

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE.**

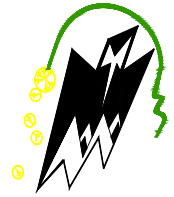
**Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique.**

**Université Mouloud MAMMERY de Tizi-Ouzou.**

**Faculté du Génie de la Construction.**

**Département de Génie Civil.**

**Laboratoire de Géo matériaux  
Environnement et Aménagement  
(LGEA)**



Mémoire En vue de l'obtention du diplôme de Master 2 recherche  
Spécialité: Génie Civil  
Option : Géotechnique et Environnement

# Etude de la coulée boueuse d'Ililten



**Présenté par :**

**M<sup>elle</sup> HADDAD Sabrina.**

Soutenue publiquement le 12 septembre 2013

**Devant le jury composé de:**

<b>Mr. MELBOUCI Bachir</b>	Professeur à l'UMMTO	Président
<b>M<sup>elle</sup> BOUBRIT Hassiba</b>	MAA à l'UMMTO	Promotrice
<b>Mr. BENZAOUG Mouloud</b>	Professeur à l'UMMTO	Examineur
<b>Mme BAIDI Fawzia</b>	MAA à l'UMMTO	Examinatrice

***Promotion 2012-2013***

# Remerciements

En premier lieu, je tiens à exprimer ma profonde gratitude et mes remerciements les plus sincères à Mr. MELBOUCI Bachir, Professeur à l'université Mouloud MAMMARI de Tizi-Ouzou, qui a accepté la direction et le suivi de ce travail en me guidant avec beaucoup de gentillesse. Je tiens à le remercier également pour la qualité de son suivi et ses conseils éclairés, et pour sa grande contribution à l'aboutissement de ce présent mémoire. Ainsi, je le remercie pour avoir accepté de présider le jury de ma soutenance.

J'adresse mes vifs remerciements à ma promotrice Melle BOUBRIT Hassiba, qui m'a offert le privilège de travailler sous sa direction. Ses conseils et ses encouragements ont permis de mener à bien ce travail.

Je remercie les membres de jury qui m'ont fait l'honneur d'examiner ce travail :

- Monsieur BENAZZOUG Mouloud, Professeur à l'université Mouloud MAMMARI de Tizi-Ouzou, qui a accepté d'être l'un des examinateurs de ma soutenance.
- Mme BAIDI Fawzia qui a accepté d'être l'une des examinatrices de ma soutenance, ainsi que pour sa qualité d'enseignement.

Je tiens à remercier Melle BOUAZIZ Nacira et Melle DJERBAL Lynda pour leurs aides et leurs encouragements tout au long de la réalisation de ce mémoire.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire dans de bonnes conditions, en l'occurrence, AZEB Aziz qui m'a beaucoup aidé et encouragé.

Pour finir, J'exprime mes sincères remerciements à mes très chers parents, à mon frère Said, à mes sœurs Souad, Assia et Nabila, qui ont mis à ma disposition tous les moyens matériels et financiers nécessaires.

Merci 

---

## Résumé

---

### Résumé

Les mouvements de terrain sont devenus très fréquents, surtout au nord de l'Algérie. Ce sont des phénomènes naturels qui représentent l'une des tâches majeures de la géotechnique, et leurs conséquences ne cessent d'être plus lourdes. Ces phénomènes sont d'origine naturelle ou anthropique. Leur grande variété engendre un besoin de les classer pour mieux les appréhender et les étudier.

Les coulées boueuses présentent un danger naturel, et leurs effets engendrent des victimes humaines et des dégâts matériels importants.

La coulée de boue d'Illilten est un cas marquant qui a suscité le plus d'attention depuis son apparition. L'étude des différentes conditions géologiques, hydrographiques et climatiques de la région, a permis de définir les causes ayant conduit à son déclenchement (la saturation des terrains en eau, la nature géologique des terrains, la fonte des neiges et l'effet de la pente, etc.).

Au cours de ces dernières années, les SIG ont connu un champ d'utilisation très important dans plusieurs domaines. La cartographie des versants instables d'Illilten à l'aide du logiciel MapInfo, a permis une bonne appréciation des conditions hydrographiques et morphologiques de ces versants, ainsi que de suivre l'évolution de la coulée au cours du temps.

Pour lutter contre cette coulée boueuse, il recommande de faire des études hydrogéologiques et géotechniques approfondies, afin de mieux cerner les causes de cette instabilité et lui trouver un confortement approprié.

---

# Sommaire

---

## Sommaire

Liste des indices

Liste des figures

Liste des tableaux

**Introduction générale**.....1

**Chapitre I : Généralités sur les mouvements de terrain**.....3

**Introduction**.....3

**I. Les mouvements de terrain**.....3

1. Description du phénomène.....3

2. Les types de mouvements de terrain.....4

2.1. Eboulements, chutes de pierres et de blocs et écroulements.....4

2.1.1. Les chutes de pierres et de blocs .....4

2.1.2. Les écroulements .....5

2.1.3. Les éboulements.....7

2.2. Le fluage.....8

2.3. La solifluxion.....8

2.4. Le fauchage des couches.....9

2.5. Le retrait et gonflement .....10

2.6. Les affaissements, les effondrements et les tassements.....11

2.7. Les coulées boueuses.....12

2.8. Les glissements de terrains.....13

2.8.1. Les glissements plans ou translationnels.....14

2.8.2. Les glissements rotationnels simples .....14

2.8.3. Les glissements rotationnels complexes.....15

**II. Evaluation et surveillance des glissements de terrain**.....16

**Introduction**.....16

1. La surveillance.....16

2. L'alerte .....18

3. L'alarme.....20

4. Les données nécessaires à la définition du système de surveillance.....20

4.1. Le phénomène et son environnement.....20

4.1.1. L'environnement du système de surveillance.....20

4.2. L'objectif de la sécurité.....21

4.2.1. Les personnes et les biens menacés.....21

# Sommaire

---

4.2.2. Les mesures prévues en cas d'alarme.....	21
4.2.3. Le degré de sécurité recherché.....	22
4.3. Les éléments du système de surveillance.....	22
<b>Conclusion.....</b>	<b>24</b>
<b>Chapitre II : Généralités et caractéristiques des coulées boueuses.....</b>	<b>25</b>
<b>Introduction.....</b>	<b>25</b>
<b>I. Les coulées boueuses.....</b>	<b>25</b>
1. Définition.....	25
2. Formation des coulées boueuses.....	26
3. Les morphologies induites par les coulées de boue.....	26
4. Les facteurs d'instabilité.....	27
<b>II. Les techniques de confortement et de protection contre les coulées boueuses.....</b>	<b>27</b>
1. Choix d'une technique.....	27
1.1.Méthodologie de choix d'une technique de stabilisation.....	27
2. Le drainage.....	27
2.1.Les différentes techniques de drainage.....	29
2.1.1. Les drains subhorizontaux.....	29
2.1.2. Les galeries drainantes.....	30
2.1.3. Les tranchées drainantes.....	31
2.1.4. Les drains siphons.....	32
2.1.5. Les éperons drainants.....	33
2.1.6. Les masques drainants.....	33
2.1.7. Les drains verticaux et les puits drainants.....	34
3. Autres méthodes.....	34
<b>III. Méthodologie de cartographie de l'aléa coulée boueuse.....</b>	<b>38</b>
1. Recueil de données d'entrée (simples) pour la réalisation de carte d'aléa.....	38
2. Détermination de l'aléa ruissellement.....	38
3. Estimation de la vitesse des écoulements « V » sur les flancs des bassins versants...39	
4. Susceptibilité de ralentissement de l'eau.....	40
<b>Conclusion.....</b>	<b>41</b>

# Sommaire

---

<b>Chapitre III : Caractérisation de la coulée boueuse d'Illilten</b> .....	42
<b>Introduction</b> .....	42
1. Aperçu historique sur la région d'Illilten.....	42
2. Situation géographique de la région.....	42
3. La géologie de la région .....	44
4. La sismicité du site.....	47
5. Les pentes et le relief de la région.....	48
6. L'hydrogéologie.....	49
7. Les précipitations dans la région .....	50
8. Le climat de la région.....	53
9. Le régime hydrographique de la région .....	54
10. Description de la coulée boueuse d'Illilten.....	54
11. Les causes du glissement d'Illilten.....	61
12. Les solutions possibles pour arrêter la coulée boueuse d'Illilten .....	62
<b>Conclusion</b> .....	63
<b>Chapitre IV : Cartographie des versants instables d'Illilten</b> .....	64
<b>Introduction</b> .....	64
1. Définition d'un système d'information géographique (SIG) .....	64
2. Choix du logiciel à utiliser pour la réalisation du SIG.....	65
3. Le Système d'Information Géographique réalisé sous MapInfo.....	65
3.1. Calage des cartes.....	65
3.1.1. Les commandes nécessaires pour le calage des cartes.....	65
a. Ouvrir une image Raster sous le logiciel MapInfo.....	65
b. Définition du type de projection.....	66
c. Indication des coordonnées des points de calage.....	68
3.1.2. Construction des couches vectorielles.....	68
a. Digitalisation des courbes de niveau.....	70
b. Les réseaux hydrographiques et les sources d'eau.....	71
4. Evolution de la coulée boueuse d'Illilten.....	74
<b>Conclusion</b> .....	79
<b>Conclusion générale</b> .....	80
<b>Références bibliographiques</b>	

# Liste des indices

**V** : Vitesse du ruissellement.

**RA** : Ralentissement du ruissellement.

**CFTO** : Conservation des forêts de la wilaya de Tizi-Ouzou.

**DPSB** : Direction des Programmes et du Suivi Budgétaire.

**ANRH** : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques.

# Liste des figures

## Chapitre I

Fig. I.1 Chute de blocs.....	5
Fig. I.2 Ecoulement de RANDA en 1991, volume 30 millions de m <sup>3</sup> ( <i>SSG et Schweizerische Geomorphologische Gesellschaft, 2009</i> ).....	5
Fig. I.3 Ecoulement de falaise à Nuku Hiva .....	6
Fig. I.4 Ecoulement par fluage.....	6
Fig. I.5 Écoulement de surplomb ( <i>LEBOURG M.T, 2000</i> ).....	7
Fig. I.6 Éboulement, Dent de Lys, France ( <i>SSG et Schweizerische Geomorphologische Gesellschaft, 2009</i> ).....	7
Fig. I.7 Le fluage.....	8
Fig. I.8 Grandes loupes de solifluxion (versant est du HORLINI).....	9
Fig. I.9 Le fauchage des couches (dans la vallée de la Jogne « figure à droite »).....	10
Fig. I.10 Processus de retrait-gonflement des sols argileux ( <i>SAINT MARTIN M, 2010</i> ).....	10
Fig. I.11 désordres du retrait et gonflement : (a) Décollement, (b) Distorsion des fenêtres, (c) Fissuration de la structure ( <i>JAHANGIR E, 2010</i> ).....	11
Fig. I.12 La progression de l'effondrement d'une cavité naturelle .....	12
Fig. I.13 coulée de boue (Mexique 1996).....	13
Fig. I.14 Glissement de terrain ( <i>GOMINET S, juin 2005</i> ).....	13
Fig. I.15 Les deux types de glissements : plan (A) et rotationnel (B).....	15
Fig. I.16 Glissement successifs emboîtés ( <i>M'ZOUGHEM K. et CHENAFI W, 2006</i> ).....	15
Fig. I.17 Système de surveillance ( <i>DURVILLE J.L. et al. 1994</i> ).....	16
Fig. I.18 Surveillance continue ( <i>DURVILLE J.L. et al. 1994</i> ).....	18
Fig. I.19 Surveillance discontinue ( <i>DURVILLE J.L. et al. 1994</i> ).....	18
Fig. I.20 Organigramme d'un système de surveillance ( <i>DURVILLE J.L. et al. 1994</i> ).....	23

## Liste des figures

---

### Chapitre II

Fig. II.1 Débits solides emportés par une coulée boueuse (le site : Illilten le 02/04/2013).....	25
Fig. II.2 Schéma de formation d'une coulée boueuse.....	26
Fig. II.3 Parades contre les coulées de boue : réseau de captages et de drainages ( <i>CHAHINE M. et RESTITUITO J, 2006</i> ) .....	28
Fig. II.4 Collecte des eaux de surface ( <i>GUEFFON M, 2005</i> ) .....	29
Fig. II.5 drainage subhorizontal.....	30
Fig. II.6 Galeries drainantes ( <i>GRENOBLOIS P, 2009</i> ).....	31
Fig. II.7 Tranchées drainantes.....	32
Fig. II.8 Schéma du principe d'un drain siphon ( <i>GUEFFON M, 2005</i> ).....	32
Fig. II.9 Schéma d'éperons drainants.....	33
Fig. II.10 Masque drainant ( <i>BOUAZIZ N, 2012</i> ).....	34
Fig. II.11 Mur de protection contre les coulées boueuses.....	35
Fig. II.12 Digue et déversoir ( <i>CHAHINE M. et RESTITUITO J, 2006</i> ).....	35
Fig. II.13 Barrière anti-coulée souple.....	36
Fig. II.14 Le support.....	36
Fig. II.15 Le filet à câble spiral.....	37
Fig. II.16 L'anneau de freinage.....	37

### Chapitre III

Fig. III.1 Délimitation de la commune d'Illilten ( <a href="http://fr.wikipedia.org">http://fr.wikipedia.org</a> ).....	43
Fig. III.2 Localisation de la commune d'Illilten dans la wilaya de Tizi-Ouzou ( <a href="http://fr.wikipedia.org">http://fr.wikipedia.org</a> ).....	44
Fig. III.3 Carte structurale schématique de la chaîne maghrébide montrant la disposition des zones externes et des zones internes de la grande Kabylie ( <i>DURAND DELGA M., 1980</i> ).....	44
Fig. III.4 Carte géologique du Nord-est de la Grande Kabylie (levés effectués de 1967 à 1975 par Jean-Pierre GELARD, maître assistant à l'université des Sciences de la Terre de Dijon, collaborateur au service de la carte géologique de l'Algérie).....	46
Fig. III.5 Figure montrant le type de sol emporté par la coulée boueuse d'Illilten.....	47
Fig. III.6 Carte du zonage sismique de l'Algérie ( <i>DJERBAL L, 2013</i> ).....	47

## Liste des figures

---

Fig. III. 7 Carte des pentes de la wilaya de Tizi-Ouzou, et de la commune d'Illilten en particulier ( <i>Direction des Programmes et du Suivi Budgétaire de la wilaya de Tizi-Ouzou</i> )...48	48
Fig. III. 8 Carte du relief de la wilaya de Tizi-Ouzou, et de la commune d'Illilten en particulier ( <i>Direction des Programmes et du Suivi Budgétaire de la wilaya de Tizi-Ouzou</i> )...49	49
Fig. III.9 les précipitations annuelles moyennes dans la région d'Illilten ( <i>Direction des Programmes et du Suivi Budgétaire de la wilaya de Tizi-Ouzou</i> ).....50	50
Fig. III.10 Précipitations annuelles de 1995 à 2010 ( <i>Agence Nationale des Ressources Hydrauliques, station Ait Aicha</i> ).....51	51
Fig.III.11 Les précipitations moyennes durant l'année 1997 (Précipitations identifiées comme maximales pendant les 15 années étudiées, ANRH, station Ait Aicha).....52	52
Fig.III.12 Les précipitations moyennes durant l'année 1999 (Précipitations identifiées comme minimales pendant les 15 années étudiées, ANRH, station Ait Aicha).....52	52
Fig. III.13 Comparaison entre les deux années présentant une précipitation minimale (1999) et maximale (1997).....53	53
Fig. III.14 Le climat de la commune d'Illilten ( <i>DPSB de la wilaya de T-O</i> ).....53	53
Fig. III.15 Source d'eau dans la région d'Illilten.....54	54
Fig.III.16 la coulée boueuse d'Illilten.....55	55
Fig.III.17 Le point de départ de la coulée boueuse d'Illilten.....55	55
Fig. III.18 La zone d'étude avant la coulée boueuse ( <i>Google Earth</i> ).....56	56
Fig.III.19 La zone d'étude après la coulée boueuse ( <i>Google Earth</i> ).....56	56
Fig. III. 20 Champs envahis par la boue.....57	57
Fig. III.21 L'entrée d'une maison bloquée par la boue et les troncs d'arbres.....57	57
Fig.III.22 Le CW253 bloqué par la boue.....58	58
Fig.III.23 Débordement de la boue au dessus du pont .....58	58
Fig. III.24 Pont dit Bouchiker emporté par la coulée boueuse.....59	59
Fig. III.25 (a) et (b) Glissement des terrains adjacents.....59	59
Fig. III.26 Route fissurée.....60	60
Fig. III.27 Gabionnage réalisé par la Conservation des Forêts de la wilaya de Tizi-Ouzou durant l'année 2012.....61	61

---

## Liste des figures

---

### Chapitre IV

Fig. IV.1 Ouverture d'une image Raster sous MapInfo.....	66
Fig. IV.2 Désignation des unités sous MapInfo.....	67
Fig. IV.3 Désignation du système de projection.....	67
Fig. IV.4 Procédure d'indication des points de calage.....	68
Fig. IV.5 (A, B et C) Les commandes nécessaires pour la réalisation d'une couche vectorielle.....	70
Fig. IV.6 Les courbes de niveau des versants d'Illilten.....	71
Fig. IV.7 Les réseaux hydrographiques des versants d'Illilten.....	72
Fig. IV.8 Les sources d'eau dans la région d'Illilten.....	72
Fig. IV.9 Cartographie des versants instables d'Illilten et leurs alentours.....	73

# Liste des tableaux

## Chapitre I

Tableau I.1 Echelle cinématique des mouvements de terrains (*BELAIDI M, 2011*).....3

## Chapitre II

Tableau II.1 Susceptibilité de vitesses de l'eau sur les flancs des bassins versant en fonction de plages de pentes choisies (pour de faibles hauteurs d'eau et en zone rurale) (*MARTHY F. et THEVENET G, 2006*).....39

Tableau II.2 Grille d'évaluation du degré de l'aléa ruissellement (Ru) sur les flancs des bassins versants en zones rurales (pour l'élaboration d'une carte provisoire) (*MARTHY F. et THEVENET G, 2006*).....40

## Chapitre III

Tableau. III.1 Les précipitations moyennes mensuelles et annuelles de 1995 à 2010 (*ANRH, station Ait Aicha*).....51

### Introduction générale

Les mouvements de terrain sont des phénomènes naturels qui représentent l'une des plus importantes thématiques de la géotechnique. Ils provoquent une modification naturelle et continue du relief, et se produisent ou se réactivent généralement de façon brusque.

Ces phénomènes sont généralement d'origines très variées : naturelles (topographique, géologique, météorologique) ou anthropiques (terrassements, surcharges, déboisement et ouverture de routes,...). En effet, l'Homme prend une part notable à la fois dans le déclenchement comme dans l'aggravation de ces phénomènes.

Les risques naturels sont alors, la combinaison d'un aléa (le phénomène naturel), et d'une vulnérabilité liée à la présence humaine (habitations, infrastructures...). Ainsi, leurs conséquences ne cessent d'être plus pénibles : le nombre de victimes et le coût des dommages peuvent être élevés selon les circonstances, et en fonction de l'intensité, la soudaineté et la durée du phénomène (MAQUAIRE O, 2002).

Afin de réduire et d'éviter ces dommages, La prévention doit être précédée par une analyse des processus et une bonne connaissance de la méthodologie de l'étude, de manière à comprendre correctement le phénomène.

Ces phénomènes d'instabilité se répartissent un peu partout dans le monde avec une fréquence et une intensité variables. Certaines régions du nord de l'Algérie sont particulièrement touchées. À ce titre, la commune d'Illilten située à 70 Km au sud-est de la wilaya de Tizi-Ouzou, constitue l'une des régions qui ont connues un phénomène naturel de très grande ampleur qui est une coulée boueuse. Cette dernière s'est manifestée en mai 2012 et ses causes sont multiples. L'étude et l'évaluation exactes de cet aléa est très difficile en particulier quand des masses et des volumes très importants sont mis en mouvement.

Pour cela, nous avons choisi d'étudier ce mouvement dans le présent mémoire, afin de mieux comprendre les processus qui sont à l'origine de son déclenchement ou de sa réactivation, en tenant à répondre aux questions : comment et pourquoi s'est produit ce phénomène ? Et quelles seront les solutions qui pourront l'arrêter ?

Ce mémoire a été réparti en quatre chapitres :

**Le premier chapitre** de ce mémoire a été consacré à une étude bibliographique approfondie qui décrit la diversité des mouvements de terrain, en s'appuyant sur les différentes classifications couramment admises. Ce chapitre présente aussi les différents moyens de prévision et de surveillance conçus pour suivre l'évolution de ces mouvements de terrain.

**Le second chapitre** essaie de présenter les caractéristiques des coulées boueuses : formation, les facteurs d'instabilité ainsi que les diverses techniques de confortement et de protection contre ce phénomène.

Dans **le troisième chapitre**, nous avons étudié la coulée boueuse affectant la région d'Illilten. Le travail porte sur une étude de la géologie, la climatologie et l'hydrographie de la zone instable, ainsi qu'une description des facteurs pouvant être la cause de cette instabilité, et les solutions qui pourront arrêter ce phénomène.

## Introduction générale

---

**Le dernier chapitre** est consacré à la cartographie des versants instables d'Illiltén à l'aide du logiciel MapInfo, afin de permettre une meilleure gestion de cette coulée boueuse.

Enfin, le mémoire s'achève par une conclusion générale.

## Introduction

Les classifications des mouvements de terrain qui sont à la base de l'analyse des instabilités, sont définies par des critères de reconnaissance basés sur la morphologie, la dynamique et la cinématique des mouvements. Ce chapitre s'intéresse à la terminologie complexe utilisée pour définir et classier les aléas géomorphologiques, et interprète les systèmes de surveillance conçus pour suivre leur évolution.

### I. Les mouvements de terrain

#### 1. Description du phénomène

Les mouvements de terrain sont des déplacements du sol ou du sous-sol (ils peuvent affecter aussi bien le substrat rocheux que les couches plus superficielles des sols), d'origine naturelle (séismes, fortes pluies, cycle gel-dégel et la fonte des neiges, etc.) ou anthropique (terrassement, déboisement, etc.).

L'ampleur de ces phénomènes est très variable. Les volumes en jeu vont couramment de quelques mètres cubes à quelques millions de mètres cubes. Les mouvements de terrain peuvent se produire sous forme de processus brutaux (chute de pierres et de blocs, éboulement et écroulement, glissement soudain, coulée boueuse et effondrement) ou lents et progressifs (fluage, glissement lent permanent). Leur grande variété engendre un besoin de les classier pour mieux les appréhender et les étudier.

#### Comment et quand se manifestent-ils ?

Les processus à l'origine des mouvements de terrain sont très complexes et dépendent rarement d'une seule cause. Certains mouvements peuvent être considérés comme le processus évolutif naturel d'un site, mais il faut savoir aussi, qu'un mouvement de masse peut être déclenché par l'action de l'Homme. En général, l'eau joue un rôle déterminant pour les mouvements de terrain.

De nombreuses classifications ont été proposées pour prendre en compte la diversité des mouvements de versants instables. Elles sont définies par des critères de reconnaissance basés sur des notions de stratigraphie, composition des matériaux, vitesse des processus, et sur la morphologie, la dynamique et la cinématique des mouvements, etc.

Selon la vitesse de déplacement, deux ensembles peuvent être distingués: les mouvements lents et les mouvements rapides.

Très lent	Lent	Moyen	Rapide	Très rapide
1mm/an	1mm/mois	1.5mm/jour	4mm/h	2500mm/s
à	à	à	à	à
12mm/an	50/mois	100mm/jour	10000mm/h	10000mm/s

**Tableau I.1** Echelle cinématique des mouvements de terrain (*BELAIDI M, 2011*).

**Les mouvements lents et continus :** Pour lesquels la déformation est progressive et peut être accompagnée de rupture, mais en principe d'aucune accélération brutale :

- Le retrait-gonflement;
- Les tassements et les affaissements;
- Les glissements de terrains.

**Les mouvements rapides et discontinus :** se propageant de manière brutale et soudaine :

- Les effondrements de cavités souterraines naturelles ou artificielles;
- Les écroulements et les chutes de blocs;
- Les coulées boueuses.

## 2. Les différents types de mouvements de terrain

### 2.1. Eboulements, chutes de pierres et de blocs et écroulements

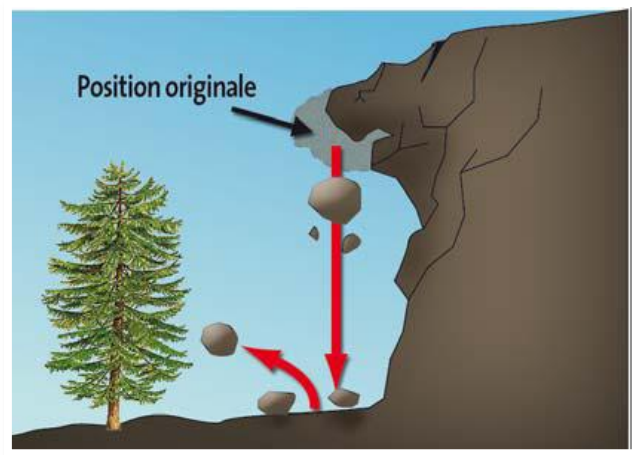
Les éboulements au sens large (phénomènes de chute) sont des mouvements rapides de masses. Le matériel éboulé s'est détaché du massif rocheux, selon des surfaces de discontinuité (pendage, schistosité, fissures ou fractures). Ces phénomènes peuvent être classés en trois catégories: chutes de pierres et de blocs, éboulements (au sens strict) et écroulements (*DIAB DJEFFAL I, 2011 ; Office fédéral de l'aménagement du territoire OFAT. ; Office fédéral de l'économie des eaux OFEE. et Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage OFEFP, 1997*).

Le volume total éboulé permet de différencier les différents phénomènes entre eux : on parle de chutes de pierres et de blocs lorsque ce volume est inférieur à la centaine de m<sup>3</sup>, d'éboulement lorsqu'il est compris entre quelques centaines de m<sup>3</sup> et quelques centaines de milliers de m<sup>3</sup>, et d'éboulement en grande masse (ou écroulement) lorsqu'il est supérieur au million de m<sup>3</sup>.

#### 2.1.1. Les chutes de pierres et de blocs

Les chutes de pierres et de blocs (pierre: Ø < 50cm; bloc: Ø > 50cm) sont des mouvements ponctuels qui affectent les milieux rocheux fracturés et fissurés, tels que les calcaires, les grès et les roches cristallines, etc. Ce processus caractérise la désagrégation continue d'une falaise rocheuse. Quand les blocs se détachent des parois, ils peuvent parcourir des distances très grandes. Les vitesses de chute vont généralement de 5 à 30 m/s (*Office fédéral de l'aménagement du territoire OFAT. ; Office fédéral de l'économie des eaux OFEE. et Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage OFEFP, 1997 ; DJERBAL L, 2010 ; DIAB DJEFFAL I, 2011*).

On rencontre, en zones montagneuses, de très nombreuses chutes de blocs, et les traces laissées par ces derniers sont bien visibles dans le paysage, avec une élimination quasiment complète de la végétation arborée le long du trajet du bloc et des empreintes profondes laissées dans le sol.



**Fig. I.1** Chute de blocs.

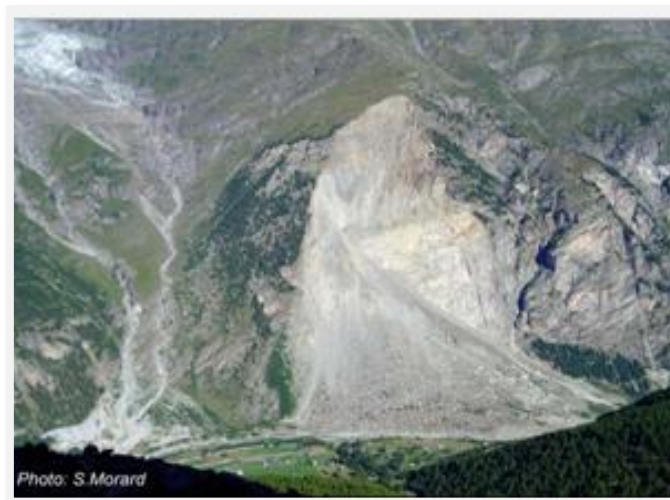
### 2.1.2. Les écroulements

Ce sont des chutes rapides et brutales de masses rocheuses importantes. Ces phénomènes affectent les roches massives et fracturées, d'origine calcaire ou cristalline (*LAGHOUAG S.A. et BOUKHARI A, 2008 ; LEBOURG M. T, 2000*).

Les caractéristiques particulières de ce phénomène sont des vitesses de chute élevées (de plus de 40 m/s) et de très grandes distances de transport (pouvant souvent atteindre plusieurs kilomètres). Les volumes couramment intéressés par les écroulements sont très variables, cela va de quelques mètres cubes pour les petits écroulements, à plusieurs centaines de millions de mètres cubes (*LEBOURG M.T, 2000 ; BELAIDI M, 2011*).

Compte tenu des grands volumes concernés, les écroulements peuvent modifier le paysage de façon durable. Les énormes masses écroulées forment souvent des barrages naturels dans les vallées de montagne, obstruant les cours d'eau et créant des retenues.

Les facteurs déclenchant sont les apports d'eau, les cycles de gel dégel, l'érosion, le sous-cavage et les séismes (*BELAIDI M, 2011*).



**Fig. I.2** Ecroulement de RANDA en 1991, volume 30 millions de m<sup>3</sup> (*SSG et Schweizerische Geomorphologische Gesellschaft, 2009*).

On distingue :

- *Les écroulements rocheux de falaise*

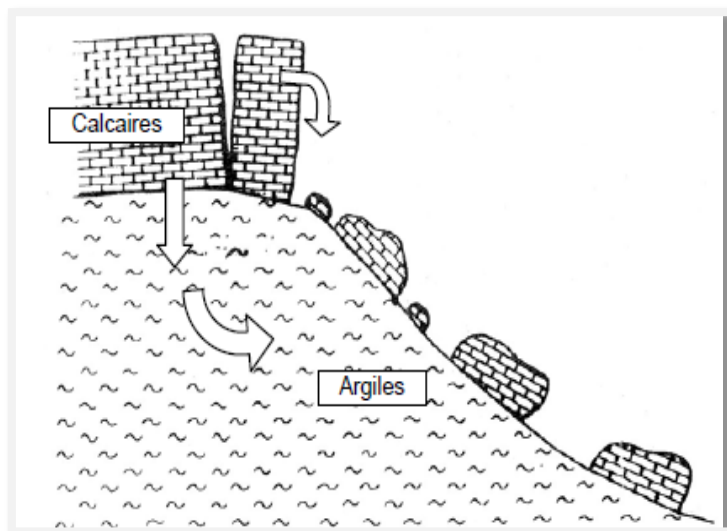
Dislocation d'une masse rocheuse pendant la chute, d'autant facilement qu'il existe auparavant un réseau de diaclases important. Les blocs se fracturent en contact du sol et peuvent alors parcourir des distances importantes (plusieurs kilomètres) (LAGHOUAG S.A. et BOUKHARIA, 2008).



**Fig. I.3** Ecroulement de falaise à Nuku Hiva.

- *Les écroulements par fluage*

Les falaises rocheuses reposent fréquemment sur des marnes ou des argiles plus déformables, du fait des contraintes transmises par la falaise et du régime hydraulique défavorable. Le déplacement ou la rupture du massif entraîne la fissuration des roches et le basculement des blocs ; dans certains cas, le massif marneux peut glisser avec la falaise (LAGHOUAG S.A. et BOUKHARIA, 2008).



**Fig. I.4** Ecroulement par fluage.

- **Écroulement de surplomb** : Des blocs de dimensions parfois considérables se séparent souvent d'une falaise ; ils constituent des écroulements parfois très importants (LAGHOUAG S.A. et BOUKHARI A, 2008).

Les causes sont :

- ✓ Mise en surplomb par érosion des couches sous-jacentes ;
- ✓ Décrochement de massifs limités par des joints, fissures, diaclases, etc.

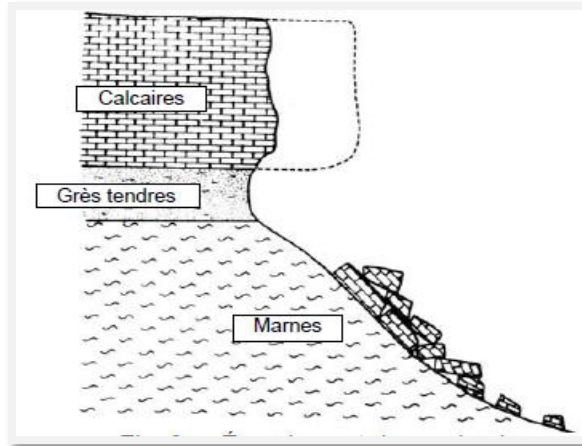


Fig. I.5 Écroulement de surplomb (LEBOURG M.T, 2000).

### 2.1.3. Les éboulements

Le processus d'éboulement commence avec la désagrégation de matériaux rocheux ou meuble sur une pente raide le long d'une surface sur laquelle ne se développe que peu de mouvements de cisaillement. Le matériel tombe ensuite principalement en chute libre, en rebondissant et/ou en roulant. Le volume de matériaux concernés est en général compris entre quelques centaines de m<sup>3</sup> à quelques centaines de milliers de m<sup>3</sup>. Dans des cas exceptionnels, des volumes sensiblement plus grands peuvent s'ébouler. Les vitesses de transport se situent principalement entre 10 et 40m/s.



Fig. I.6 Éboulement, Dent de Lys, France (SSG et Schweizerische Geomorphologische Gesellschaft, 2009).

### 2.2. Le fluage

Le fluage est un mouvement très sournois, de faible amplitude, qui se produit lentement (environ 10 cm par an). Ce phénomène est sans surface de rupture nette. Il peut soit se stabiliser, soit évoluer vers une rupture (BOUAZIZ N, 2012 ; LAGHOUAG S.A. et BOUKHARI A, 2008 ; LEBOURG M.T, 2000).

Ce mouvement affecte des versants naturels divers, mais il se produit généralement au sein de formations (marne, argile plastique, etc.) de grande épaisseur, supportant une surcharge (naturelle ou anthropique).

Les volumes intéressés par ce phénomène sont comparables à ceux des glissements. Les déplacements dans le massif en mouvement sont continus mais les vitesses de déformation sont faibles.

Les causes motrices principales sont : le chargement (dans le cas de matériaux naturels), la saturation progressive (dans le cas de certains remblais argileux) et l'évolution des caractéristiques mécaniques du matériau.

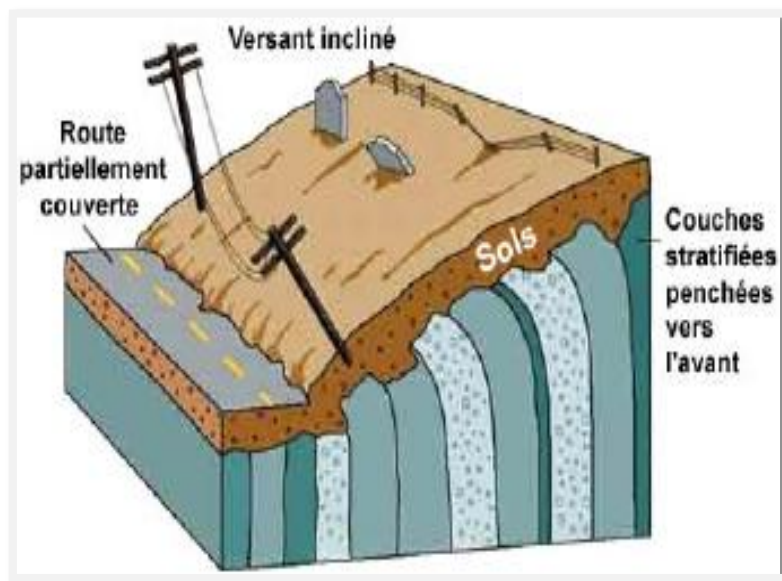
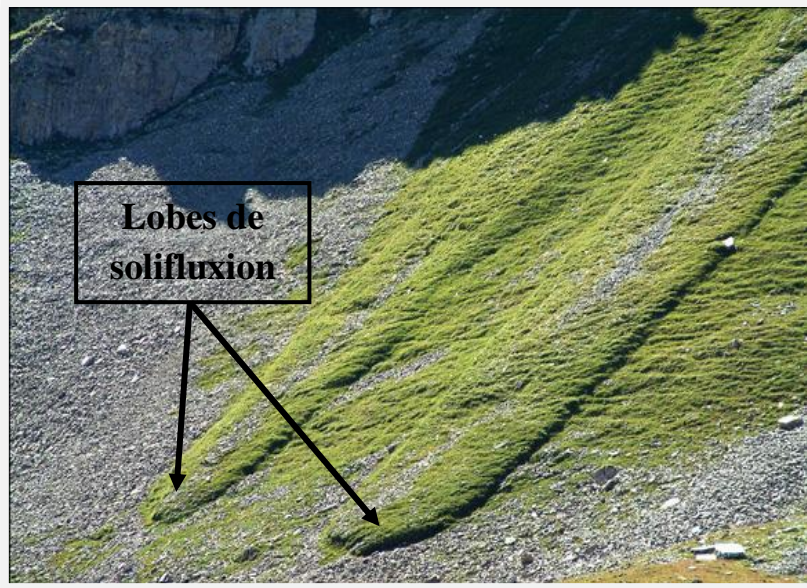


Fig. I.7 Le fluage.

### 2.3. La solifluxion

La solifluxion est un cas spécial de fluage. Elle désigne les mouvements de sols ou formations superficielles sur des pentes très faibles. Ce phénomène est dû aux variations volumétriques d'un sol au cours des saisons (gel-dégel) en montagne. Lors de l'alternance gel-dégel, la teneur en eau du matériau croît superficiellement et les mouvements s'accroissent (BOUAZIZ N, 2012).



**Fig. I.8** Grandes loupes de solifluxion (versant est du HORLINI).

### **2.4. Le fauchage des couches**

C'est un mouvement lent qui affecte des roches stratifiées redressées à la verticale, et entraîne un basculement vers l'aval des têtes de couches sur une épaisseur très variable (quelques mètres à quelques centaines de mètres). Ce phénomène affecte surtout les formations litées, schisteuses (schistes, gneiss et micaschistes) ou plaquetées (BOUAZIZ N, 2012).

Le fauchage des couches se produit dans les roches traversées de discontinuités en direction quasi parallèle à l'axe de la vallée, et à fort pendage. Un fauchage accentué de versant engendre une désorganisation importante du massif, qui peut favoriser la formation ultérieure d'une surface de rupture et l'évolution en glissement ou en éboulement.

Les volumes affectés sont souvent très réduits : quelques centaines de mètres cubes voire quelques milliers de mètres cubes. Dans certains cas exceptionnels, ils atteignent plusieurs millions de mètres cubes, avec des profondeurs observées jusqu'à une centaine de mètres. En général, les vitesses sont extrêmement lentes et progressives (BOUAZIZ N, 2012).

Parmi les causes motrices : les mouvements néotectoniques (déformation des terrains au quaternaire) et le vieillissement.

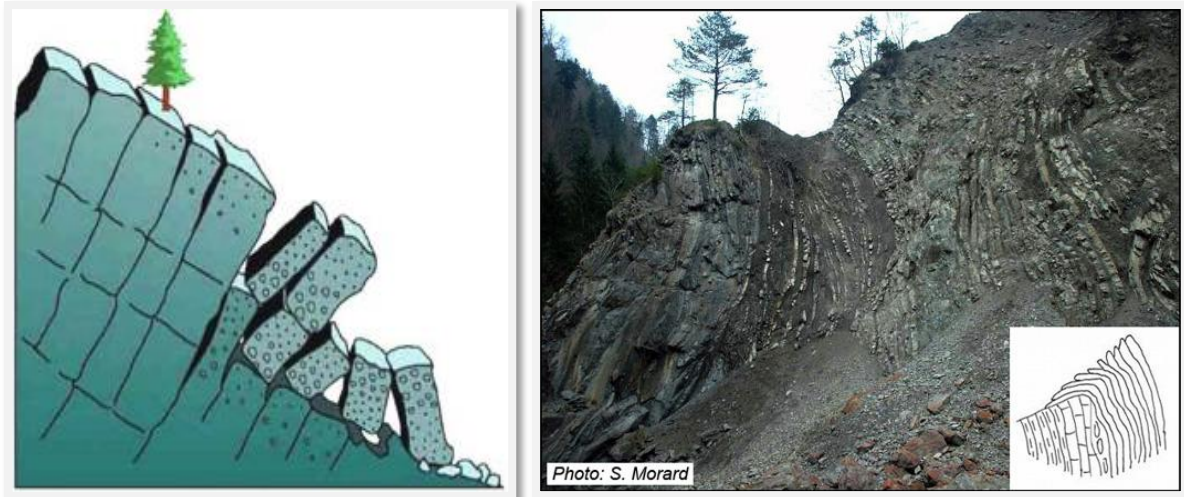


Fig. I.9 Le fauchage des couches (dans la vallée de la JOGNE « figure à droite »).

### 2.5. Le retrait et gonflement

Le gonflement est lié à la nature argileuse du sol et à sa teneur en eau. Ce phénomène se présente dans les argiles gonflantes comme : les montmorillonites, les saponites, les chlorites ou les vermiculites. Ces argiles sont susceptibles de fixer l'eau, et donc de gonfler, comme elles sont capables aussi de la perdre en se rétractant en cas de sécheresse (*LEBOURG M.T, 2000 ; BOUAZIZ N, 2012 ; ARAB M, 2012*).

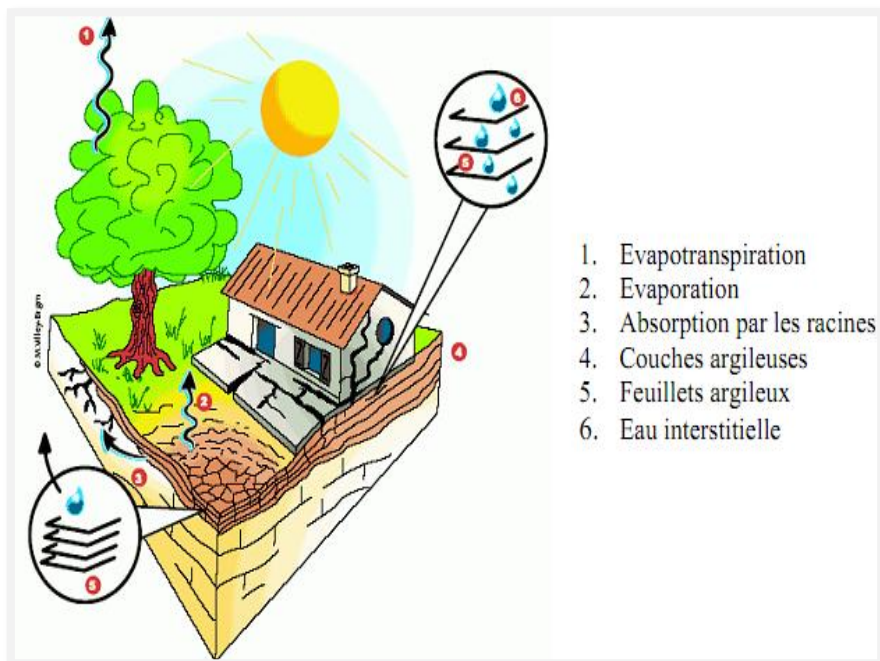


Fig. I.10 Processus de retrait-gonflement des sols argileux (*SAINT MARTIN. M, 2010*).

## Chapitre I : Généralités sur les mouvements de terrain

---

Parmi les désordres que peuvent provoquer ces deux phénomènes (voire les figures ci-dessous) :

- Fissuration des structures ;
- Distorsion de portes et fenêtres ;
- Dislocation des dallages et des cloisons ;
- Rupture de canalisations enterrées ;
- Décollement des bâtiments annexes.



(a)

(b)



(c)

**Fig. I.11 désordres du retrait et gonflement : (a) Décollement, (b) Distorsion des fenêtres, (c) Fissuration de la structure (JAHANGIR E, 2010).**

### 2.6. Les affaissements, les effondrements et les tassements

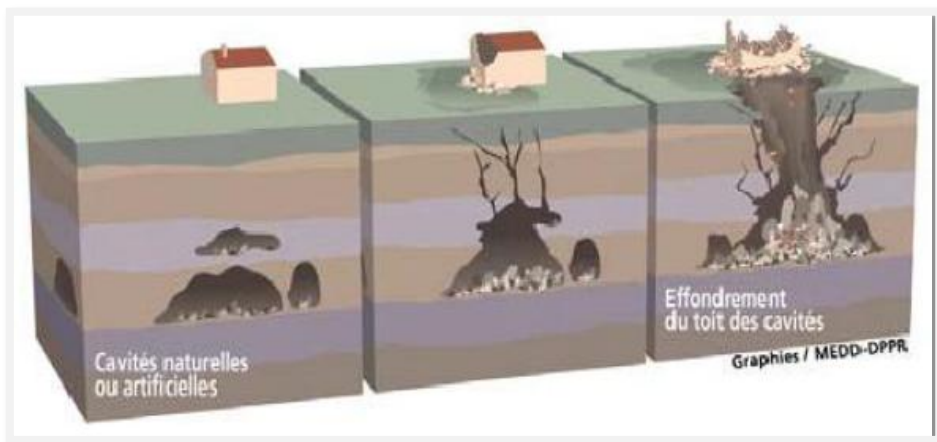
**Les affaissements** : Évolution de cavités souterraines dont l'effondrement est amorti par le comportement souple des terrains superficiels (LADGHEM CHIKOUCHE F, 2009).

Ces cavités peuvent être :

- Des vides naturels par dissolution de roches solubles (calcaires, gypses...etc.) ;
- Des ouvrages souterrains exécutés sans précaution ;
- Des carrières souterraines (mines de sel, de charbon...etc.).

Ce phénomène se caractérise par une dépression topographique sans rupture apparente.

**Les effondrements** : Résultent de la rupture des appuis ou du toit d'une cavité souterraine, qui se propage jusqu'en surface de manière plus ou moins brutale, et qui détermine l'ouverture d'une excavation grossièrement cylindrique. Les dimensions de cette excavation dépendent des conditions géologiques, de la taille et de la profondeur de la cavité ainsi que du mode de rupture.



**Fig. I.12** Processus d'effondrement d'une cavité souterraine.

**Les tassements** : Diminution de volume du sous-sol sous l'effet des charges appliquées et de l'assèchement. Ces tassements affectent surtout des terrains vaseux, argileux ou tourbeux, s'appuyant sur des couches aquifères (sables, graviers, alluvions, colluvions, etc.) (LADGHEM CHIKOUCHE F, 2009). Ces phénomènes peuvent être de grande extension.

### 2.7. Les coulées boueuses

Ce type de phénomène est dû à la mise en mouvement de matériaux ayant un comportement semblable à celui d'un fluide visqueux dans lequel l'eau joue un rôle primordial. Souvent très dévastateur, il est le plus rapide et le plus fluide des mouvements de terrain. Les matériaux mobilisés sont généralement très hétérogènes (argiles, sables, rochers).



**Fig. I.13** Coulée de boue (Mexique 1996).

### **2.8. Les glissements de terrains**

Un glissement de terrain correspond à un déplacement en masse sur une pente, le long d'une (ou plusieurs) surface(s) de rupture dite surface de cisaillement, qui peut être plane ou courbe (*BELAIDI M, 2011*). Ce sont généralement des phénomènes lents, mais ils peuvent s'accélérer brutalement pour aller même jusqu'à la rupture. Ils peuvent aussi évoluer en avalanche de débris ou en coulée de boue (si le matériau contient suffisamment d'eau).

Ces mouvements se produisent généralement dans des matériaux meubles (des sols) ou des massifs rocheux fracturés ou altérés. Le volume des glissements de terrain est très variable : allant de quelques mètres cube (loupes) à plusieurs millions de mètres cubes (versants entiers) (*LAGHOUAG S.A. et BOUKHARIA, 2008*).



**Fig. I. 14** Glissement de terrain (*GOMINET S, juin 2005*).

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.

Les indices, les manifestations et les phénomènes induits par les glissements sont : niche d'arrachement, fissures, bourrelets, arbres basculés, zone de rétention d'eau, fissuration des bâtiments, déformation des routes, etc.

Trois types de glissements sont distingués en fonction de la géométrie de la surface de rupture :

- Glissement plan ou translationnel, le long d'une surface plane ;
- Glissement rotationnel simple, le long d'une surface convexe ;
- Glissement rotationnel complexe, lorsque la surface de rupture est un mélange des deux types.

### 2.8.1. Les glissements plans ou translationnels

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

Lors de glissements translationnels, les couches de terrain ou les ensembles de couches stratifiées glissent sur une zone de faiblesse existante (souvent 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 (*BELAIDI M, 2011*).

L'épaisseur des masses en mouvement, atteint fréquemment plusieurs dizaines de mètres. Les zones de flysch, les schistes marno-calcaires ou les schistes métamorphiques sont les formations les plus sujettes à ce genre de glissement.

### 2.8.2. Les glissements rotationnels simples

Ces types de glissements sont très fréquents et sont en général de volume limité. Ils sont caractérisés par un basculement de la masse glissée le long d'une surface de rupture dont la forme est parfois assimilable à un cylindre. Ils se produisent principalement dans des terrains meubles homogènes surtout argileux et silteux, et parfois dans les roches homogènes où il n'y a pas de discontinuités géologiques suffisamment persistantes, ou si la fracturation est suffisamment intense pour permettre une telle surface de glissement.

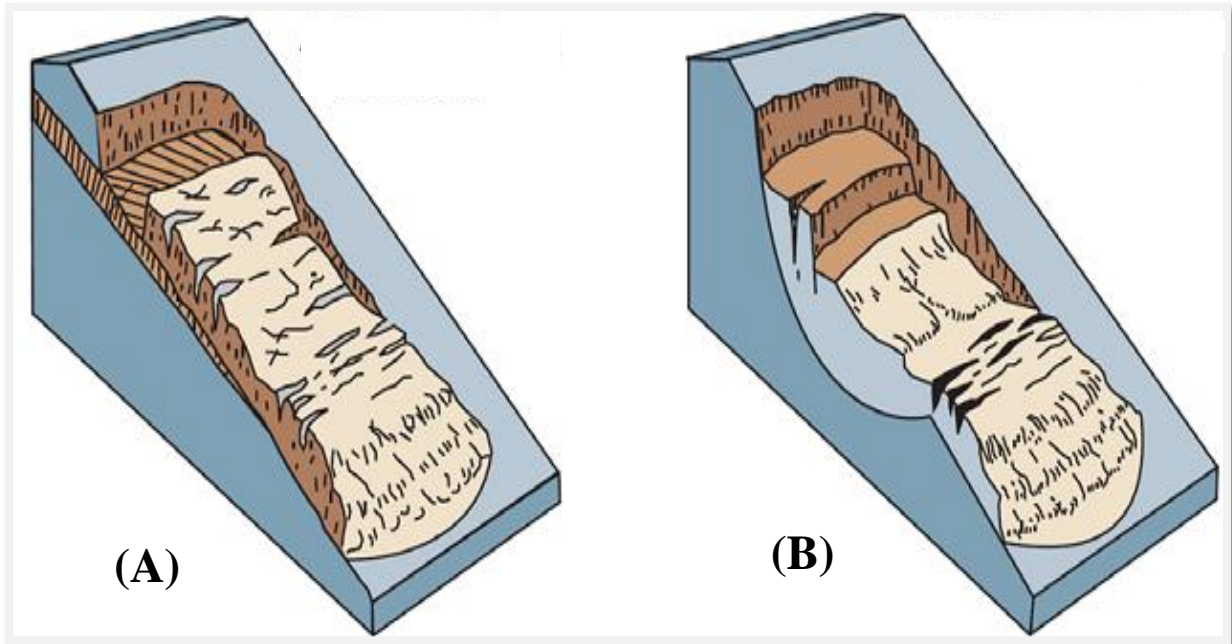


Fig. I.15 Les deux types de glissements : plan (A) et rotationnel (B).

### 2.8.3. Les glissements rotationnels complexes

Les mouvements complexes sont par définition l'association de plusieurs types de mouvements qui se déclenchent, soit ensemble, soit successivement, ce type de glissement est rare. Il s'agit de glissements multiples emboîtés les uns dans les autres, dus souvent à la suppression de la butée provoquée par le glissement précédent, ce qui entraîne des glissements successifs remontant vers l'amont.

Les causes de déclenchement sont principalement le résultat d'une activité intense de l'eau qui est engendrée soit par un ou des pics d'intensité des pluies, soit par l'action retardée des eaux de pluie sur la nappe de fracture. On observe en général la formation d'une marche d'escalier à l'amont et d'un bourrelet de pied à l'aval.

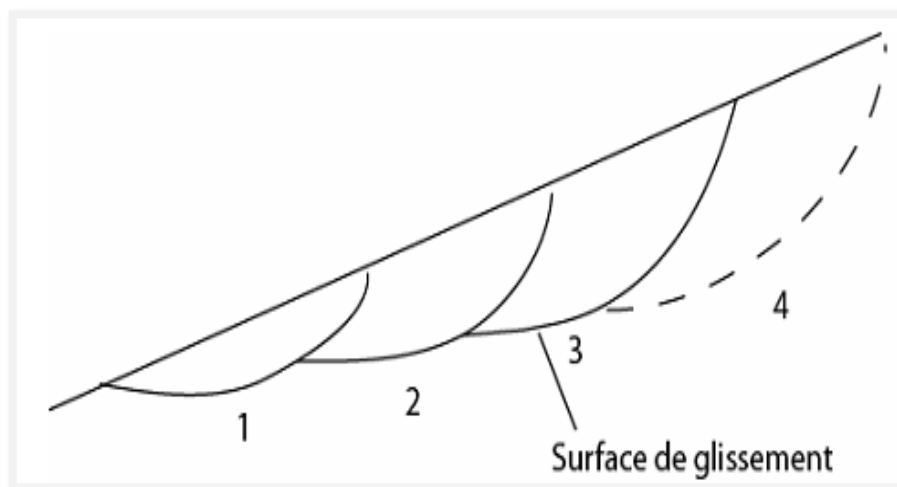


Fig. I.16 Glissement successifs emboîtés (*M'ZOUGHEM K. et CHENAF A W, 2006*).

## II. Evaluation et surveillance des mouvements de terrain

### Introduction

On n'est jamais absolument certain, en matière de stabilité de pentes, qu'un talus même étudié avec le maximum de précaution, ne subisse pas de désordres. On peut, par ailleurs, être amené, dans certains cas, à accepter le risque de tels désordres à condition qu'il soit prévisible à brève échéance. Dans ce cas, il est nécessaire de mettre en place un ou plusieurs dispositifs de surveillance pouvant éventuellement servir de systèmes d'alerte pour permettre l'analyse et l'évaluation du potentiel de risque d'un mouvement de terrain.

L'objectif principal du système de surveillance est de fournir des informations sur l'évolution du phénomène de façon à pouvoir prendre le cas échéant, les mesures nécessaires : on redoute soit l'accélération plus au moins brutale du phénomène (la rupture), pouvant mettre en danger des vies humaines ou causer des dommages importants, soit le dépassement du seuil de déformation admissible sur un ouvrage. Les dispositions incluses dans une surveillance comprennent donc essentiellement un contrôle (visuel ou par instruments de mesure) de l'évolution, auquel succèdent un dépouillement et une interprétation qui amènent éventuellement à prendre des dispositions de sécurité.

### 1. La surveillance

C'est une technique qui consiste en un recueil, une exploitation et une interprétation périodiques des données qualitatives et quantitatives qui caractérisent l'évolution du site, dans un objectif directement appliqué de gestion de la sécurité.

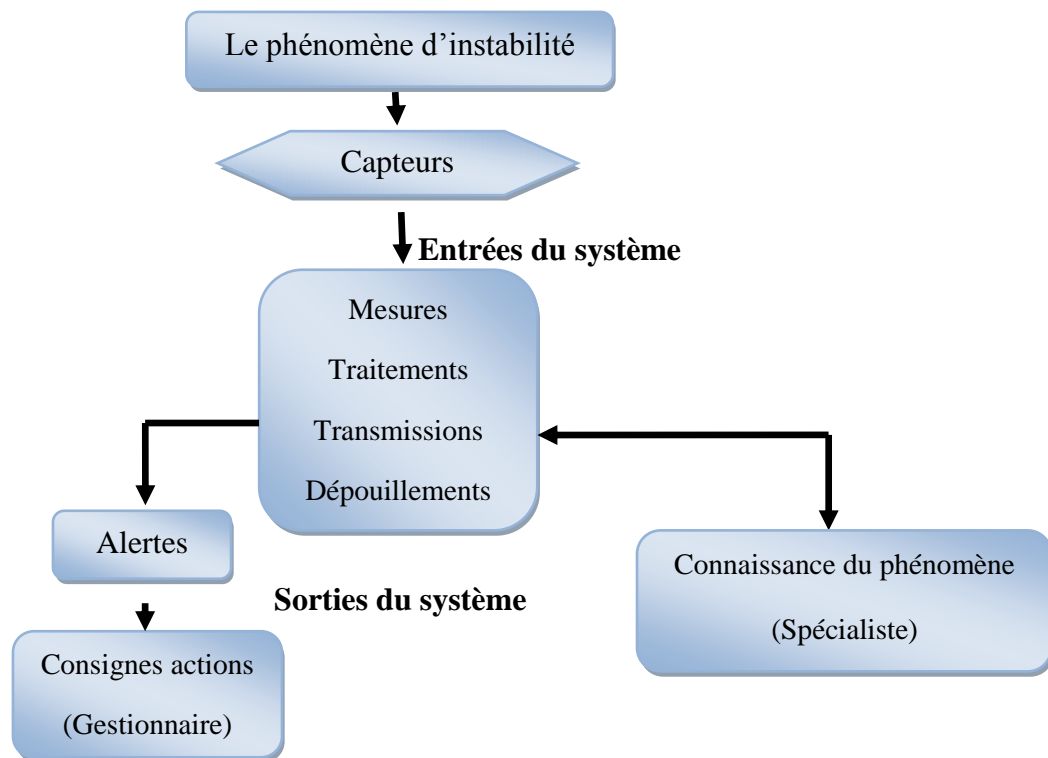


Fig. I.17 : Système de surveillance (DURVILLE J.L. et al. 1994).

Les moyens doivent être compatibles avec les contraintes découlant du cahier des charges qui est associé à l'objectif de sécurité et qui définit notamment la nature des informations ; la fiabilité du système et les détails de mise en œuvre et d'exploitation.

La prise en compte du temps est une composante fondamentale de la surveillance. En fonction des caractéristiques du site, de l'évolution probable du phénomène, et des exigences de sécurité ; on peut gérer le temps de différentes façons (*DURVILLE J.L. et al. 1994*).

### ■ Surveillance continue

Le système est en permanence en état de veille et toute évolution du phénomène est immédiatement prise en compte. Les données sont acquises en continu sur le site, et le système de surveillance peut transmettre et traiter de manière permanente ces données (veilleur sur place ou système automatisé avec télétransmission).

La surveillance en continu implique de disposer des personnels d'astreinte compétents, et de prévoir un plan d'action en cas d'alertes ou d'alarmes.

Dans le cas d'une surveillance en temps réel, le système produit en quelques secondes ou quelques dizaines de secondes des informations interprétables et exploitables dans un processus de sécurité. Sauf dans le cas d'alerte automatique (détecteur allumant un feu rouge, par exemple), la phase d'interprétation est déterminante et nécessite l'intervention d'un spécialiste connaissant bien le site et le système (*DURVILLE J.L. et al. 1994*).

### ■ Surveillance discontinue

L'ensemble du système de surveillance n'est pas en activité permanente et les informations sont produites périodiquement ou sur interrogation.

Dans le cas d'une surveillance périodique, la production d'informations par le système a lieu tous les mois, toutes les semaines, tous les jours, ou toutes les heures, par exemple. Dans certains cas, un système automatisé acquiert les données en permanence (en pratique, toutes les minutes ou plus fréquemment), mais la transmission ou le dépouillement n'est effectué qu'à des intervalles réguliers, quotidiennement par exemple. Dans d'autres cas, les mesures sont effectuées manuellement (*DURVILLE J.L. et al. 1994*).

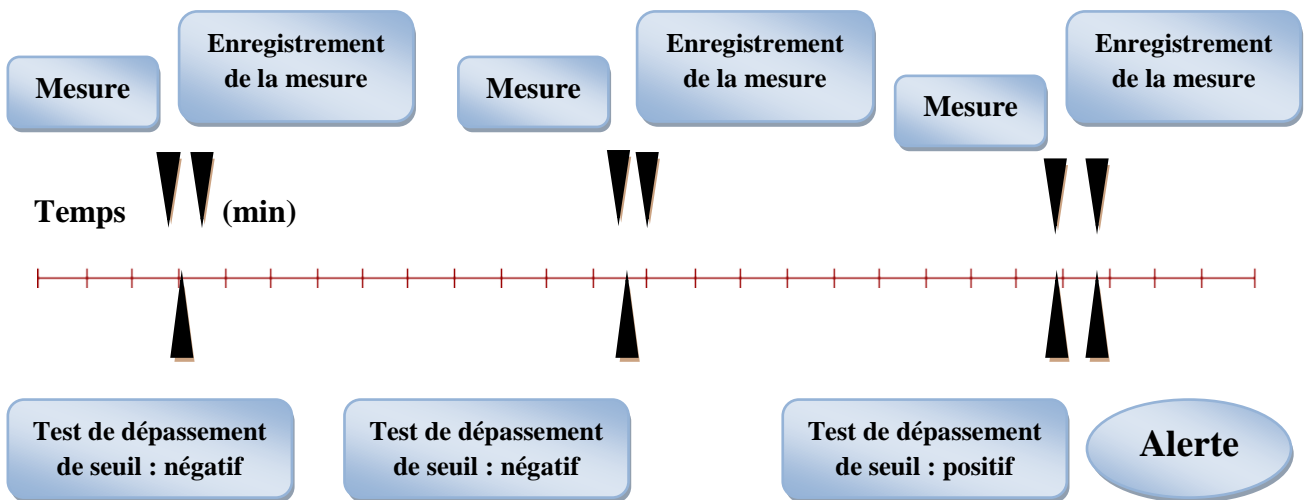


Fig. I.18 Surveillance continue (DURVILLE J.L. et al. 1994).

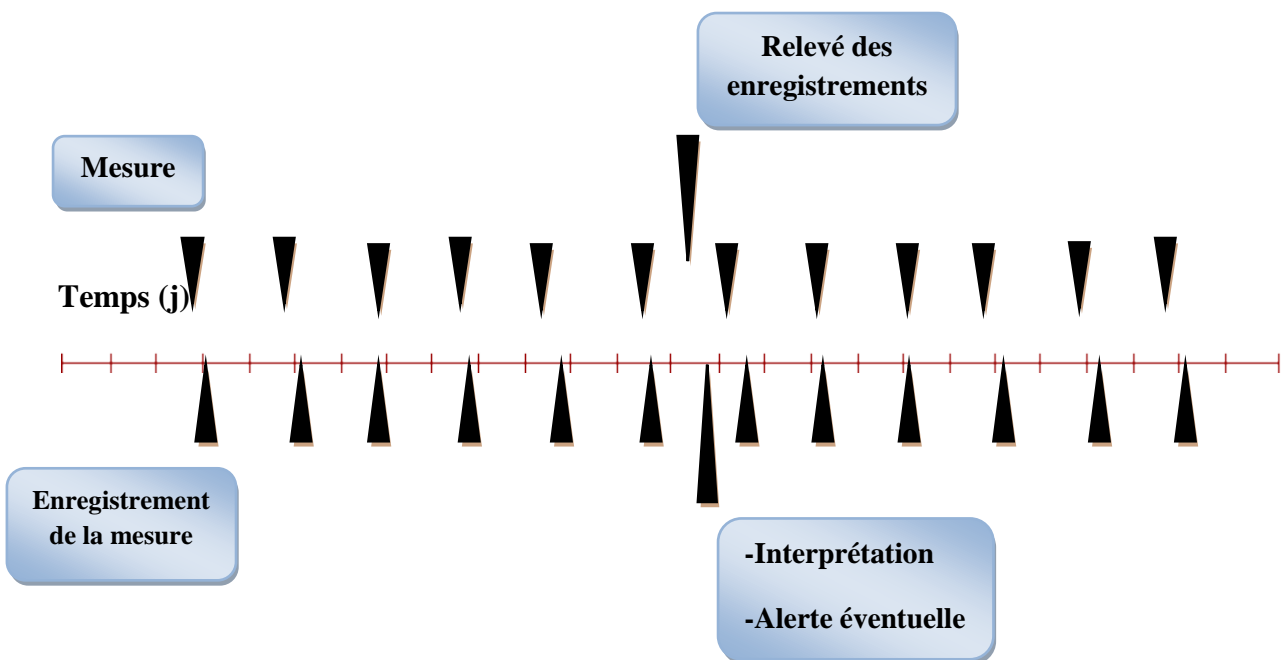


Fig. I.19 Surveillance discontinue (DURVILLE J.L. et al. 1994).

## 2. L'alerte

Quand le mouvement atteint son seuil critique ou une anomalie est détectée, l'alerte est alors lancée. Le temps nécessaire pour donner l'alerte (temps d'alerte) est donc une indication pour l'évaluation de la mise en danger.

On distinguera :

### ■ L'alerte technique

Qui correspond à l'annonce de la défaillance ou du dysfonctionnement du matériel de surveillance : perte de capacité qui met en cause ou non ses fonctions principales, fonctionnement limité entraînant une perte partielle d'informations, etc.

### ■ L'alerte opérationnelle

Elle est lancée quand le phénomène dépasse les seuils critiques fixés dans le système de surveillance, ou lors de la détection d'un phénomène considéré comme inquiétant. Elle peut entraîner suivant les cas :

- Un renforcement de la surveillance (en matériel, en personnel) ;
- Une évaluation de la situation de sécurité par des spécialistes ;
- La transmission de l'alerte par des autorités responsables de la sécurité ;
- La mise en pré-alerte d'un plan de secours.

**Les processus de chutes de pierres et de blocs :** surviennent la plupart du temps de façon soudaine. Le temps d'alerte est donc court à très court et ne laisse pratiquement pas de temps pour une évacuation. Les **éboulements** et les **écroulements** s'annoncent souvent quelques jours ou semaines à l'avance par un accroissement d'activité des chutes de blocs ou de pierres.

Lorsque l'on porte à de tels signes, il est possible de mettre en œuvre les mesures d'urgence correspondantes (surveillance, système d'alarme, préparation de moyens techniques) et d'ordonner une évacuation à un moment donné.

En cas de danger aigu d'éboulement ou d'écroulement, il faut empêcher le retour des personnes dans le secteur classé en zone de danger, car un tel événement se déroule si vite qu'il ne laisse aucune possibilité de fuite.

En cas de **glissements de terrain** : le temps d'alerte est en général relativement long, de sorte que des mesures d'urgence et une évacuation peuvent être mises en œuvre à temps. Les personnes ne sont donc pratiquement pas mises en danger si elles adoptent un comportement adéquat. En cas de glissements de terrain résultant d'une érosion des berges liée à des crues, il est en général possible de repérer le danger quelque temps à l'avance (fraction d'heure). Si l'alerte est donnée à temps et que les personnes ont un comportement adéquat, elles ne sont de ce fait presque pas mises en danger. Mais le déclenchement du glissement peut survenir de façon soudaine.

En cas de **coulées de terre** : les alertes sont extrêmement difficiles à formuler. Dans des conditions de site spécifiques (topographie, structure du sol, végétation), les précipitations extrêmes constituent le facteur déclenchant. Comme celles-ci peuvent être aussi perçues à temps dans les secteurs où des coulées de terre sont probables, il ne se produit généralement pas de véritable effet de surprise. Le danger peut donc être pressenti et il est possible de prendre des mesures de précaution (*Office fédéral de l'aménagement du territoire OFAT. ; Office fédéral de l'économie des eaux OFEE. et Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage OFEFP, 1997*).

### 3. L'alarme

L'alarme est le signal qui annonce l'existence d'un danger imminent, c'est à dire qu'elle représente le dernier niveau de l'alerte qui correspond au cas de risque extrême.

L'alarme entraîne l'exécution des mesures d'urgence. Donc, en cas de déclenchement de celle-ci, les règles d'action doivent être définies au préalable dans le système de surveillance pour chaque type de situation pouvant survenir.

### 4. Les données nécessaires à la définition du système de surveillance

La conception de la surveillance résulte de la confrontation de deux groupes de données :

- Celles relatives au phénomène d'instabilité et à son environnement.
- Celles qui caractérisent les enjeux, le risque et le degré de sécurité recherché.

#### 4.1. Le phénomène et son environnement

Sous la dénomination de mouvements de terrain sont regroupés des phénomènes correspondant à des mécanismes très variés, dans des terrains de nature diverse, et avec des morphologies très différentes. En particulier, l'ampleur des phénomènes est très variable.

La surveillance des sites instables doit s'adapter à tous ces cas extrêmement divers : par ailleurs, l'environnement naturel (climat, par exemple) et technologique est un élément important pour la définition de la surveillance (*DURVILLE J.L. et al. 1994*).

##### 4.1.1. L'environnement du système de surveillance

C'est un facteur fondamental qui conditionne le choix des types de méthodes de surveillance à adopter. Il importe donc d'identifier toutes les contraintes liées à cet environnement, qu'elles soient d'origine naturelle ou artificielle.

Les principaux éléments à prendre en compte :

- Il existe fréquemment des problèmes d'accessibilité, qui découlent soit de la morphologie, soit de conditions hivernales rigoureuses.
- Le relief qui peut conditionner le type de matériel de communication à utiliser.
- La végétation arborée importante (possibilité de tendre des câbles, installation des mires pour les levés topographiques...)
- Le climat peut apporter des contraintes sur l'appareillage (température extrêmes, humidité ou salinité de l'air, Orages et foudre).
- L'activité du mouvement de terrain : si le mouvement est très actif, l'accès du personnel devient risqué, et les instruments de mesure nécessitent une protection (la surveillance dans ce cas est coûteuse).
- La protection contre d'éventuels actes de vandalisme doit être examinée.
- L'environnement technologique doit être analysé (existence d'énergie électrique, lignes téléphoniques...).
- Existence de certaines espèces animales pouvant endommager les installations et les instruments de mesure.

- L'impact du système sur les installations existantes (perturbation des réceptions radio et TV) (*DURVILLE J.L. et al. 1994*).

### 4.2. L'objectif de la sécurité

Les responsables de la sécurité (maire, gestionnaire de l'ouvrage...) définissent l'objectif de sécurité. Le spécialiste désigné pour l'étude et la surveillance du phénomène apporte au responsable les éléments techniques nécessaires pour la définition du degré de sécurité.

#### 4.2.1. Les personnes et les biens menacés

Chaque analyse d'un risque comprend la caractérisation du phénomène attendu et sa probabilité d'apparition, l'évaluation des enjeux, c'est à dire le recensement des personnes exposées et l'estimation des dommages aux biens menacés.

Le phénomène d'instabilité peut être à l'origine de plusieurs types de risques :

- Les risques immédiats qui sont liés au mouvement lui-même : ouvrage emporté en tout ou partie par un glissement,...
- Les risques différés liés soit à l'état du site résultant du phénomène initial, soit à des phénomènes secondaires ; chutes de blocs résiduelles après un écoulement en masse.

Vis-à-vis du phénomène principal comme des phénomènes secondaires, il convient d'examiner qui et quoi est menacé. Le gestionnaire de l'ouvrage se posera les questions suivantes au sujet des risques de victimes :

- ✓ Des vies humaines sont-elles menacées ?
- ✓ La présence humaine dans la zone exposée est-elle permanente ou épisodique ?
- ✓ Une évacuation est-elle possible ?

On cherchera également à évaluer :

- L'effet direct des mouvements sur les ouvrages, en faisant l'inventaire des ouvrages concernés et en évaluant leur niveau d'endommagement prévisible (nature des désordres, durée et coût de réparation).
- Les effets indirects qui ont des conséquences sur la vie et l'économie locales : par exemple, coupure d'une voie de communication entraînant un long détour, rupture d'une adduction d'eau importante, etc. (*DURVILLE J.L. et al. 1994*).

#### 4.2.2. Les mesures prévues en cas d'alarme

L'objectif d'une surveillance est de prévoir l'occurrence d'un phénomène, avec un délai suffisant pour prendre des mesures destinées à diminuer les conséquences néfastes de ce phénomène.

La mise en place d'un système de surveillance implique donc, de la part du gestionnaire de l'ouvrage ou du responsable de la sécurité du site, une réflexion sur les différents moyens qu'il sera amené à mettre en œuvre en cas d'alerte ou d'alarme. À titre d'exemple, on peut citer les actions suivantes :

- Fermer un ouvrage (pont, route,...) ;
- Evacuer une zone ;
- Passer à un niveau de protection supplémentaire (mise en place d'un renforcement, d'une protection passive,...) ;

Le recensement des personnes et biens menacés doit s'accompagner de l'évaluation du délai nécessaire pour prendre les mesures de protection envisagées, l'efficacité de telle ou telle mesure étant en général fonction du délai de préavis disponible. Combien de temps faut-il pour évacuer les personnes ou les équipements exposés, pour fermer l'accès à l'ouvrage ? Ce délai doit être comparé au délai estimé à priori par les spécialistes entre pré-alerte (alerte) et déclenchement du phénomène (*DURVILLE J.L. et al. 1994*).

### 4.2.3. Le degré de sécurité recherché

Le degré de sécurité recherché dépend d'un grand nombre de paramètres qui ne relèvent partiellement de la technique et que le maître d'ouvrage devra évaluer. Il est clair qu'une sécurité à 100% ne peut souvent pas être obtenue, même avec la mise en œuvre de très gros moyens, le choix découlera d'un compromis entre technique, coût et sécurité : Il s'agit en fait d'un choix de type politique (*DURVILLE J.L. et al. 1994*).

Pour préciser l'objectif assigné à la surveillance, il convient d'avoir défini précisément le risque dont on veut se prémunir. Le degré de sécurité obtenu par la mise en place d'une surveillance dépend également de la fiabilité du système de surveillance : la redondance est nécessaire si l'on veut améliorer la fiabilité, mais cela coûte cher. Il faut reconnaître que la fiabilité des systèmes de surveillance de versant instables, atteint rarement celle d'installations industrielles, mais le matériel électronique sur le terrain est soumis à de dures contraintes. (*DURVILLE J.L. et al. 1994*).

### 4.3. Les éléments du système de surveillance

Un système de surveillance se décompose en trois familles d'éléments, qui sont organisés et bien choisis afin de répondre aux exigences de la surveillance et de la sécurité.

- **L'entrée du système** : elle est constituée des paramètres d'évolution représentatifs du phénomène. La réussite d'une bonne surveillance est directement liée à l'adéquation de l'implantation de ces capteurs, et à une bonne compréhension du phénomène.
- **Le mode de traitement** : Transforme les données brutes mesurées in situ en grandeur adaptée à l'interprétation, et les met à disposition pour action.
- **L'exploitation** : Elle comporte l'interprétation, en termes de sécurité, et de sorties du système, en vue de définir les alertes et alarmes avec l'aval, les actions à mesurer dans les différents scénarios possibles qui ont été envisagés (*DURVILLE J.L. et al. 1994*).

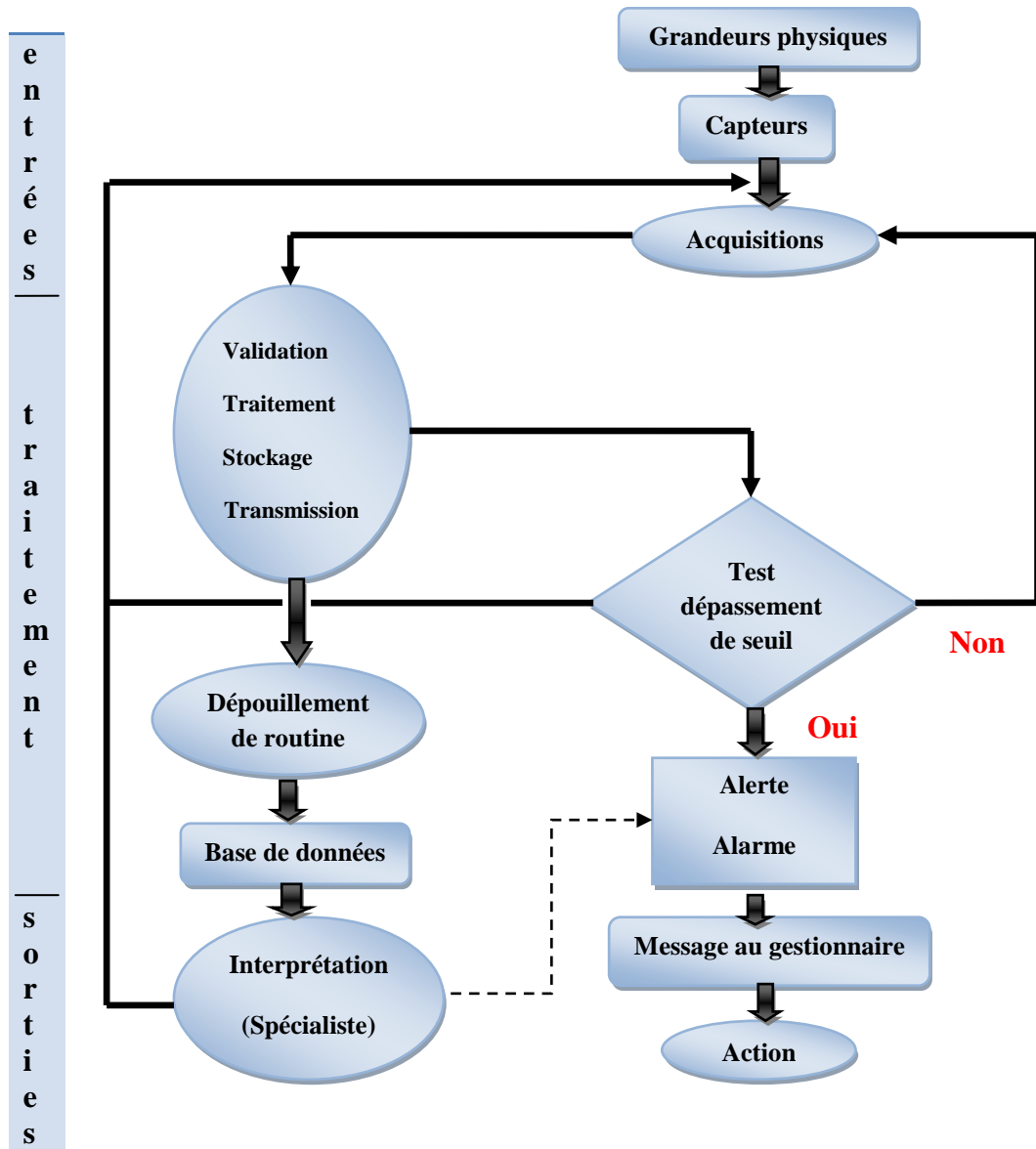


Fig. I. 20 Organigramme d'un système de surveillance (DURVILLE J.L. et al. 1994).

### Conclusion

Ce chapitre à été consacré à une classification des mouvements de terrains, on a ainsi retenu quatre principaux types de mouvements :

- ✓ Les écroulements ;
- ✓ Les glissements ;
- ✓ Le fluage ;
- ✓ Les coulées boueuses.

La surveillance d'un terrain instable nous permet de prévoir l'évolution dans le temps des paramètres du mouvement. Ce chapitre illustre les différentes techniques d'évaluation du potentiel de risque et de surveillance des mouvements de terrains.

### Introduction

Les mouvements de terrain sont des phénomènes naturels de plus en plus réponsus dans le monde, et leurs conséquences ne cessent d'être plus lourdes. Ces phénomènes sont couramment rencontrés en Algérie depuis fort longtemps. La majorité des villes du nord sont concernées par ce risque avec des fréquences variables.

Parmi ces mouvements, on cite les coulées boueuses qui sont l'une des taches majeures de la géotechnique. Pour établir une étude de cet aléa, il est conseillé de bien comprendre son mécanisme, ses causes et les solutions pouvant être requises afin de l'équilibrer.

#### I. Les coulées boueuses

##### 1. Définition

Ce sont des écoulements de matériaux meubles remaniés, à forte teneur en eau et de consistance plus ou moins visqueuse. La mise en mouvement de ces matériaux a pour origine une perte brutale de cohésion. Le mouvement de ces coulées boueuses est souvent très dévastateur, il est le plus rapide et le plus fluide des mouvements de terrain.

Les coulées de boue ont lieu dans des formations argileuses, ou a granulométrie très fine, telles que les colluvions ou les éboulis de pente reposant sur un versant constitué de marnes, d'argiles, de schiste argileux, de flysch argileux ou même de calcaires, etc. fissurées et saturées à plasticité moyenne. Dans leur écoulement, ces coulées boueuses peuvent transporter un débit solide important (rochers, troncs d'arbres, débris de constructions, etc.). Cette charge très importante en matériaux solides (environ 1/4 d'eau et 3/4 de matériaux solides) leur confère une grande capacité érosive et destructive, ce sont de ce fait des phénomènes très érosifs.

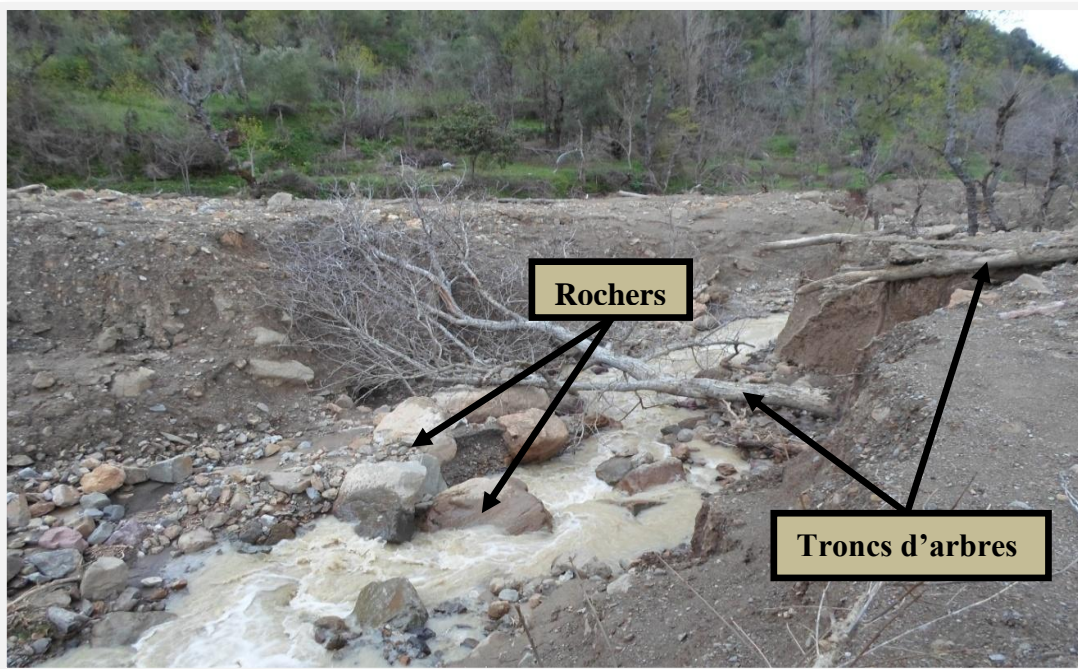


Fig. II.1 Débits solides emportés par une coulée boueuse (le site : Illiltén le 02/04/2013).

## Chapitre II : Généralités et caractéristiques des coulées boueuses

Etant donné le caractère très particulier des formations argileuses (présence d'argiles gonflantes, forte sensibilité des caractéristiques mécaniques aux conditions hydriques, ...), les processus d'altération mécanique et chimique prennent une importance considérable dans les processus de déclenchement des coulées boueuses. Les conditions climatiques, les apports d'eau superficiels et les nappes souterraines jouent un rôle important.

Les volumes déplacés se chiffrent en dizaines, voire en centaines des milliers de mètres cubes. Les vitesses atteintes sont très rapides pendant une durée de quelques heures à quelques jours. Les distances parcourues peuvent atteindre plusieurs kilomètres (LAGHOUAG S.A. et BOUKHARIA, 2008 ; BELAIDI M, 2011).

Les coulées boueuses peuvent menacer les vies et les installations humaines, notamment lorsqu'elles empruntent le lit des torrents et s'arrêtent en masse, laissant des dépôts d'épaisseur importante.

### 2. Formation des coulées boueuses

Les zones de colluvions (éboulis) de glissements actifs ou anciens et de dépôts anthropiques dans un contexte morphologique favorisant d'importantes concentrations d'eau (talwegs, lit de rivière) constituent les sites potentiels d'apparition des coulées de boue. Il est fréquent que les coulées prennent naissance dans la partie aval d'un glissement de terrain ou dans des zones de ravinement intense.

### 3. Les morphologies induites par les coulées de boue

Suite à une coulée de boue, on observe généralement :

- Une zone supérieure élargie (zone de départ de la coulée) ;
- Un chenal d'écoulement beaucoup plus étroit et de longueur extrêmement variable (zone de transfert) ;
- Un lobe terminal (zone d'accumulation) élargi en une sorte de cône de déjection mais de profil convexe.

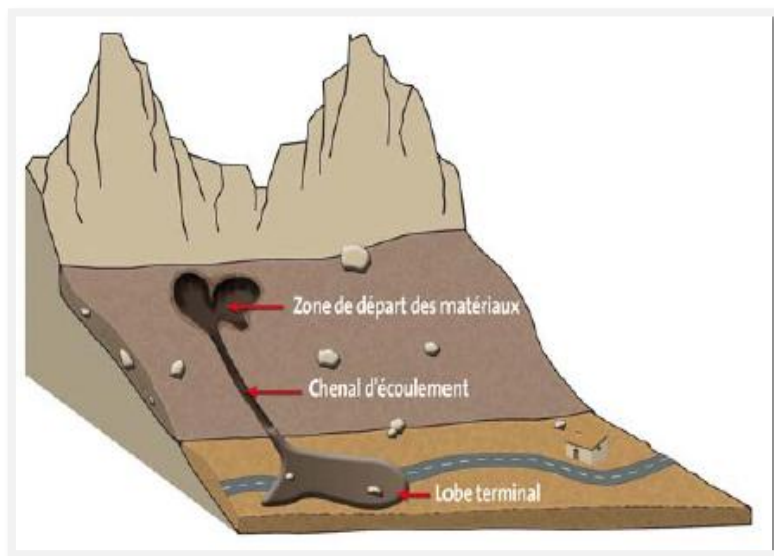


Fig. II. 2 Schéma de formation d'une coulée boueuse.

Les coulées boueuses sont caractérisées par un détachement des sols sur les flancs des bassins versants, transport des matériaux et érosion des sols dans les axes d'écoulement, dépôts en pied de versant.

### 4. Les facteurs d'instabilité

#### a. Les facteurs permanents

- La pesanteur : est le moteur du mouvement ;
- La pente : régit directement l'équilibre des efforts mécaniques ;
- L'eau : met en charge les terrains, diminue leur cohésion, déstructure les formations (érosion), etc. ;
- La nature et les caractéristiques des terrains : conditionnent l'apparition des coulées. Les sols meubles sont particulièrement exposés.

#### b. Les facteurs variables dans le temps (déclenchant, aggravant)

- Les fortes précipitations : sont le principal facteur déclenchant des coulées de boue ;
- La fonte des neiges ;
- Les activités humaines : (fuites d'eau, terrassements).
- La nature du couvert végétal : zones dénudées, incendiées favorisant le ruissellement et l'érosion.

## II. Les techniques de confortement et de protection contre les coulées boueuses

### 1. Choix d'une technique

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

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

La méthode retenue devra être le fruit d'un compromis entre ces trois aspects.

#### 1.1. Méthodologie de choix d'une technique de stabilisation

Le choix d'une méthode de stabilisation d'une coulée boueuse passe par le jugement, l'expérience et l'intuition du géotechnicien. Une démarche méthodologique doit être suivie. Il est nécessaire d'envisager successivement toutes les techniques existantes avant de fixer son choix. Les critères utilisés sont volontairement limités aux plus importants. Lorsque plusieurs types de solutions sont envisageables, il peut être intéressant de les associer.

### 2. Le drainage

L'eau est à l'origine de la majorité des glissements de terrain. Par conséquent, l'abaissement du niveau des eaux souterraines et la réduction de la pression des pores sont des moyens logiques pour améliorer la stabilité.

## Chapitre II : Généralités et caractéristiques des coulées boueuses

---

En outre, l'implantation d'un dispositif de drainage est souvent moins coûteuse que les autres méthodes de stabilisation. Le dispositif de drainage nécessite un entretien régulier qui, s'il n'est pas réalisé, peut conduire à la ruine de l'ouvrage.

Le drainage assure la stabilité des versants pour les raisons suivantes :

- Il réduit les pressions interstitielles dans le sol, ainsi que la contrainte totale et la contrainte de cisaillement;
- Il réduit les forces motrices de la pression de l'eau dans les fissures.



**Fig. II.3 Parades contre les coulées de boue : réseau de captages et de drainages**  
(*CHAHINE M. et RESTITUITO J, 2006*).

Les différents types de drainage sont :

- Les ouvrages de captage, collecte et évacuation des eaux de surface ;
- Les ouvrages de drainage profond ;
- Les ouvrages de drainage souterrain.

Le choix d'une technique de drainage tient compte à l'évidence de la profondeur du mouvement, de la nature et du volume de matériaux mis en jeu, de la connaissance du site (vitesses de glissement, réaction aux épisodes pluvieux) et de ses contraintes d'accès d'emprises, des contraintes économiques d'investissement et d'entretien, des délais de réalisation, et des risques de désordres en phase de travaux.

### **a. Les ouvrages de captage, collecte et évacuation des eaux de surface**

L'objectif est de limiter les infiltrations dans le massif en mouvement. Les eaux peuvent provenir d'une couche superficielle acquière, d'un défaut d'étanchéité sur un réseau ou sur un bassin de stockage à l'amont, ou de l'impluvium et des eaux de ruissèlement. En effet, les eaux de surface ont tendance à s'infiltrer dans les fissures et à stagner dans les zones de faible pente mettant ainsi en pression la surface de rupture (*GUEFFON M, 2005*).

Ces techniques ont pour avantages principaux leur coût modéré, une mise en œuvre simple pouvant être réalisée par des entreprises locales et une bonne adaptation au traitement de zones étendues.

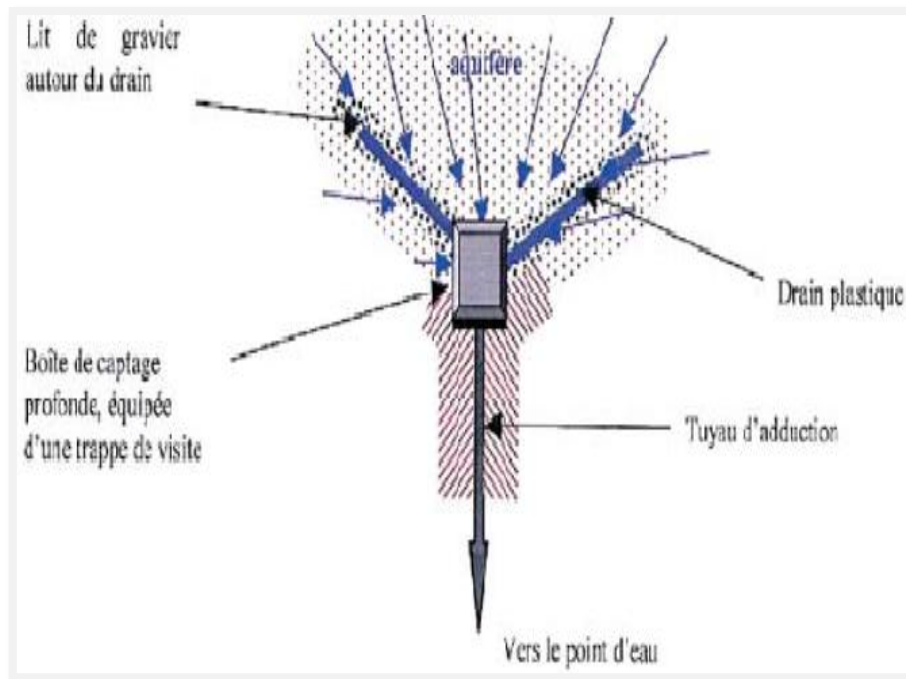


Fig. II.4 Collecte des eaux de surface (GUEFFON M, 2005).

### b. Les ouvrages de drainage profond

Le drainage profond est le remède le plus efficace puisqu'il agit au niveau de la surface de glissement en captant un maximum d'eaux nuisibles. Il concerne toutes les techniques drainantes utilisant des forages, soit les drains subhorizontaux, drains siphons et puits verticaux.

Le coût très élevé et les aléas du drainage profond réservent pratiquement de telles opérations aux problèmes urbains ou à la protection d'intérêts importants et de vies humaines. Ce sont des techniques complexes à concevoir et à mettre en œuvre. Elles nécessitent systématiquement une étude préalable importante et l'intervention d'entreprises spécialisées (GUEFFON M, 2005).

#### 2.1. Les différentes techniques de drainage

##### 2.1.1. Les 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). Leur efficacité est due non seulement au captage et à l'élimination de l'eau mais aussi à la modification des écoulements à l'intérieur de la masse de terre.

## Chapitre II : Généralités et caractéristiques des coulées boueuses

La technique consiste à réaliser de nombreux forages avec une faible pente sur l'horizontale (2° à 5°), et à y placer des tubes crépinés. Ces tubes sont généralement en PVC (PolyVinylChlorure) 50 à 80 mm de diamètre, parfois en acier lorsque de grandes déformations sont susceptibles de se produire. Un dispositif de captage des eaux recueillies dans les drains avec un exutoire adapté qui complète l'ensemble.

Les drains subhorizontaux sont généralement mis en place par nappes, chaque nappe comportant un ou plusieurs faisceaux de drains. Leur efficacité est certaine lorsqu'ils atteignent effectivement la zone drainée.

Les drains subhorizontaux permettent de drainer des versants instables dans les cas suivants:

- Nappe de versant ;
- Couches et poches aquifères, éventuellement en charge ;
- Circulations d'eau localisées (dans des fractures, dans des couches de faible épaisseur).

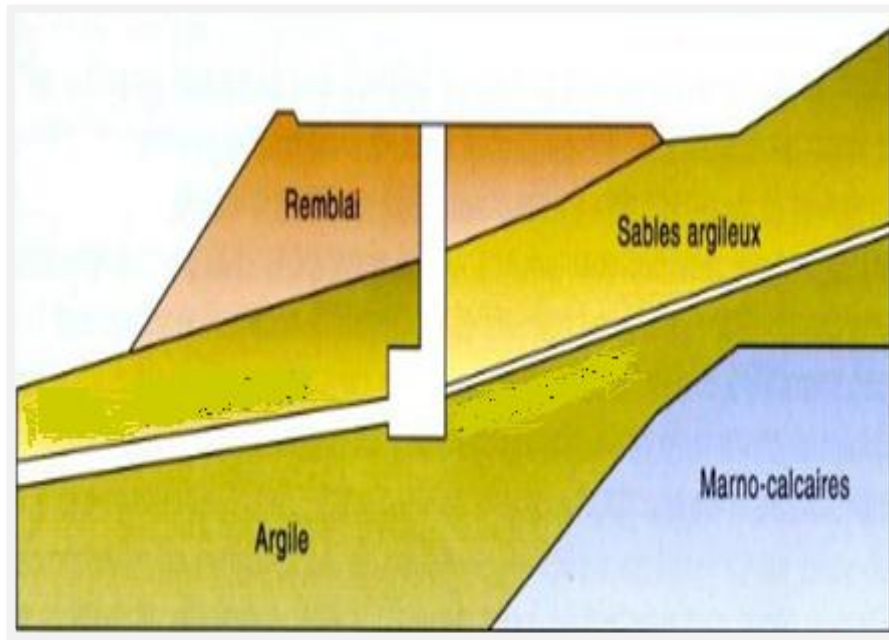


Fig. II.5 drainage subhorizontal.

### 2.1.2. Les galeries drainantes

Les galeries drainantes constituent un type d'ouvrage profond. La base de la galerie est positionnée à une profondeur légèrement inférieure à celle du niveau moyen des eaux souterraines, tandis que son sommet intercepte 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 (GRENOBLOIS P, 2009).

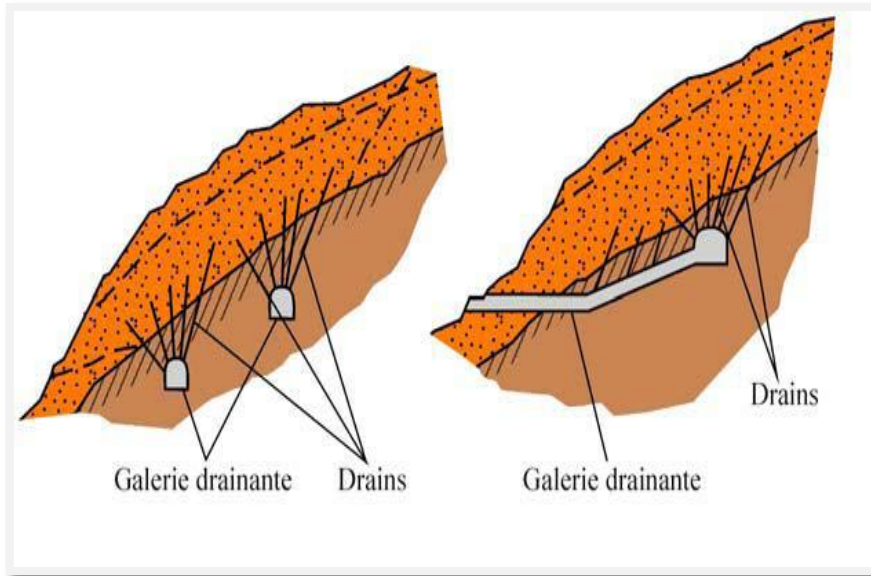


Fig. II.6 Galeries drainantes (GRENOBLOIS P, 2009).

### 2.1.3. Les tranchées drainantes

Les tranchées drainantes sont des excavations remplies de matériaux permettant la collecte des eaux et son évacuation hors de la zone sensible.

En coupe, elles sont constituées de matériau drainant et d'un drain collecteur en PVC. L'adjonction d'un non tissé tapissant les parois, permet d'assurer une non contamination du matériau drainant, donc la pérennité de l'ouvrage. On admet généralement une profondeur maximale de l'ordre de 4 à 5 m (au-delà il faut mettre en place un blindage important) et une largeur de 0,70 à 1 m.

L'objectif est de drainer l'eau de la zone instable en remplaçant une partie du terrain peu perméable par un matériau plus perméable, qui a généralement des caractéristiques mécaniques supérieures.

L'avantage de la tranchée drainante est double :

- Elle est faite à l'avancement des terrassements et permet ainsi d'assainir éventuellement le chantier ;
- Elle convient aux talus de grande hauteur (> 10 m), puisqu'on peut en réaliser un nombre à priori quelconque en parallèle.

Son inconvénient est aussi double :

- Elle est limitée en profondeur par la tenue à court terme des parois (et le blindage coûte cher) ;
- Si le matériau drainant n'est pas d'excellente qualité, elle se colmate et ne remplit plus son rôle. Ceci implique une surveillance et un entretien réguliers.

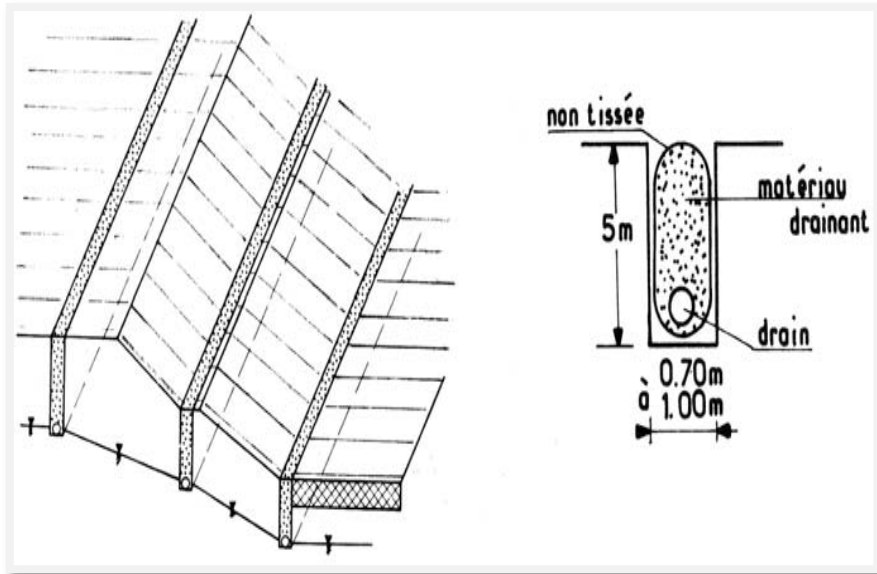


Fig. II.7 Tranchées drainantes.

### 2.1.4. Les drains siphons

Le drain siphon est un tube descendu dans un forage réalisé de manière à recouper les aquifère que l'on désire assainir. Ce tube est composé d'un réservoir à la base, puis une partie crépinée et de nouveau une partie pleine débouchant à la surface. Dans celui-ci, un ou plusieurs tuyaux assurant le siphonnage sont mis en place, démarrant du réservoir remontant jusqu'à la surface, et s'arrêtant dans un regard en aval, dont le niveau topographique est légèrement plus bas que la partie supérieure du réservoir situé à l'amont. À utiliser lorsque l'on veut atteindre des profondeurs de rabattements importantes mais inférieures à 10 mètres (GUEFFON M, 2005).

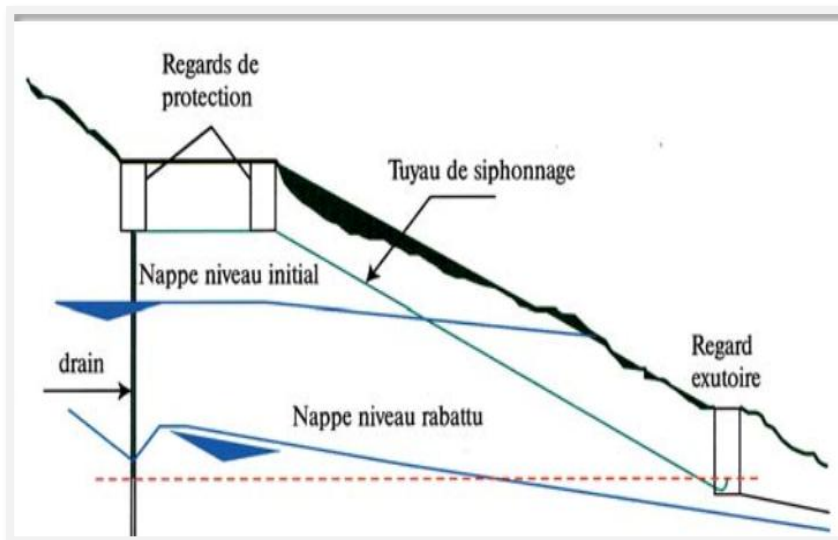


Fig. II.8 Schéma du principe d'un drain siphon (GUEFFON M, 2005).

### 2.1.5. Les éperons drainants

Dans le cas de talus de faible hauteur ( $< 5$  m), lorsque la réalisation de masque drainant ou de tranchée drainante n'est pas possible ou ne s'impose pas, on peut envisager la solution éperons drainants, qui consiste à faire des saignées perpendiculaires au talus et remplies de matériau drainant. Ils permettent notamment le drainage de zones de suintement. Pour être efficaces, ces éperons doivent entamer très profondément le talus (plusieurs mètres) et ne pas être trop espacés.

L'avantage d'un tel système est de pouvoir être réalisé sans mettre en cause la stabilité du talus, et de limiter en extension d'éventuels désordres, en jouant le rôle de pré-découpage latéral.

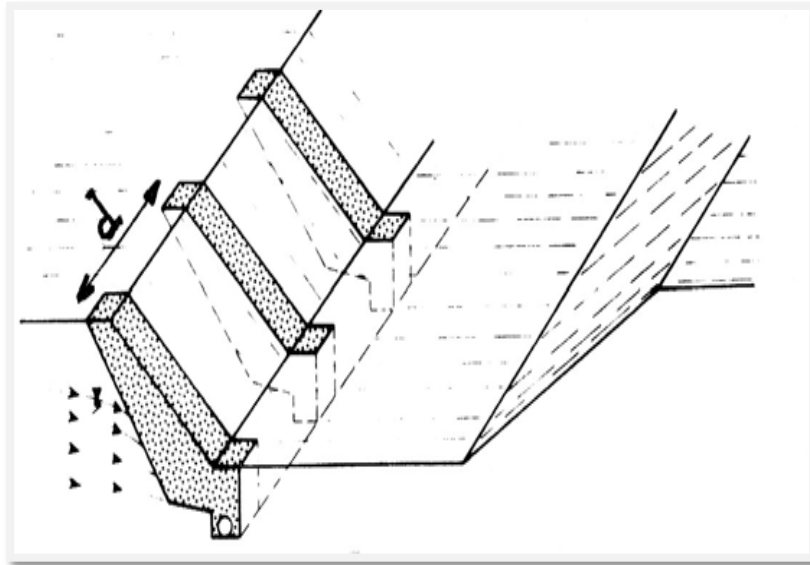
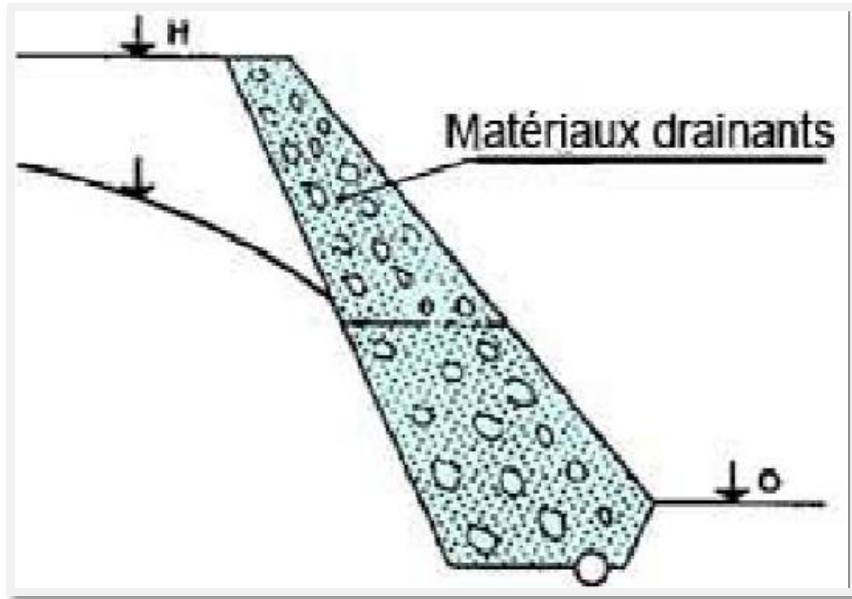


Fig. II.9 Schéma d'éperons drainants.

### 2.1.6. Les masques 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 très flottantes apportent également un gain de stabilité (BOUAZIZ N, 2012).



**Fig. II.10** Masque drainant (BOUAZIZ N, 2012).

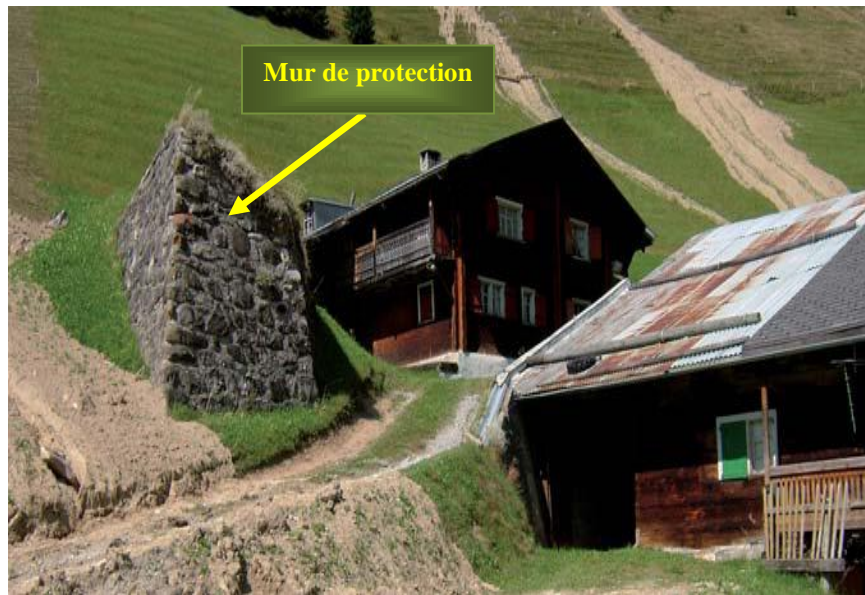
### 2.1.7. Les drains verticaux et les puits drainants

Lorsque la nappe est trop profonde par rapport au terrain naturel, il peut être impératif d'avoir recours à des puits drainants.

Les techniques de drains verticaux et puits drainants sont peu fréquemment utilisées pour la stabilisation des glissements de terrain, sans doute en raison des difficultés d'évacuation des eaux drainées gravitairement en profondeur vers des couches plus perméables ou vers le haut par pompage ou siphonage.

### 3. Autres méthodes :

- Reboisement des zones exposées au ravinement par une ceintures végétales 'arbres' où le choix du type et de position est très important.
- Correction de l'ensemble du chenal.
- La construction d'ouvrages de déviation, tels que les murs de protection.



**Fig. II.11 Mur de protection contre les coulées boueuses.**

- Devant un risque d'arrivée de gros blocs, construction d'un bassin de stockage, ou bien d'un barrage servant de piège à matériaux (digue de retenue de la plage de dépôt).



**Fig. II.12 Digue et déversoir (CHAHINE M. et RESTITUITO J, 2006).**

- La mise en place d'une barrière anti-coulée souple.



**Figures. II.13 Barrière anti-coulée souple.**

Cette barrière est équipée par :

- ➡ Un support



**Fig. II.14 Le support.**

- ➡ Un filet à câble spiral : constitué de câble spiral en fil d'acier à haute résistance. Ses mailles ont une forme de losange. Il possède une résistance à la traction et une capacité portante très élevées en direction longitudinale.



**Fig. II.15 Le filet à câble spiral.**

- Un anneau de freinage : Les câbles porteurs et les câbles de retenue sont équipés d'anneaux de freinage, activés lors d'événements importants. Ils reprennent l'énergie subie par le filet à câble spiral sans que les câbles ne soient endommagés.



**Fig. II.16 L'anneau de freinage.**

### III. Méthodologie de cartographie de l'aléa coulée boueuse

La cartographie constitue un moyen efficace pour l'étude des problèmes de la géotechnique. L'appréciation du comportement et l'analyse de la déformation progressive d'un versant se heurtent à plusieurs difficultés. Il est alors nécessaire de collecter un maximum de données d'information et d'observation sur une zone d'étude, pour mieux connaître les mouvements de terrain et les risques. Ces données permettent l'élaboration de carte d'aléas. Le contact avec le terrain reste indispensable, les SIG jouent le rôle d'aide à la décision et à la représentation graphique (*MARTHY F. et THEVENET G, 2006*). Et pour cela on suit les étapes suivantes :

- Utilisation des données relatives aux événements passés et à leurs effets (rapports, photographie aérienne multi-dates, comptes rendus d'évènements localisés dans les services de l'administration et les bureaux d'études, etc. permettant de situer la zone d'étude dans son contexte historique).
- Analyse, synthèse et exploitation des éléments recueillis.

#### 1. Recueil de données d'entrée (simples) pour la réalisation de carte d'aléa

Les données d'observation simples, rapidement disponibles, facile à collecter et à mettre en œuvre sous forme de cartes préliminaires, sont les données météorologiques, topographiques, géomorphologiques, lithologiques, pédologiques et d'occupation des sols (naturelles et anthropiques). Ces données sont collectées lors de périodes d'observations, de relevés sur le terrain, d'analyse photo-interprétative ou de consultation de documents (rapports ou cartes) (*MARTHY F. et THEVENET G, 2006*).

#### 2. Détermination de l'aléa ruissellement

Pour ce type d'aléa, la détermination de la nature des couches lithologiques et pédologiques n'intervient pas. En effet, il est considéré que lors des pluies exceptionnelles (de forte intensité sur quelques heures à quelques jours), le sol tend très rapidement à ne plus s'infiltrer et à se comporter comme une structure imperméable quelle que soit sa nature (*MARTHY F. et THEVENET G, 2006*). La cartographie provisoire de l'aléa ruissellement est réalisée à partir du croisement des concepts suivants :

- L'estimation des vitesses probables des eaux de ruissellement « V » (en m/s) à la surface des bassins versants par exploitation d'un modèle numérique de terrain.
- L'estimation de la susceptibilité de ralentissement de cette vitesse de l'eau en fonction de la morphologie de surface et de l'occupation des sols des versants (rugosité globale de surface).

### 3. Estimation de la vitesse des écoulements « V » sur les flancs des bassins versants.

Le concept de vitesse d'écoulement de l'eau sur les flancs des bassins versants est très difficile à estimer (Tableau II.1). L'analyse des observations simples de terrain en période pluvieuse et l'étude attentive de la bibliographie concernant cette notion de vitesse de l'eau en fonction de l'inclinaison de la pente permet d'énoncer les faits remarquables suivants :

- La vitesse de ruissellement de l'eau dépend du degré de pente des terrains sur laquelle elle circule, l'augmentation de cette vitesse est corrélée à l'accroissement de la pente ;
- La vitesse peut être ralentie ou accélérée en fonction de l'occupation des sols et de la morphologie de surface des terrains ;
- La vitesse et l'énergie du courant est fonction de la hauteur d'eau et peut être très forte pour de très faibles pentes.

Une grille estimative de vitesses probables des écoulements en fonction de la pente pour des faibles hauteurs d'eau est proposée dans le tableau (II.1) pour les zones cartographiées « rurales » (zones agricoles ou naturelles à habitat dispersé...). Il n'apparaît pas valable d'utiliser le tableau (II.1) en zones urbaines car les vitesses d'écoulement sont généralement fortes sur l'ensemble de ces zones lisses revêtues à parfois très faibles pentes (< 2%). Dans ces zones, la cartographie s'effectue uniquement sur le terrain, par identification des axes d'écoulement connus (rues, fossés...) (MARTHY F. et THEVENET G, 2006).

Classe	Vitesse	Pente	Observations
V1	Faible	0% - 5%	Pouvoir érosif faible, ruissellement diffus avec minces filets d'eau désordonnés.
V2	Moyenne	5% - 10%	Accentuation du pouvoir érosif, ruissellement en rigoles, première phase de concentration de l'eau en rigoles.
V3	Rapide	> 10%	Erosion forte, ruissellement concentré.

**Tableau II.1** Susceptibilité de vitesses de l'eau sur les flancs des bassins versant en fonction de plages de pentes choisies (pour de faibles hauteurs d'eau et en zone rurale) (MARTHY F. et THEVENET G, 2006).

		Ralentissement du ruissellement (RA)		
		RA 1 faible	RA 2 moyen	RA 3 fort
Vitesse du ruissellement (V)	V1 (faible)	Ru 1 Aléa faible	Ru 1 Aléa faible à nul Accumulation	Ru 1 Aléa faible à nul Accumulation
	V2 (moyen)	Ru 2 Aléa moyen	Ru 2 Aléa faible	Ru 2 Aléa faible
	V3 (fort)	Ru 3 Aléa fort	Ru 3 Aléa moyen	Ru 3 Aléa faible

**Tableau II.2 Grille d'évaluation du degré de l'aléa ruissellement (Ru) sur les flancs des bassins versants en zones rurales (pour l'élaboration d'une carte provisoire) (MARTHY F. et THEVENET G, 2006).**

#### 4. Susceptibilité de ralentissement de l'eau

La rugosité de surface tient un rôle important dans l'estimation des vitesses d'écoulement. L'intensité des niveaux de ralentissement résulte du croisement entre la sensibilité au ruissellement en fonction de l'occupation de sols et la morphologie en surface de versant (plane, ondulée, en terrasses...) (MARTHY F. et THEVENET G, 2006).

### **Conclusion**

Une description complète d'un mouvement de terrain se révèle extrêmement utile, car elle permet de mieux apprécier les causes du phénomène. Il était donc indispensable de définir et de préciser les termes descriptifs des coulées boueuses.

Ce chapitre, illustre les différentes techniques de confortement et de protection contre les coulées de boue. Le choix d'une technique passe par une analyse approfondie des paramètres techniques du site, et exige une connaissance et une maîtrise des techniques de stabilité existantes, cela, pour une bonne adaptation de la technique au cas auquel on fait face.

### Introduction

De nombreuses régions de la Kabylie sont caractérisées par des montagnes de pentes raides qui donnent naissance à des phénomènes naturels susceptibles de provoquer des catastrophes.

Les coulées boueuses présentent un danger naturel, et leurs effets engendrent des victimes humaines et des dégâts matériels importants. C'est pourquoi, il est nécessaire d'effectuer des études sérieuses, plus approfondies permettant de mieux analyser ce phénomène et de cerner tous les facteurs influant sur son activité, et bien adopter des solutions à ce problème.

La coulée boueuse d'Illilten est un cas marquant qui a suscité le plus d'attention depuis son apparition, vu l'étendue et l'ampleur très importantes de celle-ci. Ce chapitre sera donc consacré à l'étude de cette coulée de boue. L'objectif est de définir les causes ayant conduit à son déclenchement, et pour cela, on fera une étude des différentes conditions géologiques, hydrographiques et climatiques de la région, pour finir avec une proposition de quelques solutions pouvant arrêter cette coulée.

#### 1. Aperçu historique sur la région d'Illilten

L'étymologie du mot Illilten (Ilyiten) vient de la racine illit / ilyit qui veut dire en langue Amazighe ancien : glissement, éboulement ou affaissement de terrain.

La commune d'Illilten est composée de 11 villages. Il y a de cela plusieurs siècles, ces villages constituaient une unité politique et administrative complète, un corps qui a toujours sa propre autonomie. Il était administré par une assemblée (comité de village) composée de toutes les familles qui vivent dans le même village et assure le respect des règlements en vigueur, abrogeait les anciens et en édictait de nouveaux si le besoin s'en faisait sentir ; elle décidait de l'impôt le tracement des routes, administrait les biens de mainmorte et exerçait sans partager le pouvoir judiciaire.

Azrou n'Thour est un lieu de pèlerinage qui se situe dans la commune d'Illilten. Aujourd'hui transformé en un lieu touristique où chaque année des milliers de personnes viennent contempler ce haut lieu (<http://fr.wikipedia.org>).

#### 2. Situation géographique de la région

La commune d'Illilten est située à 70 km au sud-est de la wilaya de Tizi-Ouzou, à la limite des wilayas de Bouira et de Bejaïa (<http://fr.wikipedia.org>). Le territoire de la commune est délimité :

- Au nord et à l'est, par la commune d'Illoula Oumalou ;
- Au sud, par les wilayas de Bouira et de Bejaïa ;
- À l'ouest et au nord-ouest, par la commune d'Iferhounene.

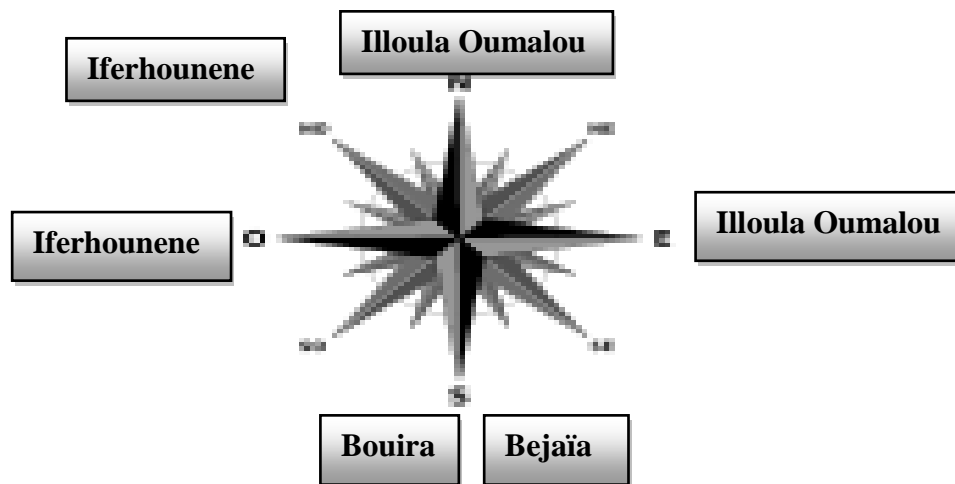


Fig. III.1 Délimitation de la commune d'Illilten (<http://fr.wikipedia.org>).

La commune d'Illilten est composée de 11 villages :

- Aït Adella
- Aït Aissa Ou Yahia
- Aït Sider
- Azrou
- Iguefilen
- Iheddaden
- Taghzout
- Tifilkoult
- Taourirt Amrous
- Tizit
- Zoubga

Position géographique (<http://fr.wikipedia.org>) :

- Les coordonnées sont : **36° 30' 29" Nord, 4° 24' 15" Est** ;
- La superficie totale est de **26,83 km<sup>2</sup>**.

Démographie (*source : Conservation des Forêts de la wilaya de Tizi-Ouzou*) :

- La population **10504 habitants** (estimée en 2006) ;
- La densité **391 hab. /km<sup>2</sup>**.

Surface agricole totale : 2630 Hectares (CFTO).

Surface en parcours : 246 Hectares (CFTO).

Superficie forestière : 1600 Hectares (CFTO).



Fig. III.2 Localisation de la commune d'Illilten dans la wilaya de Tizi-Ouzou (<http://fr.wikipedia.org>).

### 3. La géologie de la région

Le massif de la grande Kabylie est situé dans le domaine interne de la chaîne des Maghrebides. Cette chaîne résulte de la tectonisation d'un domaine paléogéologique constitué par des bordures de plaques Eurasiatiques et africaines et par le domaine intermédiaire dit micros plaques d'Alboran (BOUAZIZ N, 2012).

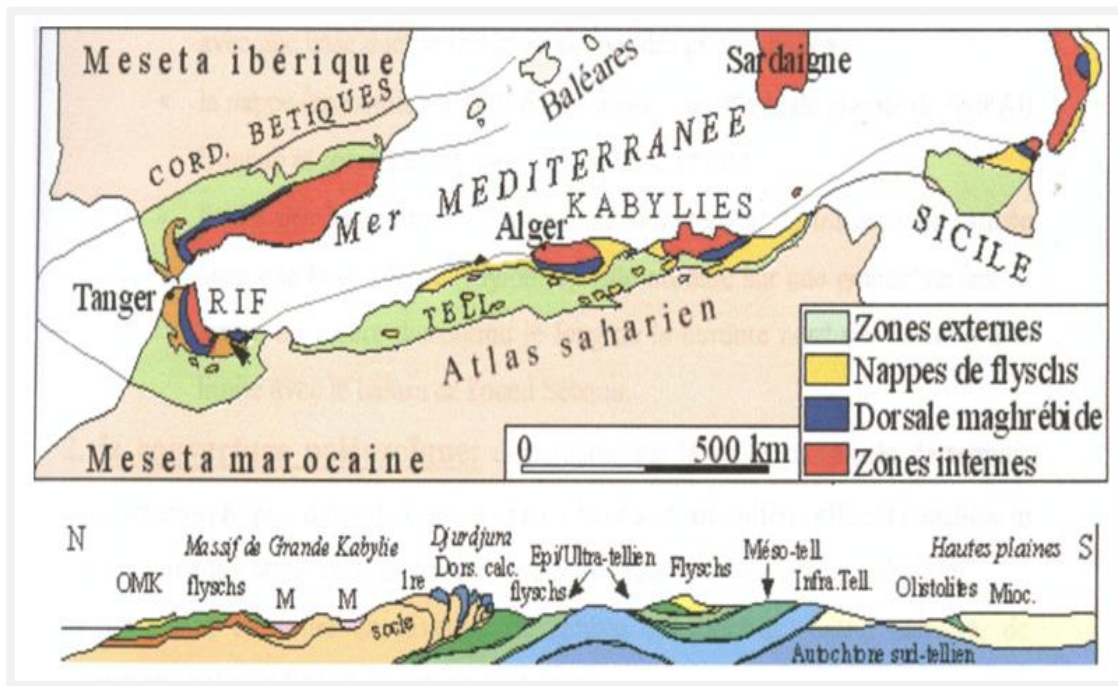


Fig.III.3 Carte structurale schématique de la chaîne maghrébi de montrant la distribution des zones externes et des zones internes de la grande Kabylie (DURAND DELGA M., 1980).

La carte géologique du nord-est de la grande Kabylie (fig. III.4) datée de 1967 à 1975, montre que la région d'Illilten est représentée en majeure partie par des formations appartenant au dorsale Kabyle : unité d'Azrou n'Thour (dorsale externe), au socle Kabyle, Dévonien et carbonifère.

Sur cette carte, on voit qu'il y a présence d'éboulis de pente au pied du mont Azrou n'Thour, ainsi que des alluvions (dépôts laissés par les cours d'eau) tout au long du oued Azrou n'Thour.

- **Dorsale Kabyle (dorsale externe): unité d'Azrou n'Thour**

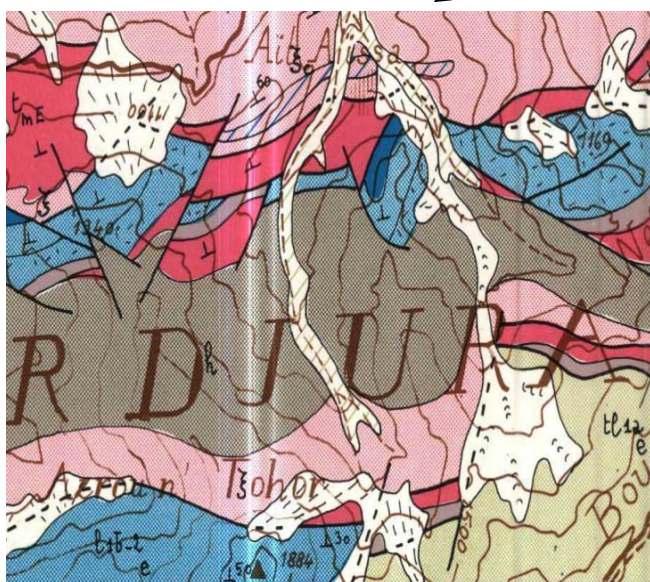
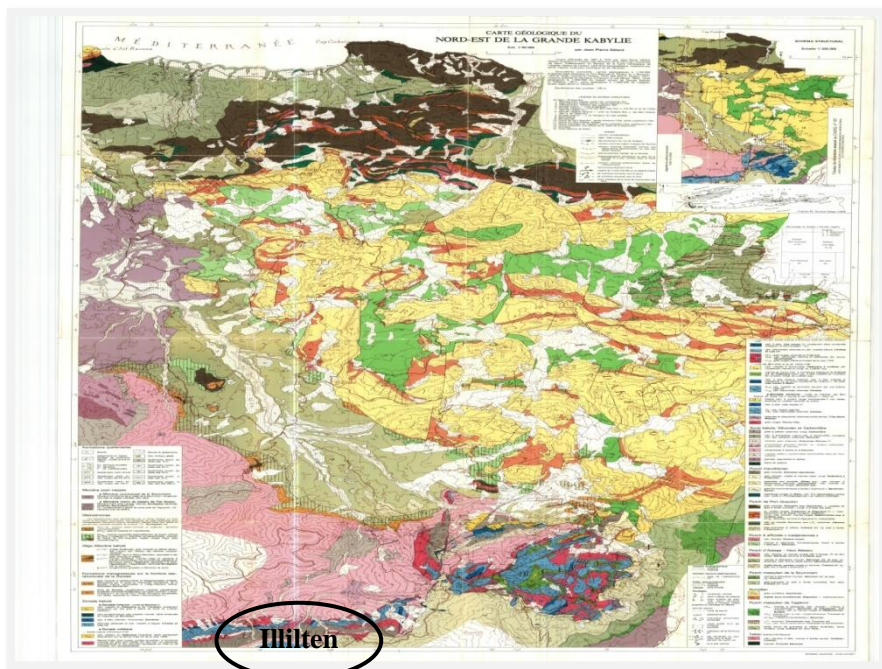
Elle est constituée de:

- Calcaires à silex (Trias moyen) ;
- Calcaire massif (Lias inférieur) ;
- Calcaires dolomitisés, dolomies (Infra-Lias) ;
- Dolomies en plaquettes, dolomies pulvérulentes (Trias élevé, Rhétien) ;
- Grès rouge (Permo Trias).

- **Socle kabyle, Dévonien et carbonifère**

Il est constitué de :

- Grès et pélites, lydiennes et conglomérat (Carbonifère) ;
- Micaschistes sériciteux bleutés, niveaux carbonatés.



**Formations quaternaires**

- éboulis
- glissements en masse  
coulées de solifluxion  
(flèche : coulée active en 1975)
- |                |                |
|----------------|----------------|
| F              | F <sub>3</sub> |
| F <sub>y</sub> | F <sub>y</sub> |

  - F<sub>z</sub> : alluvions actuelles
  - F<sub>y</sub> : alluvions
  - F : all. indifférenciées
- éboulis et glissements

● **Dorsale externe** : unités de Chellata, des Beni Assene, de Tikjda-Tizi n' Kouilal et de l'Azerou n' Tohor (e)

- brèche calc. à ciment rouge (continentale?) non datée, attribuée au Lutétien terminal, au moins.
- calc. à silex. Lias moyen (?).
- |                   |                   |
|-------------------|-------------------|
| l <sub>2e</sub>   | l <sub>2e</sub>   |
| l <sub>1b2e</sub> | l <sub>1b2e</sub> |

  - l<sub>2e</sub> : calc. massif. Lias inf.
  - l<sub>1b2e</sub> : calc. dolomités, dolomies. Infralias.
- dolomies en plaquettes, dolomies pulvérulentes. Trias élevé, Rhétien.
- grès rouges. Permo-trias.

**Socle kabyle, Dévonien et Carbonifère**

- grès et pélites, lydiennes, congl. Carbonifère.
- micaschistes sériciteux bleutés ;  $\xi_c$  : niveaux carbonatés  
 $\xi_q$  quartzites ;  $\beta$  : barytine.

Fig. III.4 Carte géologique du Nord-est de la Grande Kabylie (levés effectués de 1967 à 1975 par Jean-Pierre GELARD, maître assistant à l'université des Sciences de la Terre de Dijon, collaborateur au service de la carte géologique de l'Algérie).



Fig.III.5 Figure montrant le type de sol emporté par la coulée boueuse d'Illilten.

### 4. La sismicité du site

La région d'Illilten est située dans la zone IIa (zone de sismicité moyenne) voire fig. III.6.

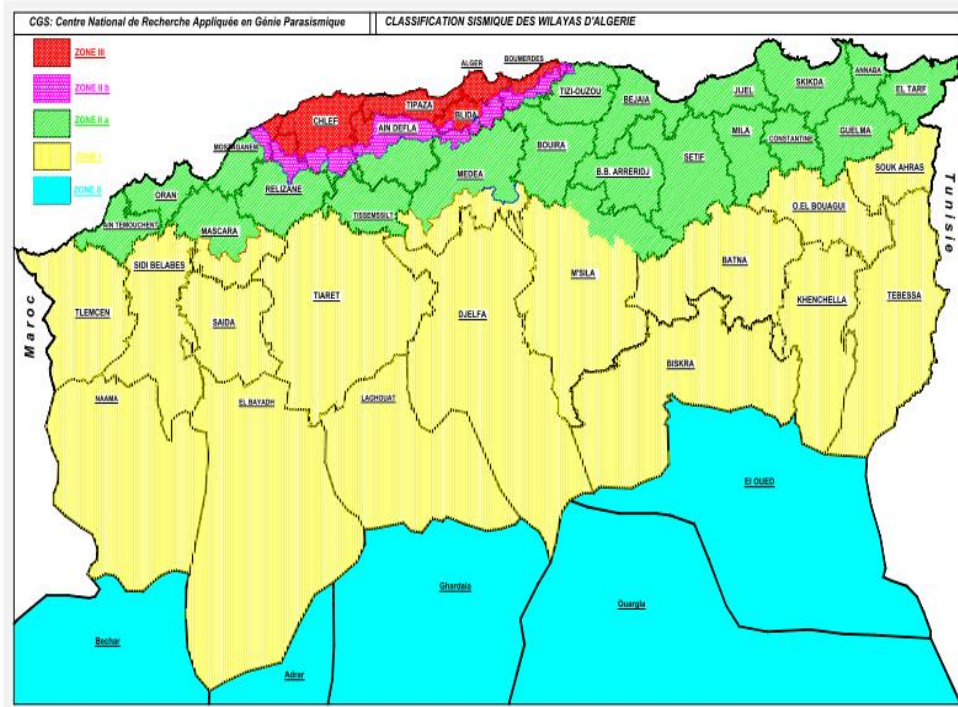
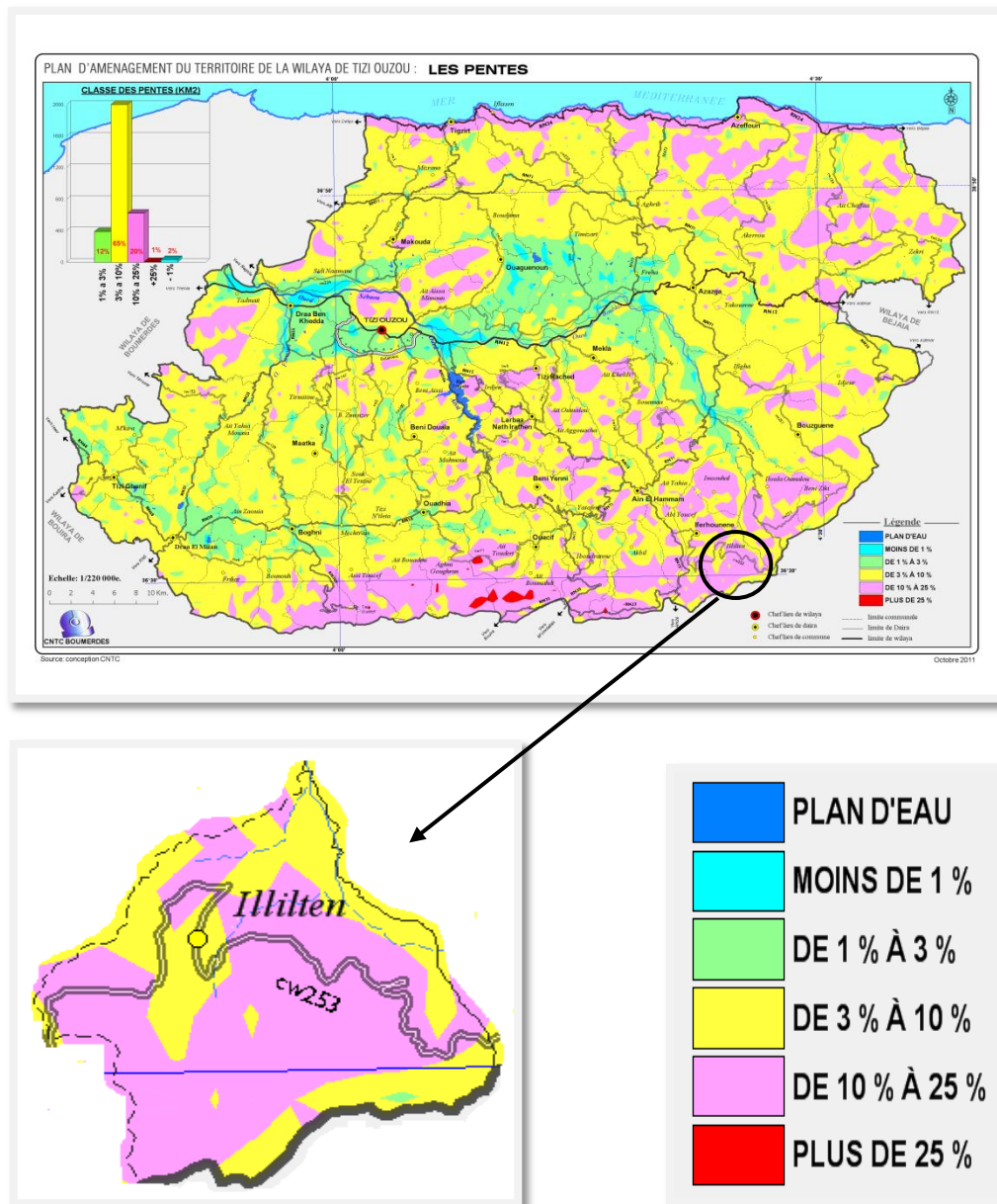


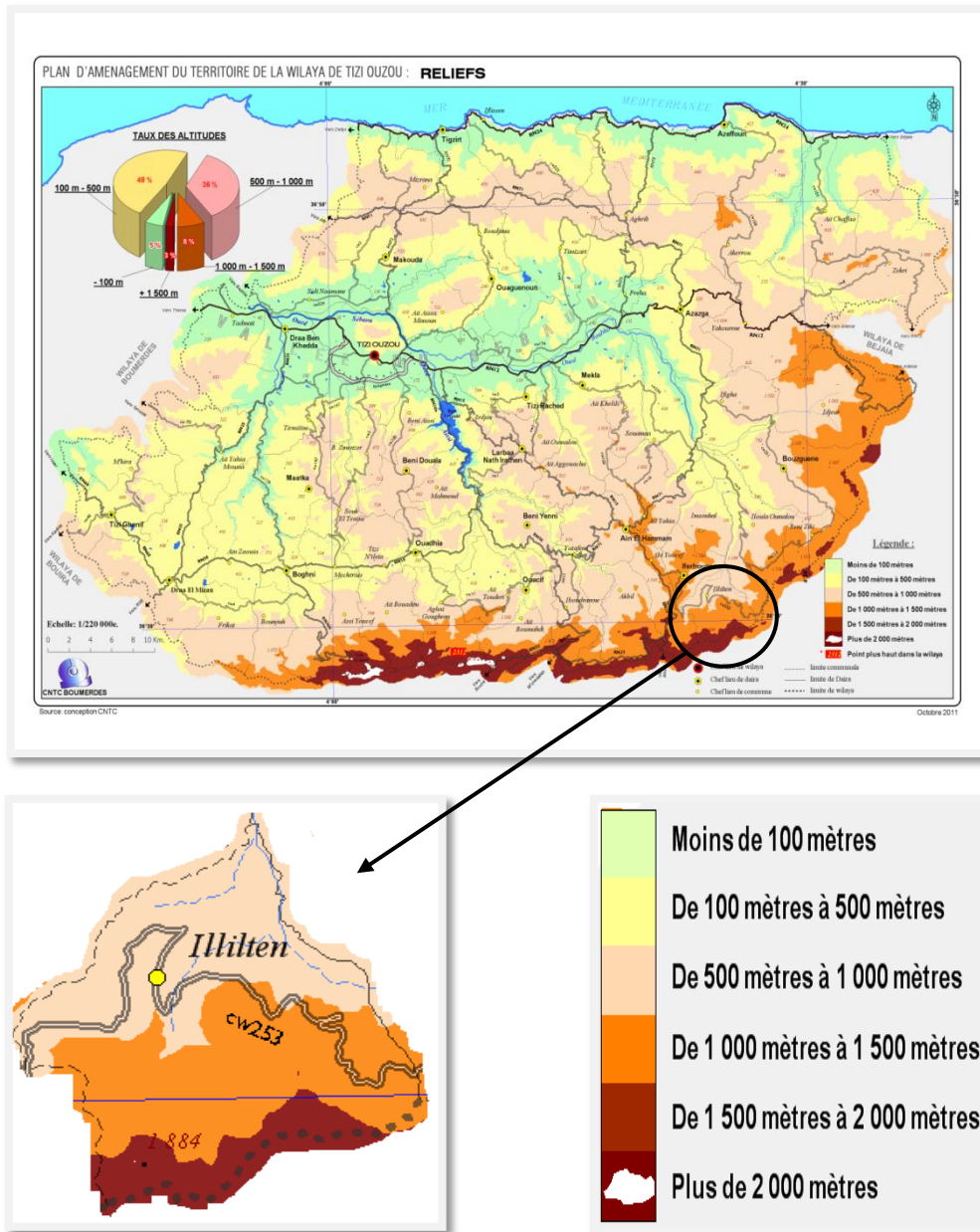
Fig. III.6 Carte du zonage sismique de l'Algérie (DJERBAL L, 2013).

## 5. Les pentes et le relief de la région



**Fig. III. 7** Carte des pentes de la wilaya de Tizi-Ouzou, et de la commune d'Illilten en particulier (*Direction des Programmes et du Suivi Budgétaire de la wilaya de Tizi-Ouzou*).

Notre région d'étude présente des pentes allant de 3% à 10% (peu faibles) et d'autres allant de 10 % à 25 % (fortes) recouvrant la majeure partie d'Illilten (figure III.7). Sachant que la pente est un facteur déclenchant des mouvements de terrain, cette région donc constitue un site potentiel d'apparition des coulées de boue.



**Fig. III. 8** Carte du relief de la wilaya de Tizi-Ouzou, et de la commune d'Illiltén en particulier (*Direction des Programmes et du Suivi Budgétaire de la wilaya de Tizi-Ouzou*).

La commune d'Illiltén est une région montagneuse dont l'altitude varie entre 900 m et 1884 m.

## 6. L'hydrogéologie

Les expériences ont montré que la majorité des risques qui sont liés au phénomène de glissement de terrain ont eu lieu durant les saisons de pluie et/ou, de la fonte des neiges et de glace, par contre, les périodes de sécheresse provoquent la fissuration des sols argileux, ce qui facilite l'infiltration de l'eau dans les fissures lors d'épisodes pluvieux et déstabilisants.

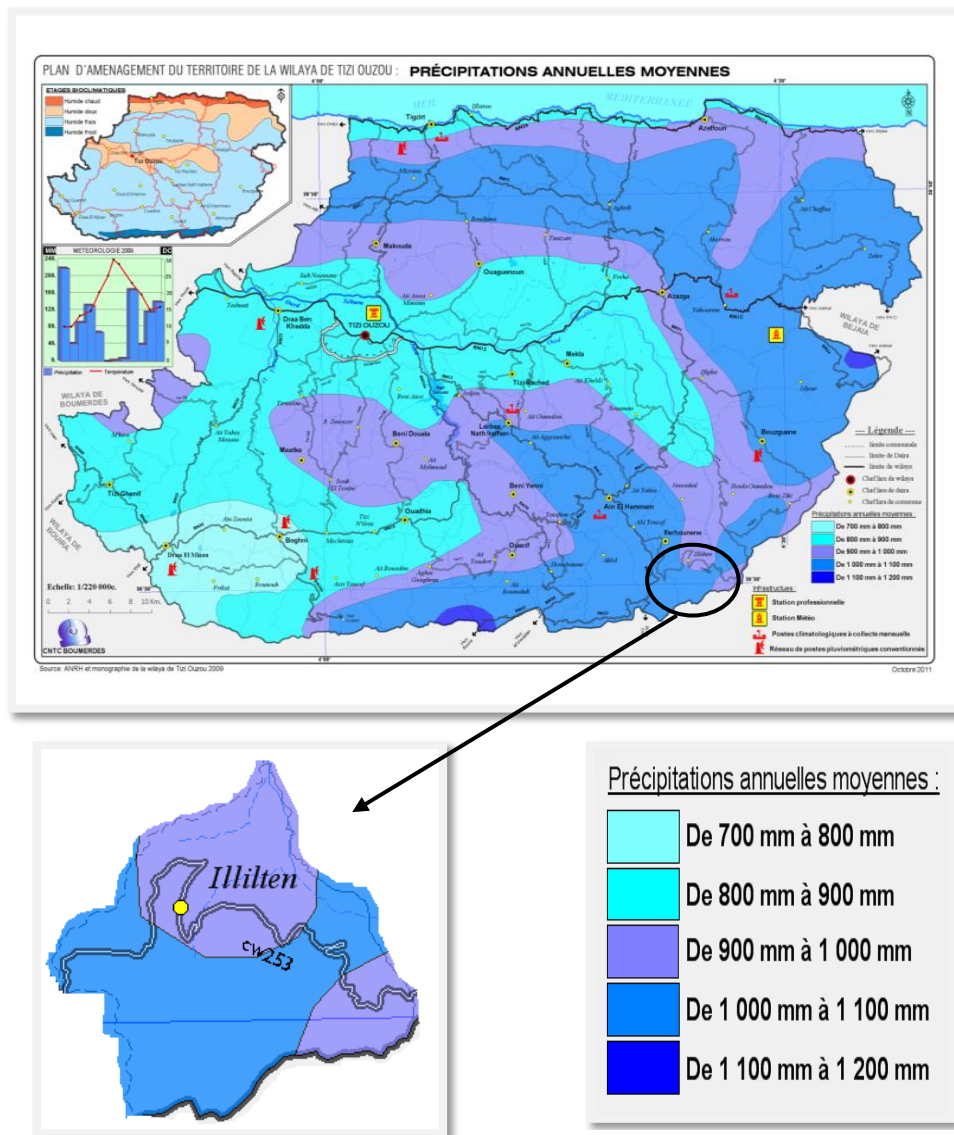
Dans le cas d'une coulée boueuse, le sol passe de l'état solide à l'état fluide visqueux (changement de comportement rhéologique). Donc l'eau constitue un facteur déstabilisant des versants et agit négativement sur les caractéristiques géotechniques du sol. Une étude de ce facteur s'avère donc indispensable dans l'analyse de la stabilité des versants.

### 7. Les précipitations dans la région

Divers facteurs contribuent à déterminer les zones de précipitation, en particulier l'orientation des chaînes de montagnes et la direction des vents dominants porteurs d'humidité.

La pluviométrie varie en Algérie sous l'influence de plusieurs paramètres géographiques tels que : l'altitude, la latitude, la longitude et la distance à la mer.

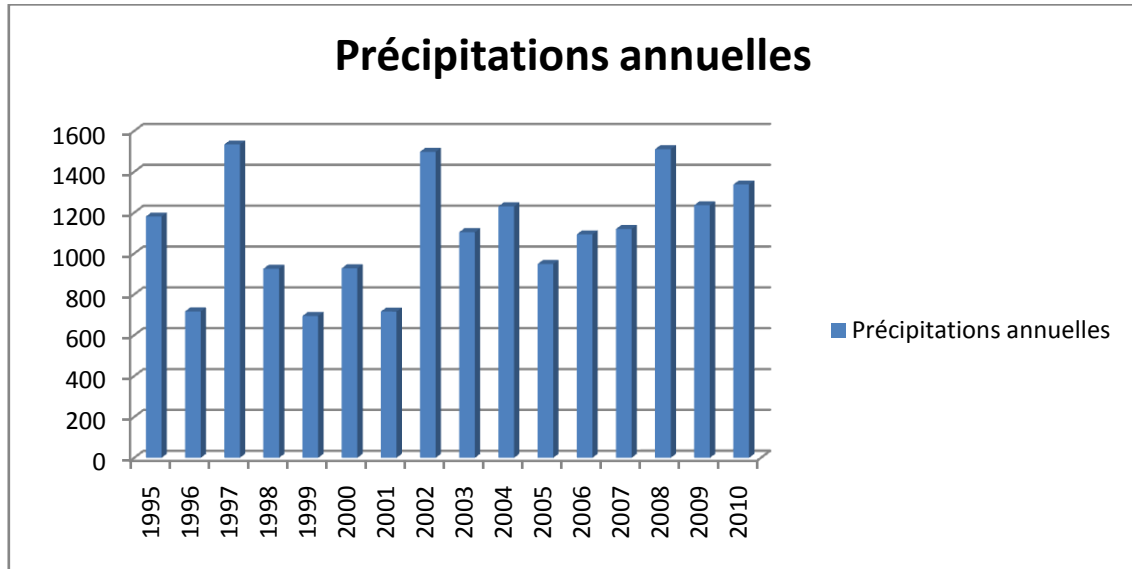
Les données climatiques et en particulier les précipitations, sont nécessaires pour déterminer les quantités des eaux d'infiltration, de ruissellement et d'évaporation.



**Fig.III.9** Les précipitations annuelles moyennes dans la région d'Illiltén  
(Direction des Programmes et du Suivi Budgétaire de la wilaya de Tizi-Ouzou).

Durant les dernières 15 années (de 1995 à 2010), soit une précipitation moyenne annuelle minimale de 694.7 mm (1999), et une moyenne annuelle maximale de 1534 mm enregistré (1997).

On remarque que les précipitations présentent un rythme irrégulier.



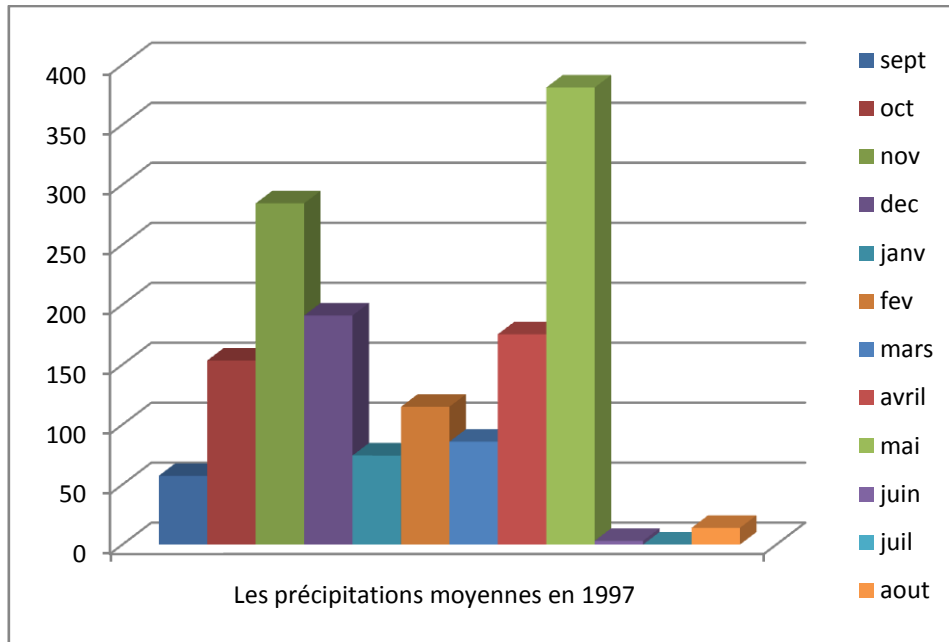
**Fig. III.10** Précipitations annuelles de 1995 à 2010 (*Agence Nationale des Ressources Hydrauliques, station Ait Aicha*).

La période des fortes pluies dans la région d'Illiltén s'étale sur 7 mois (entre le mois de novembre et le mois de mai).

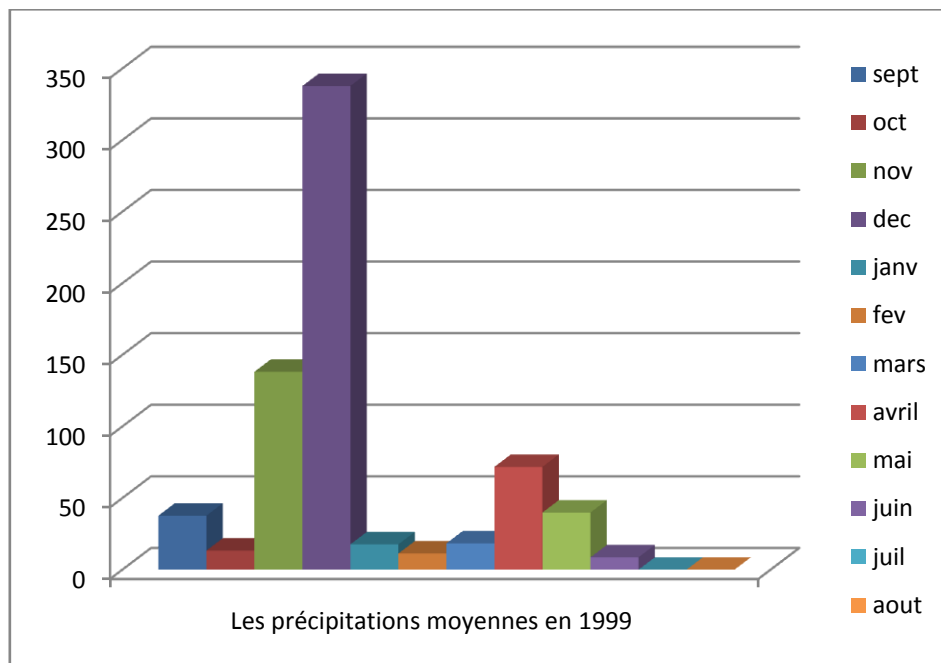
À partir du tableau III.1, pour une période qui s'étale sur 15 années, on constate que le mois le plus pluvieux de l'année est le mois de décembre (une moyenne de 181.49 mm), et le mois le plus sec est le mois de juillet (avec une moyenne de 5.98 mm).

<b>Mois</b>	<b>Sept.</b>	<b>Oct.</b>	<b>Nov.</b>	<b>Déc.</b>	<b>Janvier</b>	<b>Février</b>
<b>Précipitations moyennes mensuelles (mm)</b>	48.51	83.01	156.87	<b>181.49</b>	149.72	120.23
<b>Mois</b>	<b>Mars</b>	<b>Avril</b>	<b>Mai</b>	<b>Juin</b>	<b>Juillet</b>	<b>Aout</b>
<b>Précipitations moyennes mensuelles (mm)</b>	91.03	139.51	106.38	14.73	<b>5.98</b>	15.59
<b>Précipitations annuelles moyennes</b>	<b>1111.11</b>					

**Tableau. III.1** Les précipitations moyennes mensuelles et annuelles de 1995 à 2010 (*ANRH, station Ait Aicha*).



**Fig.III.11 Les précipitations moyennes durant l'année 1997 (Précipitations identifiées comme maximales pendant les 15 années étudiées, ANRH, station Ait Aicha).**



**Fig.III.12 Les précipitations moyennes durant l'année 1999 (Précipitations identifiées comme minimales pendant les 15 années étudiées, ANRH, station Ait Aicha).**

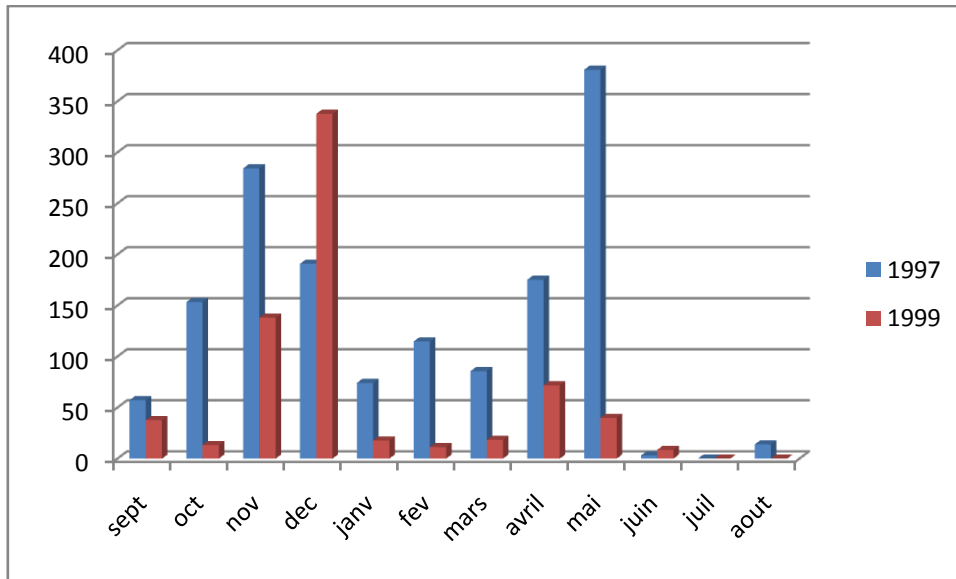


Fig. III.13 Comparaison entre les deux années présentant une précipitation minimale (1999) et maximale (1997).

On constate que la région d'Illilten est caractérisée par de fortes précipitations. Or les études de stabilité des versants ont montré la relation existante entre les précipitations élevées et la réactivation de glissements anciens ou l'amorce de nouvelles instabilités.

### 8. Le climat de la région

Le climat d'Illilten est humide frais dans les altitudes basses, et humide froid dans les hautes altitudes (plus de 1000 mètres) voire la figure (III.14).

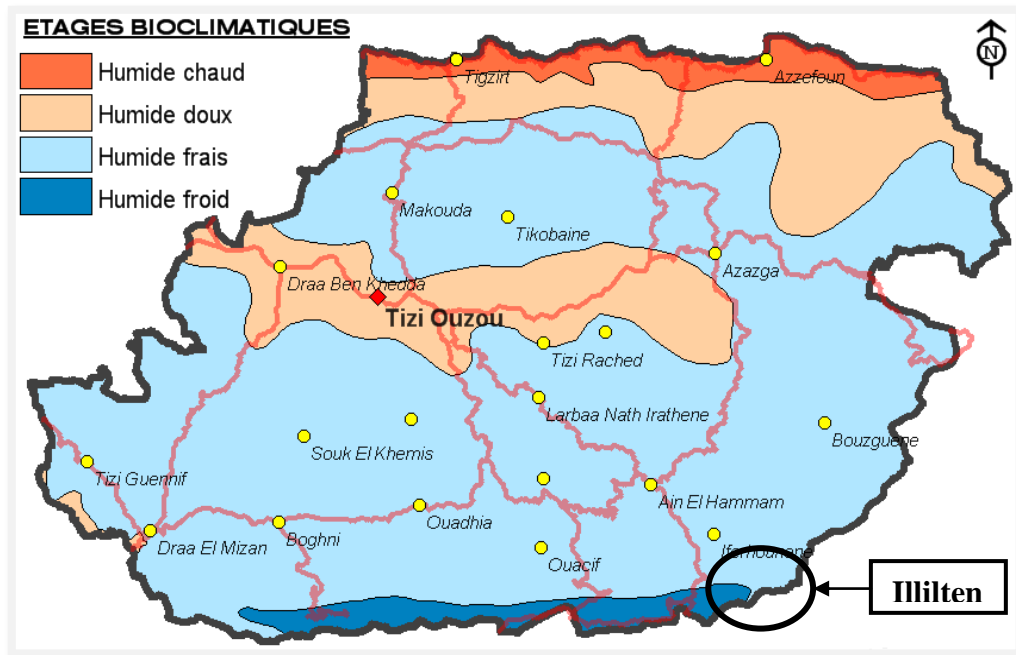


Fig.III.14 Le climat de la commune d'Illilten (DPSB de la wilaya de T-O).

### 9. Le régime hydrographique de la région

Le régime hydrographique de la région d'Illilten est caractérisé par des cours d'eaux d'écoulement torrentiel et de nombreuses sources, ce qui signifie l'existence d'eaux souterraines (nappes phréatiques proches de la surface).



**Fig. III.15** Source d'eau dans la région d'Illilten.

L'eau souterraine est un facteur majeur de déclenchement des mouvements de masse. Cela démontre toute l'importance de l'étude hydrogéologique pour la compréhension de l'évolution des coulées boueuses et la maîtrise du risque qu'elles entraînent

### 10. Description de la coulée boueuse d'Illilten

Au début de la fonte des neiges de mai 2012, après une période très pluvieuse sur un manteau neigeux, le mouvement de terrain a pris naissance dans la partie supérieure du versant de la commune d'Illilten.

La nuit de vendredi à samedi 05 mai 2012, un bruit assourdissant s'est produit et une coulée boueuse de forte intensité et de grande ampleur s'étira de l'altitude 1750 m à l'altitude 900 m environ, sur une surface de 34.64 hectares, son volume a atteint plusieurs centaines de milliers de m<sup>3</sup>. Cette coulée s'est propagée sur près de 5 Km. D'énormes quantités de boue, charriant des roches, des troncs d'arbres et des limons, ont dévalé depuis la montagne emportant tout sur leur passage.



**Fig.III.16 la coulée boueuse d'Illiltén (22 mars 2013).**



**Fig.III.17 Le point de départ de la coulée boueuse d'Illiltén.**

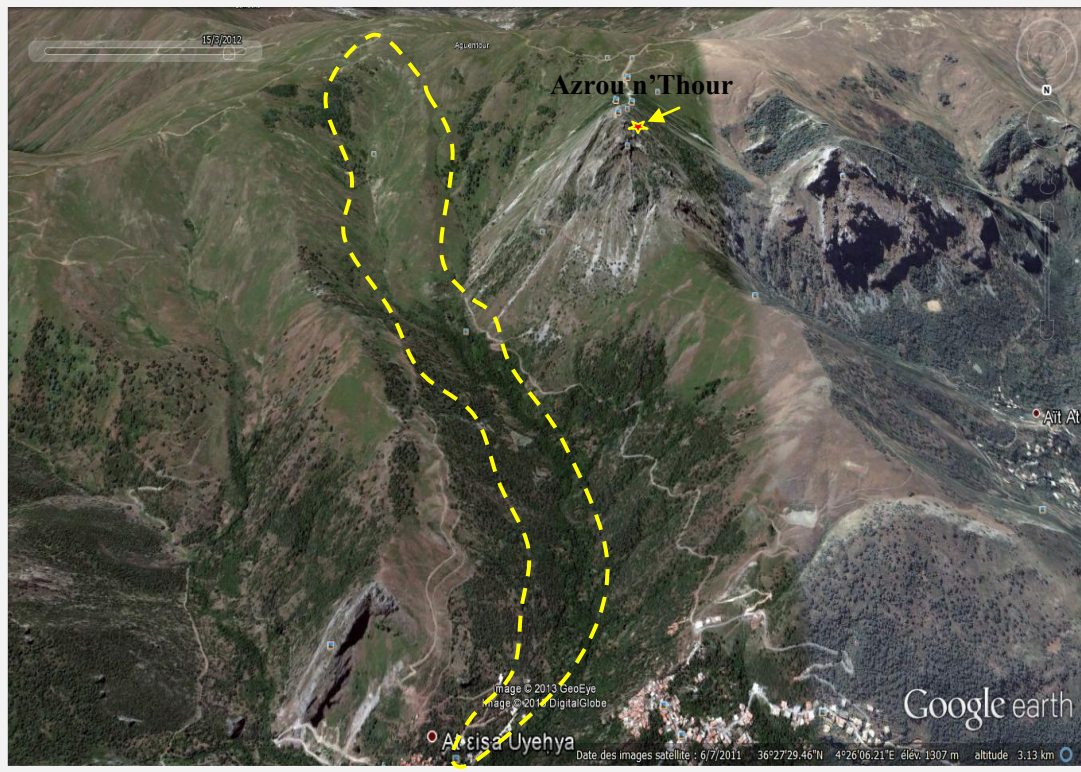


Fig. III.18 La zone d'étude avant la coulée boueuse (*Google Earth*).

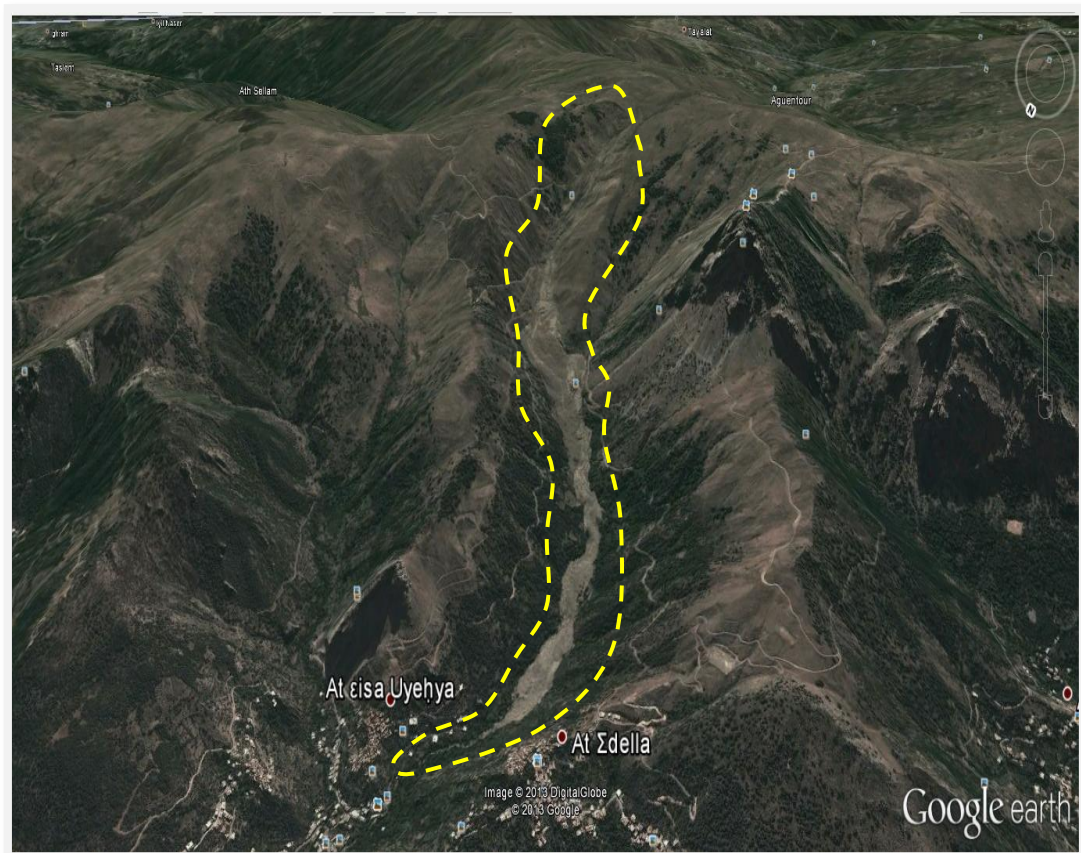


Fig.III.19 La zone d'étude après la coulée boueuse (*Google Earth*).

Cette coulée de boue a totalement désorganisé le terrain situé en dessous en le surchargeant, des centaines de champs sont complètement rayés de la carte depuis l'apparition de ce phénomène.



**Fig. III. 20 Champs envahis par la boue.**

Cet événement a créé une menace pour les habitations situées en contrebas. Un ancien abattoir s'est effondré et emporté par la boue, plusieurs maisons ont été bloquées par des rochers, de la boue et des troncs d'arbres (inondation des caves, rez-de-chaussée des maisons, garages et jardins).



**Fig. III.21 L'entrée d'une maison bloquée par la boue et les troncs d'arbres.**

La boue qui dévalait rapidement de la montagne a emporté sur sa lancée un petit pont situé au village Aït Aïssa, plus exactement au lieu dit Bouchiker, bloquant également le CW253 au niveau d'un second pont aussitôt obstrué, ce qui a isolé plusieurs villages. Les habitants devaient faire un détour d'une quarantaine de kilomètres par le col de Chellata et la commune d'Illoula Oumalou pour ensuite rejoindre le chef lieu communal d'Illilten ou le chef lieu de wilaya.



**Fig.III.22 Le CW253 bloqué par la boue.**

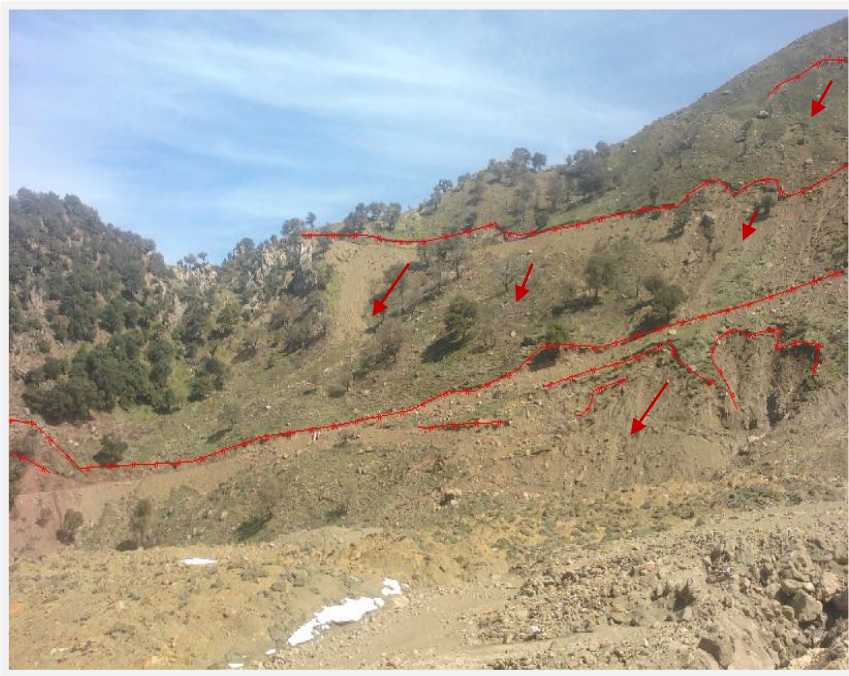


**Fig.III.23 Débordement de la boue au dessus du pont.**



**Fig. III.24 Pont dit Bouchiker emporté par la coulée boueuse.**

Cette coulée de boue a supprimé la butée des versants adjacents, et cela a provoqué des glissements de terrain (fig. III.25 (a) et (b)). Le matériau glissé crée un effet barrage, il empêche donc le passage de l'eau. Ceci va entraîner un risque d'activation d'autres coulées de boue.



**(a)**



(b)

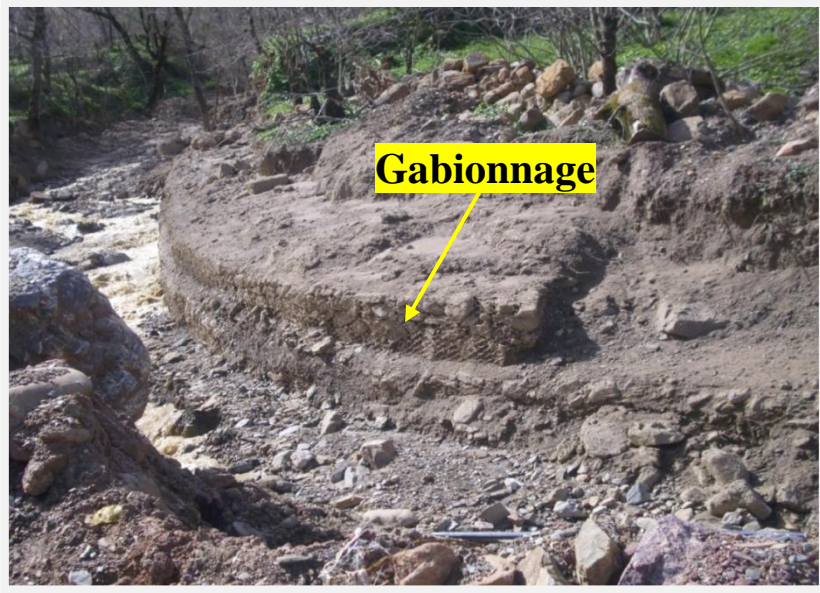
**Fig. III.25 (a) et (b) Glissement des terrains adjacents.**



**Fig. III.26 Route fissurée.**

Les gens de cette région ont témoigné que ce phénomène a débuté le 26 avril 2012, il y avait des coulées quasi quotidiennes mais qui n'étaient pas importantes ; la rivière arrivait à les contenir. Les villageois sont partis pour vérifier les captages d'eau, car cette dernière arrivait à leur village chargée de limons.

Pour se donner le temps de réagir, une correction torrentielle fut réalisée en première phase par la Conservation des Forêts de la wilaya de Tizi-Ouzou, ainsi qu'un volume de 10 000 m<sup>3</sup> de gabions, afin de protéger les habitations qui sont proches des berges, et une ouverture de piste (13 Km de piste), des surfaces de reboisement (70 hectares).



**Fig. III.27 Gabionnage réalisé par la Conservation des Forêts de la wilaya de Tizi-Ouzou durant l'année 2012.**

### **11. Les causes de la coulée boueuse d'Illilten**

Cette instabilité peut provenir de plusieurs origines. À partir de l'étude géologique et hydrologique vues précédemment, et de l'étude des différentes conditions climatiques, on distingue quelques causes pouvant être à l'origine de cette coulée boueuse :

- La topographie et l'effet de la pente ( $> 10\%$ ) : La topographie et les pentes influent sur l'érosion superficielle. Le versant d'Illilten présente des pentes raides, ce qui favorise l'apparition des instabilités.
- D'après le tableau (II.1) du chapitre II, la vitesse du ruissellement est rapide (pente  $> 10\%$ ), donc l'érosion est forte et le ruissellement est accentué, ce qui nous permet de dire que la coulée boueuse d'Illilten est un aléa fort avec un ralentissement du ruissellement faible (voire tableau II.2 du chapitre II).
- La nature des formations géologiques : La crête du versant d'Illilten comporte de grandes quantités de calcaire, une roche qui a la propriété de se dissoudre au contact des circulations d'eaux souterraines existantes. Par conséquent, des cavités se forment (vides karstiques), ce qui fragilise le versant et dégrade la stabilité progressivement.
- Présence d'éboulis au pied du mont Azrou n'Thour, raison pour laquelle l'eau stagne en surface, ce qui favorise l'érosion du sol.
- La nature du sol de la région : les sols limoneux ont des prédispositions à la limitation de l'infiltration de l'eau. Cette dernière stagne en surface.
- La crête du versant est peu couverte par la végétation. Sachant que cette dernière permet de contrer la topographie accentuée et qu'elle intervient dans l'interception d'une partie de la pluviométrie, en absorbant l'eau. Donc la surface du sol est d'autant plus vulnérable qu'elle n'est pas protégée par la végétation.

- L'effet de l'eau :
  - o Les fortes précipitations : L'activation de la coulée de boue d'Illilten a été précédée par des événements climatiques exceptionnels, caractérisés par de fortes précipitations. Ces dernières entraînent une saturation des sols et donc leur imperméabilisation. L'agressivité du climat est alors un facteur explicatif important.
- L'hydrologie du site :
  - o Présence de plusieurs sources dans le versant (existence de nappes phréatiques proches de la surface) ;
  - o Présence de cours d'eau torrentiels.

Ce qui entraîne une diminution des caractéristiques mécaniques du sol (diminution de la résistance au cisaillement).

- La neige : La région d'Illilten est caractérisée par une couverture neigeuse très importante, et exceptionnellement durant l'année 2012, la région a connue une saison hivernale dont l'épaisseur de la neige a atteint plus de 2 mètres. En effet, la fonte progressive des neiges sature le sol et déstabilise le versant. De plus, cette couverture neigeuse constitue une surcharge pour le versant.
- La sismicité : La région d'Illilten est située dans la zone IIa (zone de sismicité moyenne). Le séisme joue un rôle important dans le déclenchement des instabilités, l'effet de celui-ci doit être pris en compte dans l'étude de la coulée boueuse qui affecte cette région, car il contribue à l'accentuation et à l'amorce des instabilités.

### 12. Les solutions possibles pour arrêter la coulée boueuse d'Illilten

Vu l'ampleur de cette coulée boueuse, une seule solution ne peut pas suffire pour l'arrêter. Parmi les solutions qu'on peut préconiser :

- La présence d'une couverture végétale permet de protéger les sols, d'intercepter les gouttes de pluie et de limiter la formation du ruissèlement (érosion) ;
- Pour retenir les eaux de ruissèlement, et dans le but de protéger les zones habitées, implantation de bassins de rétention ou des récupérateurs d'eau de pluie. Ces ouvrages seront dimensionnés de façon à recueillir les eaux de pluie et de ruissèlement provenant de l'amont afin de limiter les dégâts ;
- Envisager des corrections de l'ensemble du chenal ;
- Dévier l'eau en lui trouvant un autre chemin pour ralentir le ruissèlement ;
- Créer des digues de protection ;
- Elaborer un programme de mise en sécurité, et concevoir un programme de surveillance et d'alarme.

En plus de toutes ces solutions, il faudrait faire une étude géotechnique et hydrogéologique approfondies de la région pour mieux cerner ce phénomène et minimiser les dégâts, car le risque de réactivation de cette coulée est toujours présent.

### Conclusion

Après l'étude de la géologie, de l'hydrographie et de la climatologie de la région d'Illilten, on a pu constater les résultats suivants :

- Le régime climatique de la région est caractérisé par de fortes précipitations qui s'étalent sur une période de 6 à 7 mois.
- l'hydrographie de ce site est caractérisée par des cours d'eau torrentiels et l'existence de plusieurs sources.
- la région présente des pentes allant de 3% à 10% (peu raides) et d'autres allant de 10 % à 25 % (raides) recouvrant la majeure partie d'Illilten.
- la commune d'Illilten est une région montagneuse, d'altitudes qui vont de 500 m à 2000 m.

Toutes ces conditions favorisent l'activation et contribuent au déclenchement de la coulée boueuse d'Illilten.

Une surveillance de l'évolution de cette coulée de boue et des paramètres susceptibles de la provoquer est donc indispensable, afin de mieux cerner ce phénomène, de définir ses causes et bien adopter des solutions pour l'arrêter. il est donc nécessaire de faire une étude géotechnique et hydrogéologique approfondie de la région.

### Introduction

La cartographie constitue un moyen efficace pour l'étude des problèmes de la géotechnique. Elle permet le géo-référencement des données spatiales et facilite leur traitement.

Le présent chapitre consiste à réaliser un système d'information géographique (SIG) qui permettra une meilleure gestion de l'instabilité de terrain d'Illilten et facilitera son étude. Ce système une fois conçue, permet la collecte, la gestion, la manipulation, l'analyse, la modélisation et l'affichage de données à références spatiales.

#### 1. Définition d'un système d'information géographique (SIG)

Un système d'information géographique (SIG) est un moyen de gestion de base de données conçu pour manipuler, analyser, combiner, saisir, stocker et afficher des données à référence spatiale, en vue de résoudre des problèmes complexes de gestion et de planification (*HAMMOUM H. et BOUZIDA R, 2010*). Les SIG sont des outils d'aide à la décision. Ils permettent une meilleure gestion des aléas naturels (tels que les mouvements de terrain, les inondations, ...) et des risques technologiques. Ces systèmes utilisent des données spatiales issues de plusieurs moyens d'acquisition (la topométrie, la géodésie, la photogrammétrie, la télédétection,...). Il est actuellement utilisé dans de nombreux domaines tels que la géographie, la géologie, le génie civil, etc. (*DJERBAL L, 2013*). Ces systèmes possèdent plusieurs intérêts :

- Le stockage sous forme numérique de gros volumes de données géographiques de manière centralisée et durable (*DJERBAL L, 2013*) ;
- La gestion des données à référence spatiale, qui sont associées à des objets ou à des phénomènes qui se caractérisent par une position (à titre d'exemple : les coordonnées géographiques) et très souvent par une forme géométrique (polygones, polyligne, ligne, point) (*HAMMOUM H. et BOUZIDA R, 2010*) ;
- Ils ont la capacité d'accepter et de convertir des données sous des formes géométriques (*DJERBAL L, 2013*) ;
- Ils permettent d'actualiser ou de modifier les données sans avoir à créer un nouveau système d'information géographique (*DJERBAL L, 2013*) ;
- Ils permettent la gestion des formes géométriques entre elles selon leur aspect géométrique grâce à des fonctions topologiques (la topologie est un sous-ensemble de la géométrie qui se réfère aux relations spatiales existant entre les entités géographiques) (*DJERBAL L, 2013*).

### 2. Choix du logiciel à utiliser pour la réalisation du SIG

Pour la réalisation d'une cartographie et d'un système d'information géographique (SIG) de la zone instable d'Illiltén, le choix s'est porté sur le logiciel MapInfo version 6.5. Il s'agit d'un logiciel convivial doté d'une interface conviviale de type « pointer-cliquer ». MapInfo fournit un ensemble d'outils permettant de visualiser, d'explorer, d'interroger, de modifier et d'analyser des informations géographiques ainsi que la construction de documents cartographiques de qualité (HAMMOUM H. et BOUZIDA R, 2010). Il est bien plus qu'un logiciel de cartographie ; il offre des outils performants :

- ✓ D'analyse spatiale ;
- ✓ De géocodage par adresse ;
- ✓ De visualisation des résultats ;
- ✓ De création et d'édition de données géographiques et tabulaires ;
- ✓ D'accès aux bases de données externes (de type Excel) pour extraire des enregistrements de données ;
- ✓ De réalisation des études thématiques et des mises en page.

### 3. Le Système d'Information Géographique réalisé sous MapInfo

#### 3.1. Calage des cartes

Les photographies aériennes et les cartes d'état major de la zone instable d'Illiltén ont été enregistrées sous des fichiers supportés par le logiciel MapInfo (sous un format JPEG). Ces images « Raster » vont servir de fonds pour la cartographie envisagée. Afin de pouvoir utiliser ces images dans la cartographie, elles doivent être calées ; leurs coordonnées géographiques seront alors indiquées selon un système de projection bien défini. Cette opération permet alors d'effectuer des calculs géographiques sur ces images (DJERBAL L, 2013).

##### 3.1.1. Les commandes nécessaires pour le calage des cartes

Pour caler une carte on suit les étapes ci-dessous :

##### a. Ouvrir une image Raster sous le logiciel MapInfo

Pour ouvrir un fichier de type Image Raster sous le logiciel MapInfo, il faut exécuter les commandes suivantes : *Fichier > Ouvrir Table*. Une boîte de dialogue s'affiche sur l'écran (Fig. IV.1), on choisit le type de fichier dans le menu déroulant (*Fichier de Type > Raster Image : \*.bil ; \*.tif ; \*.grc ; \*.bmp ; \*.gif ; \*.tga ; \*.jpg ; \*.pcx ;*) et on ouvre la table.



Fig. IV.1 Ouverture d'une image Raster sous MapInfo.

### b. Définition du type de projection

Le choix du type de projection est très important pour assurer un bon calage des cartes. Le système de projection Universal Transverse Mercator (UTM), créé pour éviter les problèmes de convergence entre les degrés et le mètre, est utilisé dans ce système d'information géographique (les cartes et les levés topographiques sont établis en UTM). Ce système se base sur une décomposition du globe terrestre en soixante (60) fuseaux de 6° chacun (numérotés de 01 à 60) et vingt (20) bandes de 8° chacune. L'Algérie est localisée entre les fuseaux 29 et 32 et dans les bandes Q, R, S. la commune d'Illiltén se trouve dans le fuseau 31 et la bande S.

Le type de projection est défini sous le logiciel MapInfo en suivant les commandes suivantes :

*Table > Image Raster > Modifier Calage.* Une fenêtre s'affiche sur l'écran (Fig.IV.2). Il faut alors cliquer sur le bouton *Unité* et choisir l'unité adéquate (le mètre). Une fois les unités définies, il faut cliquer sur le bouton *Projection*. Une boîte de dialogue s'affiche sur l'écran (Fig. IV.3) ; on choisit :

- La catégorie de la projection : Universal Transverse Mercator (WGS84).
- La projection: UTM Zone 31, Northern Hemisphere (WGS84).

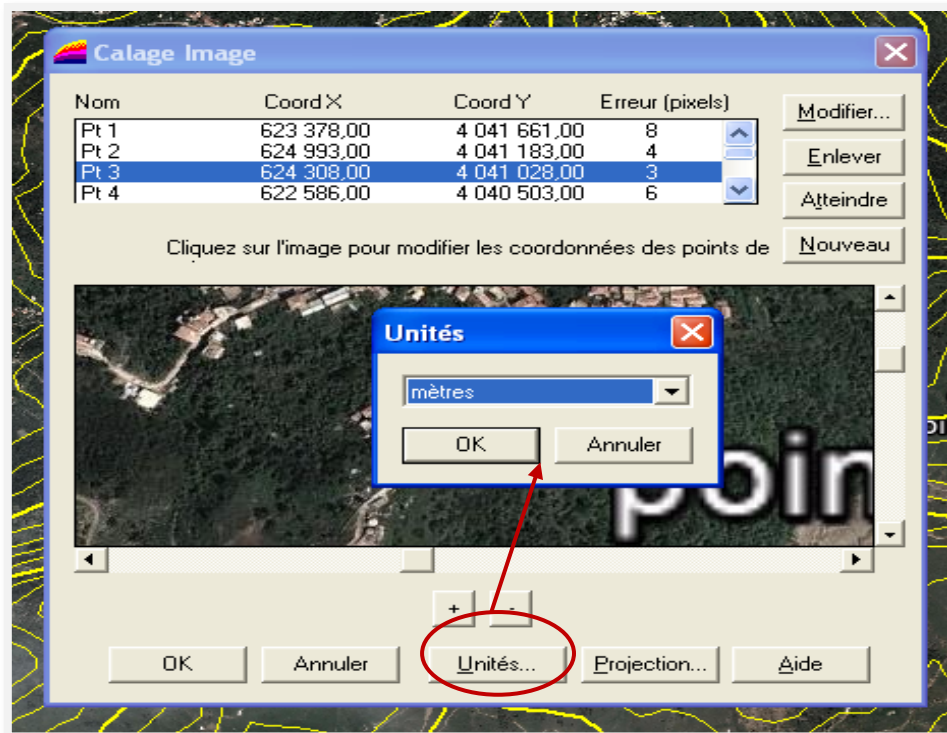


Fig. IV.2 Désignation des unités sous MapInfo.

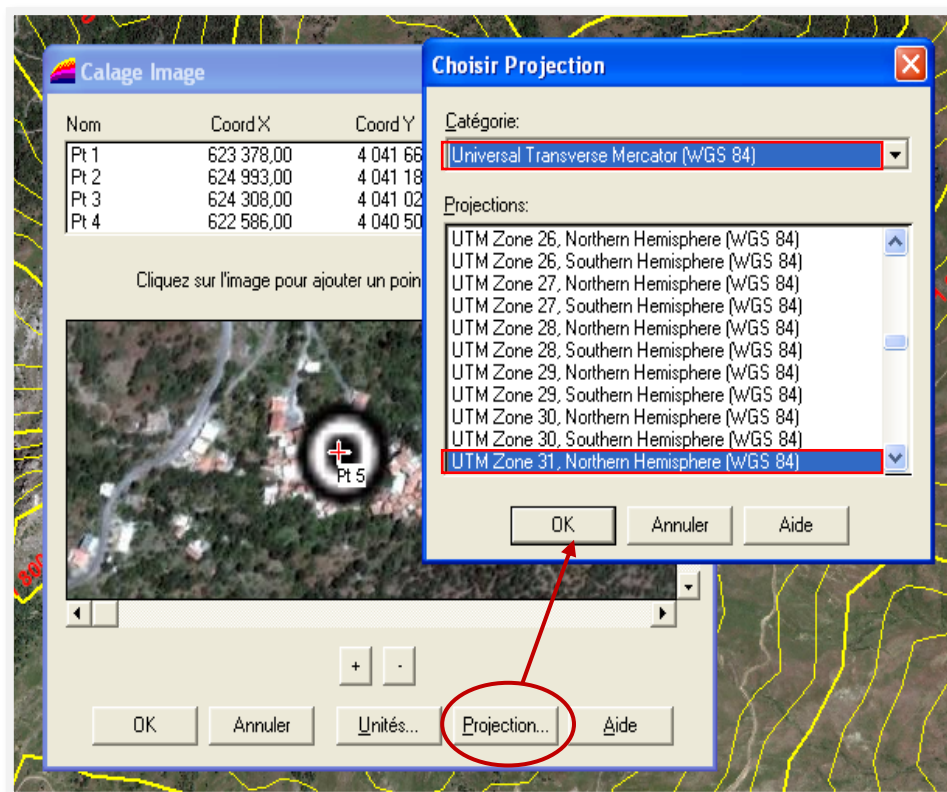


Fig. IV.3 Désignation du système de projection.

### c. Indication des coordonnées des points de calage.

Après la définition des unités et du système de projection, il faut introduire les coordonnées des points de calage. Pour ce faire, il faut suivre les étapes suivantes :

- Supprimer les points de calage donnés par défaut ;
- Cliquer au niveau du point de calage sur la carte en utilisant le curseur ;
- Entrer les coordonnées X et Y du point dans la fenêtre calage (Fig. IV.4) ;

Il faut refaire la même procédure jusqu'à la désignation de tous les points de calage. Une fois tous ces points indiqués, on clique sur le bouton *OK* et on enregistre la table.

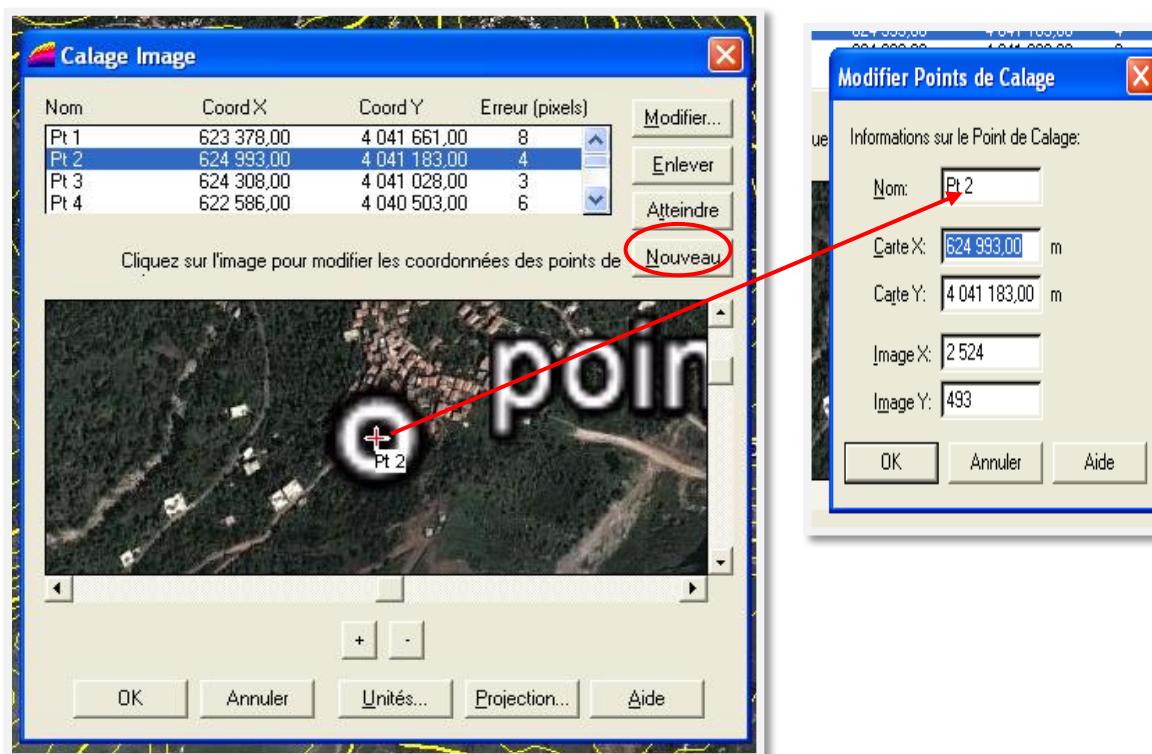


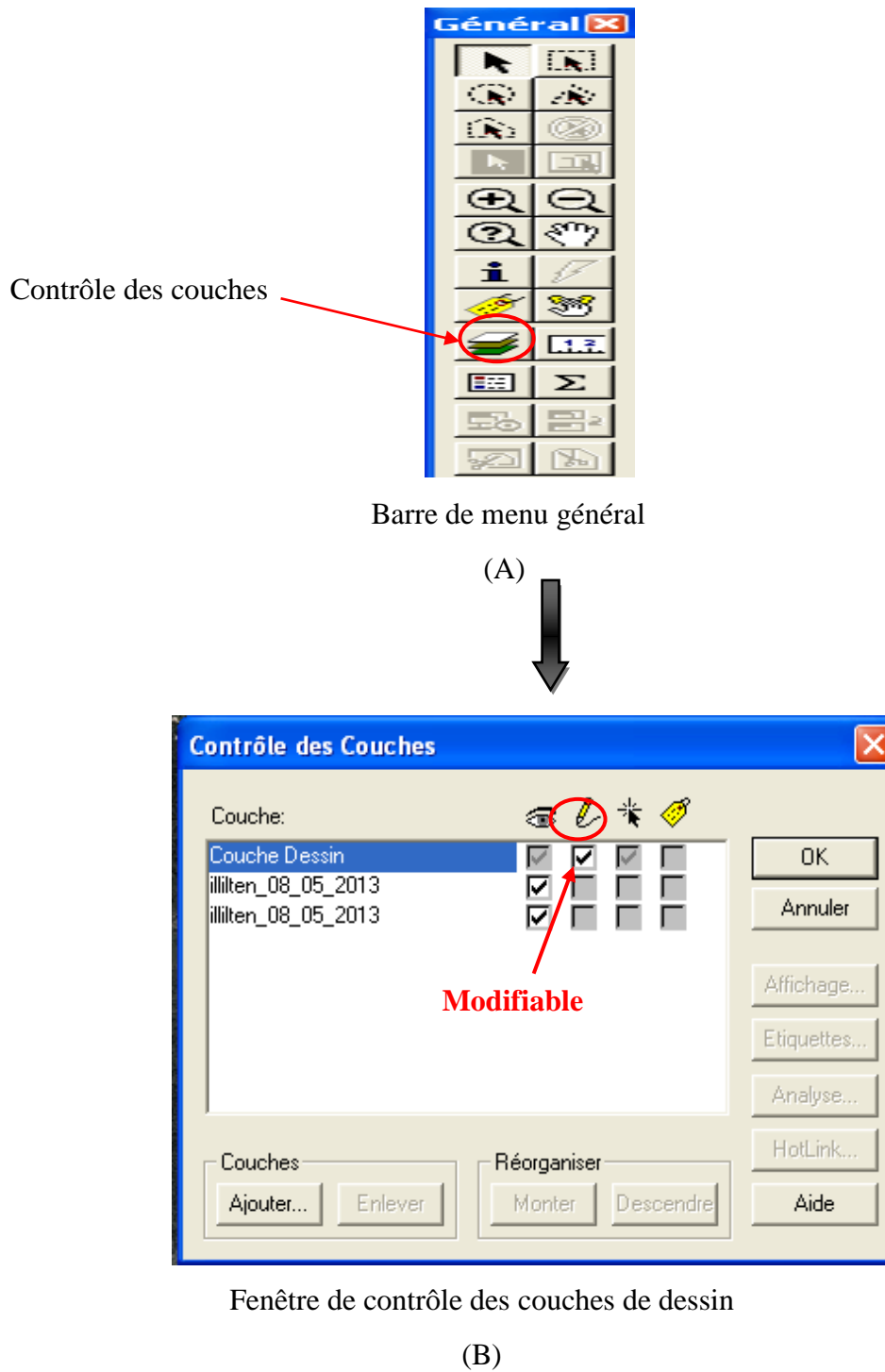
Fig. IV.4 Procédure d'indication des points de calage.

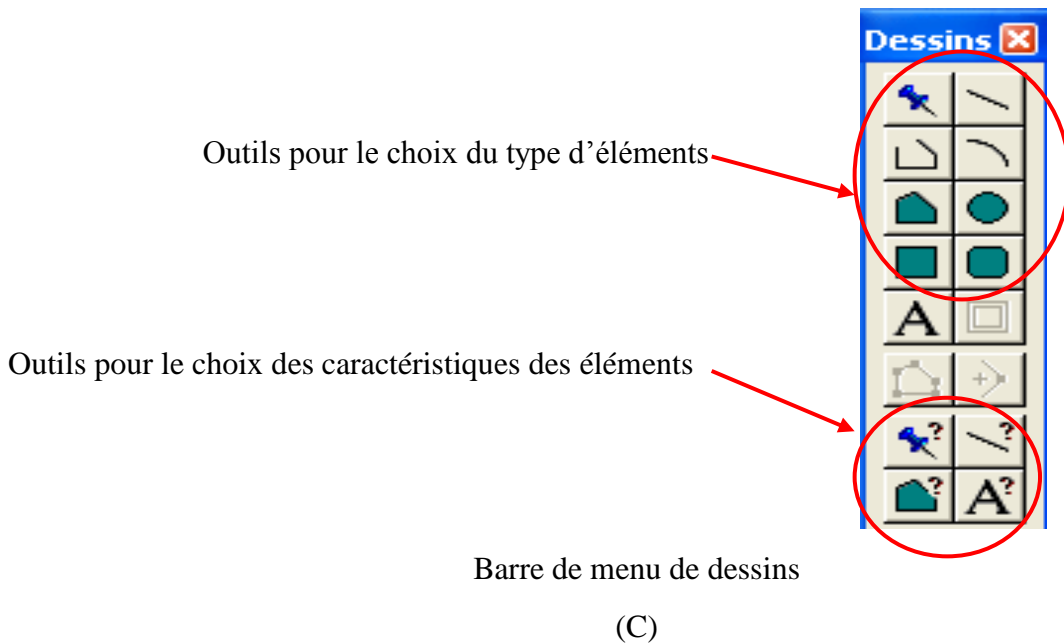
### 3.1.2. Construction des couches vectorielles

Les images et les cartes calées ont servi de fonds pour la réalisation de plusieurs couches vectorielles.

La réalisation d'une couche vectorielle sous le logiciel MapInfo nécessite l'exécution des commandes suivantes :

- ✓ La commande *contrôle des couches* du menu général (voire la fig. IV.5.A) ;
- ✓ Rendre la couche de dessin modifiable (cocher sur la case *modifiable*) voire la figure (IV.5.B) ;
- ✓ Choisir le type et les caractéristiques des éléments à utiliser dans le menu de dessins (voire la fig. IV.5.C) ;
- ✓ Dessiner les éléments de la couche sur le fond cartographique.

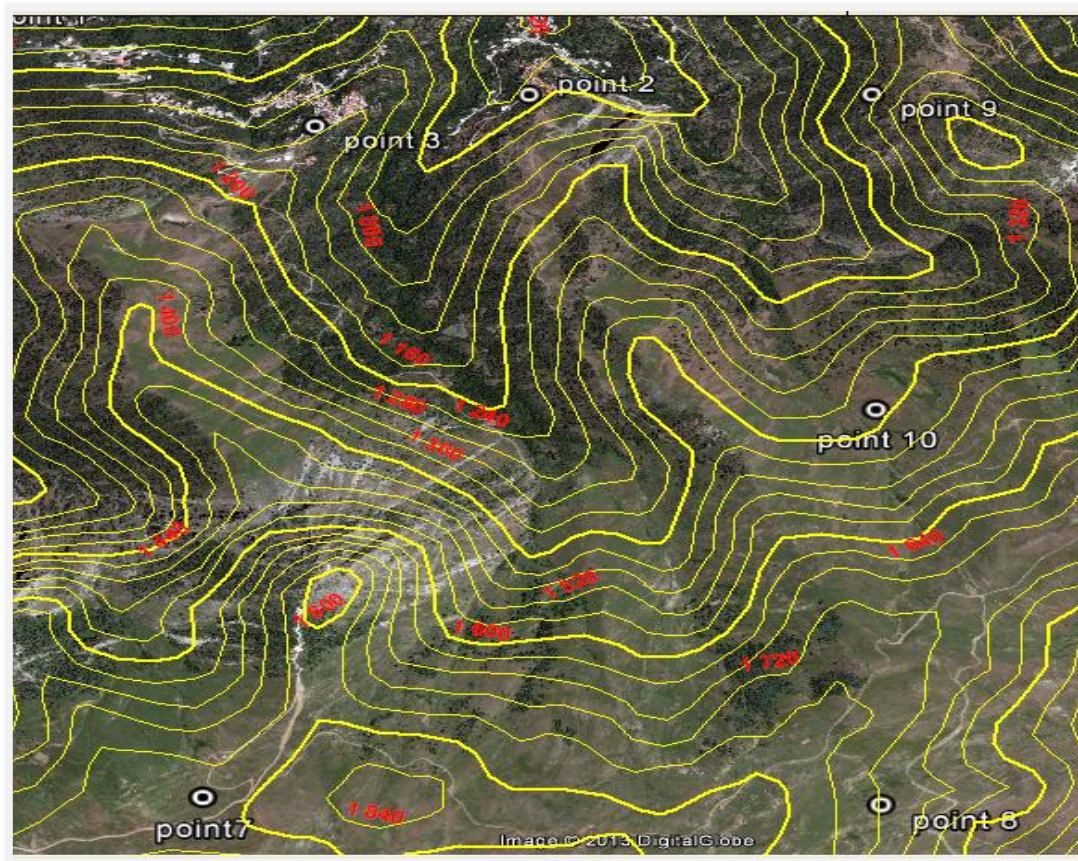




**Fig. IV.5 (A, B et C) Les commandes nécessaires pour la réalisation d'une couche vectorielle.**

### **a. Digitalisation des courbes de niveau**

La morphologie des versants instables d'Illiltén est définie par les courbes de niveau (digitalisées à partir de la carte d'état major). Ces courbes sont représentées dans la table « *courbes de niveau.TAB* » réalisée sous MapInfo par des éléments polyligne de couleur jaune ; elles sont digitalisées à partir de la carte d'état major calées. Chaque courbe porte un identifiant « ID » qui indique son altitude. Cette couche vectorielle a servi pour le repérage des réseaux hydrographiques et des sources d'eau, etc.



**Fig. IV.6** Les courbes de niveau des versants d'Illiltén.

### **b. Les réseaux hydrographiques et les sources d'eau**

L'hydrologie constitue un élément important dans l'étude de la coulée boueuse d'Illiltén, puisqu'elle représente l'une des causes principales de celle-ci. Deux couches vectorielles où tous les réseaux hydrographiques et les sources d'eau sont implantés ont été créées. Les couches vectorielles « *réseaux hydrographiques.TAB* » et « *sources d'eau* » sont réalisées en utilisant des éléments « ligne » et « symbole ». Pour la création de ces couches, nous avons digitalisé les sources d'eau et les réseaux apparents sur la carte d'état major calée et repéré les autres en exploitant les courbes de niveau et les images aériennes.

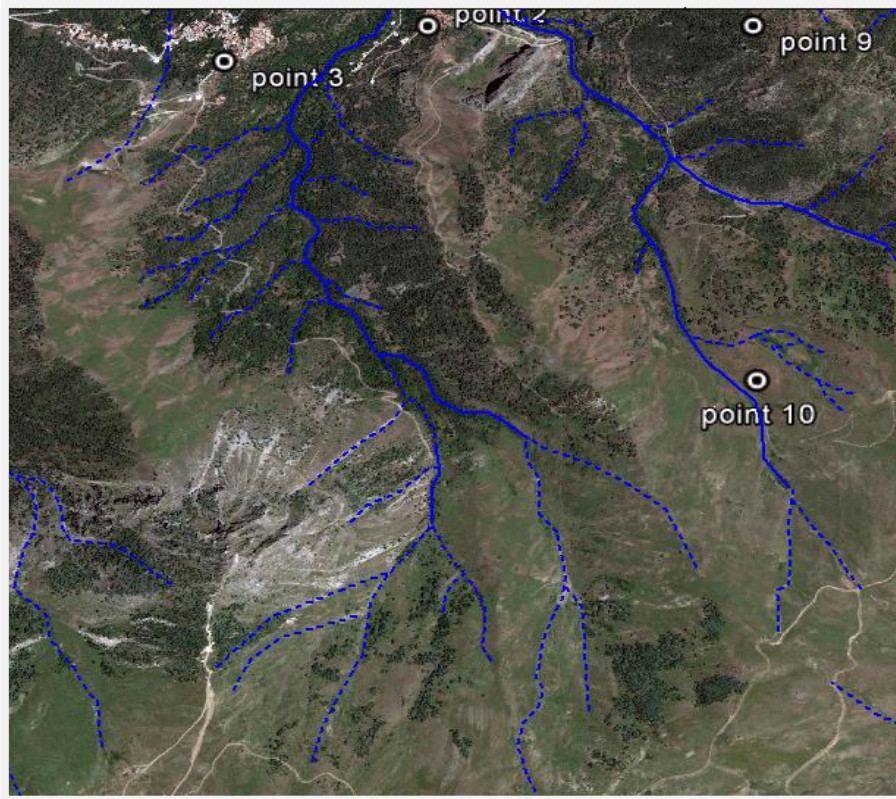
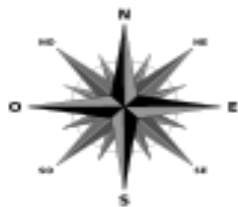
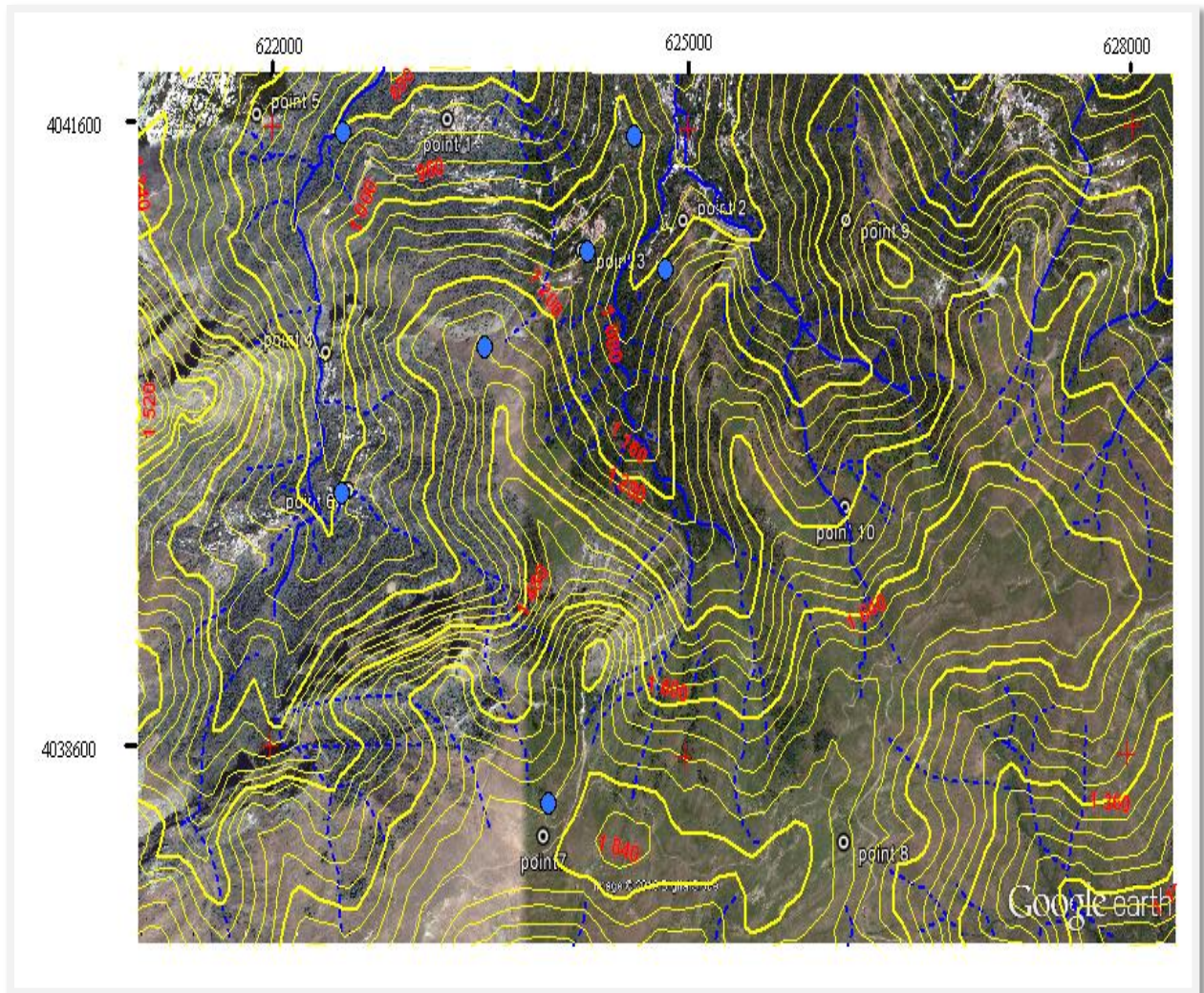







Fig. IV.7 Les réseaux hydrographiques des versants d'Illiltén.



Fig. IV.8 Les sources d'eau dans la région d'Illiltén.



- Légende :** Sources d'eau
-  Sources d'eau
  -  Réseaux hydrographiques permanents
  -  Réseaux hydrographiques temporaires
  -  Courbes de niveau maîtresses
  -  Courbes de niveau intermédiaires

**Fig. IV.9** Cartographie des versants instables d'Illiltén et leurs alentours.

### 4. Evolution de la coulée boueuse d'Illilten

Les photos aériennes (IV.1, IV.2 et IV.3) ci-dessous, montrent bien qu'il n'y a aucun signe de coulée avant le 05 mai 2012.

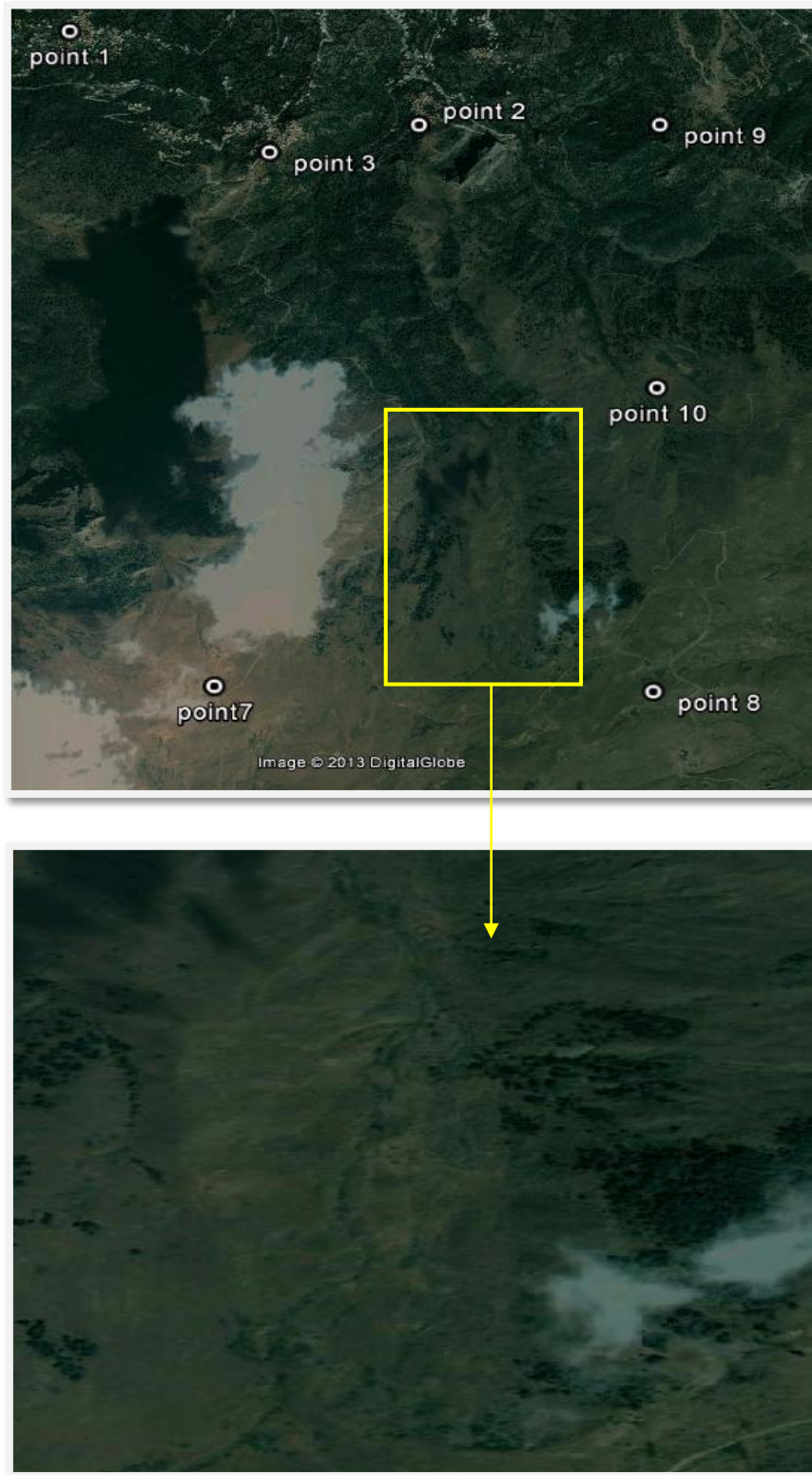


Fig. IV.1 Photos aérienne d'Illilten le 18-06-2007 (Google Earth).

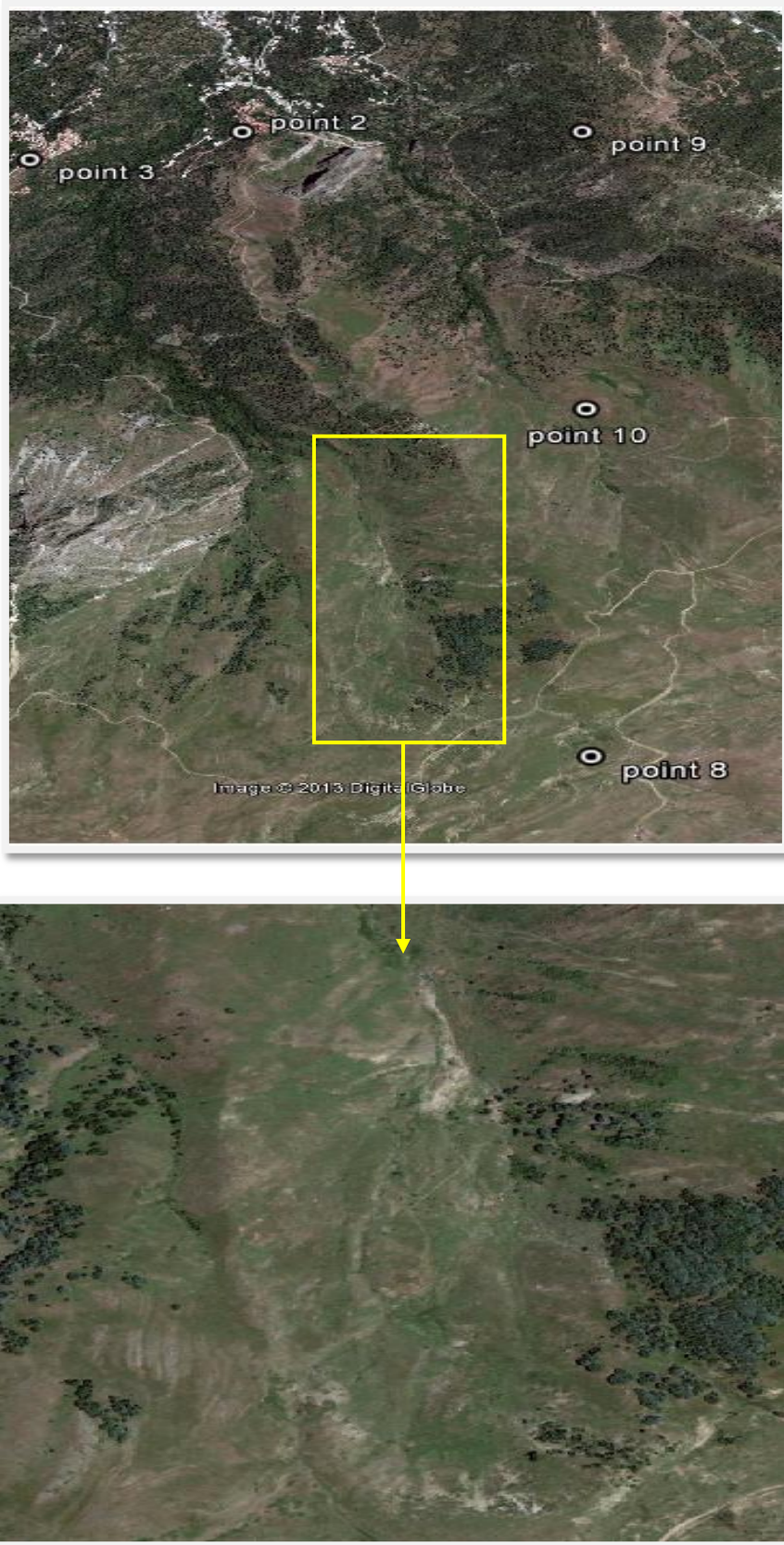


Fig. IV.2 Photos aérienne d'Illiltén le 06-07-2011 (Google Earth).

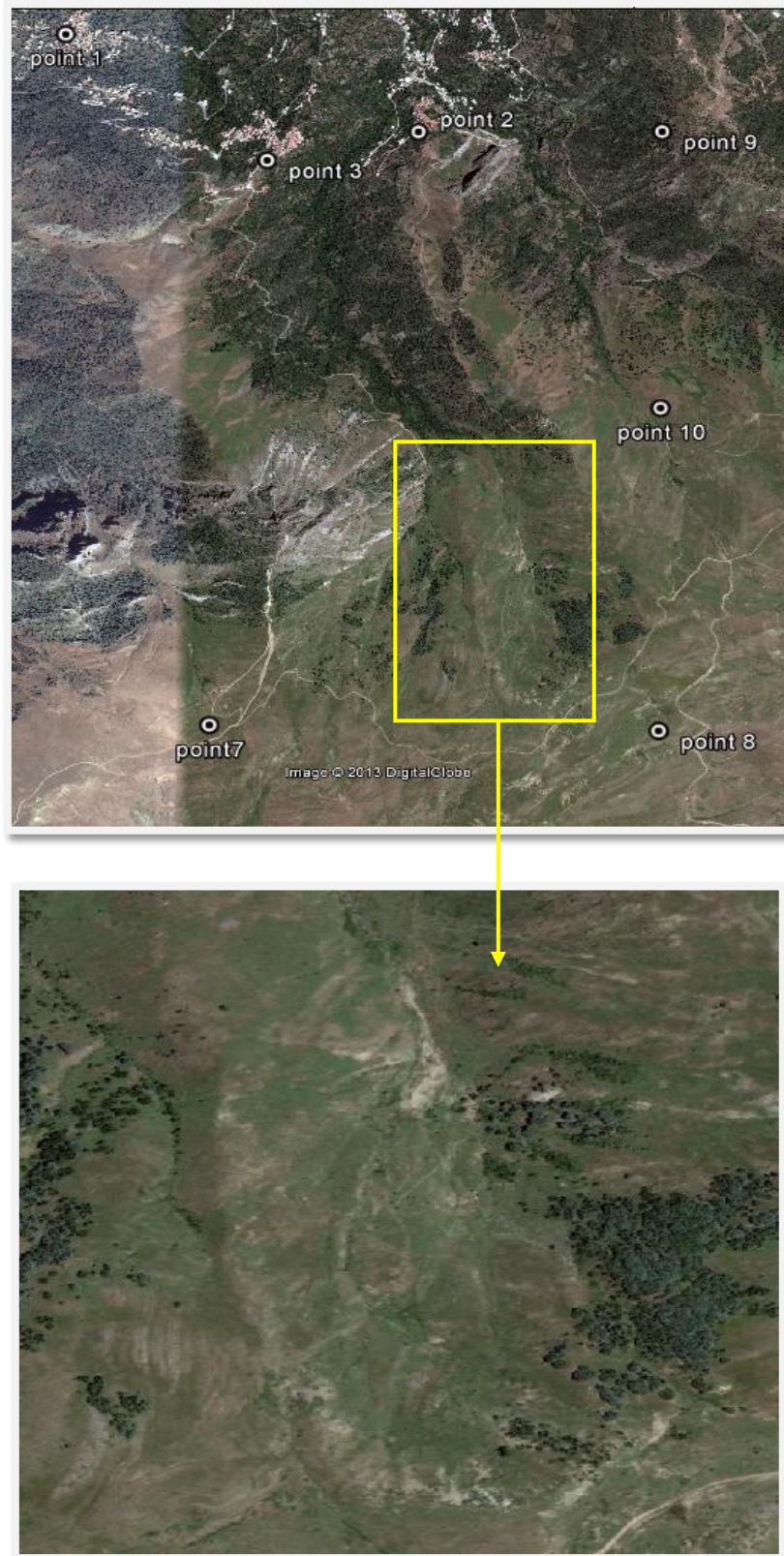


Fig. IV.3 photos aérienne d'Illilten le 15-03-2012 (Google Earth).

## Chapitre IV : Cartographie des versants instables d'Illiltén

La coulée de boue d'Illiltén s'est réactivée en décembre 2012. La surface envahie par la boue est devenue plus importante, elle était d'environ 34.64 hectares en septembre 2012, et a évoluée jusqu'à 46.59 hectares en mai 2013 ce qui correspond à 465900 m<sup>2</sup>.

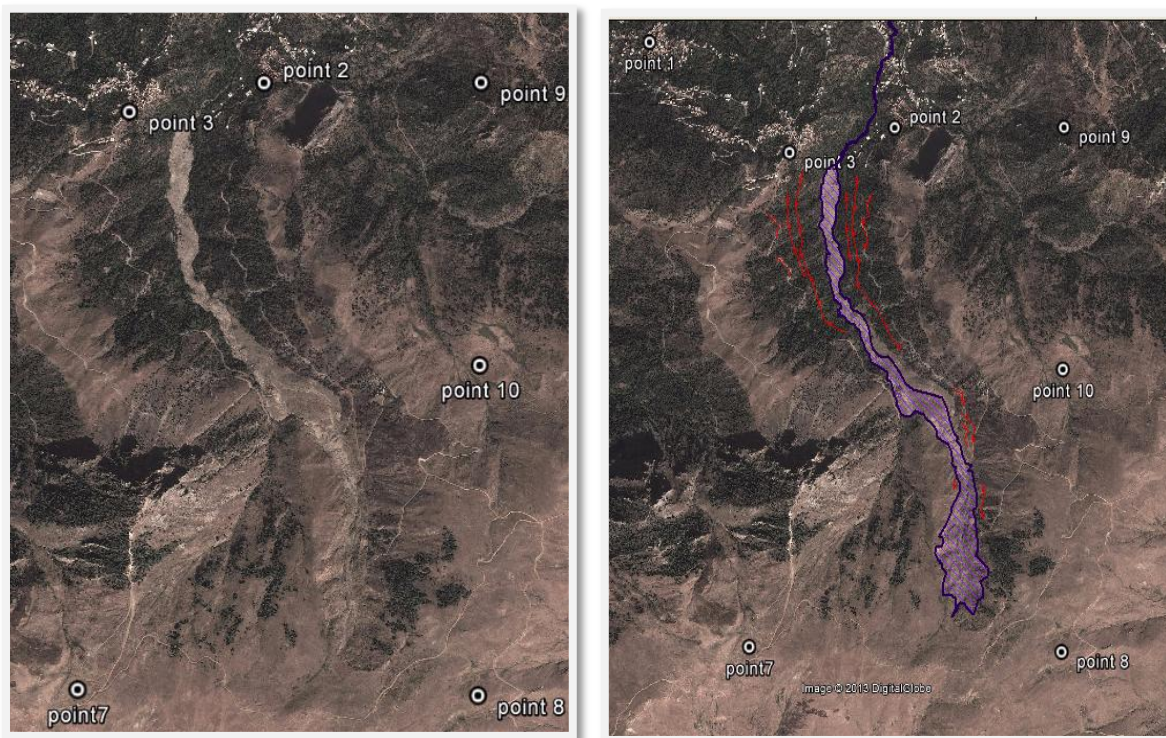


Fig. IV.4 Photos aérienne d'Illiltén le 22-09-2012 (Google Earth).

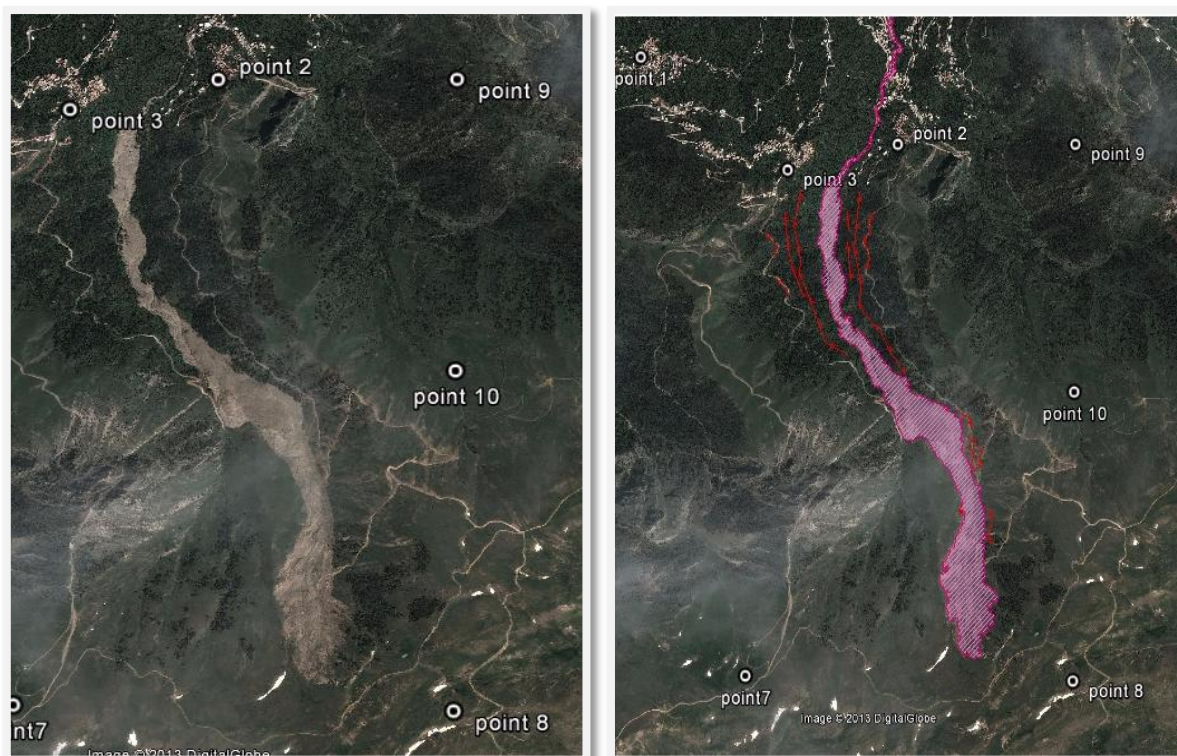
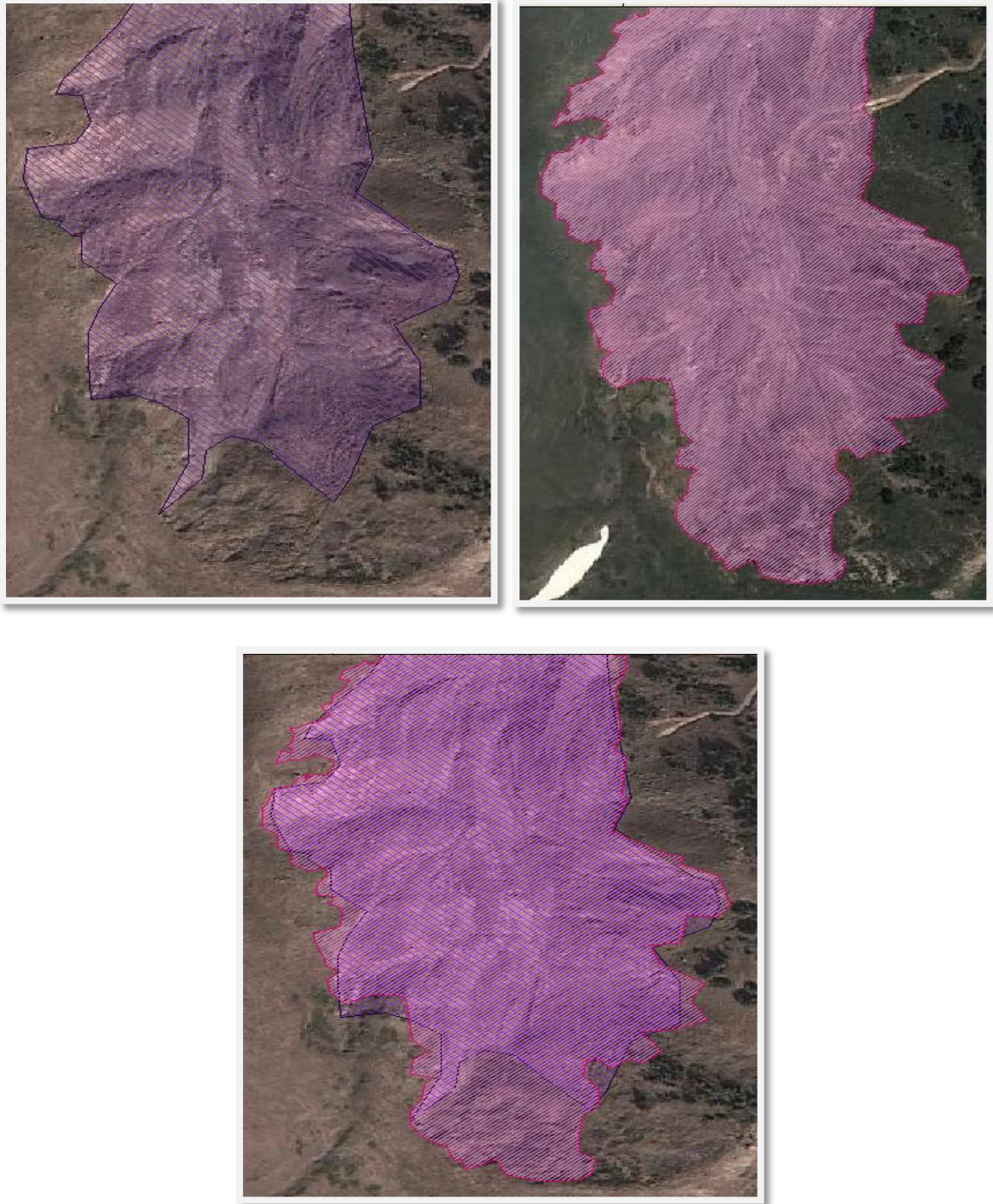


Fig. IV.5 Photos aérienne d'Illiltén le 08-05-2013 (Google Earth).



Légende




-  Les niches d'arrachement
-  Evolution de la coulée 22/09/2012
-  Evolution de la coulée 08/05/2013

Fig. IV.6 Evolution de la coulée de boue (entre septembre 2012 et mai 2013).

### **Conclusion**

Au cours de ces dernières années, les SIG ont connu un champ d'utilisation très important dans plusieurs domaines : (la géologie, le génie civil, etc.). La cartographie qui a été réalisée dans ce chapitre pour les versants instables d'Illiltén, a permis une bonne appréciation des conditions hydrographiques et morphologiques de ces versants, ainsi que l'évolution de cette coulée au cours du temps, et ça grâce aux progrès que connaît ce système d'information géographique et son aide à la décision et à la gestion spatiale des informations disponibles.

---

## **Conclusion générale**

---

### **Conclusion générale**

Les mouvements de terrain sont devenus très fréquents, surtout au nord de l'Algérie. Ce sont des phénomènes naturels qui représentent l'une des tâches majeures de la géotechnique, et leurs conséquences ne cessent d'être plus lourdes.

Dans le premier chapitre de ce mémoire, on a pu prendre connaissance des différents types de mouvements de terrains, et des moyens de prévision et de surveillance conçus pour suivre leur évolution.

Dans le second chapitre nous avons mis l'accent sur le phénomène coulée de boue. Parmi les causes de ce mouvement :

- Les facteurs permanents : (l'eau, la pente, la pesanteur, etc.).
- Les facteurs variables dans le temps : (les fortes précipitations, la fonte des neiges, les activités humaines, la nature du sol, etc.).

Dans le troisième chapitre, un état de connaissances a été fait sur le risque de mouvement de terrain qui est une coulée boueuse dans la région d'Illilten. Parmi les causes qui ont conduit à son déclenchement :

- La saturation des terrains en eau (présences de sources, fortes précipitations).
- La nature géologique des terrains.
- La fonte des neiges.
- L'effet de la pente, etc.

L'étude présentée dans ce mémoire avait pour finalité d'effectuer une cartographie du risque et de l'aléa dus au mouvement de terrain pour le versant d'Illilten et ses alentours proches.

### **Recommandations**

Plusieurs recommandations peuvent être émises afin de permettre une meilleure analyse de ce mouvement de terrain :

- Mettre en place un système de surveillance et des mesures de protection appropriées ;
- Des études géologiques, hydrogéologiques et géotechniques approfondies doivent être réalisées, afin de mieux cerner les causes du mouvement et d'adopter un confortement adapté à cette instabilité ;
- Et par la suite, l'établissement d'une carte relative à ce phénomène.

Toutes ces recommandations vont nous permettre de bien cerner ce risque et de minimiser les dégâts.

## Bibliographie

---

### Références bibliographiques

**ARAB M.**, Etude de la stabilité de la cité universitaire de la ville de « Médéa », mémoire de master 2, spécialité Géotechnique et Environnement, Université Mouloud MAMMARI de Tizi-Ouzou, 2012.

**AUZET A.V. ; HEITZ C. ; ARMAND R. ; GUYONNET J. et MOQUET J.S.**, Les «coulées de boue» dans le Bas-Rhin : analyse à partir des dossiers de demande de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle, Dossiers CATNAT « coulées de boue » 67, Université Louis Pasteur Strasbourg, 2005.

**BELAIDI M.**, 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, spécialité Géotechnique et Environnement, Université Mouloud MAMMARI de Tizi-Ouzou, 7 juillet 2011.

**BORDEAU C.**, Effets de site et mouvements de versant en zones sismiques : Apport de la modélisation numérique, thèse pour obtenir le grade Docteur, spécialité Géologie de l'Ingénieur, Ecole des Mines de Paris, 8 juillet 2005.

**BOUAFIA A.**, Génie Civil Conception et Calcul des Ouvrages Géotechniques, Edition Pages bleues, Université de Blida, Algérie, 2011.

**BOUAZIZ N.**, Etude de la stabilité d'un glissement de terrain cas du versant de Tizirt, mémoire de master 2, spécialité Géotechnique et Environnement, Université Mouloud MAMMARI de Tizi-Ouzou, 29 septembre 2012.

**CANTON DE FRIBOURG.**, Notice explicative, Service des Constructions et de l'Aménagement, Service des Forêts de la Faune, Fribourg, 2007.

**CHAHINE M. et RESTITUITO J.**, La coulée de boue des Egravats au Mont-Dore (63), Gestion de crise, expertises, PPR et travaux de mise en sécurité, CETE de Lyon, Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées de Clermont-Ferrand, France, 2006.

**CHAHINE M. ; LAIGLE D. ; MATHON C. ; NEDELLEC J.L. ; RESTITUITO J. ; ROCHER P. ; ROUBICHOU P. et TACNEL J.M.**, Les Egravats, commune de Mont-Dore (63), Analyse bibliographique et proposition d'un programme d'études détaillées relatives aux mouvements de terrain, Rapport final, BRGM/RP-52981-France, mars 2004.

**COLAS G. et LOCAT J.**, Glissement et coulée de La Valette dans les Alpes de Haute-Provence Présentation générale et modélisation de la coulée, Bull, liaison Labo. P. et Ch. – 187, septembre – octobre 1993.

**COLAS G. ; PAYANY F.M. et BLONDEAU.**, Etude des glissements de terrains survenus dans la commune du Beausset (Var), Bull. Liaison Lab. P. et Ch., mai - juin 1977.

**DIAB DJEFFAL I.**, Stabilité des pentes et méthodes de confortement, mémoire de master 2, spécialité Géotechnique et Environnement, Université Mouloud MAMMARI de Tizi-Ouzou, 2011.

## Bibliographie

---

**DJERBAL L.**, Analyse des mécanismes de déformation et de la rupture progressive du versant instable d'Ain El Hammam, thèse de doctorat, spécialité Géotechnique et Environnement, Université Mouloud MAMMARI de Tizi-Ouzou, 2013.

**DJERBAL L.**, Dynamique d'évolution du glissement de terrain d'Ain el Hammam, mémoire de master 2, spécialité Géotechnique et Environnement, Université Mouloud MAMMARI de Tizi-Ouzou, 2010.

**DURAND-DELGA M.**, La Méditerranée occidentale : étapes de sa genèse et problèmes structuraux liés à celle-ci, mém. h. sér. Soc. Géol. de France, n° 10, livre jubilaire de la société géol. de France, 1830-1980.

**DURVILLE J.L. ; GOUIN T. ; POUGET P. et SÈVE H.**, Surveillance des pentes instables, techniques et méthodes des laboratoires des ponts et chaussées, guide technique, octobre 1994.

**MARTHY F. et THEVENET G.**, Méthodologie de cartographie de l'aléa ruissellement et coulées boueuses. Utilisation des systèmes d'information géographique (SIG) comme aide à la décision, Journées Nationale de Géotechnique et de Géologie de l'Ingénieur, Session 3- Risques naturels en zone montagneuse, Lyon (France), 2006.

**GOMINET S.**, Définitions et typologie des mouvements de terrain, Risques Infos n°16, Juin 2005.

**GRENOBLOIS P.**, Parade 13 : Drainage de surface, Fiche pilotée par RTM, projet 179, 2009.

**GRENOBLOIS P.**, Parade 14 : Drainage profond, Fiche pilotée par RTM, projet 179, 2009.

**GUEFFON M.**, Les travaux de prévention actifs contre les glissements de terrain : stabilisation et drainage des zones instables, Risques Infos n°16, Juin 2005.

**HAMMOUM H. et BOUZIDA R.**, Pratique des systèmes d'information géographique (SIG) « Applications sous MapInfo », collection les manuels de l'étudiant, Edition Pages bleus, 2010.

**HEITZ C.**, Etude de la perception du risque de catastrophes naturelles relatif aux coulées de boue par les acteurs de communes périurbaines. Approche méthodologique et analyse d'enquêtes (Sundgau - Alsace), mémoire de DEA, université LOUIS PASTEUR, Faculté de Géographie et d'Aménagement, Strasbourg, Septembre 2005.

**JAHANGIR E.**, Phénomènes d'interaction sol-structure vis-à-vis de l'aléa retrait gonflement pour l'évaluation de la vulnérabilité des ouvrages, thèse en vue de l'obtention du grade de Docteur de l'INPL, Spécialité : Génie Civil – Hydrosystèmes – Géotechnique, Institut National Polytechnique de Lorraine, École Doctorale : RP2E, Laboratoire Environnement, Géomécanique & Ouvrages, 15 novembre 2011.

**JAQUES E. et FRISSANT N.**, Etude géostructurale du cône alluvial de la rivière du Mât et de son substratum dans le secteur de Paniandy/Bras-Panon, Rapport final, BRGM/RP-54235, France, janvier 2006.

## Bibliographie

---

**LADGHEM CHIKOUCHE F.**, Prévention du risque mouvement de terrain par l'utilisation des paramètres géotechniques, mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de magister, spécialité Géotechnique, Université de M'sila, 10 décembre 2009.

**LAGHOUAG S.A. et BOUKHARI A.**, Etude d'un Glissement de Terrain sur le CW8 Reliant la ville de Médéa à l'Université, mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Travaux Publics, Ecole Nationale des Travaux Publics, 2008.

**LEBOURG M.T.**, Analyse géologique et mécanique de glissements de terrain dans des moraines des Pyrénées centrales et occidentales (France), thèse pour obtenir le grade Docteur, spécialité : géologie appliquée, Ecole Doctorale des Sciences de la Terre et de la Mer, 7 novembre 2000.

**LE MIGNON G. et COJEAN R.**, Rôle de l'eau dans la remobilisation de glissements-coulées, Barcelonnette, France, Landslide, Rybar, Stemberk et Wagner, 2002.

**Les risques majeurs en CORREZ**, Exposition itinérante conçue par la direction départementale des territoires de la CORREZ, Copyright DDT, CORREZ, 2010.

**MARMI R. ; KACIMI M. et BOULARAK M.**, Les mouvements de terrain dans la région de Mila (Algérie nord-orientale), impact sur les infrastructures, Revista de géomorphologie, 2008.

**MAQUAIRE O.**, Aléas géomorphologiques (mouvements de terrain) : processus-fonctionnement-cartographie, mémoire de recherche en vue de l'obtention du Diplôme d'Habilitation à Diriger des Recherches, Université Louis PASTEUR, Strasbourg I, 13 décembre 2012.

**MELBOUCI B.**, Méthodes de calcul de stabilité des fondations, des talus et des ouvrages de soutènement, Edition EL-AMEL, Algérie, 2009.

**MERIC O.**, Etude de mouvements de terrain par méthodes géophysiques, thèse en vue de l'obtention du titre de Docteur de l'Université Joseph Fourier, spécialité Géophysique, 6 décembre 2006.

**M'ZOUGHEM K. et CHENAFI W.**, Etude géotechnique de la stabilité des talus dans la carrière de Ain El Kebira (Sétif), mémoire en vue de l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'Etat en Géologie, spécialité Géologie de l'ingénieur, Université Ferhat ABBAS, 2006.

**Office fédéral de l'aménagement du territoire OFAT. ; Office fédéral de l'économie des eaux OFEE. et Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage OFEFP.**, Prise en compte des dangers dus aux mouvements de terrain dans le cadre des activités de l'aménagement du territoire, 1997.

**SAINT MARTIN M.**, Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des sols argileux dans le département de Cantal, rapport final, BRGM/RP-58889- France, septembre 2010.

**SAURET B.**, Coulées boueuses, Laves torrentielles, Bulletin de liaison Labo P. et Ch. 150/151, 1987.

**SEVE G. et POUGET P.**, Stabilisation des glissements de terrain, Edition Guide technique des laboratoires des ponts et chaussées Paris, France, 1998.

## **Bibliographie**

---

**Société Suisse de Géomorphologie (SSG). et Schweizerische Geomorphologische Gesellschaft.,** Fiches, Géomorphologie de la montagne, Août 2009.

**VEDIE E.,** Dynamique des versants en contexte périglaciaire : apports de la modélisation physique, thèse de doctorat, Spécialité Terre solide et enveloppe superficielle, Université de CAEN, 29 février 2008.

## **Sites internet**

**<http://fr.wikipedia.org>**