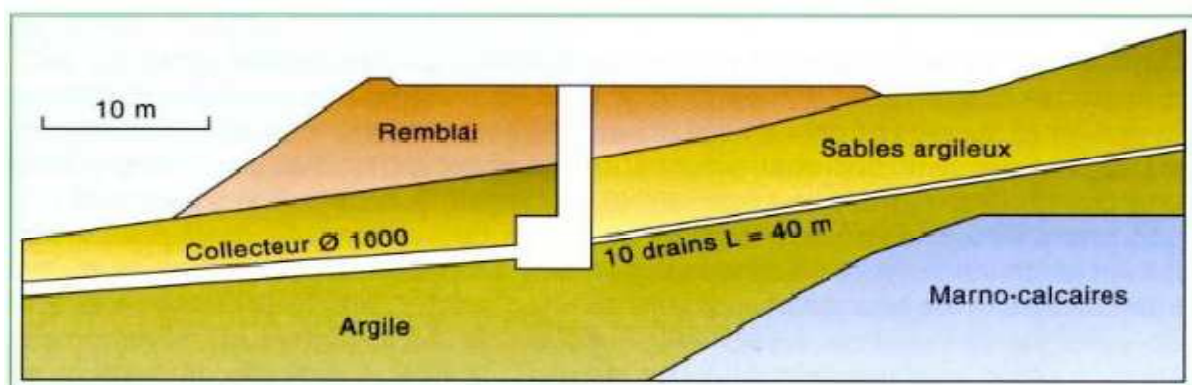


Figure II.10: Drains subhorizontaux ; Drainage du glissement de Châtel Guyon (France)

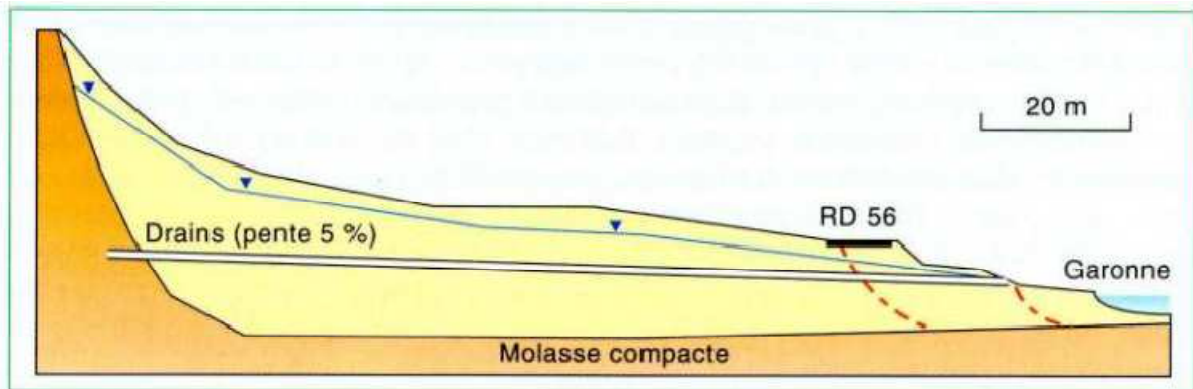


Figure II.11: Drains subhorizontaux; Stabilisation de la RD 56 à Muret (France)

4. Masques et éperons drainants

Les masques drainants sont des ouvrages en matériaux granulaires grossiers mis en place en parement de talus. Leur rôle est d'annuler la pression interstitielle dans la portion correspondante de terrain, mais leurs caractéristiques apportent également un gain de stabilité. Les éperons drainants sont des sortes de masques discontinus. S'il est inutile ou difficile de réaliser un masque, on se contente de faire des saignées remplies de matériaux drainants régulièrement espacées.

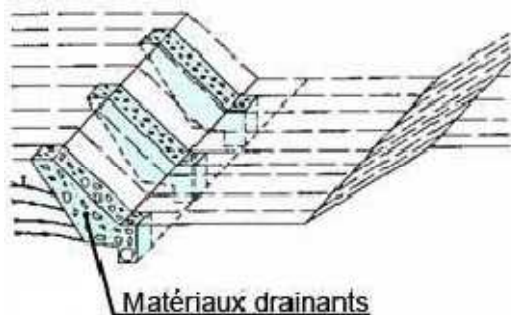


Figure II.12: Eperon drainant

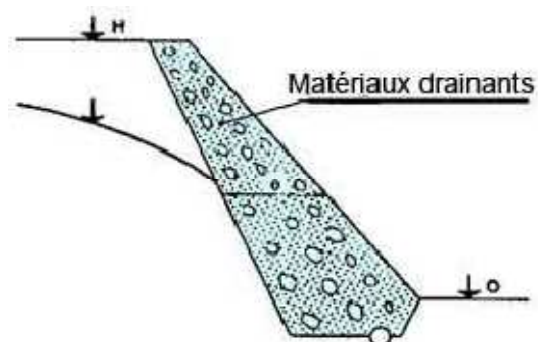


Figure II.13: Masque drainant

Les éperons drainants sont des excavations étroites (environ 1 m) mais pouvant atteindre une profondeur supérieure à 7 m, qui comportent une cunette bétonnée surmontée par un système de drainage de section variable et par une structure porteuse perméable. Les éperons drainants sont disposés selon la plus grande ligne de pente du versant, avec une distance entre eux qui dépend à la fois de la hauteur de l'éperon, de la longueur du drainage et de la profondeur de la surface de glissement. La structure porteuse de l'éperon peut être constituée par:

- Un mur en pierres sèches, disposées en couches inclinées d'environ 30° vers le terrain, avec un niveau de graviers et de sable entourant le tube drainant.
- Un écran de gabions revêtu d'une couche de sable ou protégé par un géotextile.
- Une cloison centrale en béton séparant des parties latérales en matériel drainant sablo graveleux, protégée ou non par du géotextile.

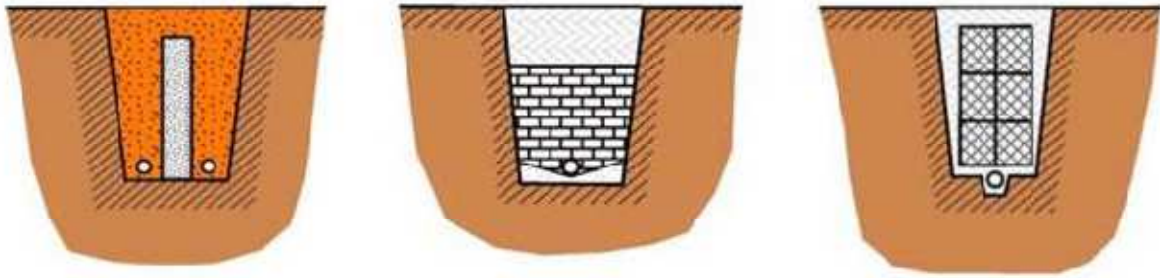


Figure II.14: Types d'éperons drainants

5. Drains verticaux

Cette méthode consiste à réaliser des forages drainants verticaux équipés de pompes immergées. Elle est utilisée dans le cas de masse instable importante en glissement lent. On préconise ce système si la vitesse moyenne avant travaux est de l'ordre du centimètre par année, de façon à éviter un cisaillement prématuré des crépines. Si la vitesse est variable au cours de l'année, les travaux de forage doivent être effectués en période sèche, donc pendant les mouvements les plus lents. Les pompes seront opérationnelles dès la période habituelle de réactivation.



Figure II.15: Installation des drains verticaux



Figure II.16 : Chantier de réalisation des drains verticaux

6. Les galeries drainantes

Les galeries drainantes ont en général des sections modestes (Hauteur 1.80 à 2.00 m, largeur 1 à 2 m) afin de permettre le contrôle et la maintenance des ouvrages.

La base de la galerie est positionnée à une profondeur légèrement inférieure à celle du niveau moyen des eaux souterraines, tandis que son sommet attrape ce niveau. Dans certains cas, un réseau de drains subhorizontaux peut être foré à partir de la galerie pour rendre le

drainage plus efficace. Les galeries drainantes peuvent soit être laissées vides, soit être remplies avec du matériel drainant

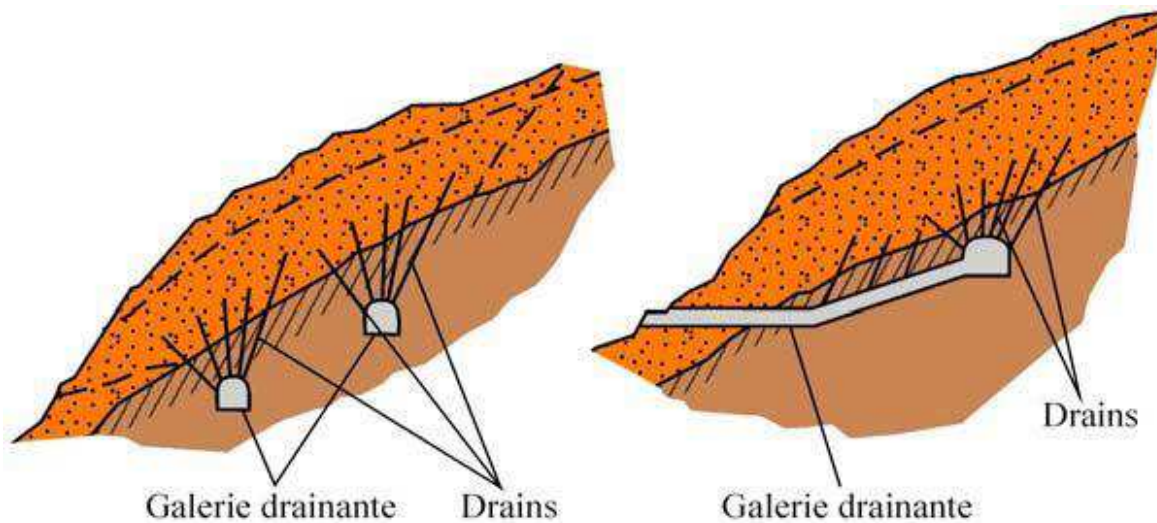


Figure II.17: Schéma des galeries drainantes.

II.4. Éléments résistants

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.

1. Ouvrages de soutènement

Un soutènement est un ouvrage destiné à la fois à réaliser une dénivellation localisée de terre (ou de tout autre type de matériau) et à assurer l'équilibre des charges appliquées. Il peut retenir soit des terres en remblai, soit le terrain en place (un ouvrage de soutènement en déblai).

Le système de soutènement est la solution adoptée quand un simple talus n'est pas envisageable, voire acceptable. C'est ainsi que le terme de soutènement s'appliquera indifféremment aux :



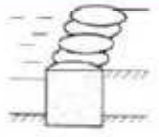


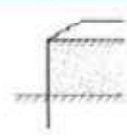

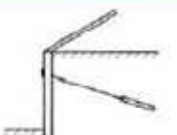
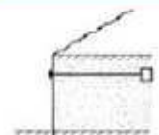
- Murs poids
- Rideaux palplanches
- Parois moulées ou préfabriquées
- Parois berlinoise
- Murs en terre armée
- Murs en béton armée ou cantilever

L'effort de poussée exercé par le massif de terre retenu peut être repris de diverses manières. Trois modes principaux peuvent être distingués :

- la poussée est reprise par le poids de l'ouvrage de soutènement (mur poids en béton ou en maçonnerie et les murs en terre armée).
- la poussée est reprise par encastrement de l'ouvrage de soutènement (le mur cantilever en béton armé et les murs en parois moulées).
- la poussée est reprise par des ancrages.

Le tableau ci-après donne la classification de ces ouvrages d'après le mode de reprise de la poussée.

Tableau IV.2 : Classification des ouvrages de soutènement d'après le mode de reprise de la poussée. [4]

Mode de reprise de la poussée	Ouvrages de soutènement		
Poids de l'ouvrage	 Mur poids en béton ou maçonnerie	 Mur en Terre Armée	 Ouvrage cellulaire
Encastrement	 Mur cantilever en béton armé	 Paroi moulée	 Rideau de palplanches
Ancrage	 Mur en béton, encre	 Paroi moulée ancrée	 Rideau ancré

2. Tirants d'ancrages

Le principe consiste à réduire les forces actives du glissement et à accroître les contraintes normales effectives sur la surface de rupture. Pour ce faire, on ancre des tirants constitués de câbles d'acier dans le terrain stable situé sous la surface de rupture, et on applique en tête un effort de traction. Cet effort peut être réparti sur la surface du terrain par l'intermédiaire de plaques ou de petits massifs en béton armé. Dans de nombreux cas, les tirants sont combinés à un mur ou à des longrines.

L'utilisation de tirants précontraints suppose:

- qu'on ait déterminé la force d'ancrage nécessaire par mètre linéaire de glissement pour assurer une valeur suffisante du coefficient de sécurité ;
- Qu'on justifie le choix et les caractéristiques des tirants.

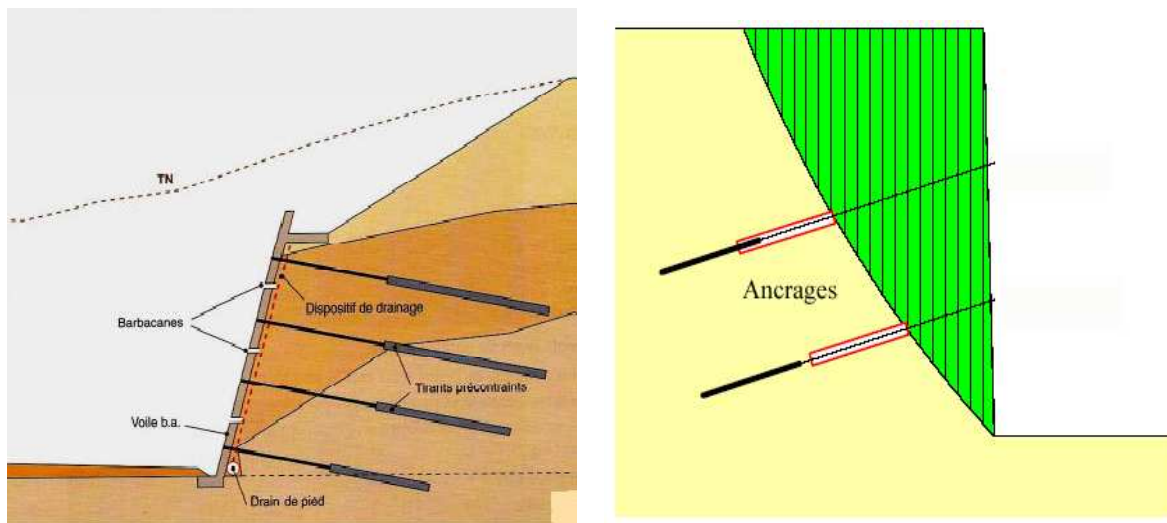


Figure II.18: Renforcement par tirants (voile ancré, poutres ancrées)

3. Le clouage

Le clouage sert à transférer les efforts déstabilisateurs, poids de la masse qui glisse, vers la partie stable du sol par un mécanisme d'accrochage. Une masse solidaire et importante de sol est ainsi créée, dont la stabilité est assurée. La démarche de calcul d'un ouvrage cloué comprend d'abord une évaluation des forces à ajouter pour assurer la stabilité d'une grande masse de sol. Ensuite il faut trouver la meilleure répartition des ouvrages unités, (clou, pieu), en prenant en compte les problèmes d'accessibilité pour la réalisation.

Dans la pratique, la démarche proposée par les programmes de calcul est un peu différente, car les efforts que l'inclusion peut reprendre dépendent de sa géométrie et de sa position dans la pente. Par tâtonnement, l'ingénieur améliore peu à peu son projet, en modifiant position et nombre d'inclusion.

La mise en place des inclusions est en général préalable au creusement, on renforce d'abord avant de créer le déséquilibre de masse.

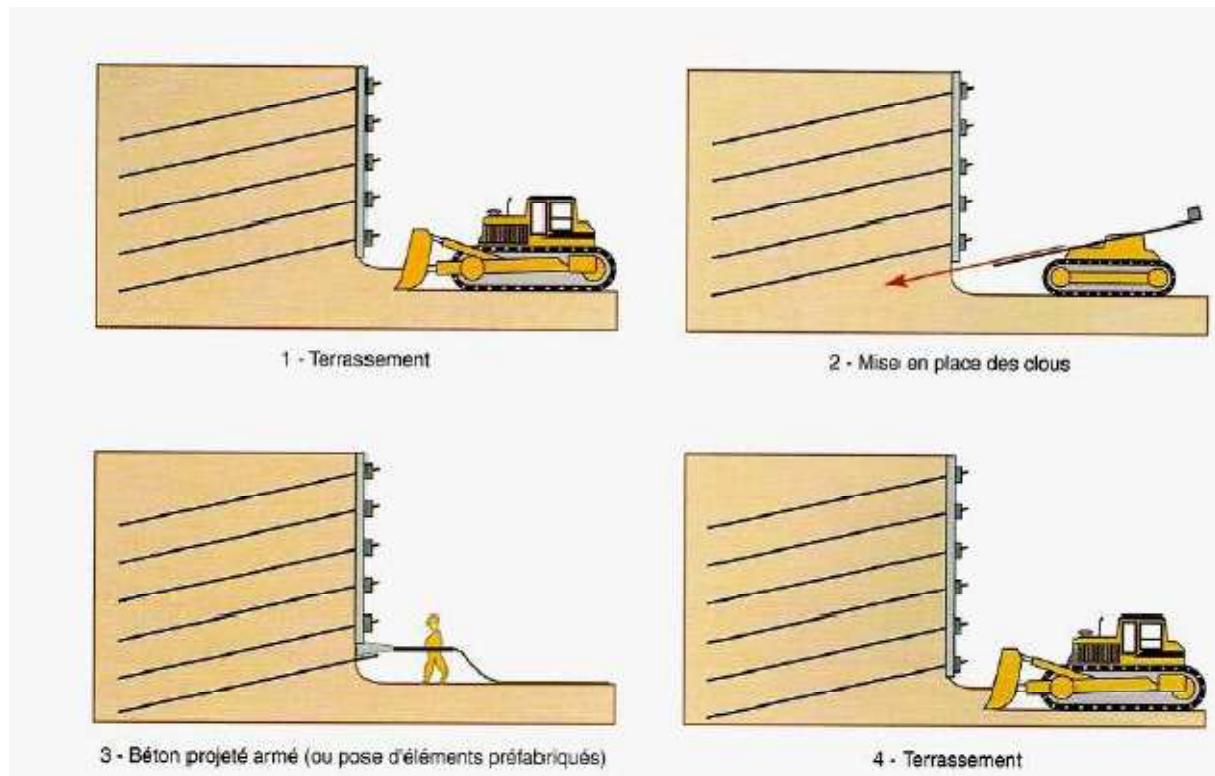


Figure IV.19: Phases d'exécution d'un mur en sol cloué.

4. Cas des remblais sur sols mous

Lorsque le sol de fondation n'a pas la capacité de supporter la charge correspondant à la hauteur totale du remblai projeté (rupture à court terme), il est nécessaire d'employer des dispositions constructives qui assurent la stabilité de l'ouvrage en phase de travaux comme en phase de service, avec un coefficient de sécurité en général pris égal à 1,5.

Différentes méthodes sont employées pour limiter les risques de rupture, qui relèvent de trois principes :

- consolider le sol de fondation, et donc augmenter sa résistance au cisaillement, avant la réalisation du remblai (par pompage pour abaisser la nappe) ou pendant celle-ci (construction par étapes avec utilisation de drains verticaux) ;
- diminuer la charge appliquée au sol de fondation (construction du remblai en matériaux allégés) ;
- renforcer le sol de fondation en y incluant des éléments résistants (colonnes ballastées, pieux, substitution partielle ou totale des couches molles).

a) Renforcement par géotextile

b) Renforcement par colonnes

II.5. Les colonnes ballastées :

Dans notre cas de stabilisation du glissement des POS d'Azazga qu'on va présenter dans les chapitres qui suivent, on va faire appel aux *colonnes ballastées* pour plusieurs raisons:

❖ Pourquoi avoir opté pour les colonnes ballastées ?

➤ *La raison économique*

- C'est une technique très prisée dans notre pays.
- Elle se caractérise par la rapidité de l'exécution.
- Elle est économique comparativement aux autres techniques car Le ballaste est un matériau local moins chère que l'acier.

➤ *La raison géotechnique*

- Le sol des sites étudiés présente de mauvaises caractéristiques géotechniques. C'est la raison pour laquelle les qualités intrinsèques du ballaste vont permettre l'homogénéisation de l'ensemble.
- Les ballastes aident à l'évacuation des eaux souterraines, et particulièrement lorsque elles sont associées à un système de drainage.
- Parmi les strates de sol des sites concernés, existe une couche de sable limoneux, saturée, susceptible de se liquéfier. Les ballastes diminuent, justement, le phénomène de la liquéfaction.
- La stabilisation des glissements très étendus ne peut généralement pas être assurée par une structure ponctuelle (mur, rangée de pieux, etc.), et les glissements étudiés sont très étendus.

1. Définition des colonnes ballastées:

Les colonnes ballastées s'opèrent par compactage et incorporation de matériau granulaire, dans un terrain supportant mal une charge répartie ou ponctuelle. La colonne ballastée agit comme élément porteur et comme drains vertical.

2. Aspect géotechnique

L'amélioration repose sur la réalisation d'inclusions souple de modules élevé, sans cohésion, à fort pouvoir drainant, qui, par concentration et report de charges, augmentent la capacité portante du sol en diminuant et maîtrisant les tassements.

3. Domaines d'application

➤ Ouvrages

Le choix de la technique d'amélioration par colonnes ballastées est dicté par ses nombreux avantages. Les domaines d'application des colonnes ballastées sont multiples et variées et ont

évolué en fonction des évolutions technologiques. En général l'utilisation des colonnes ballastées dépend de l'amélioration souhaitée pour traiter le problème :

- Remblais routiers et ferroviaires;
- Bâtiments industriels et commerciaux;
- Halls de stockage, silos et réservoirs ;
- Ouvrages hydrauliques étanches (réservoirs, station d'épuration) ;
- Pistes d'aéroport ;
- Stabilisation de talus ou pentes.

➤ Conditions géotechniques

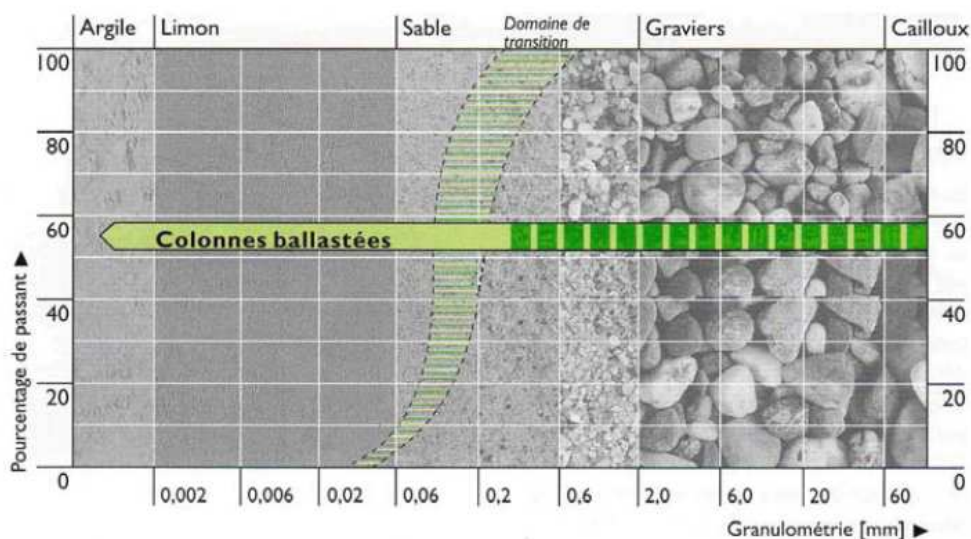


Figure II.20: types de sols à améliorer par colonnes ballastées. [20]

Les colonnes ballastées sont utilisées les sols très faibles à médiocres (sables limoneux, limons, limons argileux, argiles, remblais hétérogènes, etc.....)

4. Modes de mise en-œuvre

Les colonnes ballastées sont mises en-œuvre :

- par voie sèche,
- par voie humide,
- par pilonnage

a) Colonne ballastée exécutée par voie sèche

La réalisation des colonnes ballastées par voie sèche ou par vibro – refoulement consiste à :

- introduire le vibreur dans le sol sous l'effet de son poids propre et le jet d'air jusqu'à la profondeur désignée
- retrait du vibreur et alimentation du ballast par le haut en laissant descendre par gravité et par pression d'air et alimentation du ballast par le bas par le vibreur à sas,
- Pénétration du vibreur dans le ballast afin de le compacter par passes successives remontantes jusqu'à la finition de la colonne.



Figure II.21 : Colonnes ballastées réalisées par voie sèche.

b) Colonne ballastée exécutée par voie humide

La réalisation des colonnes ballastées par voie humide ou par vibro – substitution consiste à :

- introduire le vibreur dans le sol par auto-fonçage et lançage à l'eau jusqu'à la profondeur désignée ;
- retrait du vibreur et alimentation du ballast par le haut en le laissant descendre gravitairement;
- Pénétration du vibreur dans le ballast afin de le compacter par passe successives remontantes jusqu'à la finition de la colonne.

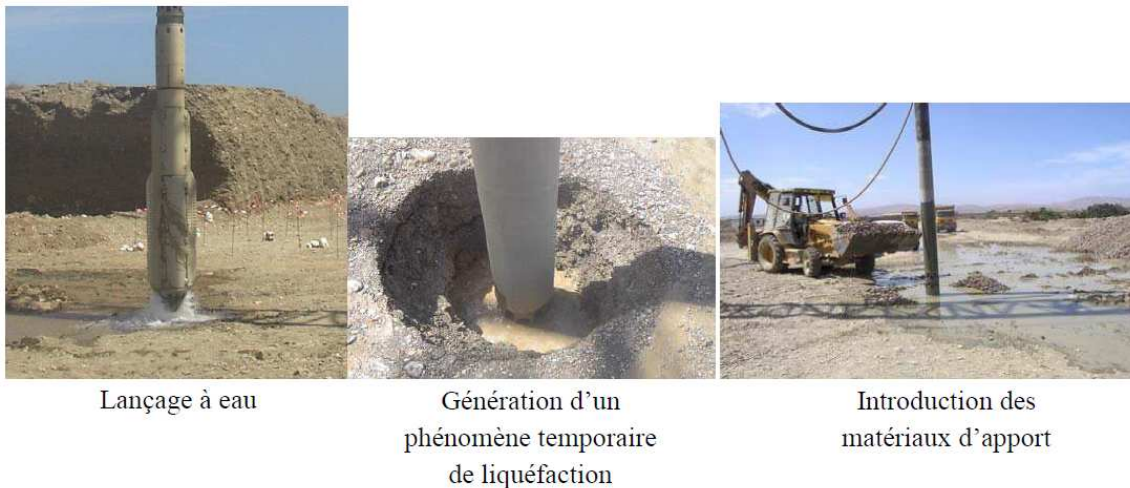


Figure II.22: Etapes de réalisation d'une colonne ballastée par voie humide.

c) Colonne ballastée exécutée par pilonnage

Cette technique consiste à :

- Pénétrer dans le sol un tube métallique ouvert à sa base. La pénétration est faite soit par battage, fonçage ou vibro-fonçage (*Figure II.23*, phase 1 et 2)
- Pilonner le bouchon (*Figure II.23*, phase 3)
- Déverser dans le tube le matériau désigné afin de le compacter en utilisant un pilon (*Figure II.23*, phase 4 et 5)
- Répéter la procédure jusqu'à la finition de la colonne (*Figure II.23* phase 6)

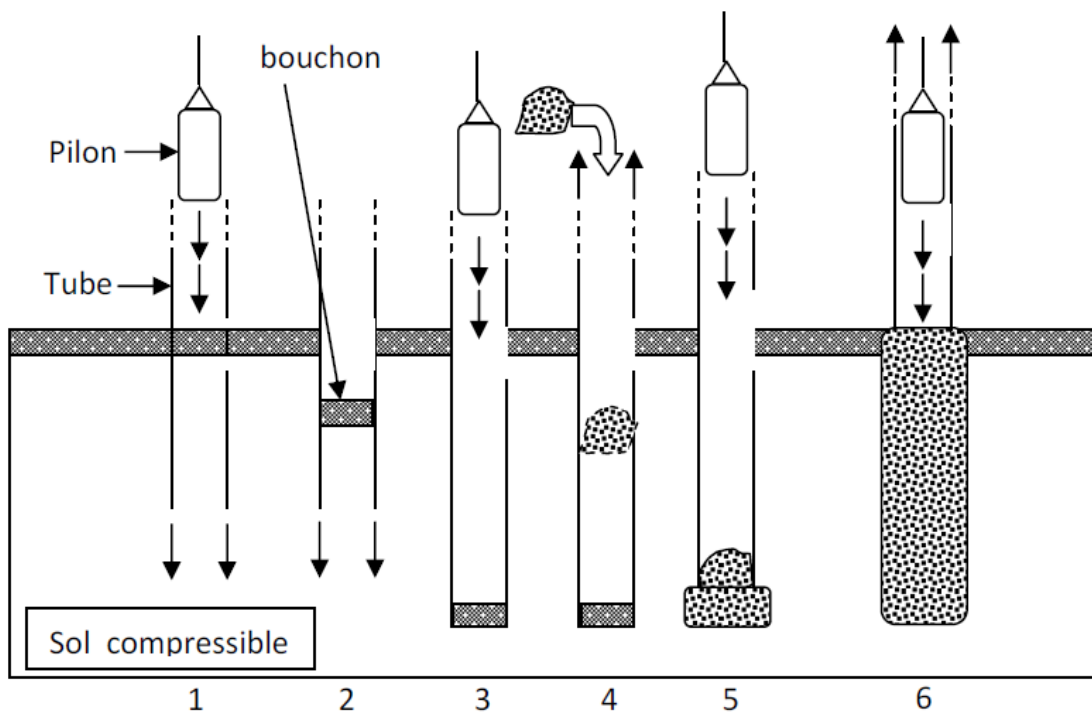


Figure II.23 : Schéma de l'exécution d'une colonne pilonnée.

Chapitre III

III. Introduction

Souvent associés aux ravinements, les mouvements de terrain sont des aléas très fréquents au Maghreb. En effet, les montagnes et les collines offrent une multitude de sites favorables, du fait de la prédominance de fortes pentes développées dans des roches marneuses ou argileuses.

Le passage de l'état de stabilité à l'état d'instabilité d'un versant relève de causes nombreuses et variées : géologiques, morphologiques, physiques et anthropiques. Certaines causes sont externes comme par exemple l'érosion d'un bas de pente par la surcharge d'une construction. D'autres causes sont considérées comme internes, telles que l'augmentation de la pression interstitielle après de fortes pluies, l'accumulation d'eaux usées rejetées dans le sol, le développement de l'altération de la roche, le degré de plasticité du sol ou sa sensibilité à l'eau, etc.

Si les causes des mouvements de versants sont diverses, il existe toujours un seul facteur de déclenchement, c'est-à-dire un stimulus externe (fortes précipitations, secousses sismiques, éruptions volcaniques, etc.) apte à provoquer rapidement le mouvement. Dans la plupart des cas, les fortes précipitations enregistrées lors des saisons pluvieuses ou cycloniques, peuvent être le responsable de la majorité des glissements en Algérie. Mais il n'est toujours pas possible de déterminer la part exacte de chaque facteur engendrant le mouvement ou sa réactivation.

Dans ce chapitre, on va essayer de déterminer les causes probables du déclenchement du glissement de terrain d'Azazga qui fait partie de la wilaya de Tizi ouzou, en étudiant:

- Le cadre géologique et la géomorphologie du site.
- Le cadre climatique et hydrologique de la région.
- Le cadre sismique de la région.
- Le cadre géotechnique des formations.

Après quoi, nous ferons la synthèse des résultats pour définir les causes probables du glissement étudié.

III.1 Histoire des glissements d'Azazga

La région d'Azazga a connu dans le passé plusieurs glissements de terrain, à savoir :

- *La coulée boueuse du 22.02.1952*

La coulée a obstrué un ravin (Ighzer Boulina), déplacé et parfois englouti quelques arbres sur une centaine de mètre.

- *Le glissement de terrain du 19.02.1973*

Le glissement a affecté la partie nord de la ville d'Azazga. Le plus important s'est produit au nord ouest de la ville et le second, de moindre envergure, aux abords du cimetière chrétien. Ces deux phénomènes ont emprunté deux axes convergeant vers Ighzer Iazoughen.

- *Le glissement de terrain du 08.04.1974*

Ce glissement est une réactivation du glissement antécédent (1973). 183 maisons détruites, 100 autres sérieusement affectées et 690 sinistrés ont été dénombrés. La reprise de ces mouvements s'est amplifiée suite à de fortes chutes de pluie.

- *Le glissement de terrain de mars 1985*

Il a affecté Ighil Bouzel, Agouni Guizen et Tizi Bouchen. 23 habitations et locaux professionnels sont endommagés, la RN12 a été fermée à la circulation, des lézardes sont apparues dans certains quartiers de la ville. Donc la reprise de ces mêmes mouvements a entraîné d'importants désordres affectant les habitations (une centaine) et les édifices publics.

- *La réactivation du glissement en mars 2012*

Il a engendré des dégâts matériels considérables.

III.2 Présentation du glissement qui affecte la ville d'Azazga

1. Etendue de la zone géotechnique défavorable

L'urbanisation et le développement de la ville d'Azazga, durant ces dernières années, ont été largement conditionnés et perturbés par la gestion du phénomène de glissement de terrain, qui s'est manifesté significativement en 1973 et en 1985. Le glissement s'est manifesté par des mouvements de terrain (sous sol) principalement dans les parties nord et est de la ville. Les zones rouges ou défavorables à l'urbanisation constituent 47,65 % du périmètre urbain de la ville, soit une superficie de 439,26 ha sur un total de 921,77 ha

2. Mécanismes des glissements

Les mouvements de terrains affectant la région d'Azazga sont de natures et d'ampleurs diverses. Ils se manifestent sous des formes variées, allant des petites loupes de glissement observées sur les flancs de coteaux, aux énormes coulées boueuses qui mettent en jeux des volumes considérables de terres et de roches. Pour en comprendre le mécanisme, on est conduit à reconstituer le processus suivant :

- Cette région est un large versant très étalé. La partie constituée par les substratums de flysch est fortement plissée.
- La pluviométrie abondante et la résurgence de sources en amont ont profondément raviné le terrain et donné naissance à des vallons : Ighzer Iazoudjen et Ighzer Boulina au Sud.
- Une tectonique cassante et une érosion très active ont entraîné la destruction des falaises de grès du Djebel Abed et l'altération des argiles sous numidiennes qui les supportent.
- Le matériel arraché s'est accumulé au pied du Djebel formant une nappe d'éboulis qui comble la dépression d'Azazga et les principaux vallons.
- La mise en place de ces dépôts d'éboulis s'effectue progressivement ou de manière brutale (exemple : coulée boueuse d'Ighzer Boulina en 1952).

III.3 Conditions majeurs à la formation du glissement de terrain d'Azazga

1. Le cadre géologique

a) *La géologie régionale*

La zone qui fait l'objet de la présente étude se localise dans la grande Kabylie, qui est située dans les zones internes de la chaîne des Maghrébides. La grande Kabylie comprend des massifs cristallins et cristallophylliens anciens, d'âge panafricains et hercynien (G.BOSSIERE et JP PEUCOT, 1986; 1991) et la chaîne montagneuse étroite du Djurdjura. Cette dernière est constituée principalement de calcaire mésozoïque a été qualifiée de chaîne calcaire par L DURANT DELGA, 1969.

En grande Kabylie, se succèdent des éléments de relief parallèles, de dimension inégales, depuis la côte jusqu'aux régions méridionales du versant sud de la chaîne du Djurdjura.

b) *La géologie locale*

Localement, les visites effectuées sur site et l'exploitation des données d'archives disponibles (rapport d'études géotechniques, carte géologique, etc.), nous ont permis d'identifier les faciès présents dans la région d'Azazga. Nous distinguons ainsi :

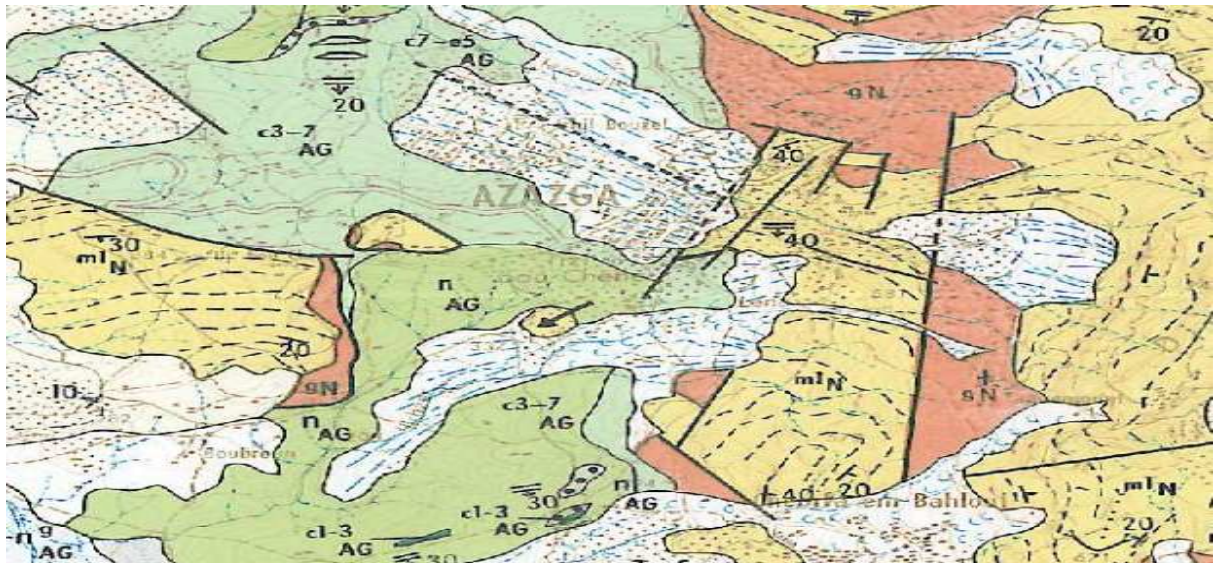
- **Le flysch créacé** : qui occupe la majeure partie de la région, est en partie masqué à l'Ouest par le miocène et chevauché à l'Est par le numidien.
- **Les argiles sous numidiennes** : ce sont des argiles rouges et vertes, à bancs décimétriques de grés, datées de l'oligocène, elles affleurent à l'Est et au Nord-est de la ville.
- **Les grés numidiens** : constituent les principaux reliefs du Djebel Abed à l'extrémité Est de la région. Des bancs massifs, découpés en panneaux par un système de failles, sont visibles immédiatement à l'Est de la ville. Ces panneaux sont effondrés par rapport au numidiens en place (relief du Djebel Abed).
- **Les éboulis numidiens** : des blocs de grés de toutes tailles, arrachés au relief du Djebel Abed, forment des nappes d'éboulis se répandant largement dans les secteurs centre, nord-est et sud-est.

Toutes les formations ainsi décrites sont Étrangers (à l'exception des éboulis). Elles ont donc subi un déplacement pendant ou après leur sédimentation et forment ainsi deux unités

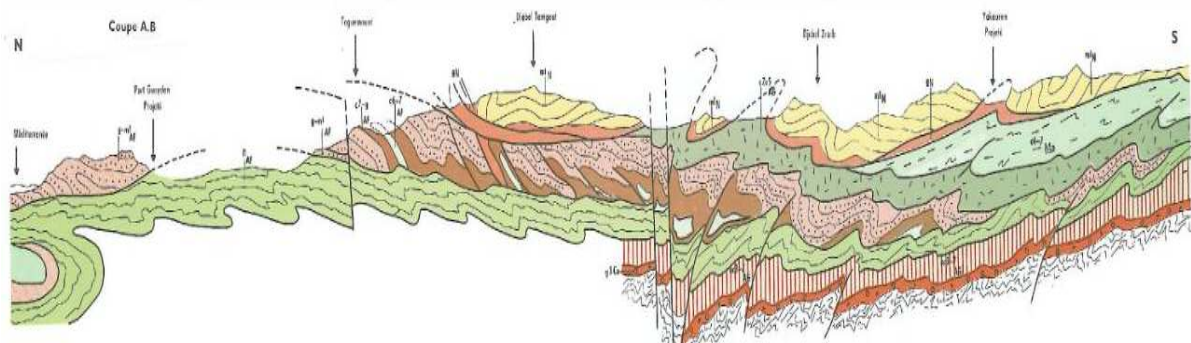
tectoniques :

- L'unité flysch d'Azazga : composée de deux termes argilo-marneux à petits bancs de grés
- L'unité numidienne : constituée d'argiles (oligocène) à la base et de grés (Aquitaniens) au sommet.

Ce sont les deux principales unités identifiées dans la région, elles sont séparées par un contact anormal majeur passant à l'est d'Azazga et de direction nord-sud suite à cette tectonique tangentielle. Une tectonique cassante marquée par un système de failles verticales découpe les grés numidiens en panneaux effondrés par rapport aux grés du Djebel Abed.



Réalisée et imprimée par l'institut national de cartographie - publiée en 1998 par le service géologique de l'Algérie



Légende du schéma structural

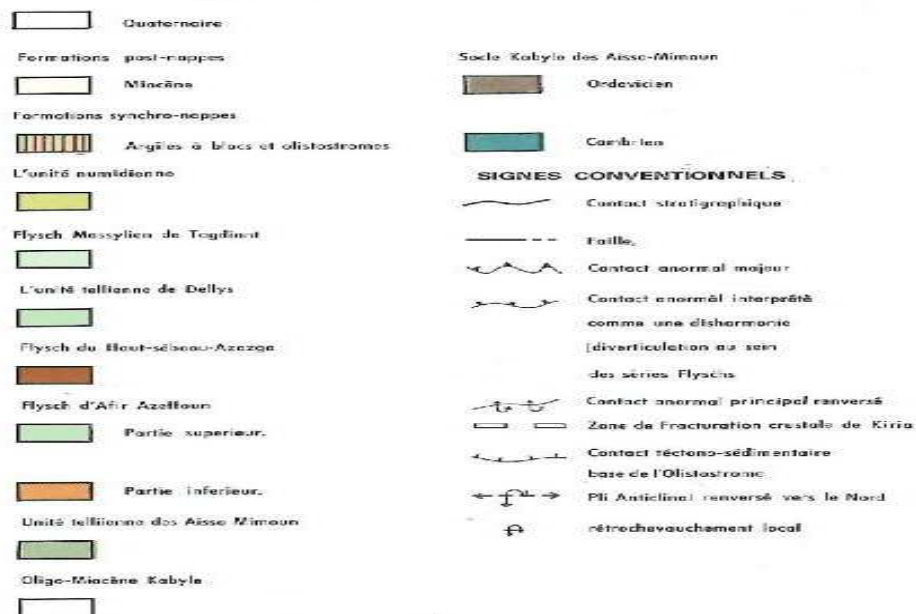


Figure III.1 : Les différentes formations géologiques d'Azazga

2. Cadre géomorphologique

La ville d'Azazga est construite à mi-pente d'un versant montagneux (Dj. Abed) orienté sensiblement nord est – sud ouest et à la faveur d'un replat topographique de pente maximale 10%. Elle est délimitée au nord et au sud, par deux grands thalwegs à écoulement intermittent : Iazoughen et Bou Léna.

Le réseau hydrographique secondaire dense, témoigne d'une érosion active qui s'explique par une pluviométrie relativement élevée (700 à 800mm /an), une période nivale qui entretient la saturation efficace des sols et des terrains fragiles à dominante argileuse.

Le paysage présente par ailleurs, une morphologie souvent moutonnée liée, soit à la solifluxion soit à des mouvements de terrain, lents, de plus grande ampleur. D'après les travaux antérieurs (LNTPB, 1974), des glissements de terrains anciens et récents sont reconnus sur les rives des deux thalwegs principaux.

Les conditions hydrogéologiques du sous sol, saturé à longueur d'année, expliquent bien la faible stabilité des sols en place vis à vis des glissements de terrain dès que les pentes naturelles dépassent 15 %.

Une carte des pentes, réalisée sur un support topographique, montre que la ville D'Azazga occupe un replat topographique présentant des pentes dominantes comprises entre 0 et 5°, bordé au nord, nord est et nord ouest par des terrains plus accidenté et à pentes plus élevées, en particulier les zone nord et nord ouest, où les pentes sont généralement > 10°



Figure III.2: Carte des pentes d'une partie de la ville d'Azazga [11]

Les désordres observés sur site, révèlent une zone sensible, située au nord de la ville, comme l'attestent, les dégradations relevées :



Affaissement d'un stade



Affaissement de la chaussée et d'une
vieille bâtisse [11]



Affaissement de la chaussée



Fissuration du mur [11]

- Témoins en plâtre indiquant la continuité du mouvement (joint entre deux blocs), de plus l'évolution de l'ouverture du rejet (qui augmente assez régulièrement depuis 1987)



Témoins en plâtre mis en place le 01/96 et 01/97 (éloignement du joint entre deux blocs de) **[11]**



Dislocation du joint et rejet de 10 à 15 cm **[11]**



Réseau d'assainissement non raccordé



Absence de gestion rationnelle des eaux

3. Cadre climatique et hydrologique

Le climat de la région de Tizi Ouzou est celui d'une moyenne montagne méditerranéenne, la pluviométrie est assez élevée mais inégalement répartie pendant l'année. Elle fait apparaître l'opposition d'une saison hivernale relativement humide et une saison estivale beaucoup plus sèche.

L'orientation générale du relief parallèle au littoral, empêche les influences maritimes vers l'intérieur. Ainsi, coexistent deux domaines climatiques, celui de la montagne et de la cuvette (bassin de Tizi Ouzou)

L'analyse des données climatiques récoltées auprès de l'ONM, mesurées à la station météorologique de la ville de Tizi Ouzou pendant la période 1988-1997, permet d'évaluer les paramètres suivants :

a) Températures

Les données recueillies font ressortir les caractéristiques suivantes :

- Une décroissance rapide d'Août à Janvier ;
- Une croissance modérée et régulière de Janvier à Août ;
- Les mois les plus froids sont : de Novembre à Mars avec des températures moyennes mensuelles minimales de 9.4°C en Janvier et 10.5°C en Décembre, et les mois les plus chauds de Juin à Septembre.

Tableau III.1 : Températures moyennes mensuelles 1920-38 [18]

Années	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fevr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout
1920-38	25.0	19.5	14.3	10.5	9.7	11.2	13.0	15.2	18.9	23.0	27.2	27.7

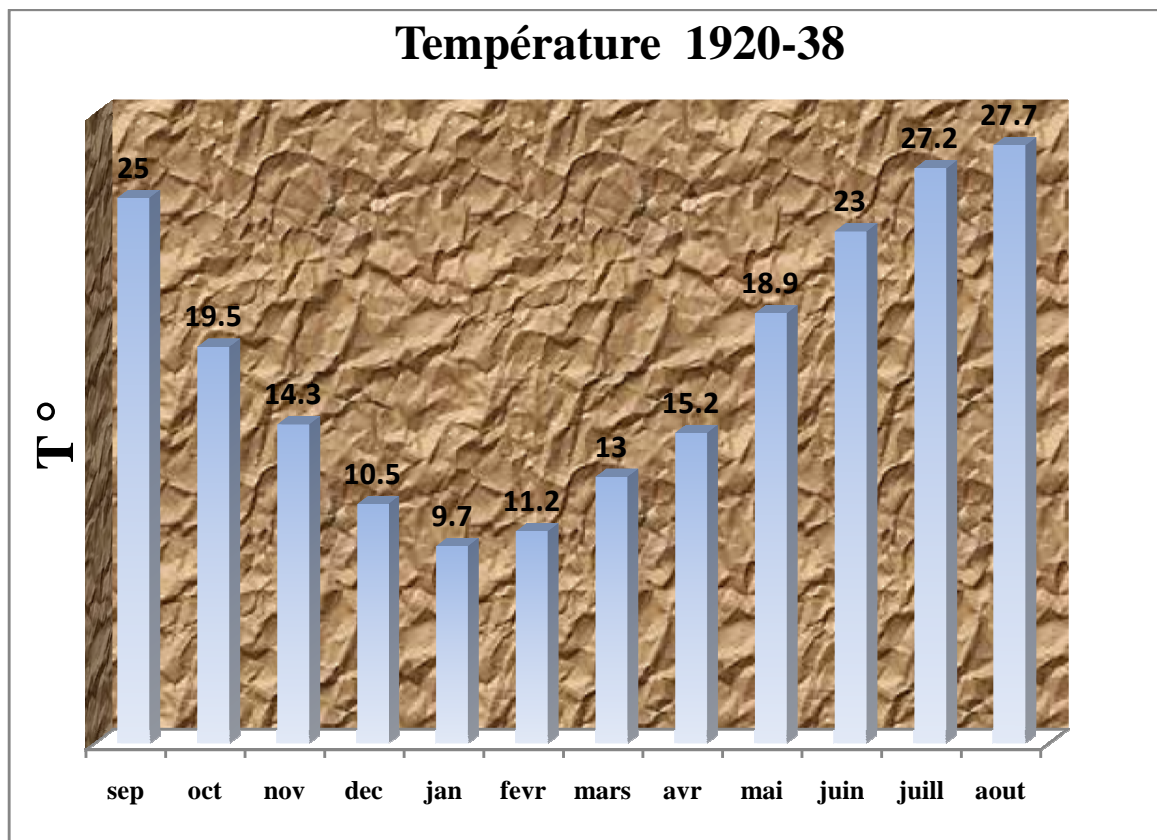
**Figure III.3**: Histogramme de la période (1920-38)

Tableau III.2 : Températures moyennes mensuelles 1989-92 [18]

Années	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fevr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout
1989-92	26.3	19.9	15.1	11.3	9.7	11.2	13.4	14.5	18.8	23.7	27.3	28.5

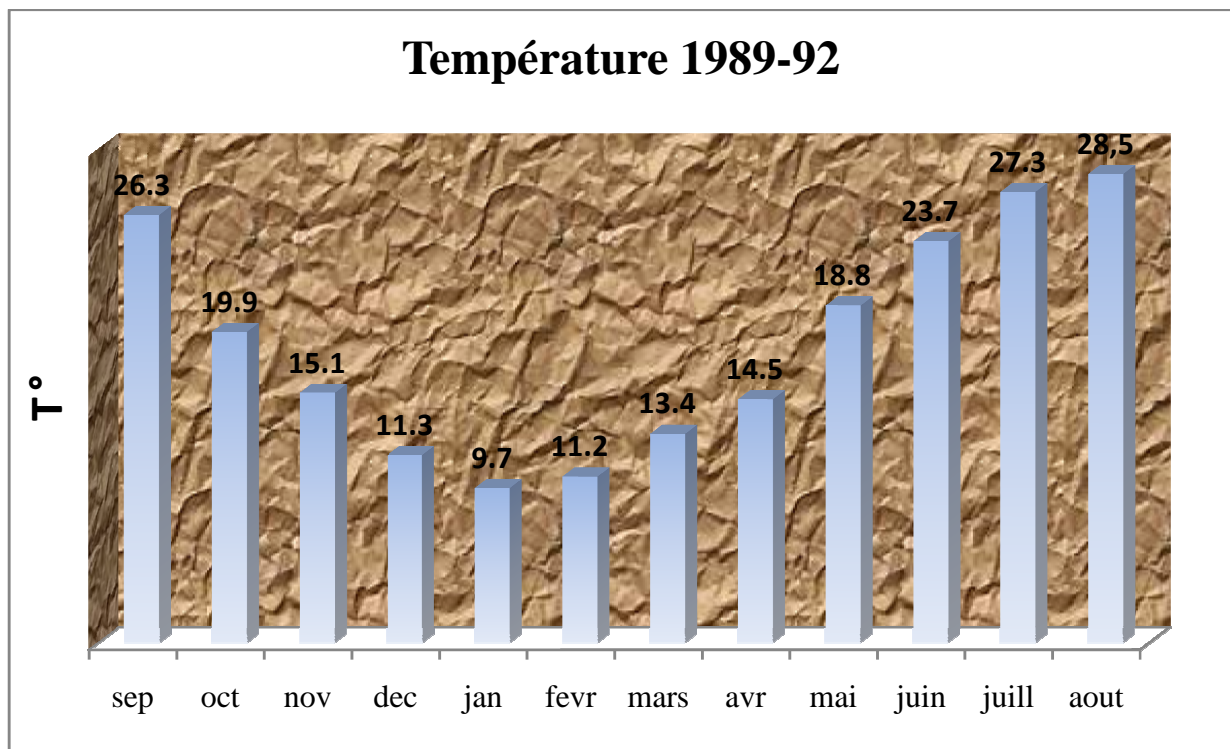
*Figure III.4*: Histogramme de la période (1989-92)

Tableau III.3 : Températures moyennes mensuelles 1992-93 [18]

Années	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fevr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout
1992-93	26.0	18.9	15.2	11.4	9.4	10.1	12.7	14.8	20.5	24.4	27.4	28.5

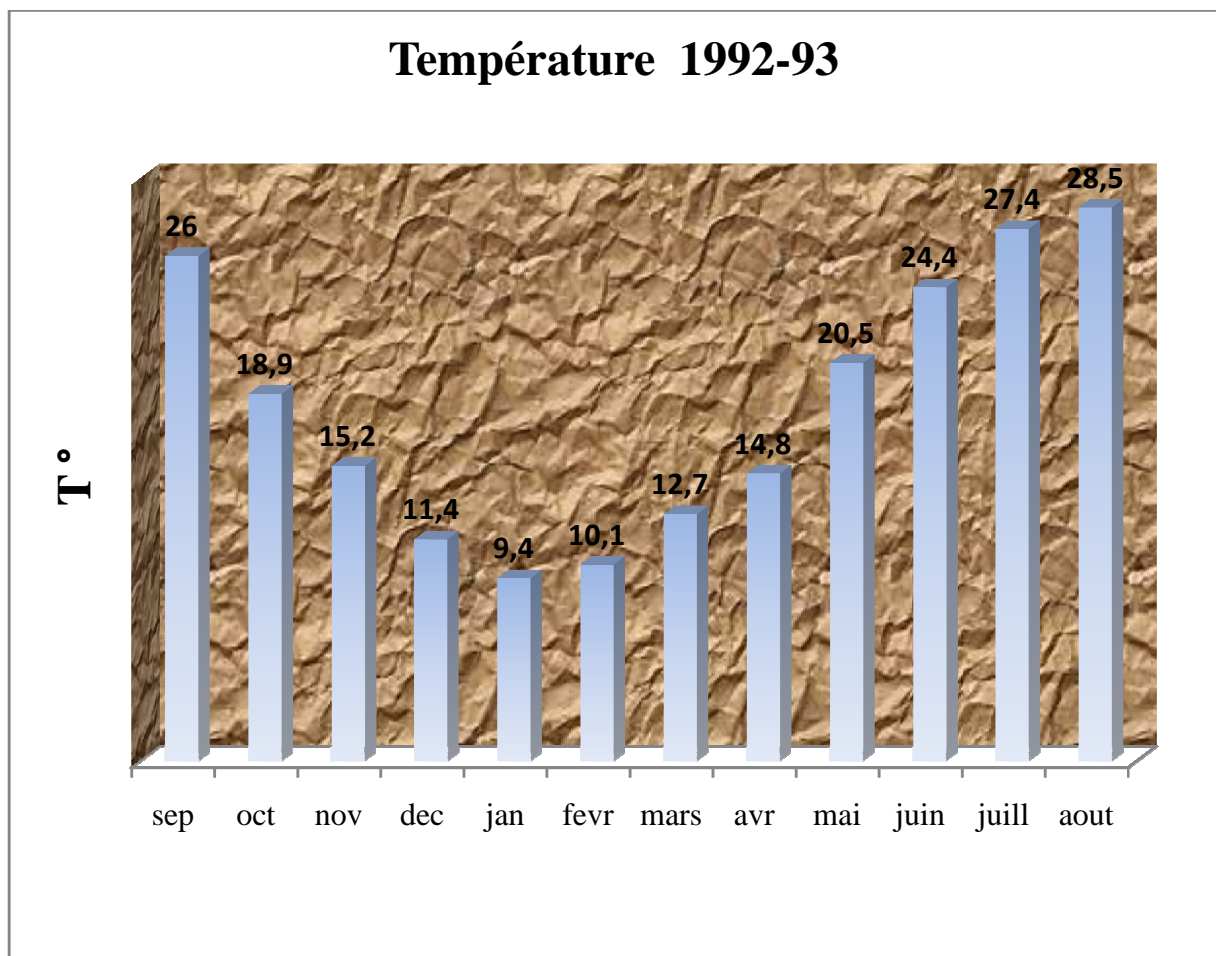
**Figure III.5**: Histogramme de la période (1992-93)

Tableau III.4: Températures moyennes annuelles [18]

Années	1920-38	1989-92	1992-93
Précipitation	17.93	18.3	18.3

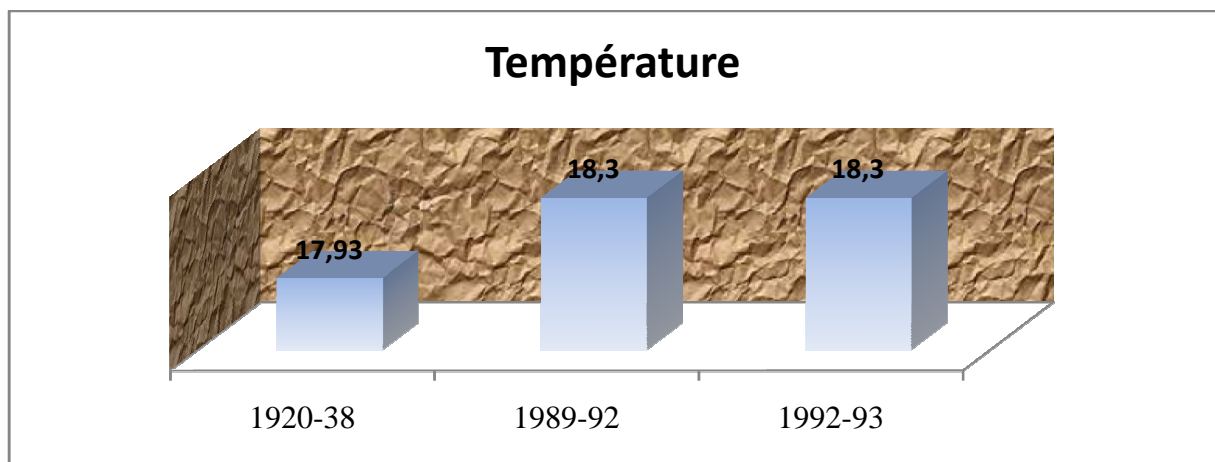
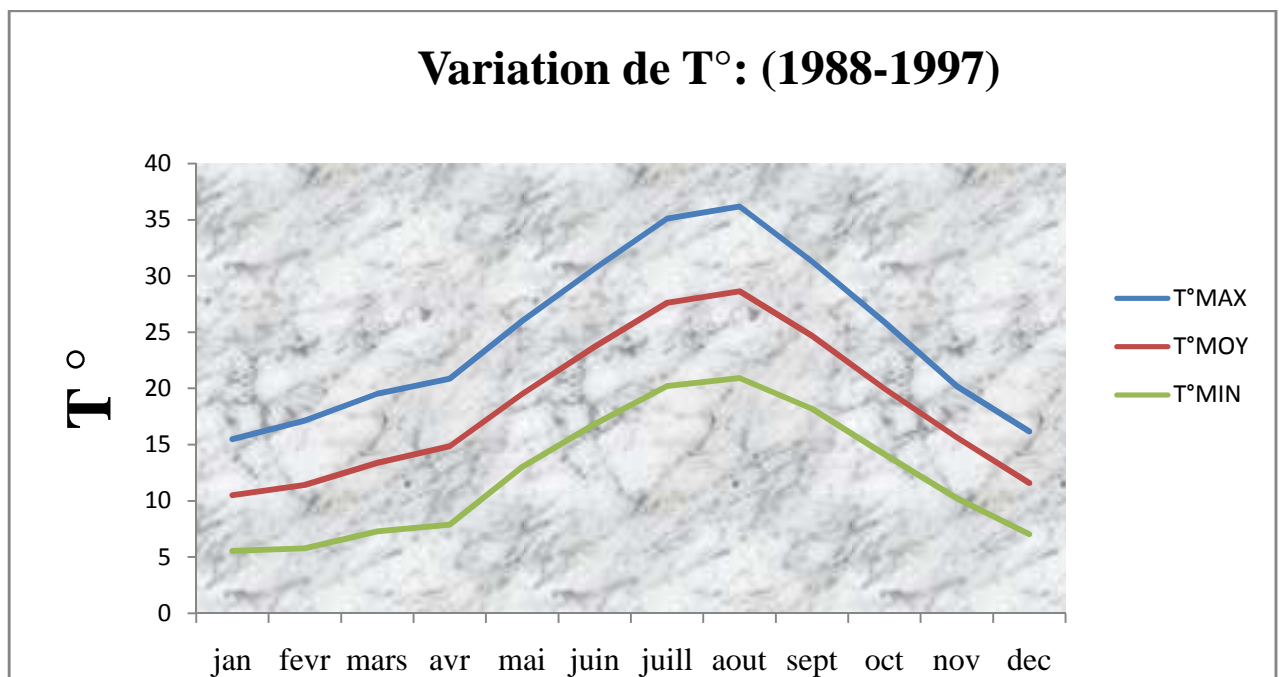
**Figure III.6:** Histogramme des température annuelles.

Tableau III.5: Variation mensuelle de la température (1988-1997) [18]

MOIS	JAN	FEVR	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUILL	AOUT	SEPT	OCT	NOV	DEC
T° Max	15.48	17.12	19.53	20.88	26.01	30.67	35.12	36.20	31.29	25.92	20.19	16.16
T° Moy	10.50	11.41	13.37	14.85	19.49	23.72	27.62	28.65	24.70	20.00	15.62	11.57
T° Min	5.55	5.78	7.29	7.88	13.00	16.83	20.23	20.93	18.20	14.14	10.21	7.02

**Figure III.7:** diagramme de variation mensuelle de la température (1988-1997)

b) Pluviométrie

La quantité annuelle des précipitations atmosphériques dépasse en moyenne les 500 mm. Les précipitations les plus élevées sont enregistrées les mois de Décembre, Janvier et Février avec des valeurs de 71.30 à 180.20 mm et qui marquent la saison hivernale. Par contre les plus basses sont enregistrées aux mois de Juin, Juillet et Août correspondant à la saison estivale. L'analyse de la variation des précipitations au cours du temps, montre un rythme irrégulier de précipitation, avec une distribution relativement faible.

Tableau III.6: Précipitations moyennes mensuelles. [18]

Années	SEPT	OCT	NOV	DEC	JAN	FEVR	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUILL	AOUT
1920-38	37	75	127	173	152	100	95	59	49	19.0	1	6
1984-92	24.5	71.8	76.6	139.2	98.9	83.6	98.5	75.4	39.2	13.0	6.5	4.1
1992-97	5.7	75.9	21.1	180.2	50.3	71.3	27.2	125.6	53.0	0.4	0.0	8.6

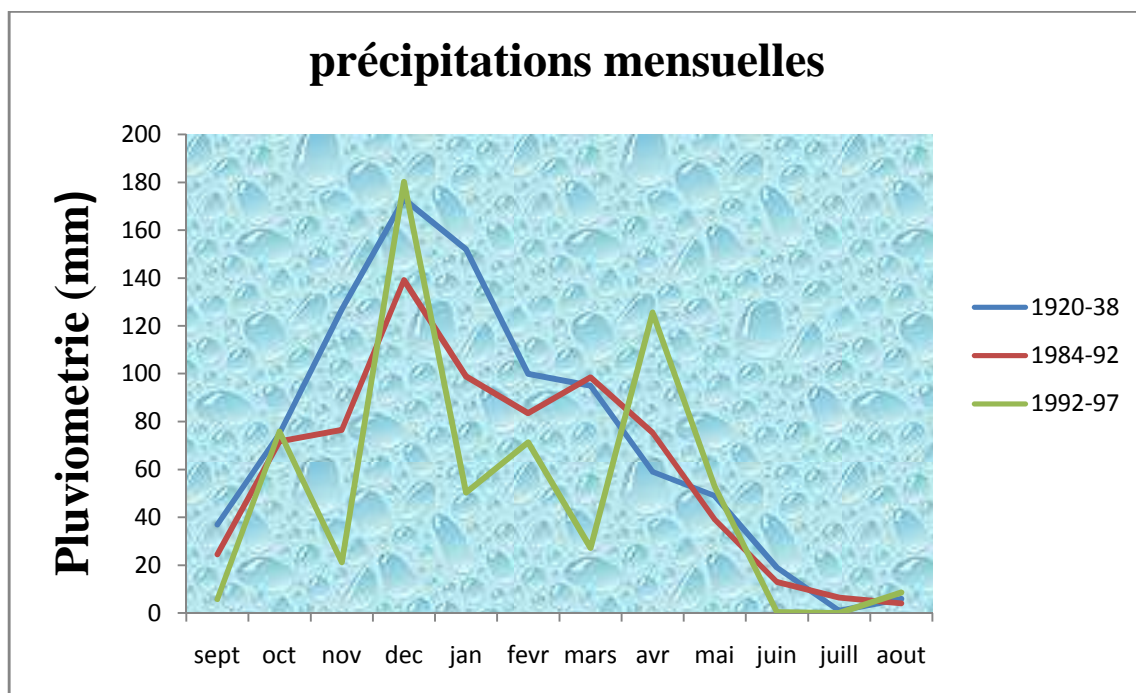
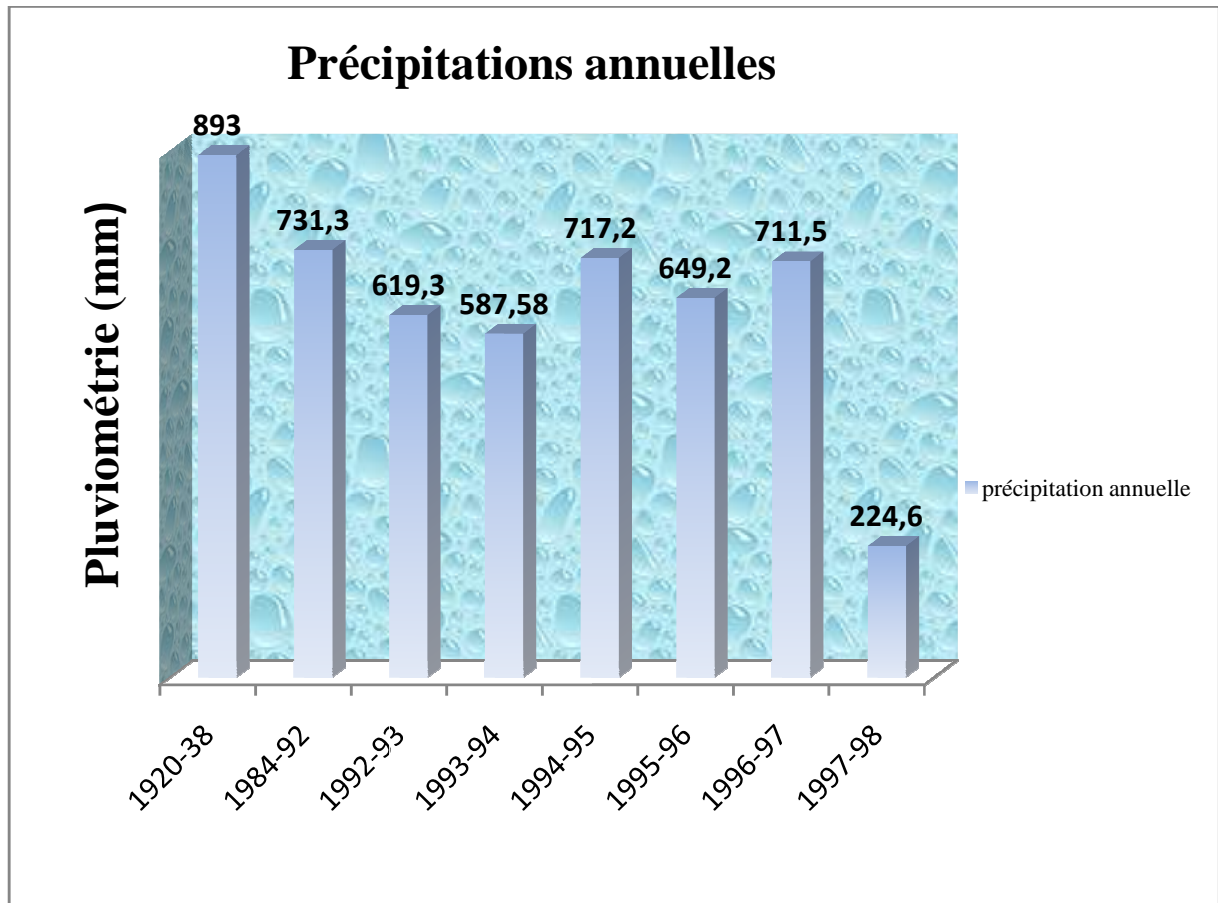


Figure III.8: Diagramme des précipitations moyennes mensuelles.

Tableau III.7: Précipitations moyennes annuelles. [18]

Années	1920-38	1984-92	1992-93	1993-94	1994-95	1995-96	1996-97	1997-98
Précipitation annuelle	893.00	731.30	619.30	587.58	717.20	649.20	711.50	224.60

**Figure III.9:** Histogramme des précipitations moyennes annuelles

🚧 La perturbation des précipitations dans la région d'Azazga engendre un régime hydrographique irrégulier. Durant l'été, les oueds sont à sec, par contre, la période pluvieuse favorise un écoulement notable et un transport important de sédiments.

c) Le régime des eaux

Il existe une présence d'eau souterraine sous forme de nappes pelliculaires, qui se développent en période pluviale, dans les éboulis du Numidien constitués de grés grossiers altérés à matrice argilo-limoneuse peu sableuse. L'infiltration de ces eaux dans les niveaux sous-jacents à savoir les flyschs et les argiles miocènes forme des niveaux d'eau souterraine sous forme de nappes semi-profondes.

4. Sismicité

Les caractéristiques sismo-tectoniques du nord algérien montrent que celui-ci est caractérisé par une activité tectonique récente se manifestant sous forme de séismes de magnitudes plus ou moins élevées.

Les désordres induits par les séismes au niveau du sol, représentent la cause principale des dégâts. Ils sont de diverses natures. Parfois le résultat est la combinaison de plusieurs types de désordres. Tout phénomène sismique se manifeste par des vibrations au niveau du sol généré par les ondes sismiques et l'apparition de failles en surface, lorsque les séismes sont de fortes magnitudes. Les instabilités liées aux séismes concernent entre autres:

- les glissements de terrain
- les ruptures de failles en surface...

La conception et la réalisation des ouvrages devront donc tenir compte de la sismicité de la région et se conformer à la réglementation en vigueur. La nouvelle réglementation parasismique (CGS, 2003) classe les zones sismiques comme suit : (voir nouvelle carte de zonage sismique du territoire national)

Tableau III.8 : Zoning sismique de l'Algérie (CGS.2003)

Zone 0	sismicité négligeable
Zone I	sismicité faible
Zones II a et II b	sismicité moyenne
Zone III	sismicité élevée

La région de Tizi Ouzou est classée dans la zone de moyenne sismicité. (Zone II a)

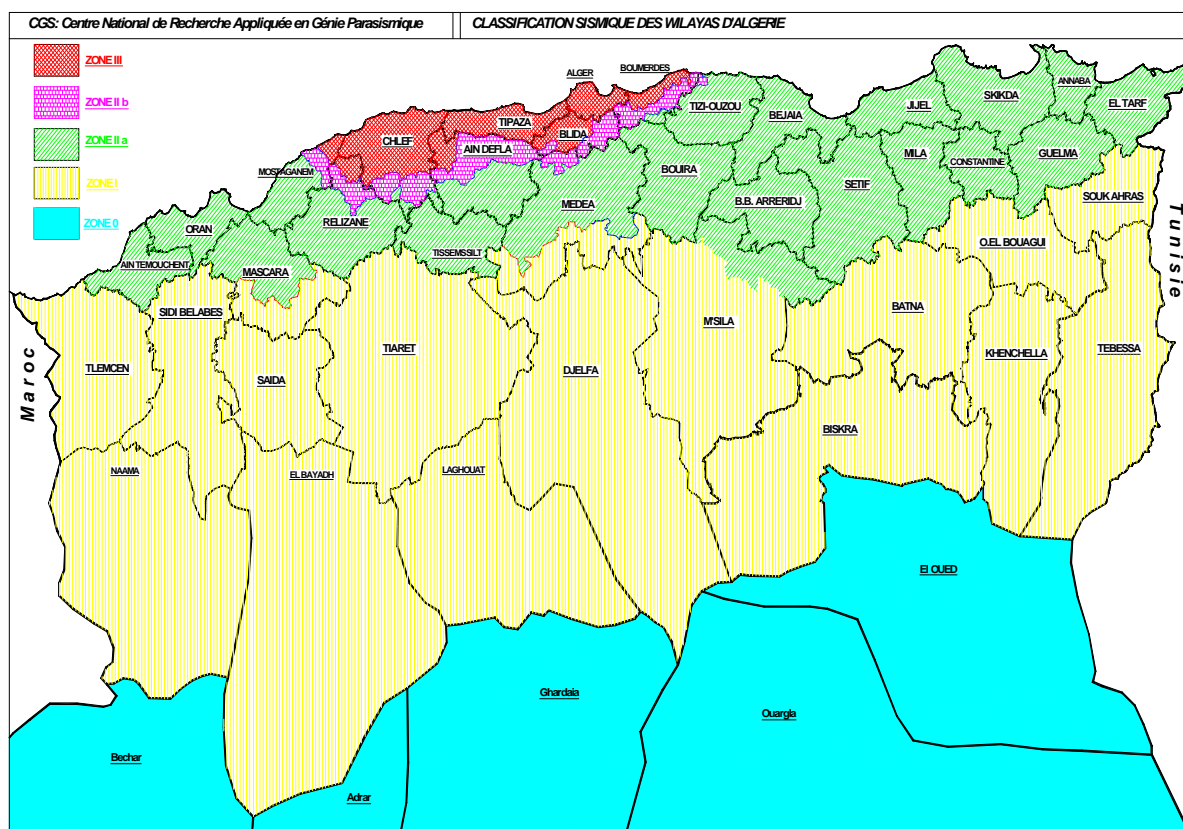


Figure III.10: Carte de zonage sismique du territoire national – rpa99/ après addenda [11]

5. Appréciations géotechniques

❖ Caractéristiques physico-mécaniques des formations

L'exploitation des études géotechniques antérieures (LNTP, 1974 et LCTP, 1985) montrent que les argiles miocènes et les éboulis ont des propriétés physico-mécaniques médiocres, par opposition aux Flyschs qui sont plus résistants. Le tableau ci-dessous résume leurs principales caractéristiques géotechniques :

Tableau III.9: Les caractéristiques physico-mécaniques des formations [11]

Essais	Flysch	Argiles miocènes	Eboulis argilo-gréseux
Teneur en eau	17 à 32	20 à 25	Supérieure à 30%
Limite de liquidité	65 à 70	40 à 55	50 à 70 %
Indice de plasticité	30 à 45	22 à 34	30 à 45
Densité sèche	1.40 à 1.75	1.60 à 1.66	
Coefficient de compressibilité	0.2 à 0.3	/	0.30
Coefficient de gonflement	0.08 à 0.11	/	
Cohésion (Kgf/cm ²)	C _{uu} = 0.35 à 0.75	C _{cu} = 0.50 à 0.70	C _{uu} = 0.25 à 0.50
Frottement (degré)	Ø _{uu} = 14 à 18	Ø _{cu} = 9 à 14	Ø _{uu} = 5 à 25

✚ Les résultats ci-dessus montrent que ces formations n'admettent pas des surcharges importantes et qu'elles sont très sensibles à la présence d'eau. Ces caractéristiques sont toutefois à vérifier sachant qu'elles peuvent varier, dans une large mesure, suivant les sites de prélèvement des échantillons. Néanmoins, les études antérieures mettent l'accent sur la faible portance de ces différents terrains et préconisent, lorsque les pentes sont stables, des fondations semi-profondes.

III.4 Les causes probables du glissement d'Azazga :

- L'action de l'eau dans le remblai et dans le substrat altéré a engendré des pressions interstitielles supérieures à la résistance au cisaillement, permettant le développement des forces motrices nécessaires au déplacement.
- L'activation du glissement de terrain d'Azazga est généralement précédée par des événements climatiques exceptionnels, caractérisés par de fortes précipitations (voir l'historique). En conclusion, les fortes précipitations qui caractérisent le climat de la région, ont un rôle important dans le déclenchement du glissement de terrain qui affecte la ville.
- Les matériaux argileux du versant présentent des caractéristiques physiques défavorables, car ils ont une faible résistance.
- L'existence d'un ancien glissement.
- La déclivité du terrain (existence de pentes entre 10° et 25°) facilitent le phénomène du glissement.
- Les aménagements : travaux de déblaiement et poids du remblai, ont accentué la vulnérabilité de l'équilibre déjà précaire du versant.

III.5 : Conclusion

Les désordres observés sont donc à relier à l'existence de terrains très sensibles et plastiques, dont le comportement est favorisé par la présence d'eau à faible profondeur. Cette instabilité évolue de façon latente et à la faveur de la topographie et des fluctuations du niveau d'eau, vers un mouvement du sol, induisant des glissements de terrain par fluage à l'échelle de la zone et par rupture franche ponctuellement.

Chapitre IV

IV. Introduction

Une fois établies la résistance au cisaillement, la pression d'eau dans les pores, la géométrie de la pente et d'autres propriétés du sol et de la pente, les calculs de stabilité des talus doivent être effectués pour s'assurer que les forces résistantes sont suffisamment supérieures à la force qui tend à entraîner la pente vers l'échec.

Il demeure entendu que ce genre d'opération peut être effectué manuellement mais la tâche s'avère fastidieuse. C'est pour cette raison qu'il est fait recours présentement aux logiciels appropriés.

Le présent chapitre est consacré à l'étude de la stabilité du glissement des POS A1 et A5 d'Azazga. La vérification de la stabilité se fait avec un calcul de coefficient de sécurité (F_s) que nous fournis par ailleurs le logiciel géotechnique TALREN 4 en plus d'un petit calcul manuel lorsqu'on suppose que ce glissement est plan.

Dans cette perspective, nous avons sélectionné la méthode de Bishop que nous considérons comme la plus concise en termes de résultat pour le calcul avec le logiciel.

IV.1. Facteurs de sécurité

Si les données géotechniques nécessaires sont définies, le calcul de la stabilité des pentes peut être effectué à l'aide d'une des méthodes de calcul connues. On suppose que la rupture est imminente (proche à se produire) et on introduit un facteur de sécurité vis-à-vis des conditions normales.

En fait, le calcul du facteur de sécurité est lié à celui de la stabilité. Ces procédés appliquent le principe selon lequel, le long d'une surface de glissement donnée, la résistance au cisaillement du terrain s'oppose aux efforts tranchants qui peuvent s'y produire. La surface de rupture déterminante, résultant d'essais, est celle qui fait paraître le plus petit coefficient de sécurité.

IV.2. L'objectif du calcul de la stabilité

L'objectif d'un calcul de stabilité est de définir la surface de glissement. La méthode de calcul consiste par tâtonnement, à tester le plus grand nombre de surface de rupture possible. Chaque surface testée nécessite donc un calcul de stabilité, qui nous donnera un coefficient de sécurité (F_s). Après avoir testé un nombre important de surface de glissement, on prend la valeur la plus petite de F_s la quelle correspond à la ligne la plus probable de rupture pour un sol donné.

On dit qu'un talus est en équilibre si, pour toutes les surfaces de rupture possibles, les forces qui empêchent le glissement sont plus grandes que celles qui tendent à le produire. L'analyse de l'équilibre est facile si l'on admet une surface de rupture circulaire et si l'on divise en tranches le massif ainsi défini. Le calcul par tranches fut développé par Fellenius puis amélioré en particulier par Bishop.

IV.3. La méthode par tranches

Les répartitions des contraintes envisagées par les méthodes globales sont encore schématiques et ne conviennent que pour des profils de talus en sol homogène et isotrope. Les méthodes par tranches sont plus souples, le talus est partagé en tranches verticales, l'étude de l'équilibre tranche par tranche permet de moduler les valeurs des contraintes et d'envisager des conditions plus complexes : profil de talus non rectiligne, hétérogénéité du sol, ligne de glissement quelconque. [7]

1. Mise en équation du problème

Soit la **Figure (III.1)** $YA(x)$, $YB(x)$ et $e(x)$ représentant respectivement les fonctions du profil du talus, de la ligne de glissement et de la ligne de poussée (lieu d'application des efforts inter-tranches (H_i et V_i)). $YA(x)$ et $YB(x)$ sont assimilées à des lignes polygonales, les tranches étant considérées comme trapézoïdales. Les réactions R_i sont supposées s'appliquer au milieu de la base de chaque tranche (cette dernière supposition constitue une approximation suffisante d'autant plus justifiée que le nombre de tranches est élevé)

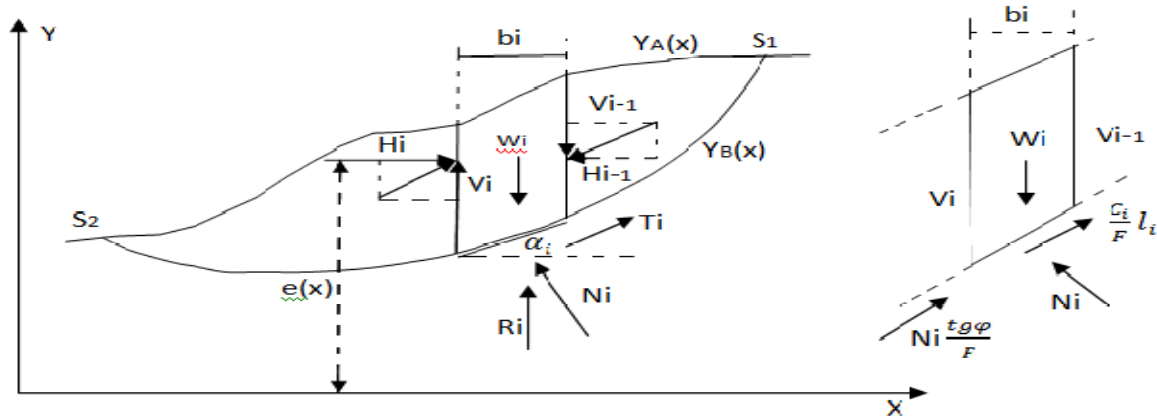


Figure IV.1: Les efforts exerçant sur une tranche. [4]

Une tranche i est soumise à :

- 1) Le poids $W_i = \gamma h_i b_i$
- 2) Les efforts inter-tranches, qui se divisent en efforts verticaux (V_i et V_{i+1}) et horizontaux (H_i et H_{i+1}).
- 3) La résistance au cisaillement R_i qui se décompose comme suit :

- une composante normale :

$$N_i = \sigma_i l_i = \sigma_i * (b_i) / \cos \alpha_i \quad ; \quad l_i = (b_i) / \cos \alpha_i$$

- une composante tangentielle :

$$T_i = \tau_i l_i$$

Or

$$\tau_i = c_i + \sigma_i \operatorname{tg} \varphi_i = c_i / F + \sigma_i \operatorname{tg} \varphi_i / F$$

Soit, en remplaçant σ_i par sa valeur,

$$T_i = c_i / F * b_i / \cos \alpha_i + N_i \operatorname{tg} \varphi_i / F$$

Remarquons que C_i et φ_i qui interviennent dans le calcul de T_i sont des caractéristiques critiques.

2. Présentation de la méthode de BISHOP (1955)

La méthode de Bishop (1955) est assurément la méthode de calcul d'équilibre limite la plus employée dans les logiciels informatiques pour l'analyse de stabilité. Facile d'emploi, elle permet de modéliser des talus à géométrie complexe, comportant plusieurs couches de sol avec des conditions hydrauliques variées.

Pour calculer la résistance au cisaillement par le critère de Mohr- coulomb, il faut déterminer la valeur de la contrainte normale σ' en chaque point de surface, la méthode de

Bishop (1955) utilise le principe des tranches (figure III-9) qui consiste à diviser la masse de sol située au-dessus de la surface de rupture potentielle en tranches verticales et à décrire l'équilibre statique de chacune d'elles. Elle repose sur les hypothèses suivantes :

- La surface de rupture est un cylindre à section circulaire ;
- Le sol à un comportement rigide plastique ;
- Le critère de rupture du sol est celui de Mohr-coulomb ($\tau_f = c' + \sigma' \tan \varphi'$, dans une analyse à long terme et $\tau_f = c_u$ dans une analyse à court terme)
- Les efforts verticaux inter-tranches sont négligés ;
- Le coefficient de sécurité F est constant tout le long de la surface de rupture et s'écrit : $F = \tau_f / \tau$

L'expression de ce coefficient de sécurité est obtenue en écrivant les deux équations d'équilibre statique : équilibre des forces verticales appliquées à chaque tranche et équilibre global des moments.

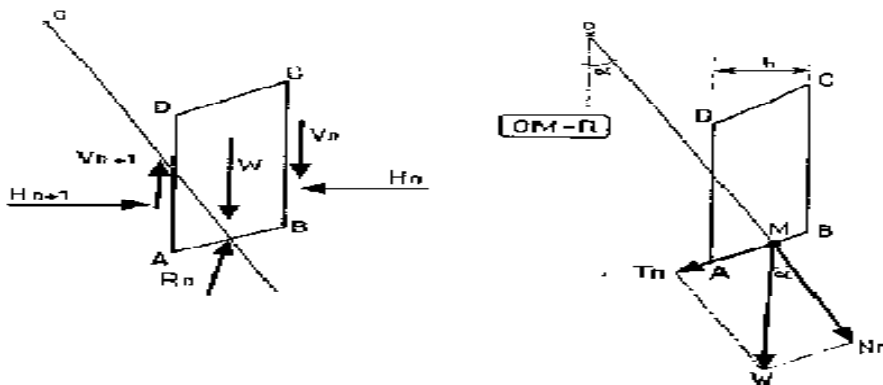


Figure IV.2: Equilibre d'une tranche de sol. [7]

L'expression du coefficient de sécurité F donné par Bishop (1955) en prenant en compte les caractéristiques drainées du sol est la suivante :

$$F_S = \frac{\sum_{i=0}^n (c'_i b_i (w_i \cos^2 \alpha_i - u_i b_i) \tan \phi'_i) \frac{1}{\cos \alpha_i (1 + \frac{\tan \alpha_i \tan \phi'_i}{F})}}{\sum_{i=0}^n w_i \sin \alpha_i}$$

Dans cette expression, i est l'indice de la tranche, c'_i désigne la cohésion drainée du sol à la base de la tranche considérée; φ'_i l'angle de frottement drainé du sol ; b_i la largeur de la tranche ; w_i le poids de la tranche ; α_i l'angle d'inclinaison par rapport à l'horizontale de la tangente à la courbe de rupture à la base de la tranche.

Pour résoudre cette équation implicite, $F = f(F)$, une méthode itérative est nécessaire. [6]

IV.4. Cas pratique : étude du glissement des POS A1 et A5 appartenant à Azazga**1. Présentation des POS :**

Une étude géotechnique a été confiée au laboratoire LCTP afin de déterminer tous les paramètres physico-mécanique et hydraulique des couches du sol en place.

D'après le LCTP, le terrain des POS est caractérisé par :

- a) **Lithologie** : le terrain étudié est constitué principalement par une formation de remblais de limon argileux peu épais (1 à 2m), des sables limoneux fins, jaunâtres, épais (8 à 12m), des argiles grises très remaniées et plastiques à saturation d'épaisseur variable (4 à 10m) et des argiles grises à verdâtres, épaisses (plus de 20m), formant le terrain substratum du site.
- b) **Niveau d'eau** : Les sondages équipés en piézomètres mettent en évidence l'existence d'une nappe phréatique peu profonde à environ 3m.
- c) **Propriétés géotechnique et dynamique** : les paramètres physiques et mécaniques obtenus traduisent un sol très humide à saturé, consistant, fortement plastique.

IV.5. Etude de la stabilité des POS

Les conditions géotechniques prises en compte proviennent de l'information contenue dans le rapport de reconnaissance géotechnique fourni par le LCTP. Les profils géo-mécaniques de calcul ont été définis dans la zone des glissements sur laquelle on a effectué les essais physico-mécaniques du terrain.

- a) **Le glissement est plan**: On suppose dans un 1^{er} temps que le glissement dans les POS A1 et A5 d'Azazga est un glissement plan et on calcule le F_S manuellement comme suit :

- On considère une tranche de la coupe géologique des POS (sans faire inclure le substratum), on fait la projection pour l'ensemble des forces motrices et stabilisantes qui s'exercent sur elle et on calcule le F_S :

$$\rightarrow T'' = \cos\beta \cdot \sin\beta \cdot \sum_0^z \gamma \cdot h = 618.3 \cos 9 \cdot \sin 9 = 95.53 \text{ KN}$$

D'où

$$\triangleright F_s = \frac{R}{T} = \frac{81.62}{95.53} = \mathbf{0.85}$$

✚ On a $F_s < 1.5$ c.à.d. que les POS sont instables et cela témoigne de l'existence d'un *glissement plan* dans cette zone.

b) Le glissement est circulaire: On suppose dans un 2^{ème} temps que le glissement dans les POS A1 et A5 d'Azazga est un glissement circulaire et on calcule le F_s avec la méthode de Bishop en utilisant le logiciel TALREN4

❖ Deux coupes géologiques (1, 2) sont définies selon le sens du glissement : Ces coupes géologiques sont effectuées sur le logiciel informatique: MAPINFO et avec le recours aux résultats des sondages élaborées au laboratoire LCTP. Les coupes nous permettent de connaître la géométrie de la pente, son altitude, sa distance, les différentes strates du sol....etc. Ce sont des données nécessaires pour faire la modélisation sur le logiciel.

- La 1^{ère} coupe (celle dans le sens du glissement), entre sc3, sc1 et sc9, a pour objectif de montrer la forme de la ligne de rupture ainsi que le degré de l'instabilité de la zone des POS (calcul de F_s).
- La 2^{ème} coupe (transversale par-rapport au sens du glissement), entre sc3 et sc2, a pour objectif de montrer la continuité des couches de sol dans l'autre sens et pour confirmer que le glissement ne concerne pas uniquement la zone sur laquelle on a effectué le calcul.

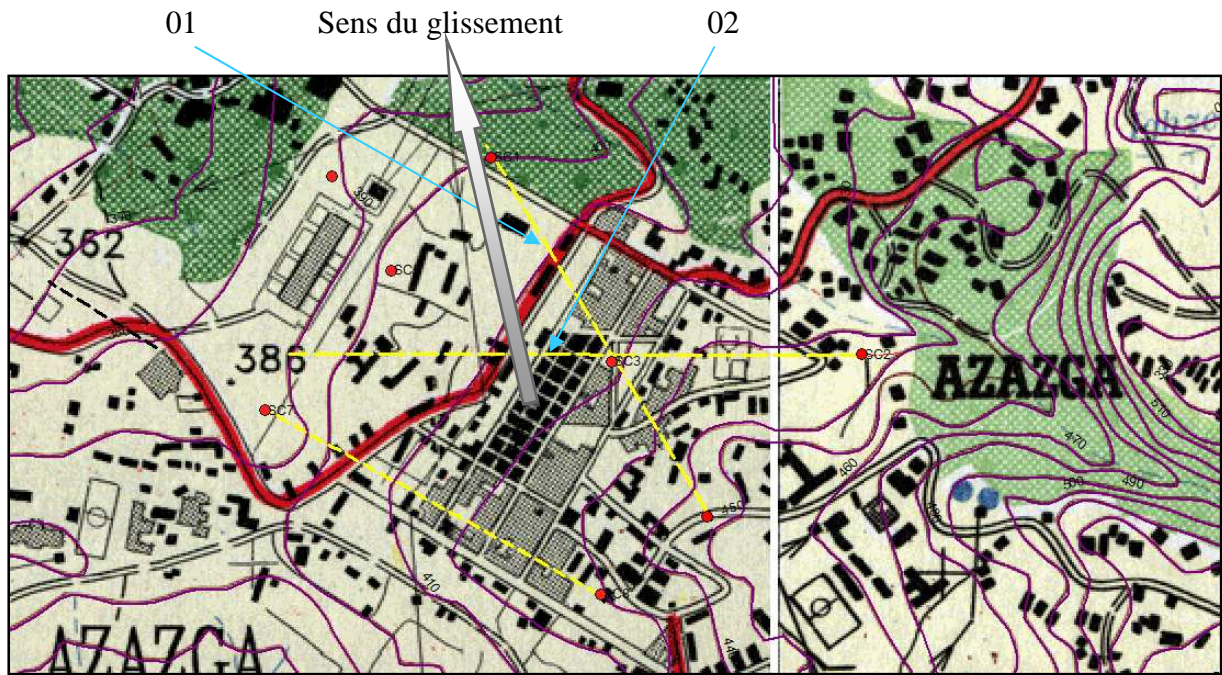


Figure IV.4: Le sens des coupes effectuées sur le MAPINFO

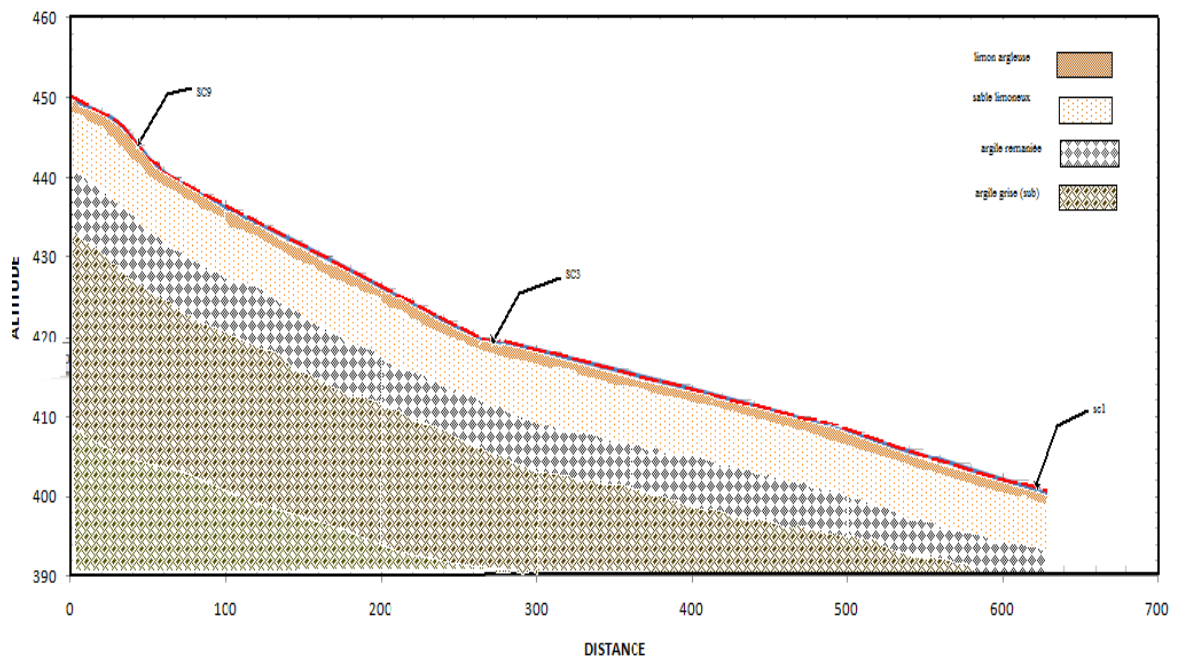


Figure IV.5: Coupe géologique réalisée à partir des sondages (SC09, SC03, SC01).

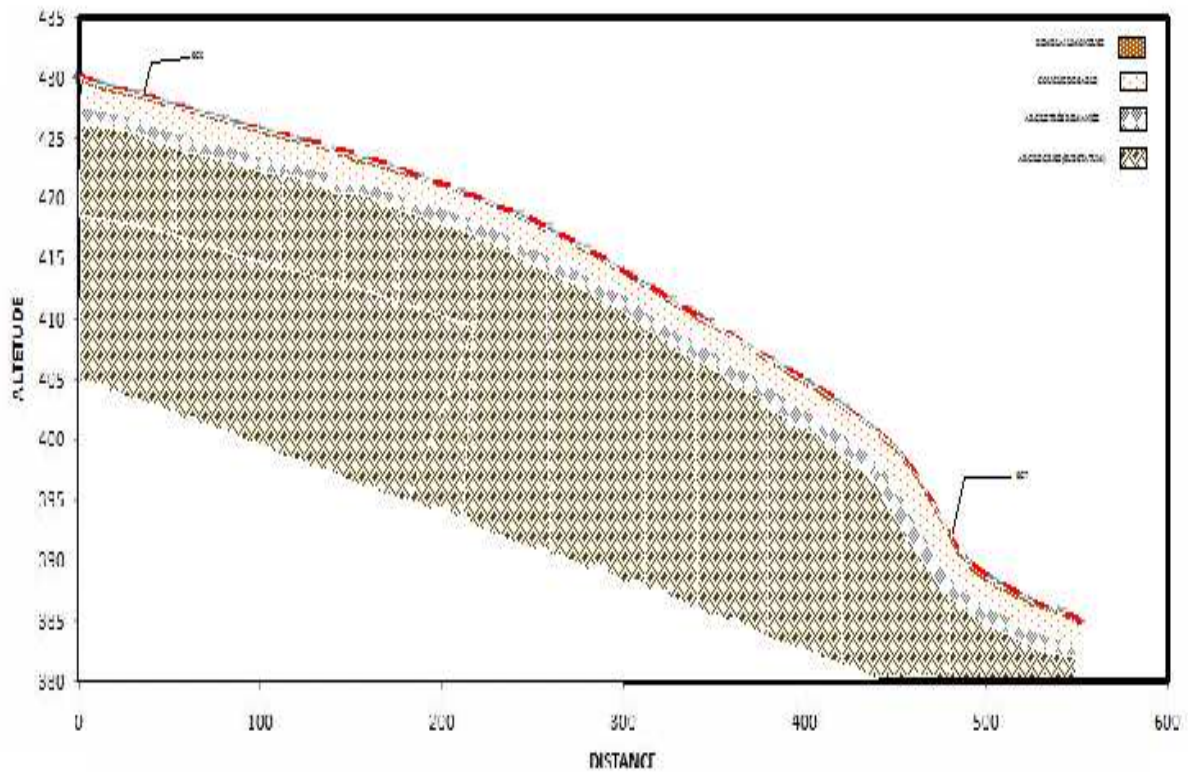


Figure IV.6: Coupe géologique réalisée à partir des sondages (SC03, SC02).

Tableau IV.2: Profil géotechnique de calcul pour les deux coupes. [11]

N° de la couche	La profondeur (m)	Nature géotechnique	Caractéristiques géotechnique		
			γ (k/m^3)	C, C_{uu} (kpa)	φ ($^\circ$)
1	0-2	Limon	19.7	40	5
2	10-12	sable	20.8	20	9
3	4-10	Argile remaniée	19.1	40	6
4	Plus de 21	Argile grise	20.7	49	8

1. L'importance d'utilisation des programmes de calcul

Avec l'ordinateur, on peut admettre des simplifications moins importantes et prendre en compte par exemple l'interaction entre tranches, les surfaces de rupture non cylindriques, voire même le calcul à trois dimensions. La méthode de Fellenius reste la seule méthode dont le calcul soit abordable « à la main » ou mieux avec un petit calculateur de poche.

L'usage de programmes informatiques facilite l'analyse de la stabilité des versants. La plupart des ces programmes sont basées sur la méthode des tranches en rupture circulaire.

Le principal avantage de l'informatique est la possibilité de tester, à cout très faible, un très grand nombre de surfaces de rupture en un temps minimum et de déterminer celle qui est la plus critique.

On peut également faire varier les conditions géométriques, géotechniques et hydrauliques le long d'une surface et comparer l'influence des différents facteurs. Cela permet, par exemple, d'évaluer les résultats à attendre d'éventuels plans de stabilisation.

2. Présentation de *TALREN4*

TALREN est un logiciel mis en place par TERRASOL, son nom est tiré de Talus renforcés.

Il permet de vérifier la stabilité de talus naturels, remblais, barrages et digues, avec prise en compte des différents types de renforcement: tirants précontraints, clous, pieux et micro-pieux, géotextiles, géo-grilles, terre armée et bandes de renforcement, tout en utilisant les rideaux de soutènement, palplanches ou parois moulées, par défaut.

Le logiciel TALREN 4 est fourni sur CD ROM. Il utilise une clé électronique (en version complète uniquement) qu'il faut connecter sur le port imprimante parallèle LPT1 de votre ordinateur ou du serveur (ou éventuellement sur le port USB selon le type de clé commandé). Il n'est pas nécessaire que la clé soit branchée pour l'installation (c'est uniquement pour l'utilisation du logiciel qu'elle est nécessaire).

Les différentes options pour la manipulation du logiciel *TALREN4*

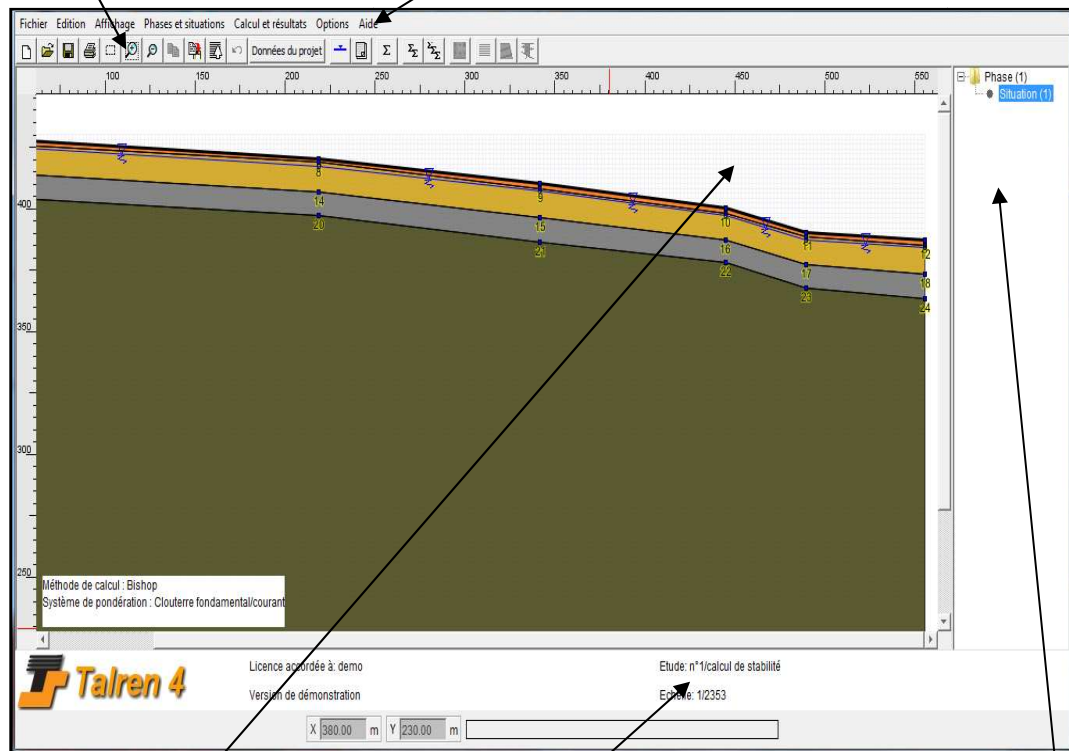
Les différentes « zones » de l'interface de TALREN4 sont les suivantes:

- Le menu principal (complété par le menu contextuel) ;
- La barre de boutons générale et les barre de boutons contextuelles ;
- Le navigateur des phases et situation (visible seulement en mode phase/calcul) ;
- La zone graphique ;
- La barre d'état ;
- Les boites de dialogue.

Ces différents objets sont décrits dans les figures suivantes :

Barre de bouton

Le menu principal



Zone graphique

Barre d'état

navigateur des phases et situation

Figure IV.7: Identification des zones à l'écran (en mode phasage/calcul)

a) Le menu principal

Le menu, dont l'arborescence complète est illustrée sur la Figure 8, comporte les rubriques principales suivantes :

- Fichier
- Edition
- Affichage
- Données
- Phases et situations
- Calcul et résultats
- Options
- Aide

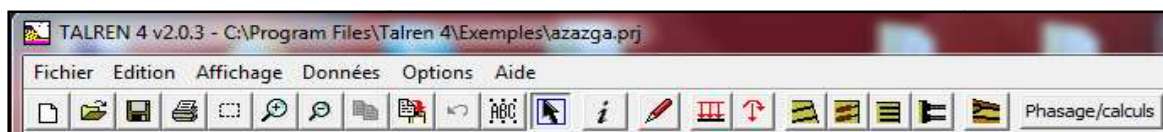


Figure IV.8: Le menu, les barres de boutons et le navigateur

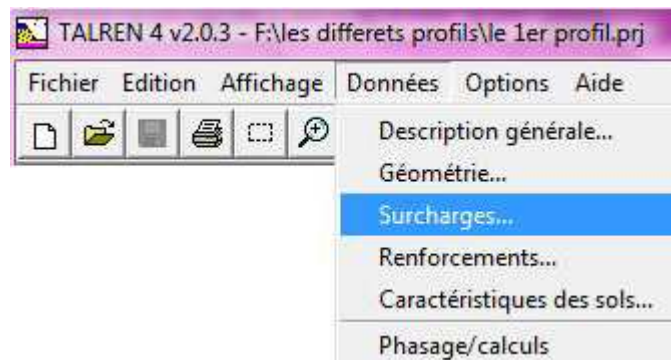


Figure IV.9: Exemple de principaux types de données.

b) La barre de boutons principale



Figure IV.10: 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

c) Barre de boutons contextuelle "Données du projet"

Celle-ci comporte principalement les boutons équivalents aux fonctions du menu "Données du projet" :



Figure IV.11: la barre de boutons contextuelle "Données".

Les boutons ci-dessus 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".

d) **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" :

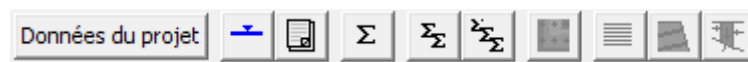


Figure IV.12: La barre de boutons contextuelle "Phasage/Calculs"

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).

e) **Le navigateur des phases et situations**

En mode "Phasage/Calculs", un navigateur apparaît à droite de la zone graphique (**Figure IV.10**). Celui-ci permet de passer d'une phase ou situation à l'autre, ainsi que d'insérer, ajouter, supprimer ou renommer des phases et situations (soit par le menu "Phases et situations", soit par le menu contextuel qui apparaît après un clic droit de la souris sur une phase ou situation)

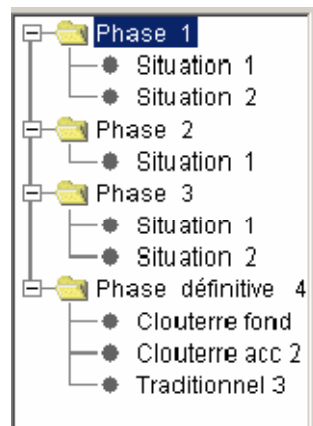


Figure IV.13: navigateur des phases et situations.

f) La zone graphique et les règles

La zone graphique comporte différents éléments :

- Une règle horizontale, calée en haut de la fenêtre graphique, dont les paramètres (échelle, origine, pas de graduation, etc...) sont déterminés automatiquement en fonction de la largeur du projet, ou du zoom actuel



- Le même type de règle, avec les mêmes caractéristiques, mais verticale à la gauche de la fenêtre graphique ;
- Des barres de défilement (scroll-bars) horizontale et verticale selon le niveau de zoom courant ;
- L'espace réservé au dessin de la coupe de la phase courante. En bas de cette zone figure un cartouche où sont affichés : le nom de la société détentrice de la clé (information figurant dans la clé de protection), le mode d'utilisation (monoposte, réseau ou démo), le titre du projet et l'échelle du dessin ;
- Un menu contextuel, accessible par un clic droit de la souris.

Procédure de calcul de *TALREN*

TALREN 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.

Types de renforcements - considérations générales

TALREN a spécifiquement été conçu pour la prise en compte de renforcement. Les types de renforcements acceptés sont toutes les inclusions que l'on peut caractériser par un ou plusieurs des paramètres suivants :

- résistance à la traction.
- résistance à la flexion.
- résistance au cisaillement.

A ce titre peuvent être introduits :

- tirants ;
- clous ;
- pieux et micro pieux ;
- armatures de renforcement par bandes;
- rideaux de soutènement (palplanches, parois moulées);
- nappes de géotextiles.

IV.6. Résultats de calcul pour la méthode de BISHOP avec *TALREN4*

1. Calcul de coefficient de sécurité (sans renforcement)

Présentation des résultats

Le profil est composé de quatre couches moyennes denses, constitué essentiellement :

- Des remblais limoneux hétérogènes peu épais (1 à 2m), distribués sur tout le site ;
- Des sables fins limoneux jaunâtres, épais (8 à 12m) ;
- Des argiles grises, très remaniées et plastiques à saturation. Cette formation est d'épaisseur variable (8 à 10m).
- Des argiles grises à verdâtres finement litées et plissées, épaisses (plus de 20m), formant le terrain substratum du site. Bien qu'elles conservent un caractère friable hérité de leur structure plissée et leur litage fin.

1^{er} profil :

Nom	γ (kN/m ³)	φ (°)	c(kPa)	Δc (kPa/m)
remblai limoneux	19.7	5.0	40.0	0.0
sable limoneux	20.8	9.0	20.0	0.0
argile remaniée	19.1	6.0	40.0	0.0
argile grise	20.7	8.0	49.0	0.0

Figure IV.14 : Caractéristiques du sol pour le 1^{er} profil avant renforcement

Méthode de Bishop

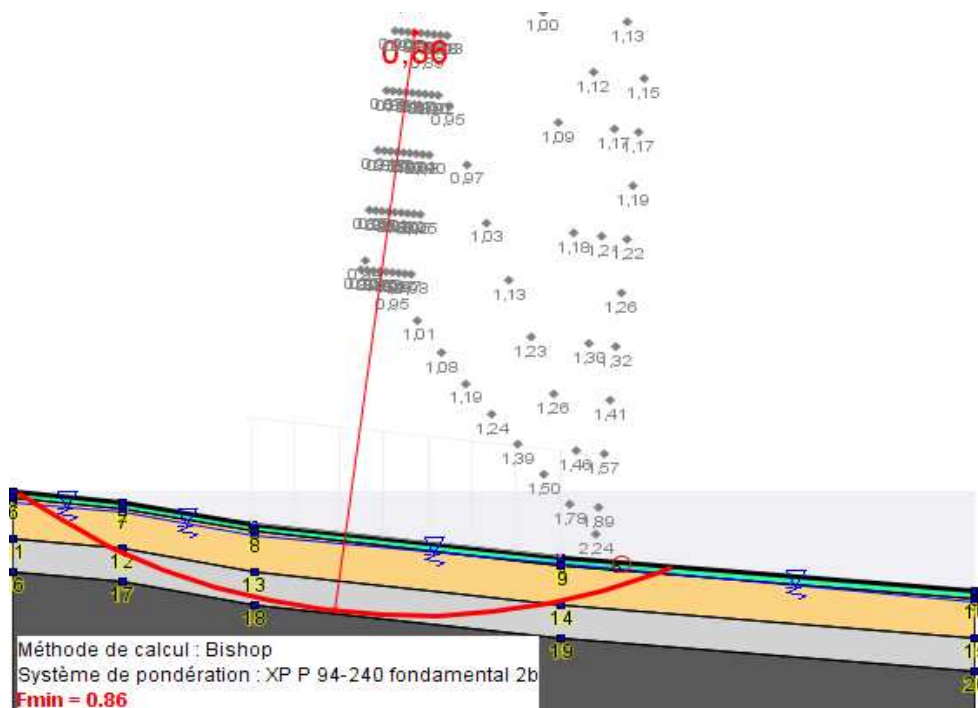


Figure IV.15: représentation de la ligne de rupture par la méthode de Bishop pour le 1^{er} profil

Tableau IV.3: Résultat de calcul du profil 1 avec la méthode de Bishop.

X0(m)	Y0(m)	Rayon(m)	MMOT(KN)	F-SOL	F-SURCH	F-TOTAL
107.45	570.53	141.98	184225.33	1.583	1.583	1.583
107.45	570.53	135.98	14539.364	8.878	8.878	8.878
109.83	588.53	169.92	846015.74	0.962	0.962	0.962
109.83	588.53	175.92	1303920.4	0.863	0.863	0.863
109.83	588.53	163.92	440406.58	1.133	1.133	1.133
109.83	588.53	157.92	127039.47	2.142	2.142	2.142
112.21	606.53	186.27	843442.61	0.990	0.990	0.990

2. *Interprétation des résultats***Tableau IV.4:** Résumé du résultat avant renforcement.

	Méthode de Bishop
Coefficient de sécurité (F_{\min}) Profil 1	0.86

La synthèse et l'interprétation des données recueillies durant cette étude, ont conclu que :

- ✚ l'instabilité POS A1 et A5 suite au coefficient de sécurité calculé par TALREN est qui est $<$ à 1.5.
- ✚ Un glissement profond touche la couche d'argile remaniée qui se situe à une profondeur de 20 m environ
- ✚ La ligne de rupture est circulaire comme l'indique le résultat de la modélisation.

a) *Calcul de coefficient de sécurité avec renforcements*

(Sans associer les colonnes ballastées à un système de drainage)

✚ *Présentation des résultats :*✚ 1^{er} profil

Nom	γ (kN/m ³)	φ (°)	c(kPa)	Δc (kPa/m)
limon argileux	19.7	5.0	40.0	0.0
sable limoneux	20.8	9.0	20.0	0.0
argile remaniée	19.1	6.0	40.0	0.0
argile grise (sub)	20.7	6.0	49.0	0.0
ballaste	21	40.0	0.0	0.0

Figure IV.16: Caractéristiques du sol pour le 1^{er} profil avec le renforcement

🚧 Méthode de Bishop

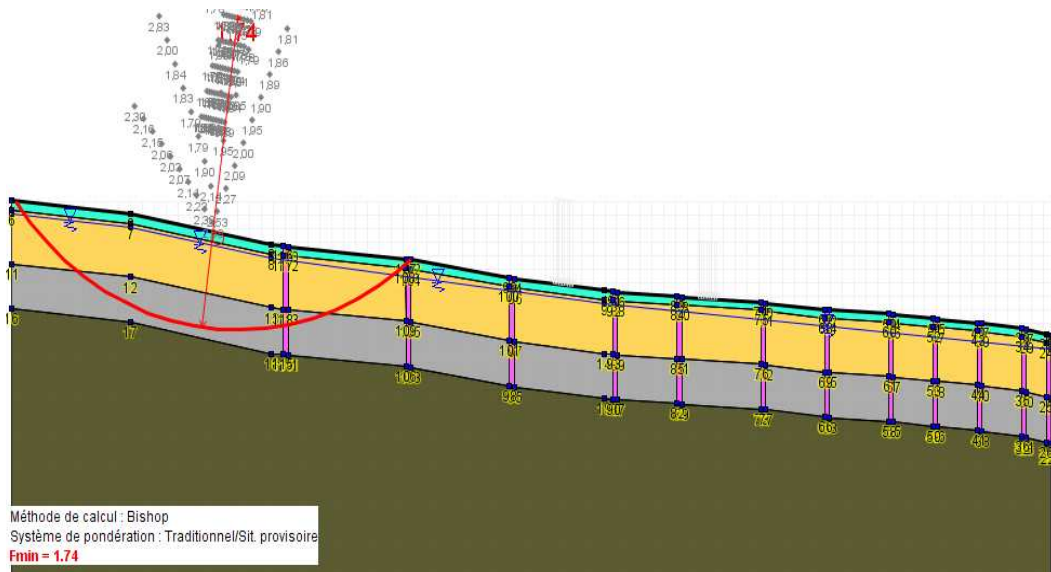


Figure IV.17: Représentation de la ligne de rupture par la méthode de Bishop pour le 1^{er} profil après renforcement

Tableau IV.5: Résultat de calcul du profil 1 avec la méthode de Bishop avec renforcement

X0(m)	Y0(m)	Rayon(m)	MMOT(KN)	F-SOL	F-SURCH	F-TOTAL
57.22	490.72	54.47	40762.082	2.476	2.476	2.476
57.22	490.72	59.47	95366.396	1.845	1.845	1.845
57.22	490.72	64.47	163813.08	1.848	1.848	1.848
57.22	490.72	69.47	244395.5	1.736	1.736	1.736
58.74	496.37	55.25	4501.74	12.587	12.587	12.587
58.74	496.37	60.25	46713.592	2.540	2.540	2.540
58.74	496.37	65.25	108850.7	1.890	1.890	1.890

1. Interprétation des résultats

Tableau IV.6: Résumé du résultat avec renforcement.

	Méthode de Bishop
Coefficient de sécurité (F_{min}) Profil 1	1.76

Le coefficient de sécurité F_S est supérieur à 1.5, la stabilité de la pente est donc atteinte. Pour ce faire, on utilise un maillage serré au pied de la pente (environ 5m entre chaque colonne) et on a élargi progressivement la distance en fonction de notre progression sur la pente (10m, 15m, 20m, 25m...) jusqu'à l'obtention d'un F_S supérieur à 1.5.

b) Calcul de coefficient de sécurité avec renforcements
(En associant les colonnes ballastées à un système de drainage)

✚ Présentation des résultats :

✚ 1^{er} profil

Nom	γ (kN/m ³)	φ (°)	c(kPa)	Δc (kPa/m)
limon argileux	19.7	5.0	40.0	0.0
sable limoneux	20.8	9.0	20.0	0.0
argile remaniée	19.1	6.0	40.0	0.0
argile grise (sub)	20.7	6.0	49.0	0.0
ballaste	21	40.0	0.0	0.0

Figure IV.18: Caractéristiques du sol pour le 1^{er} profil avec le renforcement et un système de drainage

✚ Avec Bishop

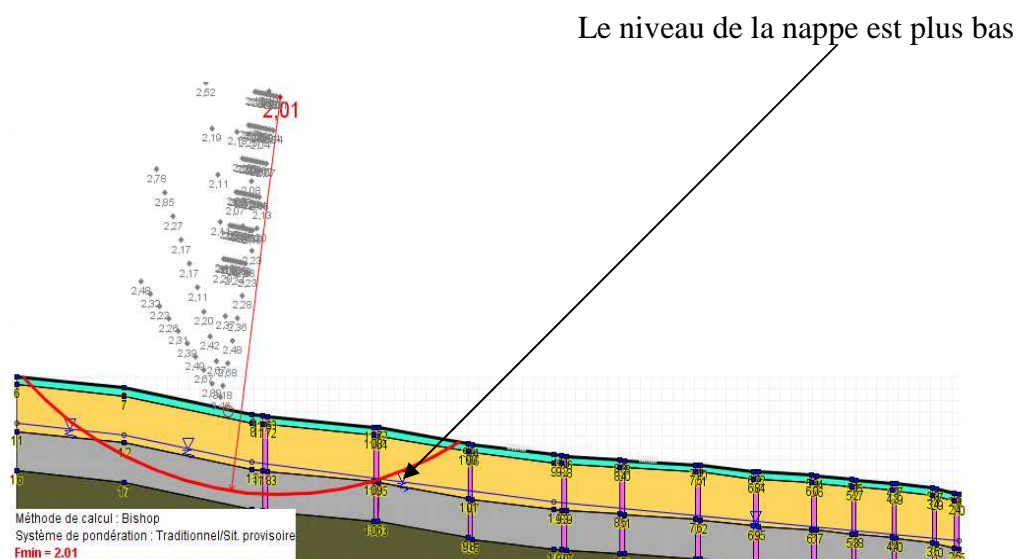


Figure IV.19: Représentation de la ligne de rupture par la méthode de Bishop pour le 1^{er} profil avec renforcement et un système de drainage

Tableau IV.7: Résultat de calcul du profil 1 avec la méthode de Bishop avec renforcement et système de drainage.

X0(m)	Y0(m)	Rayon(m)	MMOT(KN)	F-SOL	F-SURCH	F-TOTAL
73.52	521.13	86.22	60103.998	3.494	3.494	3.494
73.52	521.13	91.22	158976.69	2.528	2.528	2.528
73.52	521.13	96.22	287154.9	2.210	2.210	2.210
73.52	521.13	101.22	438816.71	2.005	2.005	2.005
75.45	529.6	89.91	784.837	63.180	63.180	63.180
75.45	529.6	94.91	69643.249	3.515	3.515	3.515
75.45	529.6	99.91	183316.12	2.509	2.509	2.509

1. *Interprétation des résultats*

Tableau IV.8: Résumé du résultat avec renforcement et avec un système de drainage.

	Méthode de Bishop
Coefficient de sécurité (F_{\min}) Profil 1	2.01

✚ On remarque que si on associe les colonnes ballastées à un système de drainage on aura un coefficient de sécurité F_S plus élevé donc la stabilisation de la pente est meilleure

IV.7 Conclusion

D'après l'étude faite sur les POS et en fonction des résultats obtenus, on peut conclure que les glissements d'Azazga sont des glissements complexes (circulaire-plan) étendus.

S'agissant du résultat obtenu après le confortement, on peut affirmer que les colonnes ballastées peuvent conforter les POS et atténuer le glissement qui ravage la zone, car elles sont les mieux adaptées dans les glissements étendus et pour la mise en sous-œuvre des fondations.

Par conséquent, elles peuvent conforter les désordres du glissement qui apparaissent dans les bâtisses fissurées.

conclusion générale

Conclusion générale

A travers notre étude et après récolte des données contenues dans les archives (les travaux précédemment effectués sur le site), nous avons montré que la localité d'Azazga touchée par le glissement abrite une nappe phréatique peu profonde (environ 3 m) et que cette dernière demeure le facteur principal déclencheur de ce phénomène.

Cette recherche nous a permis aussi de conclure que ces glissements sont rotationnels complexes (circulaire-plan), et de grande ampleur. Mais leurs effets néfastes peuvent cependant être amoindris par l'introduction de colonnes ballastées que nous considérons comme le moyen le mieux adapté.

Par voie de conséquence, et compte tenu des dégâts matériels considérables déjà enregistrés, nous recommandons la plus grande attention à ce phénomène et nous préconisons les mesures et les précautions suivantes :

- La pose de témoins au niveau des bâtisses ayant subies des désordres, en vue de mieux suivre leur évolution ;
- Eviter toute exploitation anarchique et excessive des eaux souterraines ;
- Imposer l'étude de sol préalable à toute construction ;
- A moyen terme, procéder à une étude spécifique de la zone instable. cette étude comprendra la pose de piézomètre et d'inclinomètre pour mieux évaluer le mouvement du sol et dégager des solutions de stabilisation éventuelles ;
- Réalisation des avaloires, des cunettes et des petits barrages etc....., Pour abaisser le niveau de la nappe.

Bibliographie

Bibliographie

- [1] Aoudj. M-A, Présentation du glissement qui affecte la ville d'Azazga, Fait à Azazga, le (13/03/2012).
- [2] Leutwiler. A, Causes des Glissements de terrain, Office fédéral de l'environnement (OFEV), Division Prévention des dangers, (le 11/2009).
- [3] Belaidi. M, (2010-2011), Application de l'essai de cisaillement direct dans l'étude des glissements de terrain le long des plans de stratification des sols, Mémoire de Master 2 Université Mouloud Mammri Tizi ousou
- [4] Diab Djeflal. I, stabilité des pentes et méthodes de confortement, Mémoire de master 2 Université Mouloud Mammri Tizi ousou, (2011).
- [5] Benouis. D-E, Etude d'un glissement de terrain par différentes méthodes, Université de Saida (Algérie).
- [6] Guide Technique, stabilisation des glissements de terrain, laboratoire central des ponts et chaussées (groupe d'étude des talus), (02/1998).
- [7] Faure. R M., revue française de géotechnique N°99 3^{ème} trimestre, l'évolution des méthodes de calcul en stabilité des pentes, centre d'étude des tunnels 25, France, (2000).
- [8] Medjnoun. A et Kebiri.F, Analyse de la stabilité d'une paroi d'excavation, cas du nouveau siège d'Air Algérie, Mémoire de master 2, Université Mouloud Mammri Tizi ousou, (2010),
- [9] Gueye. I, Résistance au Cisaillement des Sols non Saturés et Stabilité des pentes, pour l'obtention du grade de docteur, école polytechnique fédérale de Lausanne, (1994).
- [10] Kaabeche T, Mebrak A, Contribution à l'étude des risques naturels (sismiques et mouvements de terrain) dans la Wilaya de Sétif, Mémoire de fin d'études présenté en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Géologie; Université Ferhat Abbas-Setif, (2010).
- [11] Rapport LCTP N°27.85.1012, Etude géotechnique de la ville d'Azazga; laboratoire centrale des travaux publiques; Alger, (08/1987).
- [12] Rapport final LCTP N°31.03.0042, Etude géotechnique d'urbanisation Pos a1 et a5 Azazga; laboratoire centrale des travaux publiques, Alger, (01/2004).

Bibliographie

- [13] Rapport Azazga Khoukhi 2^{ème} phase préliminaire N73/04, Etude géotechnique d'urbanisation pour les POS D1et D2, Azazga ; laboratoire centrale des travaux publics; Alger, (15/05/2004).
- [14] Fribourg, carte d'inventaire des terrains instables, notice explicative, service de forêts et de la faune, service de la construction et de l'aménagement, (01/ 2007).
- [15] Aubié. S, Peter. M -Borie et Genna. A, Atlas cartographique des phénomènes naturels et des caractéristiques physiques du littoral de la Côte Basque, BRGM / RP-55262-FR, (03/2007).
- [16] Fanny. A, Influence de la végétation arborée sur l'activité de glissements de terrain superficiels, Mémoire de Master Recherche « Géosciences, Environnement et Risques» Ecole Nationale du Génie de l'Eau et de l'Environnement de Strasbourg, (14/09/2007).
- [17] Melbouci. B, Méthodes de calcul de stabilité des fondations, des talus et des ouvrages de soutènement, Edition Elamel, (2009).
- [18] ONM, Bulletins mensuels d'information, climatologiques.
- [19] Antoine. P et Fabre. D, Géologie appliquée au génie civil, Massant, (1980).
- [20] Ouahab. M-Y, Comportement dynamique d'une colonne ballastée, Mémoire de magistère en génie civil, Université El Hadj Lakhdar de Batna, (16/02/2012).
- [21] Moulin. C, Chapeau. C, Le glissement de la Salle en Beaumont (Isère), intervention RTM-LRPC de Lyon, (13-15 /10/ 2004).
- [22] Djerbal. L, Dynamique d'évolution du glissement de terrain d'Ain El Hammam, mémoire de master 2, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, (2010).
- [23] Zighmi I-B, Etude de l'influence des paramètres géotechnique sur le comportement des sols renforcés par les colonnes ballastées, mémoire de Magistère en Génie civil, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou(2011).
- [24] : Flageollet. J-C, Université Louis Pasteur de Strasbourg, les mouvements de terrain et leur prévention, (01/1988)

ANNEXE "A"

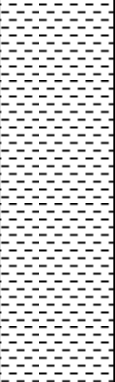

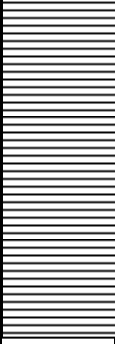
coupes de sondage carottés

Echelle (m)		Diamètre et type d'outillage			Carottage nature prélèvement %				Coupe	Description	
		tuba	Rota	Batt	0 25	25 50	50 75	75 100			Echantillon paraffiné
N° dossier: 31.03.0042										Sondage n°01	
Chantier : Etude géotechnique d'urbanisation										X=5643.60	
Lieu: POS A1 et A5										Y=6383.70	
Client: DUC TIZI OUZOU										Z= 396	
Etabli par :R BOUGDAL										INCL: 90°	
										(Coordonnées tirées du levé topo 1/1000 ADS)	
21										Argile gris bleue finement litée friable plissotée , avec des passées un peu graveleuse de dépôts tardif de calcite Stratification inclinée de 45° entre 24-25m	
22											
23											
24											
25						70%					
26											26.00
27										Argile grise compacte peu marneuse	
28											
29											
30											
31											
32											
33											
34											
35											Fin du sondage 35.00

Echelle (m)		Diamètre et type d'outillage			Carottage nature prélèvement %				Coupe	Description	
		tuba	Rota	Batt	0 25	25 50	50 75	75 100			Echantillon paraffiné
N° dossier: 31.03.0042		Chantier : Etude géotechnique d'urbanisation								Sondage n°03	
Lieu: POS A1 et A5		X=5942.00								Y=6222.40	
Client: DUC TIZI OUZOU		Z= 420								INCL: 90°	
Etabli par :R BOUGDAL		(Coordonnées tirées du levé topo 1/1000 ADS)									
01										Remblai	1.00
02										Limon brun à gris peu dense légèrement Organique	3.50
03						50%					
04											
05										Limons bruns peu compacts oxydé par Endroit	5.00
06										Limon sableux friable mal récupéré	7.00
07											
08											
09										Argile brune très remaniée, plastique , Graveleuse, mal récupéré	15.50
10											
11						60%					
12											
13											
14											
15											
16										Sable fin grèsifié friable	17.00
17						70%					
18										Argile marneuse grise à marmorisation Blanchâtre assez compacte , bien Récupéré	20.00
19											
20						80%					

Echelle (m)		Diamètre et type d'outillage			Carottage nature prélèvement %					Coupe	Description
		tuba	Rota	Batt	0 25	25 50	50 75	75 100	Echantillon paraffiné		
N° dossier: 31.03.0042 Chantier : Etude géotechnique d'urbanisation Lieu: POS A1 et A5 Client: DUC TIZI OUZOU Etabli par :R BOUGDAL											
X=5602.00 Y=6167.00 Z= 396 INCL: 90° (Coordonnées tirées du levé topo 1/1000 ADS)											
Sondage n°05											
21								100%			
22											
23										23.00	
24											
25											
26											
27											
28										28.00	
29								90%			
30											
31											
32											
33										33.00	
34											
35										Fin du sondage 35.00	

Echelle (m)		Diamètre et type d'outillage			Carottage nature prélèvement %				Coupe	Description
		tuba	Rota	Batt	0 25	25 50	50 75	75 100		
N° dossier: 31.03.0042 Chantier : Etude géotechnique d'urbanisation Lieu: POS A1 et A5 Client: DUC TIZI OUZOU Etabli par :R BOUGDAL										
Sondage n°06 X=5461.20 Y=6246.00 Z= 381 INCL: 90° (Coordonnées tirées du levé topo 1/1000 ADS)										
21								80%		
22										
23										22.50
24										
25										
26								70%		
27										
28										
29										29.00
30										
31										
32								85%		
33										
34										
35										Fin du sondage 35.00

Echelle (m)		Diamètre et type d'outillage			Carottage nature prélèvement %					Coupe	Description
		tuba	Rota	Batt	0 25	25 50	50 75	75 100	Echantillon paraffiné		
N° dossier: 31.03.0042 Chantier : Etude géotechnique d'urbanisation Lieu: POS A1 et A5 Client: DUC TIZI OUZOU Etabli par :R BOUGDAL											
Sondage n°07 X=5568.00 Y=5901.50 Z= 393 INCL: 90° (Coordonnées tirées du levé topo 1/1000 ADS)											
21								80%		 Argile grise finement litée ,plissotées à rares Inclusions gypseuse et à rares passées marno calcaire saturée peu résistante et assez plastique	
22											
23											
24											
25											
26										25.50	
27										 Argile grise finement litée ,plissotées à rares inclusions gypseuse et à rares passées marno calcaire Non saturée et plus résistante	
28											
29											
30								90%			
31										30.00	
32										 Argile grise à gravier très fins, homogène A cassures conchoidale à plane , bien Récupérées	
33											
34											
35											
Fin du sondage 35.00											

Echelle (m)		Diamètre et type d'outillage			Carottage nature prélèvement %				Coupe	Description
		tuba	Rota	Batt	0 25	25 50	50 75	75 100		
N° dossier: 31.03.0042 Chantier : Etude géotechnique d'urbanisation Lieu: POS A1 et A5 Client: DUC TIZI OUZOU Etabli par :R BOUGDAL										
Sondage n°08 X=6104.30 Y=5909.00 Z= 428 INCL: 90° (Coordonnées tirées du levé topo 1/1000 ADS)										
21										
22										
23										
24							100%			
25										
26										26.00
27										
28										
29							90%			
30										
31										31.00
32										
33										
34							100%			
35										Fin du sondage 35.00

N° dossier: 31.03.0042 Chantier : Etude géotechnique d'urbanisation Lieu: POS A1 et A5 Client: DUC TIZI OUZOU Etabli par :R BOUGDAL							Sondage n°09	
							X=6163.40 Y=6090.00 Z= 440	INCL: 90° (Coordonnées tirées du levé topo 1/1000 ADS)
Echelle (m)	Diamètre et type d'outillage			Carottage nature prélèvement %			Coupe	Description
	tuba	Rota	Batt	0 25	25 50	50 75		
01								Remblai 0.50
02								Limon fin sableux à oxydation 1.00
03								Grès blanchâtre très fin friable et sable fin 2.00
04								Sable fin roux assez cohérent 8.00
05								
06								
07								
08								
09								
10								
11								
12								Argiles grises verdâtre finement litées friable remaniée à cassures terreuse 13.50
13								
14								Argiles grises verdâtre finement litées friable très remaniée à cassures terreuse 18.00
15								
16								
17								
18								Argiles grises verdâtre finement litées friable très remaniée à cassures terreuse à passées cm oxydée
19								
20								

N° dossier: 31.03.0042 Chantier : Etude géotechnique d'urbanisation Lieu: POS A1 et A5 Client: DUC TIZI OUZOU Etabli par :R BOUGDAL							Sondage n°09		
							X=6163.40 Y=6090.00 Z= 440	INCL: 90° (Coordonnées tirées du levé topo 1/1000 ADS)	
Echelle (m)	Diamètre et type d'outillage			Carottage nature prélèvement %				Coupe	Description
	tuba	Rota	Batt	0 25	25 50	50 75	75 100		
21									
22									
23									22.80
24									
25									
26									
27							100%		
28									27.20
29									
30									
31									31.40
32									
33									
34									
35									Fin du sondage 35.00

Ancien Sondage

Echelle (m)		Diamètre et type d'outillage			Carottage nature prélèvement %					Coupe	Description
		tuba	Rota	Batt	0 25	25 50	50 75	75 100	Echantillon paraffiné		
N° dossier: 27.85.1012										Sondage n°10	
Chantier : Etude géotechnique Azazga											
Lieu: AZZAZGA											
Etabli par :R IDDIR										X=647.485	INCL: 90°
										Y=383.890	
										Z=	
01										Terre végétale	0.40
02										Argile rouge graveleuse et caillouteuse	1.20
03										Eboulis de grés numédiens sur des argiles bariolés (jaune et vert) poudreuses	7.00
04											
05											
06											
07											
08										Argile marneuse gris bleu très indurée fortement tectonisée : fissures larges,remplies d'argile jaune poudreuse teintée d'oxyde de fer , et présence d'éboulis de grés	10.20
09											
10											
11										Argile marneuse gris sombre à éboulis de grés siliceux	14.00
12											
13											
14										Marne dure niveau fissurée (15.60/16.60)	17.00
15											
16											
17										Alternance d'argile bleu feuilletée et de petit quartzite	17.20
18										Banc de grés siliceux	18.10
19										Marne dure massive intercalée de lits d'argile bleue feuilletée	20.50
20											

ANNEXE B

le système d'information géographique

Introduction

L'utilisation des systèmes d'informations géographiques nous permet d'associer une base de données à une carte muette (carte d'état majeure, photographie aérienne...). Elle nous permet aussi d'interroger les cartes, de modifier l'information en fonction des données récentes et d'intégrer toutes les informations nouvelles dans la base de données initiale.

En fait, ce système une fois conçu, permet la collecte, la gestion, la manipulation, l'analyse, la modélisation et l'affichage de données.

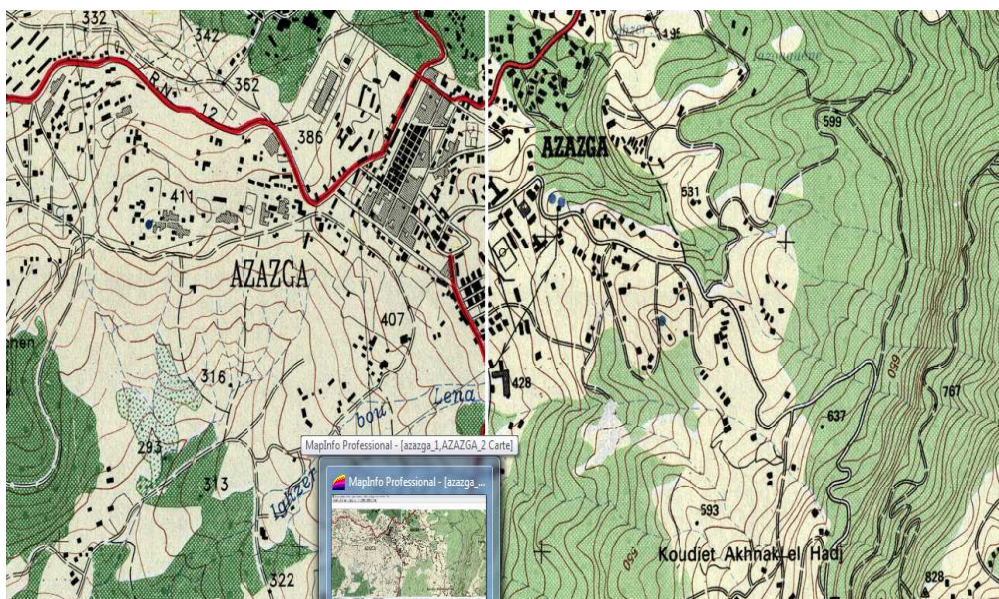
❖ Présentation du travail :

Afin de réaliser des coupes géologiques avec le système d'information géographique nous avons procédé comme suit :

1) Calage des cartes

Afin de pouvoir exploiter les cartes fournies par LOUTCAD (rapport finale (POS Azazga « laboratoire central des travaux publique ») dans le MAP INFO version 6.5, on a suivi la méthode inverse par laquelle:

- On a utilisé une carte d'état majeure dont on a extrait des points de référence (points de calage) afin de pouvoir caller une photo aérienne d'Azazga qu'on a capté de « Google Arth ».

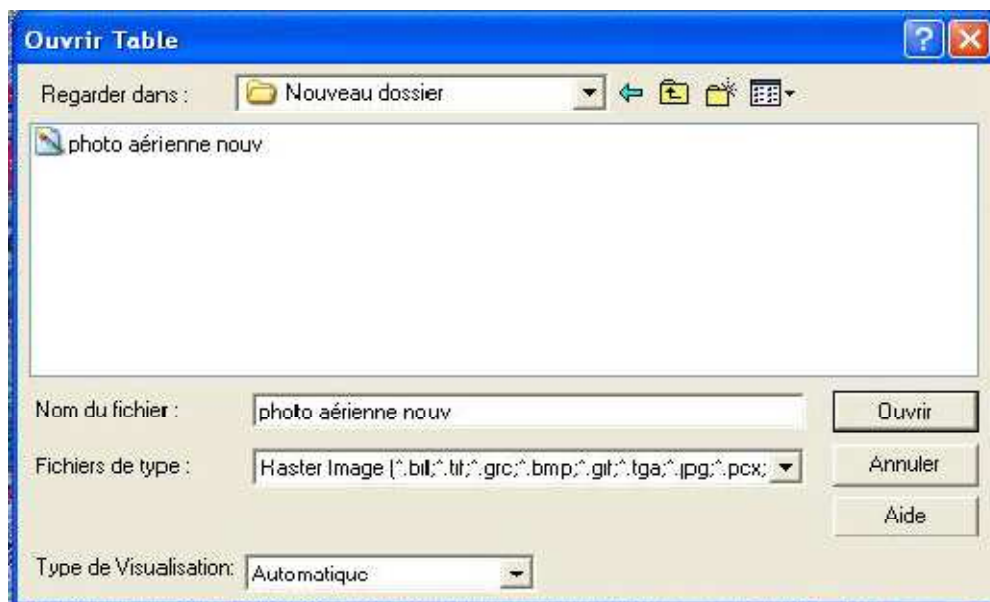


Carte d'état majeure

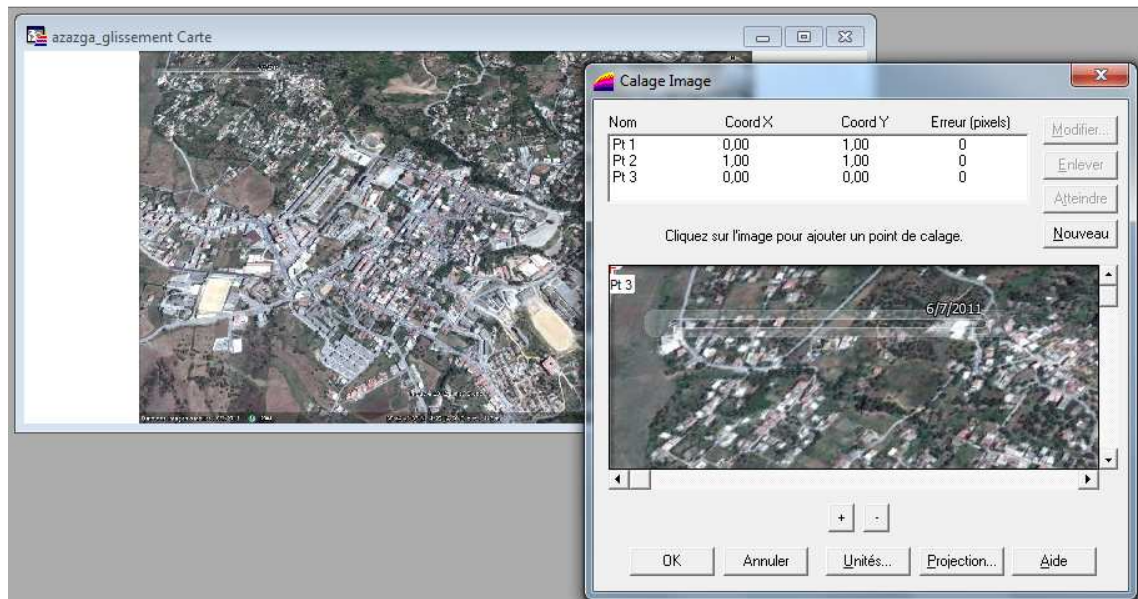


Photo aérienne callée

- Cette étape consiste à introduire les coordonnées (X.Y) de la photographie aérienne afin de la géo-référencer. Pour caler les cartes on procède comme suit :
 - a. Ouvrir la carte sur Map-Info en cliquant : *fichier* > *ouvrir table* ; on choisit le type de fichier : *Fichier de type* > *image raster* et on ouvre la carte



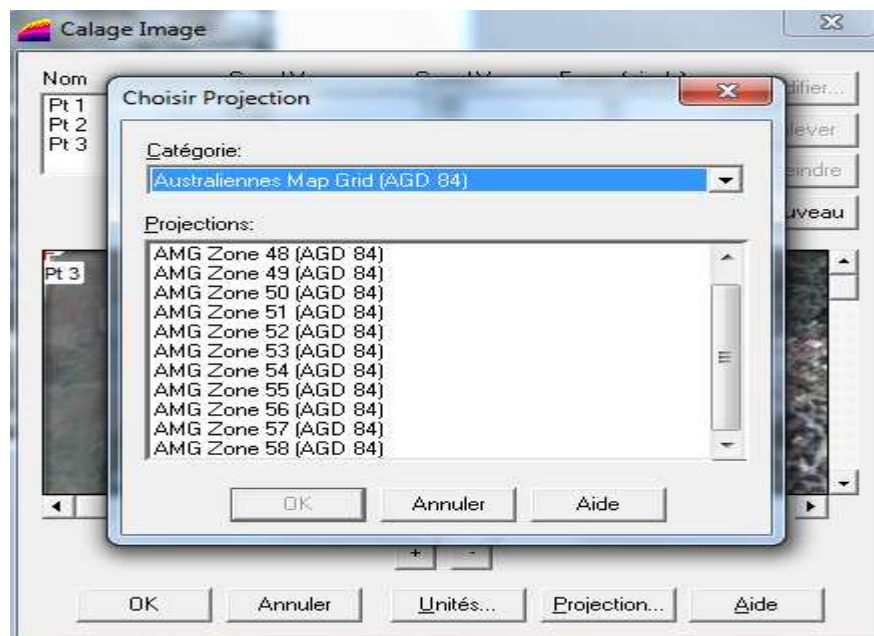
b. Cliquer : *table > image raster > modifier calage* ;



c. Choisir l'unité à l'aide du bouton « unités » (voir la figure ci-dessus) ;

d. Définir le type de projection à l'aide du bouton « projection » (voir la figure ci dessus)

- Catégorie UTM (WGS 84)
- Projection : UTM zone 31, northern

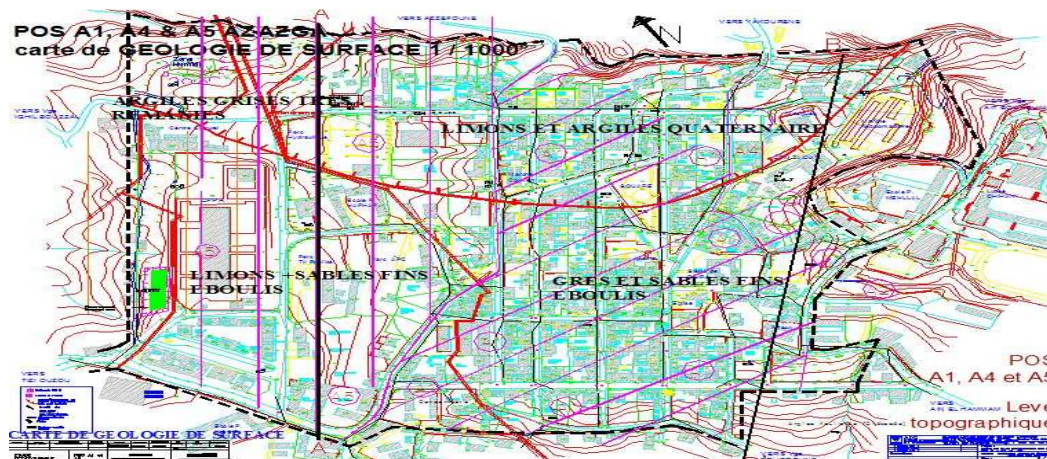


Les cartes sont enregistrées sous : *photo aérienne calée.tab photo aérienne calée 2.tab*

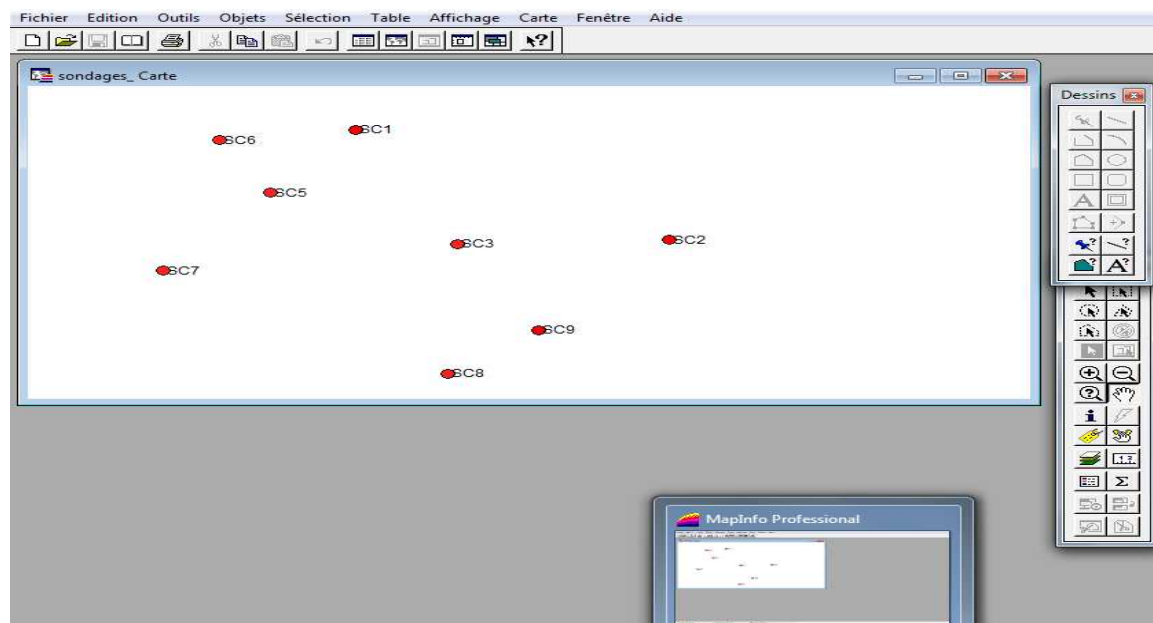
2) Elaboration de couches de dessin

➤ Couche des sondages

Une fois les cartes sont callées (état-majeur, aérienne), on répertorie sur la carte aérienne les sondages qui on été élaborés sur le site des pos A1 et A5 d'Azazga avec l'aide des cartes données par LAUTOCAD dans le rapport. Puis on les dessine (les sondages) en utilisant la barre d'outils « dessin ». Enfin, on enregistre la couche en lui attribuant un nom.



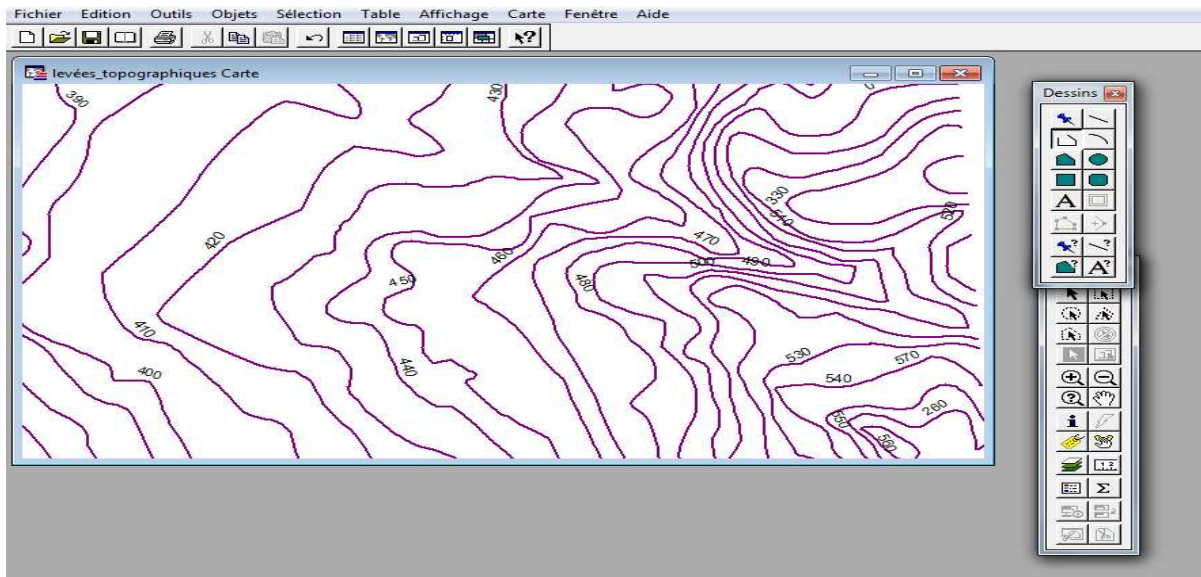
POS d'Azazga figurant sur l'AUTOCAD



La couche de dessin des sondages

➤ La couche des levés topographiques

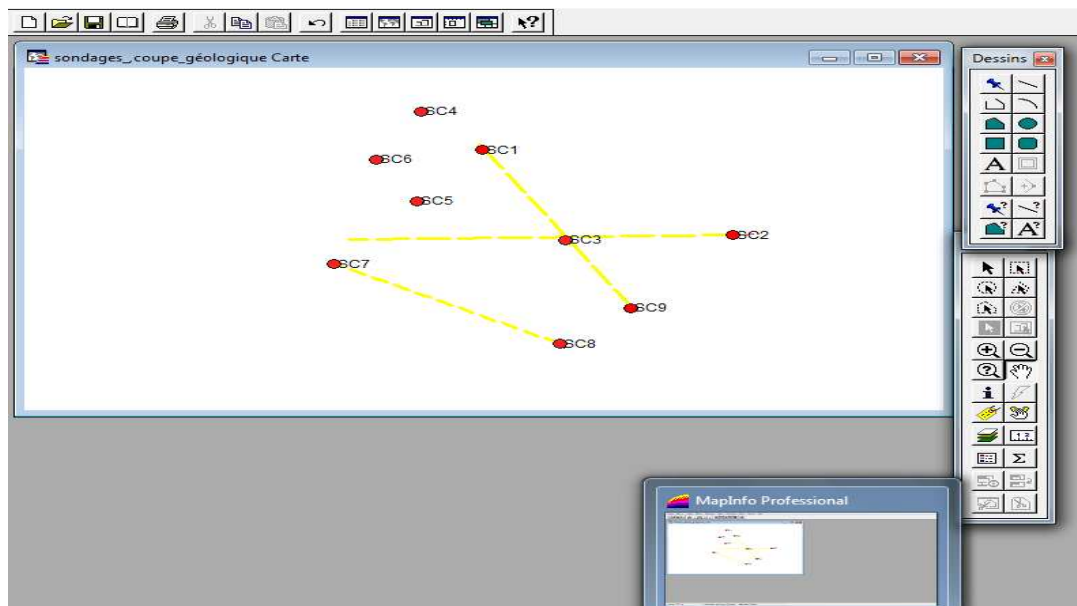
Elle est établie à l'aide de la carte d'état majeure.



La couche des levées topographiques

➤ La couche de dessin des coupes géologiques :

La couche des coupes géologique est établie à l'aide de la couche de dessin des sondages, en reliant ceux qui se trouvent sur la même ligne.

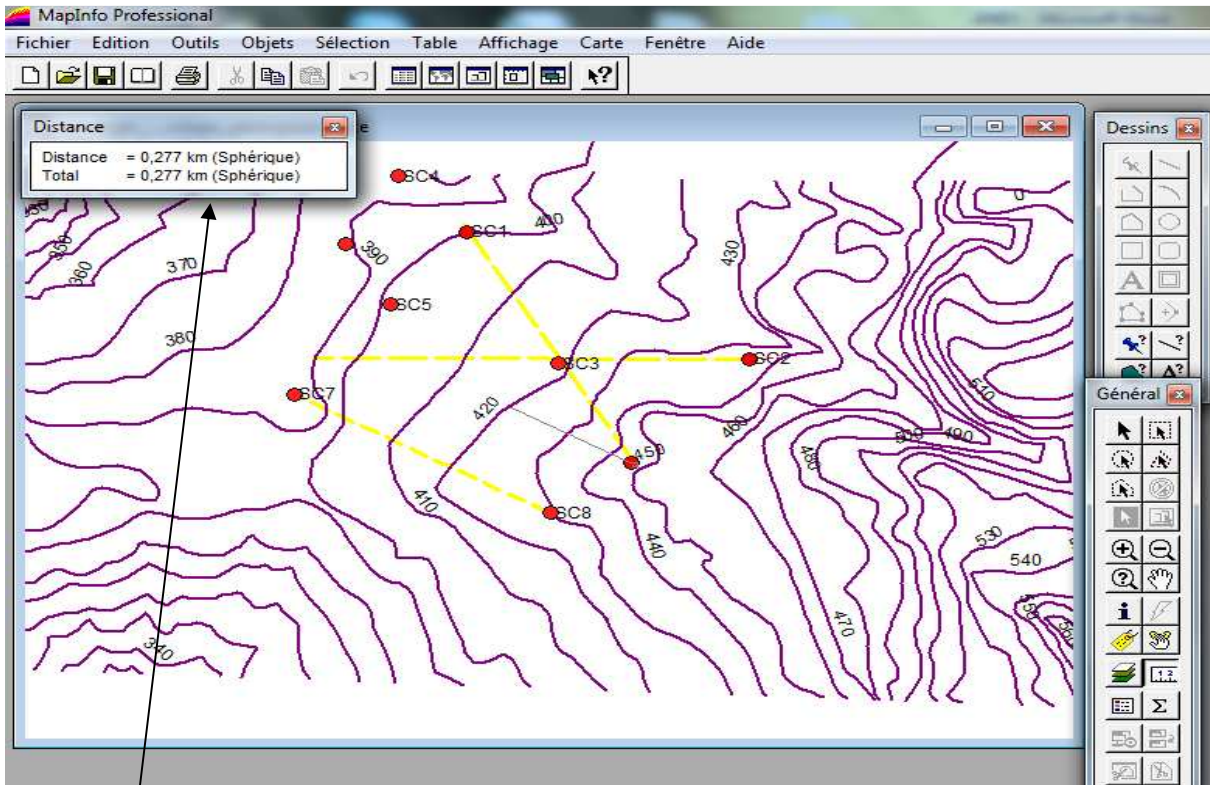


La couche des coupes géologiques

3) calcul des distances et des altitudes des coupes géologiques

Il se réalise en ouvrant les cartes des couches de dessin (des levés topographiques, des sondages, des coupes géologiques) simultanément.

A l'aide de la règle de la barre d'outils, on calcule les distances (x) et à l'aide de la couche de levés topographiques on calcule les altitudes (y).



Les cartes : sondages, levées et les coupes géologiques

La règle de la barre d'outils

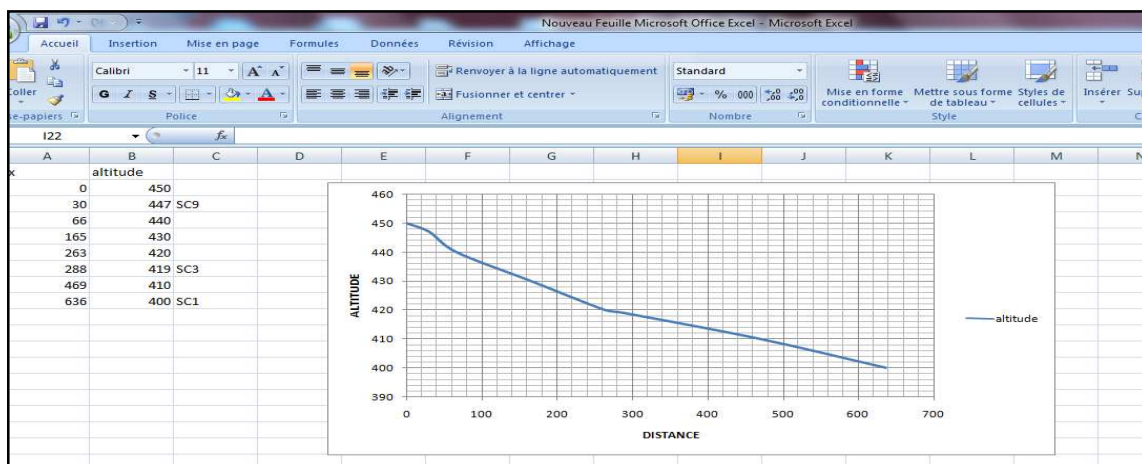
- Cette ouverture a pour objectif de calculer les distances entre les sondages (x) à l'aide de la règle de la barre d'outils et avec la *carte des levées topographiques* on soustrait leurs différentes altitudes (y), à la fin on va avoir un tableau des x et des y des sondages alignés et d'autres points qui font parties de la ligne.

➤ Le tableau à obtenir :

Distance X	Altitudes Y
0	510
24	500
44	490
65	480
95	470
174	460
220	450
251	440
369	435

4) Dessin des courbes des coupes géologiques sur l'Excel.

Une fois les distances et les altitudes sont obtenues, on dessine des courbes qui représentent des coupes dans les POS afin de visualiser l'inclinaison des pentes dans les POS.

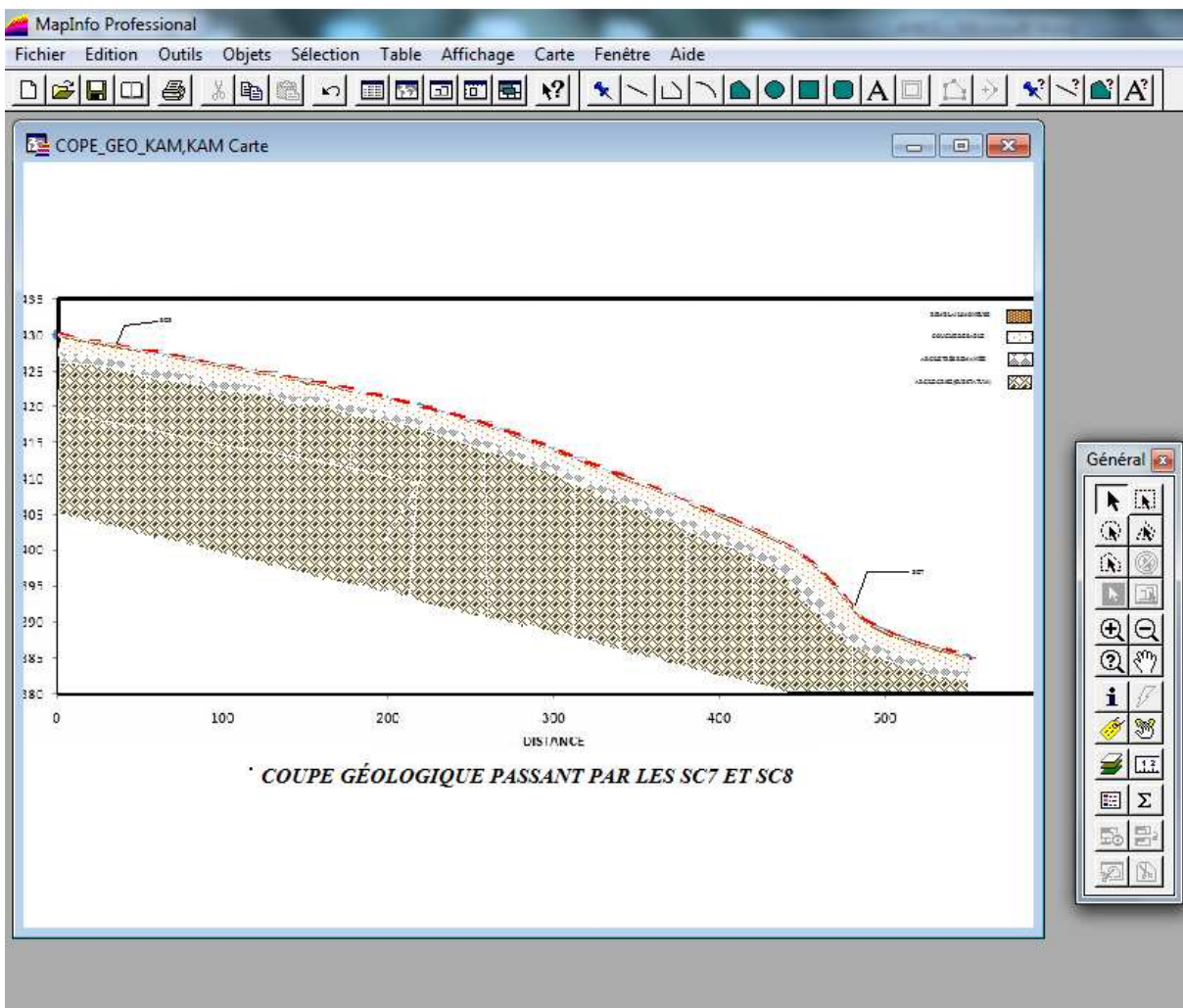


Exemple d'un dessin d'une courbe pour la coupe n°1

5) Représentation des couches de sol sur MAP INFO:

Pour pouvoir visualiser les différentes couches de sol détectées par les sondages carottés élaborés par le LCTP on a suivi les étapes suivantes:

- 1- On a capté la courbe dessinée sur l'Excel à l'aide d'un *capteur écran*
- 2- On l'a callé sur MAP INFO
- 3- enfin, sur la courbe callée on a conçu une couche de dessin montrant les différentes strates composant le sol d'Azazga ainsi que leurs épaisseurs.



L'un des coupes géologiques

✚ La coupe ci-dessus est exploitable, entre autres, dans la modélisation.

ANNEXE C

Les données des glissements d'Argentan en 2012







