

Evaluation du risque glissement de terrain

I- Etude de la stabilité des talus

1- Introduction

Les glissements de terrain 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 cubes (loupe) à plusieurs millions de mètres cubes (versant entier).

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.

Les glissements de terrain constituent des phénomènes naturels. Leur manifestation résulte généralement de la combinaison de facteurs aggravants ou déclencheurs, notamment la présence d'érosion, l'inclinaison de la pente, les propriétés géologiques et géotechniques des sols, les conditions des eaux souterraines, etc. Les glissements surviennent majoritairement au période où la pression d'eau est critique pour la stabilité de talus. Leur distribution dans le temps est irrégulière et leurs fréquences peuvent être augmentées par des événements météorologiques extrêmes. Le calcul de la stabilité peut être réalisé dans deux cas : avant ou après déclenchement du glissement.

2- Méthode de calcul

Les méthodes par tranches sont les plus souples. Le talus est partagé en tranches verticales, l'étude de l'équilibre tranche par tranche permet de moduler les valeurs de σ et d'envisager des conditions plus complexes : profil de talus non rectiligne, hétérogénéité du sol, ligne de glissement quelconque (BENAISSA .A), 2003.

La méthode des tranches est une méthode suédoise due à Pettersson (1916), qui a subi plusieurs adaptations au fil des ans telles que son développement par Fellenius en 1927 pour les ruptures circulaires, par Bishop en 1954 et enfin elle a été étendue aux ruptures non circulaires par Nonveiller en 1965 (J. Costet et al, 1983).

❖ Méthode des tranches de Fellenius : (Suédoise)

Les méthodes par tranches sont les plus souples. Le talus est partagé en tranches verticales, l'étude de l'équilibre tranche par tranche permet de moduler les valeurs de σ et d'envisager des conditions plus complexes : profil de talus non rectiligne, hétérogénéité du sol, ligne de glissement quelconque (BENAISSA .A 2003).

Les valeurs des paramètres nécessaires à introduire dans le calcul sont en principe données par les études exécutées sur le site considéré : La géométrie de la surface du glissement, les caractéristiques géotechniquesetc.

- Poids volumique humide : γh (Kn/m³)
- La cohésion : C (KPa)
- L'angle de frottement : ϕ (°)

Afin de bien étudier l'instabilité d'un versant quelconque, il faut tracer un profil topographique orienté selon le grand axe (axe défavorable) voir figure. 1).

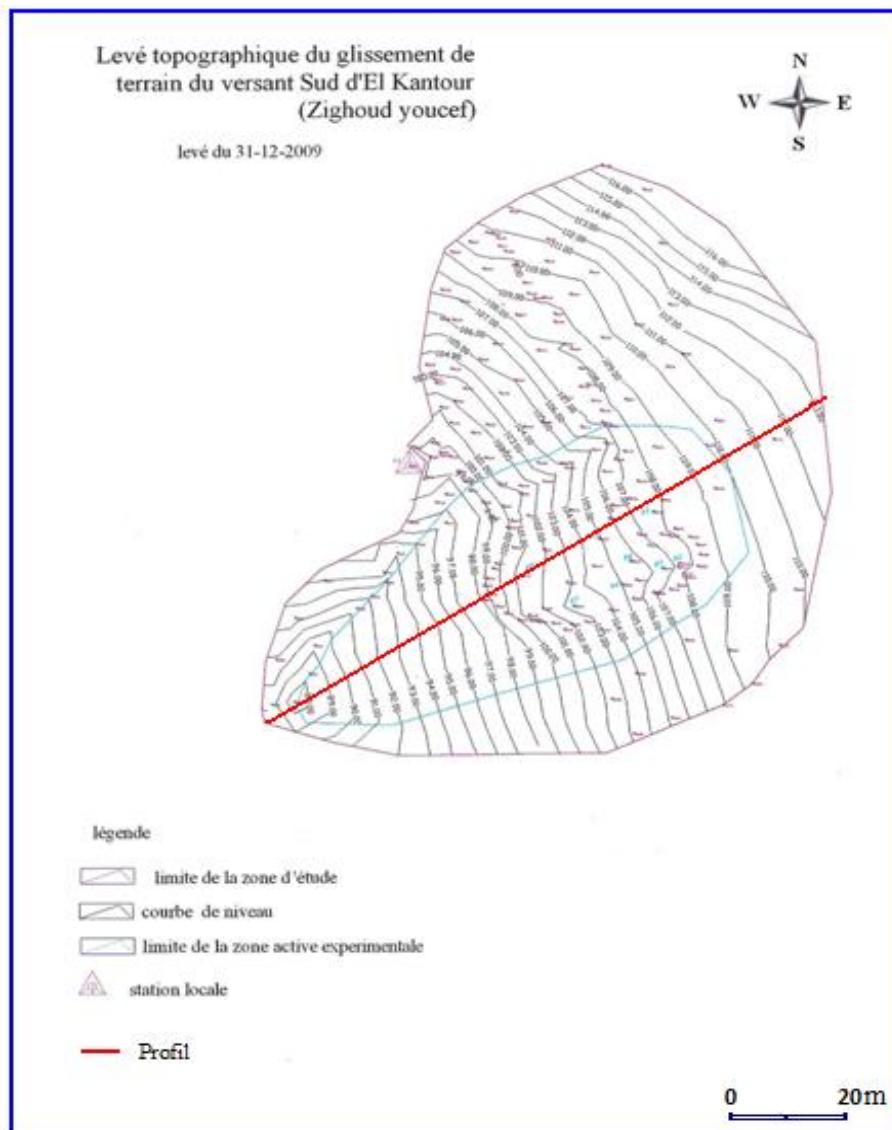


Figure. 1 : Implantation de Profil choisi pour le calcul de stabilité (N. Hamadou, 2011).

3- Les cercles calculés selon le grand axe du glissement sont joints dans la figure 2 ci-dessous :

D'après (G .Philliponnant et H.Bertrand ; 2003) : Il n'y a pas de méthode précise pour définir ce cercle, la méthode générale consiste à calculer le facteur de sécurité (f_s) pour un nombre suffisant des cercles. On général, il y'a beaucoup de possibilités :

- Pour un cercle donné, on peut faire varier le rayon de cercle.
- La possibilité du centre peut varier horizontalement et verticalement.
- Pour chaque centre de cercle, on porte le (f_s) calculé.

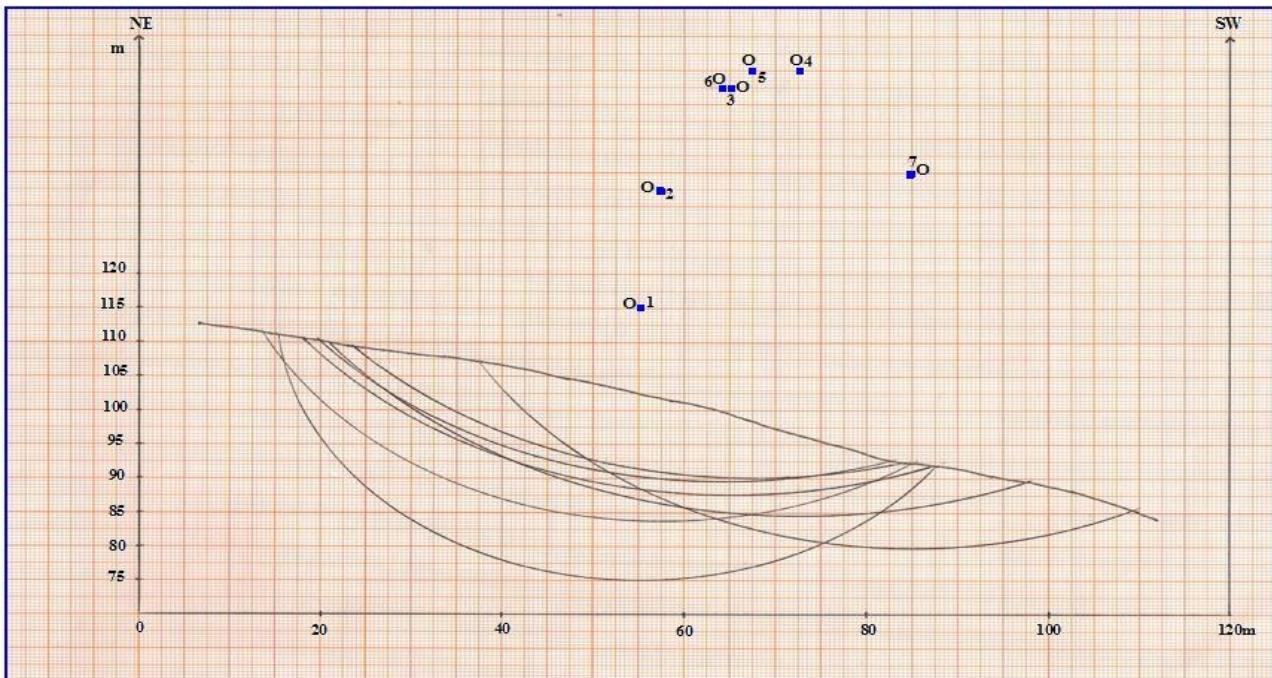


Figure.2.Présentation des cercles du glissement de terrain (N. Hamadou, 2011).

Par rapport au centre O du cercle de glissement, on définit :

- Le moment moteur, comme celui du poids des terres W , de l'eau interstitielle et des surcharges éventuelles, qui tend à provoquer le glissement.
 - Les moments résistants, comme ceux des réactions s'opposant globalement au glissement de la tranche : moment de R_n, H_n, H_{n+1}, V_n et V_{n+1} .

• **Le coefficient de sécurité est donné par le rapport**

$$F_s = \frac{\sum_{EF} \text{des moments résistants maximaux}}{\sum_{EF} \text{des moments moteurs}}$$

- **Moment moteur** : Celui du poids des terres, de l'eau interstitielle et des surcharges éventuelles tendant à provoquer le glissement.
 - **Moment résistant** : Celui des réactions s'opposant au glissement.

D'après Coulomb :

La somme des moments résistants pour toutes les tranches sera :

$$\sum_{n=1}^{n=m} R \cdot (c_i \cdot AB + N_n \cdot \tan \varphi_i) \dots \dots \dots \quad (2)$$

Avec : m : nombre total de tranches,

c_i et φ_i : caractéristiques mécaniques de la couche dans laquelle est situé AB.

L'expression du coefficient de sécurité F_s sera :

$$F_s = \frac{\sum_{n=1}^{n=m} (c_i \cdot AB + N_n \cdot \tan \varphi_i)}{\sum_{n=1}^{n=m} T_n} \dots \quad (3)$$

avec les notations définies sur la (Fig.3), la formule (3) peut s'écrire :

$$F_s = \frac{\sum_{n=1}^{n=m} \left(c_i \frac{b}{\cos \alpha} + W \cos \alpha \tan \varphi_i \right)}{\sum_{n=1}^{n=m} W \sin \alpha} \dots \quad (4)$$

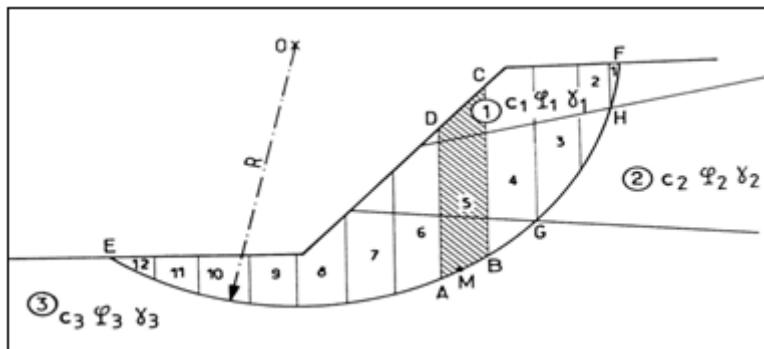
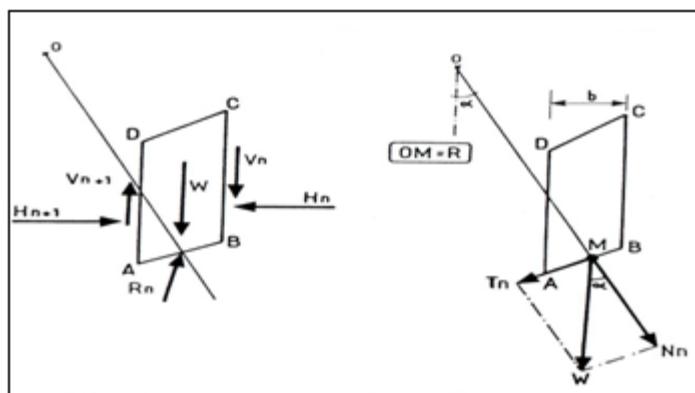


Fig. 3. Découpage en tranches d'un talus.

(B. Hubert et al, 2003)



a) Décomposition complète

b) Hypothèse de Fellenius

Fig. 4. Forces agissant sur la tranche n.

(B. Hubert et al, 2003)

- Cas de l'existence de la nappe (B. Hubert et al, 2003) :

$$F_S = \frac{\sum_{n=1}^{n=m} \left[c_i \frac{b}{\cos \alpha} + \left(W \cos \alpha - \frac{u \cdot b}{\cos \alpha} \right) \tan \varphi_i \right]}{\sum_{n=1}^{n=m} W \sin \alpha} \dots\dots (5)$$

Avec : $u = Z_w \cdot \gamma_w$

u : pression interstitielle,

Z_w : hauteur d'eau,

γ_w : poids volumique d'eau.

< Choix de la valeur du coefficient de sécurité dans le calcul de stabilité

Le coefficient de sécurité (f_s) défini par rapport au moment résistant par des essais successifs permet de déterminer le cercle le plus défavorable. (P. Habib, 1997).

- Les valeurs de FS en fonction de l'importance de l'ouvrage et des conditions particulières qui l'entourent sont résumées dans le (Tab. 2):

Tableau. 1. Valeurs de coefficient de sécurité FS données en fonction de l'importance de l'ouvrage.

Fs	Etat de l'ouvrage
< 1	danger
1.0 - 1.25	sécurité contestable
1.25 - 1.4	sécurité satisfaisante pour les ouvrages peu importants sécurité contestable pour les barrages, ou bien quand la rupture serait catastrophique
> 1.4	satisfaisante pour les barrages

4- Calcul par le logiciel (GEO-SLOPE)

❖ Définition

C'est un logiciel créé par la compagnie canadienne « MITRE SOFTWARE CORPORATION » et qui permet la détermination de la valeur minimale du coefficient de sécurité FS .

GEO-SLOPE exécute l'analyse de la stabilité des pentes naturelles à l'équilibre limite, des pentes artificielles non renforcées, ou pente avec de la terre renforcée .Le programme emploie la méthode ordinaire (fellenius), BISHOP, JANBU et Morgenstern-prince dits méthodes des tranches .Il permet d'appliquer l'une ou l'autre méthode à des surfaces circulaires, composées, et non circulaires.

- *Les données utilisées par ce logiciel de calcul sont*

a- **La géométrie du versant :** profil topographique, disposition géométrique de différentes couches constituant le terrain, une fois introduites, ces données constituent le schéma de base pour le calcul.

b- **Les caractéristiques géotechniques** des terrains constituant le versant (c , φ et γ).

c- **Les données hydrauliques :** concernant le régime hydraulique et le niveau piézométrique rencontré.

* Pour les pressions interstitielles, le paramètre **RU** et les surfaces piézométriques peuvent être utilisés seuls ou en combinaison.

Ru : coefficient de pression interstitielle ($Ru < 1$) La pression interstitielle peut trouver son origine voir (Photo.1) et (.2) :

- Dans une simple accumulation d'eau à l'arrière d'une structure imperméable.
- Dans une nappe aquifère qui filtre dans le terrain.
- Dans l'application brutale d'une surcharge ou l'effet d'un choc sur un milieu saturé (vibration séisme).

Par le simple jeu hydrostatique, une pression d'eau peut également s'établir dans une discontinuité du milieu (faille, joint de stratification, etc..) ou au contact de deux milieux imperméables . Par exemple à la base d'une couverture argileuse imperméable plaquée sur un substratum imperméable lui aussi.

L'eau qui s'infiltre dans cette discontinuité se met en charge, et agit comme un vérin (crique) pour décoller la couverture de son soubassement. La pression d'eau disparaît au moment du décollement, mais elle a suffi à déclencher la rupture. (Abdelkader Benaissa ; 2003)



Photo..1. Gabionnage au sommet du glissement de terrain. (N. Hamadou, 2011).



Photo.2 .Concentration des eaux de ruissellement vers le glissement (N. Hamadou, 2011).

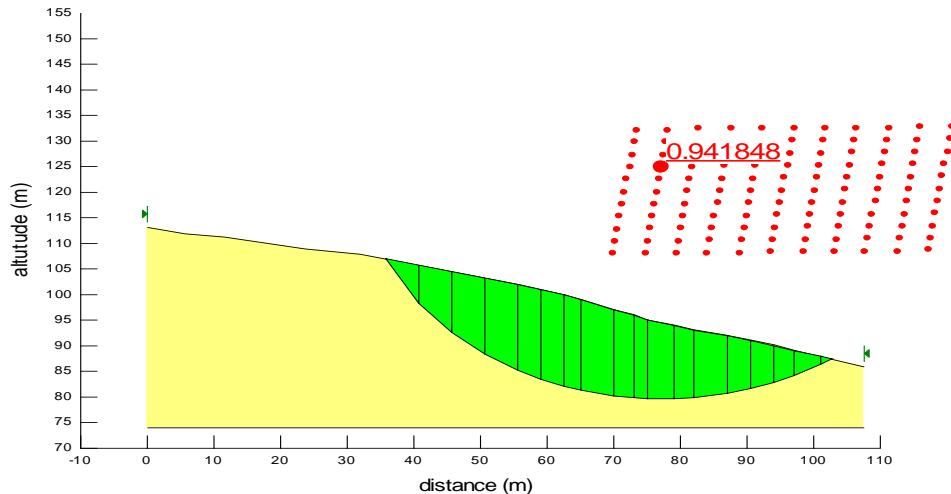


Fig. 5. Cercle critique(2) obtenu selon le profil 01 ($Ru = 0.35$) (N. Hamadou, 2011).

Tableau.1. Coefficients de sécurité obtenus par le logiciel Geo-Slope selon le Profil 01 (cercle :2) $Ru = 0.35$ (N. Hamadou, 2011).

<i>Coefficients de sécurité(F_s) selon (fellenius),</i>				
0.940	1.006	1.031	1.051	1.071
0.941	1.013	1.032	1.053	1.074
0.960	1.016	1.034	1.057	1.075
0.985	1.018	1.035	1.058	1.076
0.988	1.019	1.036	1.059	1.077
0.989	1.020	1.038	1.060	1.085
0.992	1.024	1.041	1.063	1.110
0.994	1.027	1.044	1.066	1.324
0.998	1.029	1.046	1.067	1.373
1.000	1.030	1.049	1.069	/

La combinaison de plusieurs facteurs est à l'origine du déclenchement des glissements de terrain tels que : la nature lithologique, la topographie, la pluviométrie et l'activité anthropique.

Le calcul de la stabilité par le logiciel Géo-Slope donne un très grand nombre de coefficients de sécurité, leurs valeurs minimales trouvées correspondant aux cercles critiques ont été données comme suit, voire tab.(1)d'après ordinaire (fellenius),

II- Evaluation et cartographie par SIG du risque glissement de terrain (la modélisation)

Le premiers SIG opérationnel est apparu dans les années 1960 au Canada et aux Etats Unis. Qui rassemble des informations relatives à l'usage du sol et des données concernant l'environnement sur grande partie de territoire canadien. Le logiciel a été développé pour ces besoins spécifiques.

Deux autres réalisations précoce méritent d'être mentionnée le new York Land use information système (1967) et le Minne Sota Land Management information système (1969). depuis cette époque les couts et les difficultés techniques ont considérablement diminué et de nombreux

logiciels commerciaux sont aujourd’hui disponibles offrant de bonnes performances à un prix raisonnable.

Plusieurs définitions ont été recommandées pour le terme SIG. De façon utile « un système d’informations géographiques (SIG) est un outil informatique permettant de représenter et d’analyser tous les objets géolocalisés ainsi que tous les événements qui s’y produisent.

Il représente l’outil idéal pour les chercheurs intéressés par la gestion de territoire grâce auquel il peut modéliser le monde réel, classer, observer des phénomènes et prévoir les changements futurs » ESRI 2007 (Environmental Systems Research Institute).

La cartographie du risque glissement de terrain, impose une conception et une bonne compréhension des différents paramètres géo- géomorphologiques, climatiques, hydrologiques et morphométriques.

Généralement une approche SIG est basée sur les données tels que, satellitaires, topographiques, géologiques ainsi sur des mesures et des observations effectuées sur le terrain(GPS). -données statistiques (carte pluviométrique ANRH

Ces données sont ensuite intégrées et analysées dans un environnement SIG pour le raccommodage et la cartographique des zones exposées aux risques.

Généralement les logiciels utilisés sont :

- Arc GIS 10.2.1.....10.7...
- GEO-SLOPE (2007)
- Easy Google Maps Downloader.
- Auto CAD.

❖ *L’organigramme(Fig.6) maintenu pour une approche SIG renferme trois étapes (N. Hamadou, 2019) :*

- **Phase de collecte des données** : cette phase consiste à déterminer les types ainsi que la fiabilité des données exigées pour notre étude.
- **Phase d’analyse cartographique et thématique** : Dans cette phase plusieurs analyses et traitements des données notamment les données cartographiques et thématiques doivent réaliser à l’aide d’un SIG.
- **Phase d’analyse spatiale et géotraitement** :

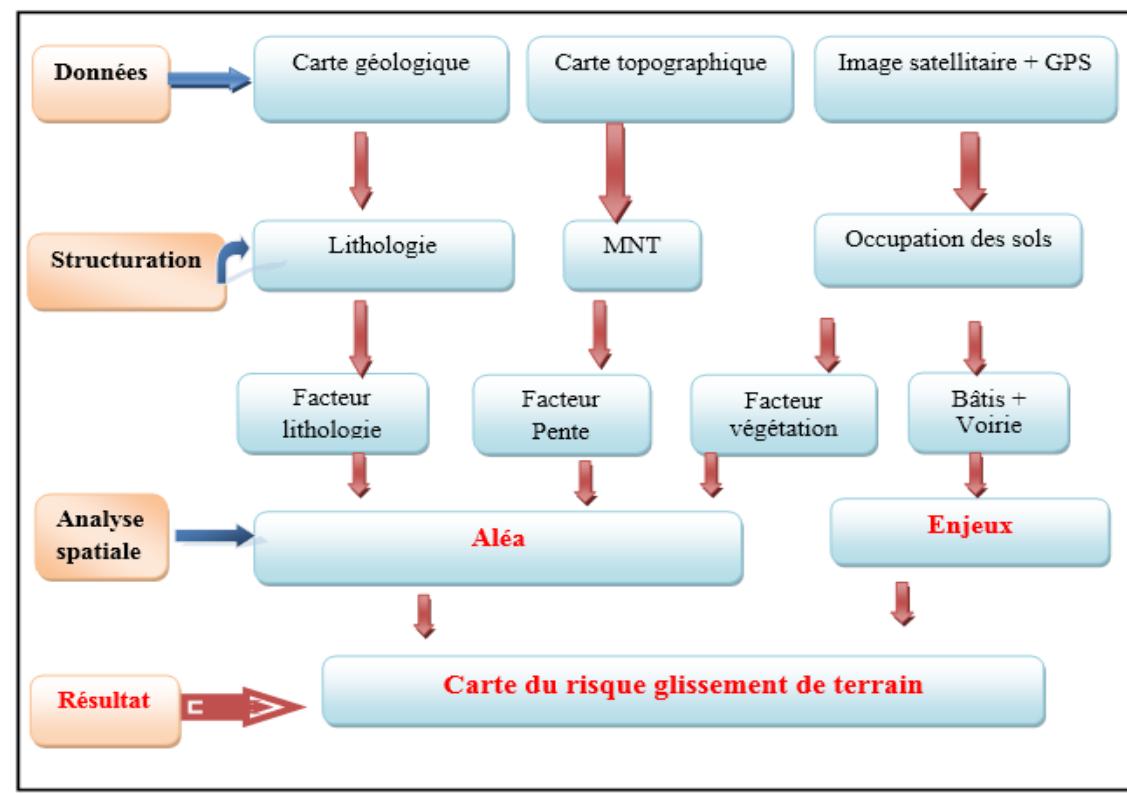


Fig.6.Organigramme SIG utilisé pour la cartographie de risque glissement de terrain

L'utilité de notre démarche réside et s'appuie sur l'apport des paramètres sous forme des données localisables par l'exploitation d'un SIG, permettant de spatialiser et caractériser le degré de vulnérabilité de l'érosion hydrique dans la zone étudie.

L'étude du risque glissement de terrain exige une bonne compréhension, morphologique, géologique, et hydrogéomorphologique pour définir les paramètres qui agissent sur la genèse de phénomène risque glissement de terrain. La réalisation d'un modèle cartographique à l'aide d'un SIG permet de localiser l'aléa ainsi les zones de forte vulnérabilité glissement de terrain.

La cartographie des risques naturels notamment le risque glissement de terrain est devenu aujourd'hui un outil fondamental dans le domaine de planification urbaine. Donc il est nécessaire d'établir des cartes de vulnérabilité permettant de prendre ces risques en considération lors de toute extension urbaine.

Généralement, l'application des systèmes d'informations géographiques, nous permis de mettre en évidence les zones les plus exposées aux risques glissement de terrain : faible, moyenne, forte et très forte.

III- Technique de protection

Quand l'on est conforté à des enjeux importants, il est notamment nécessaire de s'assurer de l'efficacité des travaux à réaliser. Un des moyens pour y parvenir est la bonne connaissance des terrains à stabiliser, surtout lorsqu'il y a un risque à degrés important.

- **Exemples de techniques de drainage**

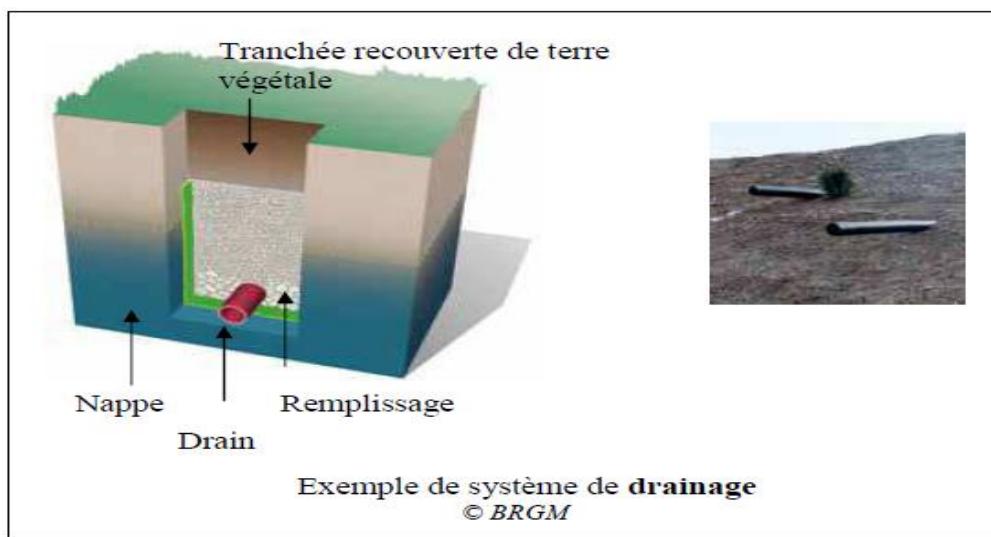
- Collecteurs à ciel ouvert
- Les collecteurs fermés
- Elimination des infiltrations superficielles issues de la pluie et du ruissellement sauvage :

- Captage des filtrations profondes – drainage profond
- Reprofilage (Talutage)
- Butée du pied
- Le reboisement
- Elimination de surcharge :

❖ **Selon (BRGM), Si l'étude conclut à la faisabilité de parades, celles-ci seront de type :**

- collecte des eaux en amont du projet,
- drainage profond (galerie, drains, etc...) ou superficiel,
- traitement et armement profond du sous-sol (renforcement de structures, fondations profondes...) pour les zones soumises à un aléa important où les mouvements peuvent être d'ampleur significative,
- mouvements de terre, butée, fondations adaptées, clouages etc. pour les zones soumises à un aléa faible où les mouvements sont d'ampleur limitée.
- terrassement.

Quelques exemples :



Bibliographie

- A Benaissa. Université de Constantine, 2003.. *Etude de la stabilisation chimique des sols gonflants de la région d'Oran. A Hachichi, A Benaissa, ...*
- BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières), service géologique national français,
- B. Hubertet G. Philipponnat, (2003). « Fondations et ouvrages en terre ». Ed. Eyrolles. Paris.
- Fellenius W. *Erdstatische Berechnungen mit Reibung und Kohäsion*, Ernst, Berlin, 1927
- Habib, P., (1997). *Génie Géotechnique - Applications de la mécanique des sols et des roches*. Ed. Ellipses AUPELF/UREF. Paris, 222 p.
- Jean Costet,... Guy Sanglerat,. :*Cours pratique de mécanique des sols Tome 2, Calcul des ouvrages /3 édition / Paris : Dunod , 1983*
- N. Hamadou, (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)
- N. Hamadou, (2019) : *Évaluation de l'érosion hydrique dans les bassins des oueds de Kissir et Lagrème : Approche systémique, Nord-est algérien, thèse de doctorat en science, UNV : de Constantine.*