

DESCRIPTION ET ETUDE GEOMORPHOLOGIQUE DES GLISSEMENTS DE TERRAIN

1-Introduction

Les glissements de terrains sont des mouvements de masse qui se développent dans des matériaux meubles et, en général, argileux. Les glissements évoluent en général lentement. Le volume des glissements de terrain est très variable : de quelques mètres cube (loupe) à plusieurs millions de mètres cube (versant entiers).

Les difficultés de stabilité de pentes se remarquent fréquemment dans la construction des routes, des canaux et des digues de barrages. Certaines pentes naturelles peuvent devenir instables et engendrent des problèmes d'instabilité qui peuvent être catastrophiques et provoquent des pertes en vies humaines ainsi que des dégâts matériels considérables.

Selon sa nature, la vitesse d'évolution d'un glissement se situe entre quelques centimètres par an et plusieurs centaines de mètres à l'heure. Un glissement passe par des phases tranquilles à évolution faible, voire nulle. Aussi, il peut passer par des phases actives pendant lesquelles le processus s'accélère et peut devenir brutal. Les périodes d'accélération sont généralement dues à l'intervention de facteurs négatifs : pluies intenses, terrassements non contrôlés, etc.

2-Géométrie de glissement de terrain

La géométrie classique d'un glissement rotationnel est illustrée par la figure (1). La surface de glissement est de forme circulaire, concave. La zone de départ du glissement est caractérisée par une brusque rupture de pente (escarpement de départ) et par la présence de fissures et éventuellement d'une morphologie en gradins (avec un ou plusieurs compartiments).

La surface même du glissement présente une topographie bosselée caractéristique. Dans la partie aval, on retrouve une morphologie en bourrelet : le pied du glissement. La masse de terrain descendue subit des contraintes de compression importantes et est fortement déstructurée.

Lorsqu'il y a une forte teneur en eau, la limite de liquidité peut rapidement être atteinte et on peut voir le glissement évoluer en une coulée boueuse.

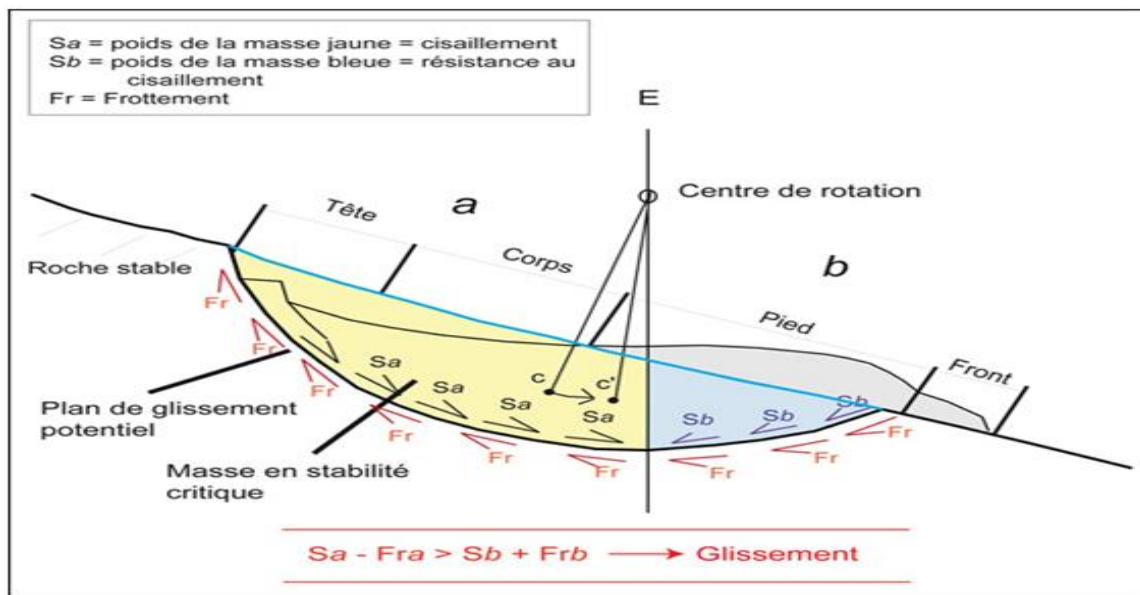


Fig.1. Coupe schématique d'un glissement rotationnel et distribution des forces.
 (Société Suisse de Géomorphologie (SSGm) – Schweizerische Geomorphologische Gesellschaft
 Fiches – Géomorphologie de la montagne – Août 2009)

Sb : poids qu'opèrent la masse (bleue), résistance face à Sa .

Sa : poids de la masse (jaune) qui tente de glisser.

Fr : frottement (rouge), le sous-sol s'oppose au mouvement.

$Sb + Fr$ = cohésion (frottement et contre-poids), Sa = cisaillement.

- Si, $Sa \leq Fr + Sb$, il y a stabilité.
- Si, $Sa > Fr + Sb$, il y a glissement.

- L'eau (pluie qui s'infiltre ...) va réduire la cohésion et accentuer le glissement autour de centre de rotation virtuel.

3-Les indices d'instabilité du glissement de terrain

L'étude et l'inventaire des mouvements de masses est fondée sur le recensement des événements passés ou présents. Il concerne d'abord le repérage des zones où des mouvements se produisent ou se sont déjà produits mouvements «déclarés».

Il vise aussi à définir les types de mouvement, c'est un critère pour déterminer la nature des risques en cours. Il peut être, enfin, un des éléments servant à la gradation du risque, soit en fonction de l'âge ou du degré d'activité du mouvement observé, soit en fonction du volume de la masse déplacée.

Cet inventaire est fondé sur le relevé des traces apparentes laissées par les mouvements de matériaux. Ces traces sont plus ou moins facilement repérables sur le terrain ou sur les photographies aériennes. Ce sont des «phénomènes», et chacun sait que ces apparences, qui peuvent être trompeuses, sont à manier (utiliser) quelque précautions.

A- Le témoignage des formes de terrain : les indices géomorphologiques

Les indices géomorphologiques sont d'un usage courant pour le repérage des zones actuellement instables (VERNES, 1978 et 1984). Ces indices sont constitués par les formes de terrains engendrées par les divers processus de façonnement des versants. Voir (Photo .1).

- **La zone d'arrachement de glissement de terrain**, surface plus basse par rapport au niveau du versant.
- **L'escarpement principal** : Surface inclinée ou verticale souvent concave, limitant le glissement à son extrémité supérieure et prolongé en profondeur par la surface de glissement.
- **Fissures et crevasse : Ruptures** au sein du matériau se manifestant par des fentes (fissures) d'importance et de forme diverse suivant leurs positions.

On peut distinguer trois grands types élémentaires : Fissures de traction, fissures de cisaillement et fissures de compression. Les dimensions de glissement sont définies par la longueur (totale et de la rupture), la largeur, et la profondeur.



Photo.1 .Niches d'arrachements du glissement de terrain (N.Hamadou, 2011)

B- La géomorphologie, un critère de repérage du degré d'activité

La distinction entre mouvements « actifs » et « non actifs », que ces derniers soient « dormants » ou stabilisés, figure en bonne place dans toutes les nomenclatures (Varnes, 1978). Elle peut être un des critères de la gradation des risques.

Pour Varnes (1978), un mouvement actif est celui qui a fonctionné au moins une fois dans l'année, lors du dernier cycle saisonnier favorable (période de gel et de dégel, de maximum ou de

forte intensité des précipitations, etc. ...). Pour d'autres auteurs, la période de retour peut être plus longue ; certains l'étendent jusqu'à 5 ans.

L'activité d'un mouvement peut être décelée (découverte) par observation directe pendant le déroulement de l'événement, par la pose d'une instrumentation en surface (piquets repères) et mesure du déplacement, ou en profondeur, la comparaison de photos au sol ou de prises de vues aériennes effectuées à des dates successives, par l'évolution de la morphologie de la zone et par enquête.

C- Les témoignages de la végétation

La végétation peut, elle aussi, apporter des témoignages d'instabilité actuelle ou passée. Elle est également un bon critère d'activité des mouvements. La distinction entre éboulis vifs et éboulis fixés par végétation est des plus classiques. On peut tenir le même raisonnement pour les abrupts de tête des replats de glissement ; qui se couvrent progressivement de même temps que leur profil évolue.

D- Autres indices

- **Le déplacement ou l'inclinaison des poteaux électriques** a haute tension ou constitue des bons indices d'un mouvement actif Voir (*Photo .2*).



Photo. .2. Inclinaison de poteau électrique de haute tension suite à l'activation de glissement de terrain. (N.Hamadou, 2011))

4-Topographie du glissement de terrain

Les cartes topographiques à petite échelle disponibles sont insuffisantes pour repérer un accident localisé, il convient donc pour un glissement bien localisé d'entreprendre un levé topographique à grande échelle (1/1000^e ou 1/500^e) de la zone en mouvement et d'en tirer un plan en courbes de niveau (P. Desvarreux, 1987).

4.1. Technique de travail

La mise en station de l'appareil nécessite la présence d'un « point dur » qui est souvent matérialisé au sol par un clou.

Il faut tout d'abord mettre le théodolite en station, (*Fig.3*) c'est-à-dire qu'il faut le positionner de manière à ce que l'axe vertical de l'appareil soit perpendiculaire au plan horizontal de la station. Il est ensuite possible de relever tous les points caractéristiques du terrain. Au départ de ce point de station il sera possible de réaliser une série de mesures par rayonnement. Si le terrain est très étendu, il faudra réaliser un cheminement. Il va falloir déplacer l'appareil de mesure pour pouvoir couvrir tout le terrain de l'étude. Le cheminement consiste à déplacer le point de station. Il va falloir relever, à partir du point de station 1, la position de la station 2 pour connaître les coordonnées de celle-ci et pour que le repérage soit complet, il ne faut pas oublier de relever sur la station 2 la position de la station 1 (pour que les points relevés de la station 2 soit repérés dans un même système de mesure par rapport à la station 1). Les points de station successifs (station 1, station 2, station 3, ...) s'articulent ainsi les uns aux autres.

Le levé topographique d'un glissement de terrain, sert à déterminer l'emplacement et les altitudes de points choisis au sol dans le but de représenter graphiquement certains éléments et pour indiquer les différences qui existent dans les altitudes à la surface du sol, c'est à dire le déplacement.

Les éléments sont dessinés sur un plan topographique comme s'ils étaient vus du dessus (vue en plan), avec les lignes d'égale altitude, connues sous le nom de courbes de niveau, pour indiquer les changements d'altitude.



*Photo..3. Appareillage pour Levés topographique. (Théodolite).
(N.Hamadou, 2011)*

4.2. Réalisation du Levé topographique

La réalisation du levé topographique consiste à implanter en quadrillage de bornes fixes ou de piquets dans la zone glissée et à son environnement stable voir (*Photo .3*) et de surveiller leur vitesse d'évolution pour établir les courbes de déplacement horizontal et vertical, à partir de ces courbes on peut localiser exactement la zone en mouvement, évaluer l'importance du risque et à envisager les mesures de sécurité nécessaire et les précautions à prendre (P. Desvarreux 1987).



Photo.4. Implantation des piquets en acier dans la zone de glissement (N.Hamadou, 2011)

Dans notre aire d'étude le levés topographique a été effectuée par le même principe, c'est- à - dire nous avons implanté des piquets en acier de 1.00 mètre de longueur dans la zone glissée (active) et à son environnement stable (*Photo.4*), et à ce moment-là, nous avons réalisé un levés topographique à l'aide de l'appareil topographique dite « théodolite », représenté le plan morphologique de glissement de terrain à la date précédent voir *Fig (2) et (3)*.

Après trois mois et demi, soit (104 jours), nous avons réalisé un deuxième levé topographique sur les mêmes points ,d'où nous avons effectuée une courbe de déplacement horizontal et vertical et nous avons obtenir a la fin une vitesse d'évolution de glissement de terrain voir *Fig. (4)et (5)*.

Cette méthode nous permettent exactement de localiser exactement la zone du glissement (surface du la zone d'étude, surface de la zone active (*Tab. 1*) et le déplacement).

Tableau.1. Surface du glissement de terrain : (N.Hamadou, 2011)

Surface totale	7000 m ²
Surface de la zone active	3000m ²

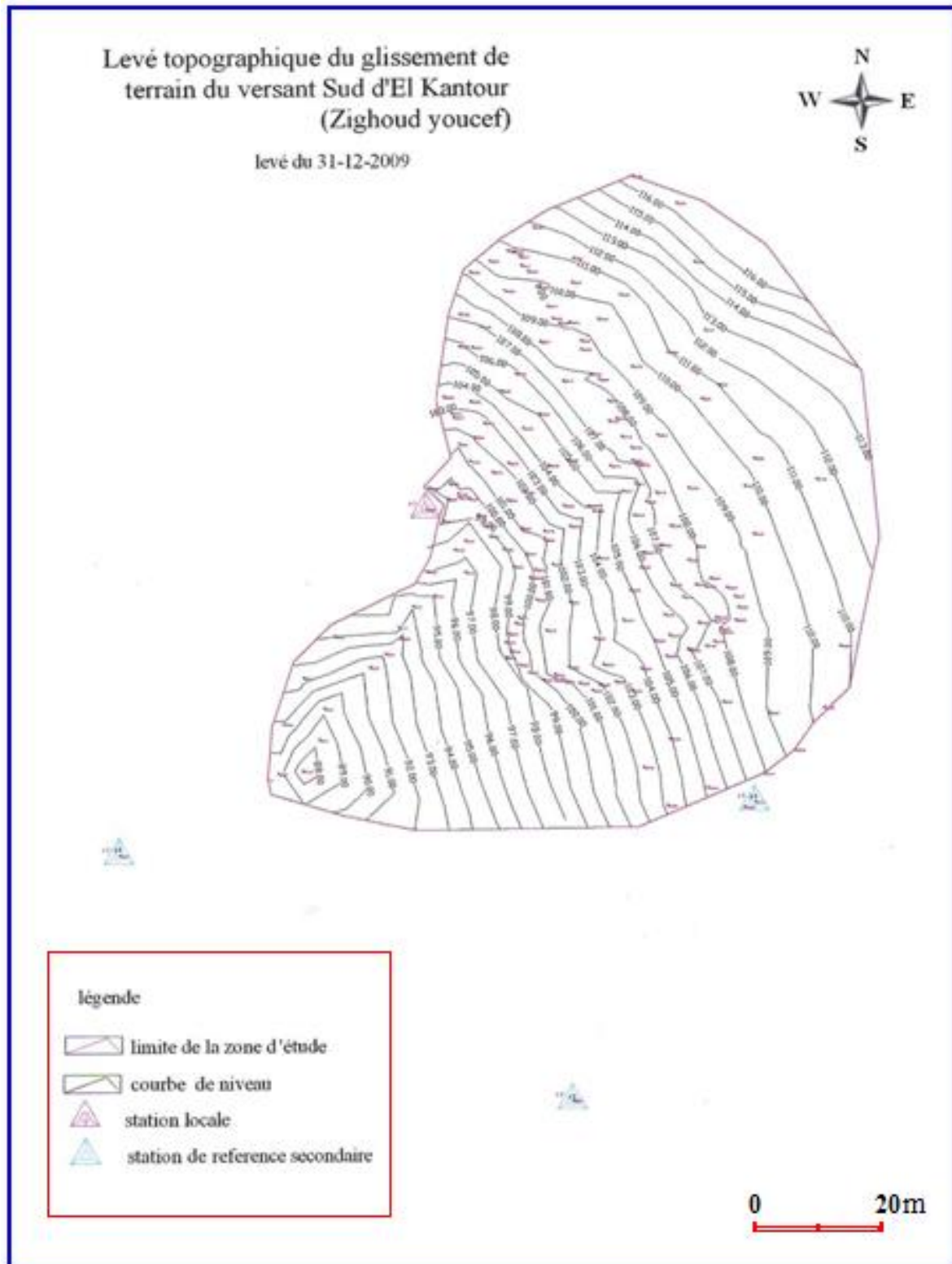


Fig.2. Levé topographique (T_1) de la zone du glissement de terrain
(N.Hamadou, 2011)

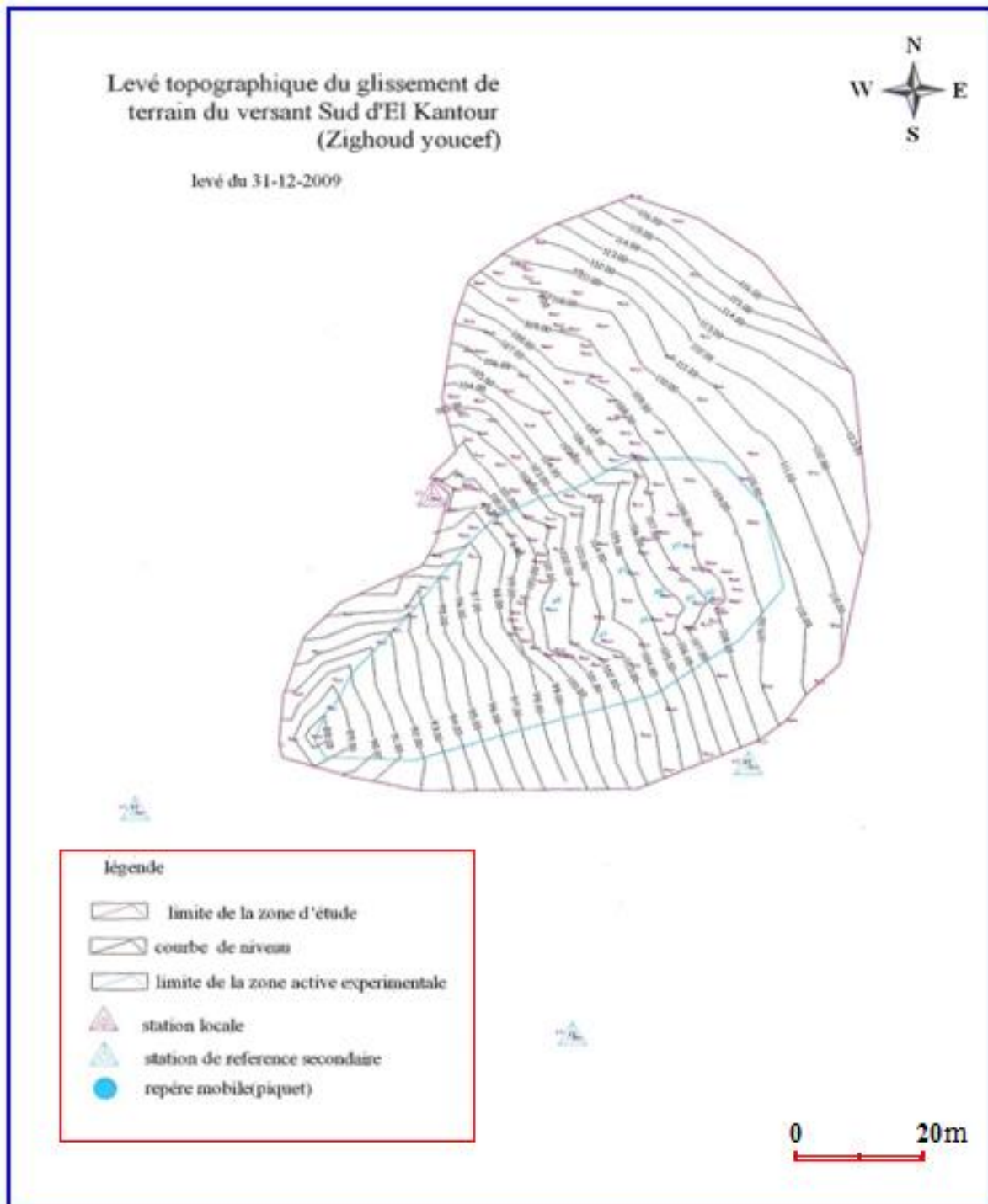


Fig.3 .Levé topographique (T_1)de la zone active du glissement de terrain
(N.Hamadou, 2011)

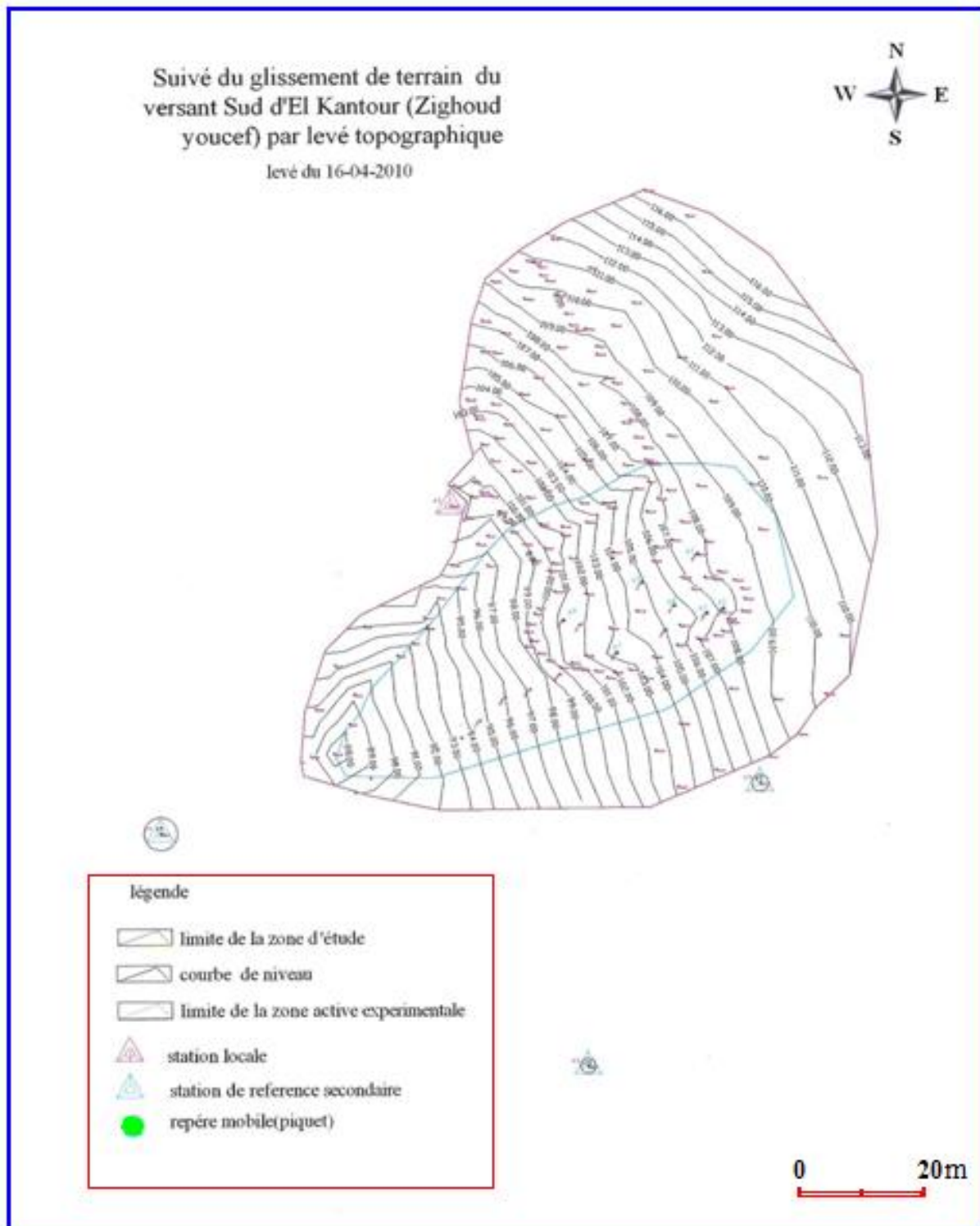


Fig.4. Levé topographique (T₂) de la zone active du glissement de terrain ((N.Hamadou, 2011))

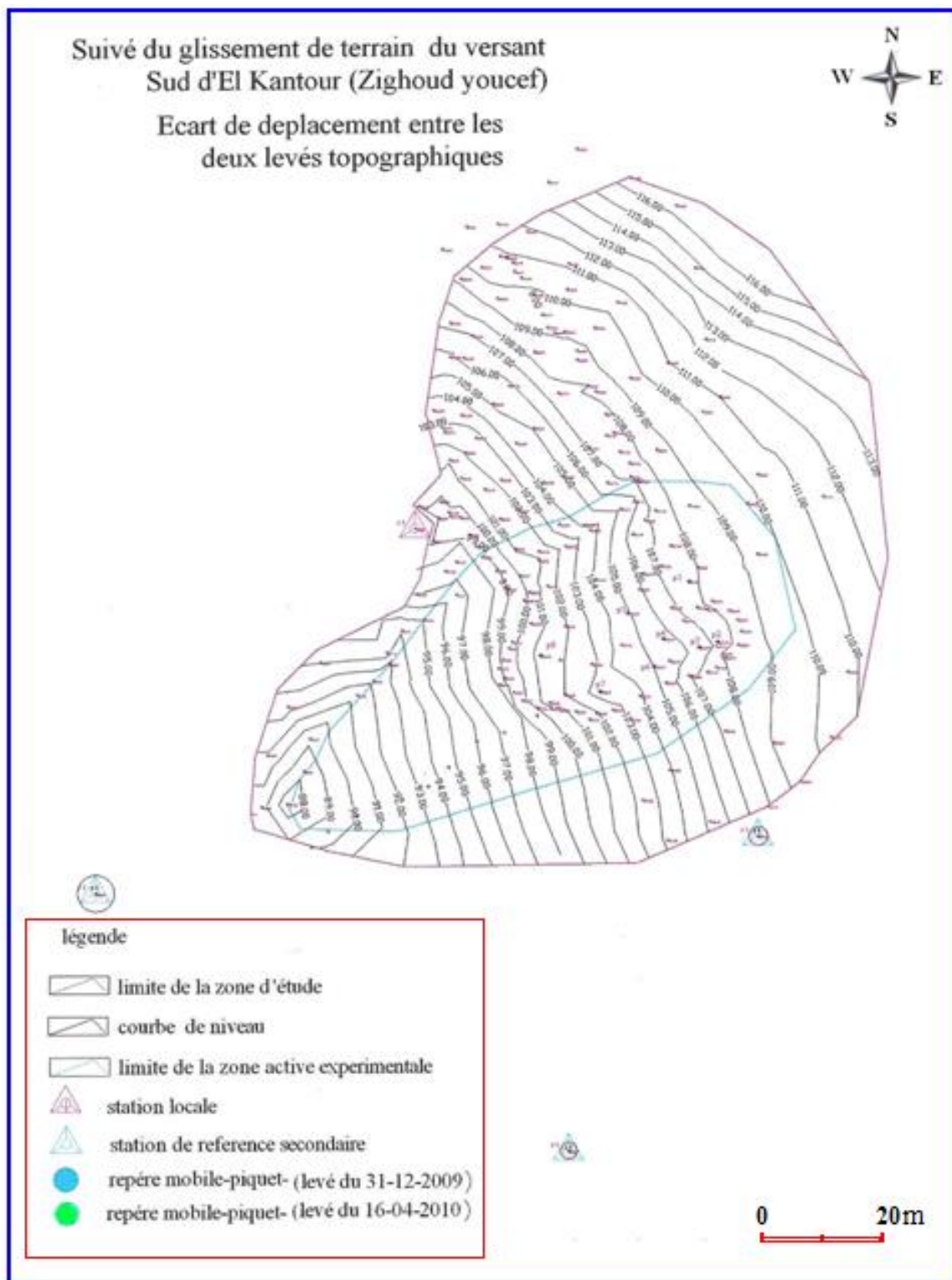


Fig .5 .Ecart de d éplacement (N.Hamadou, 2011)

a. Profil on long du glissement de terrain (profil défavorable):

Le profil qui suit (Fig.6) a été réalisé à partir du levé topographique que nous avons effectué sur site.

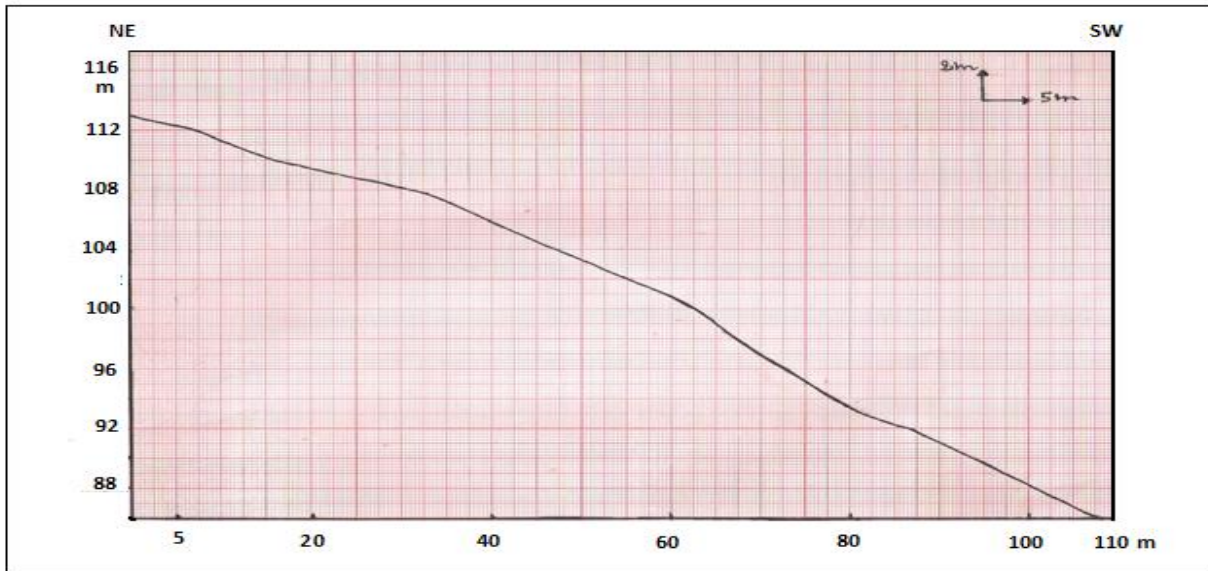


Fig.6. Profil on long du glissement de terrain (N.Hamadou, 2011)

b. Exploitation des mesures topographiques :

Nous disposons d'un réseau de points de mesures topographiques relativement denses et bien réparties sur le versant. Les mesures topographiques sont également étalées dans le temps (certaines mesures pour permettre quelques interprétations fiables). Les résultats de mesures sont présentés dans les tableaux ci-dessous *Tableau(2), (3) et (.4)*.

Tableau.2. Les données du levé topographique(T_1) (N.Hamadou, 2011)

Stations Topographiques	x	y	z
1	10000042,62	9999991,49	107,8045
2	10000047,12	9999982,055	107,3600
3	10000044,21	9999981,225	106,3900
4	10000038,62	9999982,585	105,6500
5	10000033,12	9999986,625	104,9310
6	10000037,15	9999978,312	105,0400
7	10000028,72	9999974,441	103,4934
8	10000019,52	9999980,072	101,4168

Tableau .3. Les données du levé topographique (T_2)(N.Hamadou, 2011)

Stations Topographiques	x	y	z
1	10000042,59	9999991,51	107,8000
2	10000047,05	9999982,05	107,3311
3	10000044,17	9999981,24	106,3686
4	10000038,61	9999982,59	105,6460
5	10000033,09	9999986,60	104,9300
6	10000037,13	9999978,31	105,0307
7	10000028,72	9999974,43	103,5000
8	10000019,50	9999980,07	101,4200

Tableau .4. Ecart de déplacement en (cm) : (N.Hamadou, 2011)

Stations Topographiques	Amplitude de déplacement (cm)			Vitesse de déplacement (cm /jour)		
	x	y	z	x	y	z
1	3.20	-2.00	0.45	0.0308	0.0192	0.0043
2	0.50	0.51	2.89	0.0048	0.0049	0.0278
3	4.00	-1.50	2.14	0.0385	0.0144	0.0206
4	1.38	-0.50	0.40	0.0133	0.0048	0.0038
5	3.30	2.50	0.10	0.0317	0.0240	0.0010
6	2.00	0.20	0.93	0.0192	0.0019	0.0100
7	0.37	1.10	-0.66	0.0035	0.0106	0.0106
8	2.45	0.24	-0.32	0.0236	0.0023	0.0031

La représentation en trois dimensions des données topographiques de glissement de terrain permet de bien en relief la dynamique ou l'instabilité du site étudié en effet, ou regard des figures (7) et (8).

La superposition des deux images en (3D) obtenues par le logiciel Surfer :8 Fig(7)et (8)montrent des différences apparaissent clairement :ces différences sont localisées au niveau de :

- La zone bleue, c'est-à-dire en amont de l'aire d'étude ou un léger bombement venait marquer cette zone.
- La bande centrale de couleur marron- jaune dans les 2 figures montre une "crête" ou "sommet de cote "qui s'est déplacée de l'ouest vers l'est.
- Ce même déplacement "d'onde " est nettement plus marquée dans la partie aval de l'aire d'étude où l'on voit la bande "verdâtre "changer complètement la forme (courbure) et venir ainsi rejoindre le sens de déplacement ouest-est.

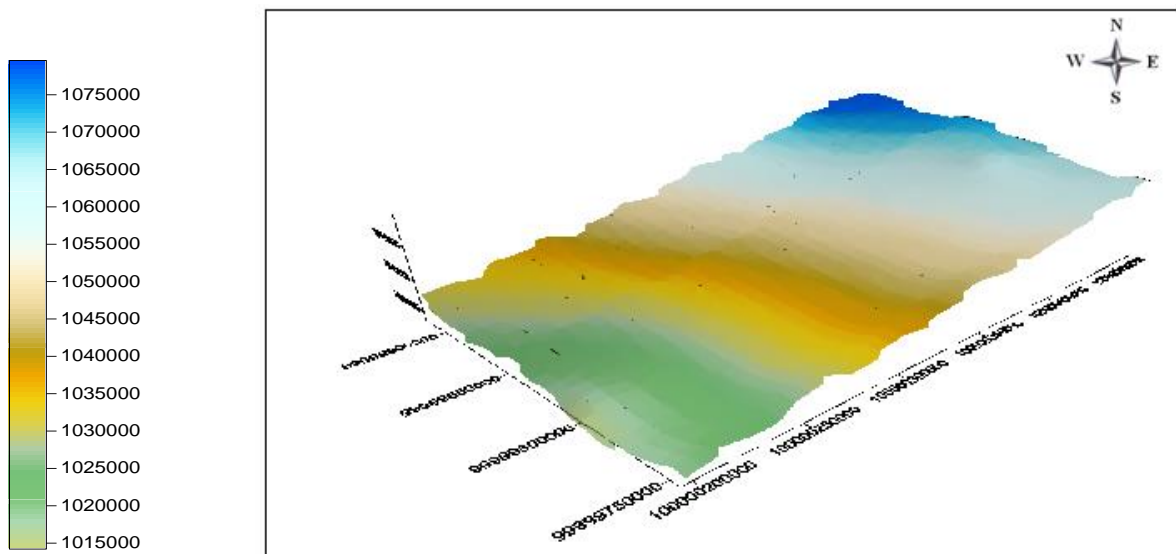


Fig.7.Représentation en trois démentions des données topographique de la zone active du glissement (T1). (N.Hamadou, 2011)

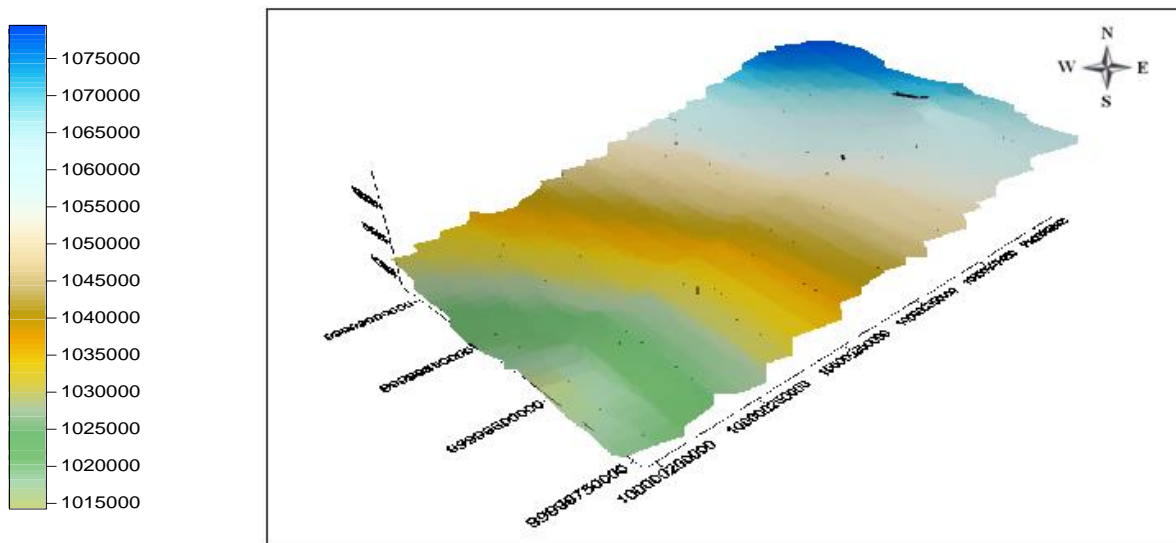


Fig.8.Représentation en trois démentions des données topographique de la zone active du glissement (T₂). (N.Hamadou, 2011)

- Le glissement objet d'étude qui définit par une formation argileuse et, une forte pente, présenter des caractéristiques très différentes et atteindre des dimensions très variables.
- Ce glissement se produit dans ces formations argileuses, suivi d'une succession de ruptures affecte le sommet de talus, (rétrogression) sur une distance atteindre 2.70 mètre durant une période bien déterminée, c'est-à-dire la vitesse mouvement de recul et de 2.6 cm/jour.

c. Détermination des paramètres d'évaluation de glissement de terrain

- Surface de glissement de terrain en question
- Surface active de glissement de terrain
- Vitesse de déplacement
- Surface de rupture et profondeur glissement de terrain
- Volume et poids de la masse qui tente a déplacée

5-Méthode de Crozier

▪ Définition

La méthode de Crozier est basée sur quatre paramètres morphométriques qui caractérise le glissement de terrain. Les indices morphométriques permettant de qualifier un glissement de terrain de fluide ou de visqueux voir (Tab..5).

Tableau. .5. Les paramètres de Crozier

Les indices		Les moyennes		
		Glissement liquide	Ecoulement visqueux	Ecoulement liquide
1	La dilatation	0.94	1.09	0.89
2	La ténuité	3.07	1.71	3.33
3	L'écoulement	16.01	5.39	12 .14
4	Le déplacement	56.89	29.28	59.06

- Donc la méthode de Crozier est basée sur deux principes :
 - Le glissement de terrain est actif ou partiellement active.
 - La longueur de glissement de terrain est de l'ordre 350 mètres.
- La méthode prend en compte uniquement les glissements dont la longueur est au moins égale à 350 mètres et présentant des indices matériels évidents d'activité.



Photo.5. Application de la méthode de Crozier sur le glissement (N.Hamadou, 2011)

A- Les paramètres morphométriques du glissement de terrain en question

- Longueur de glissement de terrain (L_g)
- Cote de la niche d'arrachement (C)
- Dénivellation (D)
- Pente moyenne
- Longueur de la masse déplacée (L_m)
- Largeur de la masse déplacée (W_x)
- Longueur de la surface de rupture (L_c)
- Largeur de la surface de rupture (W_c)
- Longueur de la surface apparente (L_r) situé dans la surface concave

B- Détermination des indices morphométriques

a-La dilatation (D) : Caractérises la forme de glissement, c'est un indice de description et de classification.

- C'est le quotient de la largeur déplacée par la largeur de la surface concave (rupture).

$$D = W_x / W_c$$

b- La ténuité ou allongement (T) : C'est le rapport entre la longueur de la masse déplacée et la longueur de la masse concave .

$$T = L_m / L_c$$

c-L'écoulement (Q) :Il dépend de la fluidité, mais également de la morphologie, notamment de la pente du glissement.

$$Q = \left| \frac{W_x}{W_c} - 1 \right| \times \frac{L_m}{L_c} \times 100$$

d- Le déplacement (P) : C'est le quotient entre la longueur de la rupture apparente et la longueur de la pente réelle *voir (Tab.8)*.

$$P = \frac{L_r}{L_c} \times 100$$

$L_r / L_c < 1$ cela traduit une stabilité du matériel en place et inversement si **L_r** se rapproche de **L_c** .

- Les problèmes de stabilité de pentes sont perçus différemment selon les caractéristiques géologiques, géomorphologiques et climatiques.
- Donc il est nécessaire d'identifier les caractéristiques physiques et mécaniques des sols, par une investigation géotechnique réalisée au niveau du site étudié. Dans le but de cerner les problèmes de stabilité du talus, coefficient de sécurité, degré de risque, et la vulnérabilité du site.

Bibliographie :

- HamadouN, (2011) *Risques liés aux mouvements de terrain dans le Tell Constantinois : Cas du glissement de Douar Souadek (Zighoud Youcef). mémoire de magister, université de Batna(Algérie)*
- Varnes, 1978 D.J. Varnes *Slope movement types and processes*
R.L. Schuster, R.J. Krizek (Eds.), *Special Report 176: Landslide: Analysis and Control, Transportation Research Board, National Academy of Sciences, Washington DC (1978).*
- Varnes, 1984 D.J. Varnes *Landslide hazard zonation: a review of principle and practice Nat. Hazards, 3, UNESCO Press, Paris (1984.)*