

N° d'ordre :

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
جامعة وهران 2 محمد بن احمد  
Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed



## Mémoire

Présenté pour l'obtention du diplôme de Master Académique en  
Géologie

**Option: Risque Naturel, Risque Géologique Et Gestion**

## Thème

**CARTOGRAPHIE DE LA SUSCEPTIBILITE AUX  
GLISSEMENTS DE TERRAIN DU VERSANT NORD  
DE TESSALA (TAFRAOUI) PAR L'APPROCHE  
GEOSTATISTIQUE**

Par: - BENAOUA ISMAIL ALI  
- MALKI MOHAMED HACHEM

Soutenu publiquement le 30 Mai 2018, devant le jury composé de :

- |                 |            |                     |              |
|-----------------|------------|---------------------|--------------|
| - Mr.Mansour.H  | Professeur | Université d'Oran 2 | Président    |
| - Mr. Nadji.    | Professeur | Université d'Oran 2 | Encadreur    |
| - Mr.Mahammed.D | MCA        | Université d'Oran 2 | Examineur    |
| - Mr. Roukh.Z   | Doctorant  | Université d'Oran 2 | Co-encadreur |

Promotion: 2017/2018

## **Au nom d'Allah le clément le miséricordieux**

### **Remerciement**

En préambule à ce mémoire nous remerciant ALLAH qui nous aide et nous donne la patience et le courage durant ces longues années d'étude.

Nous souhaitant adresser nos remerciements les plus sincères aux personnes qui nous ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire ainsi qu'à la réussite de cette formidable année universitaire.

Ces remerciements vont tout d'abord au corps professoral et administratif de la Faculté des Sciences de la Terre et de l'Univers Département des Sciences de la terre , pour la richesse et la qualité de leur enseignement et qui déploient de grands efforts pour assurer à leurs étudiants une formation actualisée.

Nous tenant à remercier sincèrement Monsieur, (prof : Nadji) et (docteur : Roukh.Z.AB ), qui, en tant que Directeurs de mémoire, se sont toujours montrés à l'écoute et très disponible tout au long de la réalisation de ce mémoire, ainsi pour l'inspiration, l'aide et le temps qu'ils ont bien voulu nous consacrer et sans qui ce mémoire n'aurait jamais vu le jour.

On n'oublie pas nos parents pour leur contribution, leur soutien et leur patience.

Enfin, nous adressons nos plus sincères remerciements à tous nos proches et amis, qui nous ont toujours encouragés au cours de la réalisation de ce mémoire. Merci à tous et à toutes.

## Dédicace

Je dédie ce travail :

A celle qui m'a donné la vie et que ma vie n'est rien sans elle, À ma tendre mère, qui m'a soutenu d'amour et de bonheur ; Tout ce que je suis, je le doit à elle.

A mon père l'homme le plus affectueux celui qui a tout donné pour que je puisse arrivé à mon but qu'il ; trouve ici mes Remerciements les plus sincères.

Que Dieu me les Protège.

Et à mes adorables frères et sœurs.

À mes autres tendres Tantes et oncles. A mon binôme.  
A tous mes autres amis.

## **Table de Matière :**

### **Introduction générale.....**

### **CHAPITRE 01 : Généralités sur les glissements de terrains.**

I - Mouvements de terrain .....	01
II -- Glissements de terrain.....	01
II.1- Classification de glissement de terrain .....	04
II.2- les principaux types de glissement de terrain.....	11
II.3- Dynamique de glissement de terrain .....	13
III - Les facteurs d'instabilité.....	14
IV - Les cumules de catastrophes naturelles dans l'Europe.....	15
V - Risque de glissement en Algérie .....	18
VI – Conclusion.....	19

### **CHAPITRE 02 : Présentation de la zone d'étude Présentation de la zone d'étude**

I - Présentation de la zone d'étude.....	20
I.1- Situation géographique.....	21
I.2- Voies d'accès dans la zone.....	22
II- La morphologie .....	22
- L'altitude de la commune de Tafraoui (versant Nord de Tessala).....	23
III. La Pente .....	24
III .1- Direction de la pente .....	25
IV. La Lithologie .....	26
V. Occupation du sol .....	29
VI. La sismicité de la commune de Tafraoui.....	30
VII. L'activité morphogénique .....	31
VIII les mouvements de masse .....	31
IX. La Pluviométrie .....	32
X. aperçu sur le milieu physique .....	33
XI. Hydrographie et point d'eau .....	35
Conclusion.....	39

## **CHAPITRE 03 : Méthode d'évaluation d'aléa L'aléa et la vulnérabilité :**

I.1- Aléa.....	40
I.2- Les composantes de l'aléa.....	40
I.3- Vulnérabilité.....	40
I.4- Les enjeux .....	41
II- Alea et carte de risque de glissement.....	41
III - Méthodologie générale.....	41
IV - Les plus importantes méthodes proposées dans la littérature peuvent se regrouper en quelques catégories principales (CARRARA et al 1992 ; VAN WESTEN 1993 ; CARRARA et al1995 ; HUTCHINSON 1995).....	44
V - Les deux objectifs principaux assignés à la carte d'aléa.....	46
VI- Cartes d'inventaire .....	47
VII- Les Méthodes de calculs .....	48
VII.1- Facteurs de prédisposition.....	48
VII.2- Facteurs de déclenchement.....	48
VII.3- L'intensité.....	49
VIII- La notion d'aléa de référence.....	49
IX- Les Approches .....	49
IX.1- Approche par expertise.....	49
IX.2- Approche statistique des événements historiques.....	49
IX.3- Approche déterministe.....	48
x- Notre méthode : les analyses statistiques bivariées sont considérées comme des approches plus objectives que les méthodes qualitatives.....	50
X.1- Analyses bivariées .....	50
X.2- Ratio de Fréquence .....	51
X.3- Valeur informative .....	52
XI: L'organigramme de travail.....	54
XI- PRESENTATIONGENERAL DE L'OUTIL DETRAVAIL ArcGIS .....	55

## **CHAPITRE 04 : Elaboration de la cartographie INVENTAIRE ET COLLECT DE DONNER**

I. EVALUATION DE SUSCEPTIBILITE PAR LES METHODES STATISTIQUES.....	57
II. La Cartographier.....	59
III - Méthodes d'évaluation de la qualité des résultats.....	61
III.1- la courbe ROC (Receiver Operating Characteristic).....	61

III.1.1- la taille relative des classes.....	61
III .1.2- l'évaluation experte.....	61
IV : La Courbe ROC et le Calcule de AUC.....	62
V - – RECOMMANDATION.....	63
V.1- Technique et moyens de confortement.....	63
V.2- Les différentes techniques de confortements.....	63
V.2.1La modification géométrique .....	63
A- Le reprofilage.....	63
B- Le déchargement en tête.....	63
C- Le chargement en pied.....	64
D- La substitution.....	64
E- Le drainage.....	64
F- La végétation.....	65
V.2.2- Les éléments résistants.....	66
Les ouvrages de soutènement.....	66
A.1- Les murs de soutènements.....	66
A.2- Les rideaux de palplanches.....	66
A.3- La terre armée.....	67
B- Les tirants d'encrage.....	67
C- Le clouage.....	68
D- Les géotextiles.....	69
– Conclusion.....	70
– Bibliographier.....	71

## Liste des Figures :

<b>Fig.01</b> : Eléments descriptifs d'un glissement de terrain.....	02
<b>Fig.02</b> : classification des mouvements de terrain en fonction du type de mouvement et de type du matériel déplacé (d'après Varnes, 1978, simplifié).....	07
<b>Fig.03</b> : glissements circulaires ou rotationnels. ....	09
<b>Fig.04</b> : glissement plan -glissement rotationnel.....	09
<b>Fig.05</b> : les principaux détails et unités d'un glissement de terrain rotationnel (a) et translationnel (b) (D'après Varnes, 1978) .....	10
<b>Fig.06</b> : les principaux types de glissement de terrain.....	11
<b>Fig.07</b> : Dynamique du glissement de terrain.....	13
<b>Fig.08</b> : Nombre d'évènements et de victimes dans l'Europe pour la période 2001-2015.....	15
<b>Fig.09</b> : Nombre d'évènements et de victimes dans l'Europe par origine d'aléa entre 2001 et 2015.....	16
<b>Fig.10</b> : Nombre d'évènements et de victimes dans l'Europe par aléa entre 2001 et 2015.....	16
<b>Fig.11</b> : carte de classement risque-pays dédié ou aux risque naturels .....	17
<b>Fig.12</b> : Evènements dommageables d'origine naturelle enregistrés dans le monde entre 2001 Et 2015 par type d'aléa.....	17
<b>Fig.13</b> : Situation géographique de la commune de Tafraoui(versant Nord de Tessala).....	21
<b>Fig.14</b> : la morphologie de la commune de Tafraoui(versant Nord de Tessala).....	22
<b>Fig.15</b> : L'altitude de la commune de Tafraoui (versant Nord de Tessala).....	23
<b>Fig.16</b> : La Pente de la commune de Tafraoui(versant Nord de Tessala). ....	24
<b>Fig.17</b> : La direction de la pente de la commune de Tafraoui(versant Nord de Tessala).....	25
<b>Fig.18</b> : la Lithologie de la commune de Tafraoui(versant Nord de Tessala).....	26
<b>Fig.19</b> : Occupation du sol de la commune de Tafraoui(versant Nord de Tessala).....	29
<b>Fig.20</b> : la distance par rapport à la faille (m) de la commune de Tafraoui (versant Nord de Tessala).....	30
<b>Fig.21</b> : La Pluviométrie de la commune de Tafraoui(versant Nord de Tessala).....	32
<b>Fig.22</b> : Glissements sur la région Tafraoui (versant Nord de Tessala).....	38
<b>Fig.23</b> : Interaction et orientation des locaux.....	39
<b>Fig.24</b> : le risque.....	41
<b>Fig.25</b> : Schéma d'indexation des paramètres.....	42
<b>Fig.26</b> : Schéma de la méthode de la cartographie des risques naturels (d'après Fares, 1994).....	45

<b>Fig.27</b> : Diagramme décrivant la démarche des PPRG, incluant la carte des aléas et le carte informative qui la précède (carte de constat) (d'après un document du ministère français de l'environnement et de l'aménagement du territoire)(P .ANTOINE ET al.2000).....	46
<b>Fig.28</b> : procédure scientifique, technique et administrative d'établissement d'un PER (France) mouvement de terrain (J.C.FLAGEOLLET,1989).....	48
<b>Fig.29</b> : Classification des principales approches d'évaluation de l'aléa « glissement de terrain» (Tiré de Aleotti et Chowdhury, 1999) .....	51
<b>Fig.30</b> : Approche et méthode utilisée pour évaluer la carte de susceptibilité aux glissements de terrain.....	53
<b>Fig.31</b> : Schéma synthèse de la méthodologie du travail.....	54
<b>Fig.32</b> : Carte d'inventaire de glissements de terrain localisé (Plus de 120).....	55
<b>Fig.33</b> : LE PRINCIPE D'UN SIG APPLIQUÉ À L'ÉVALUATION DES RISQUES ET À LA PRODUCTION DE CARTES DE RISQUES.....	56
<b>Fig.34</b> : La carte de susceptibilité de glissements de terrain basée sur la valeur informative .....	59
<b>Fig.35</b> : La carte de susceptibilité de glissements de terrain basée sur le ratio de fréquence.....	60
<b>Fig. 36</b> : La Courbe de ROC de VALIDATION de deux Modèle (Valeur Informative et Le Ratio de fréquence) .....	62
<b>Fig.37</b> : Les différents procédés de modification géométrique.....	63
<b>Fig.38</b> : chargement au pied d'un talus.....	64
<b>Fig.39</b> : drains subhorizontaux.....	65
<b>Fig.40</b> : l'implantation des plantes dans un talus.....	65
<b>Fig.41</b> : Mur de soutènement.....	66
<b>Fig.42</b> : Paroi de palplanche.....	67
<b>Fig.43</b> : Schéma de principe d'un tirant d'ancrage injecté.....	68
<b>Fig.44</b> : Un versant stabilisé par clouage.....	68
<b>Fig.45</b> : Le renforcement du talus en utilisant du géotextile.....	69



## Liste des tableaux :

<b>Tab.01</b> : classification des mouvements de terrain, k, TERZAGHI (1925).....	05
<b>Tab.02</b> : classification des mouvements de terrain, J. MOUGIN (1973).....	06
<b>Tab.03</b> : types de glissements de terrain, version abrégée de la classification de Varnes du mouvement de la pente (Varnes, 1978).....	08
<b>Tab.04</b> : Types de Glissements, version abrégée de la classification de mouvement de pentes, Varnes, (1978).....	08
<b>Tab.05</b> : les 20 pays ayant eu le plus de victime entre 2001-2015.....	18
<b>Tab.06</b> : Risque de glissement en Algérie .....	19
<b>Tab.07</b> : tableau de degré de susceptibilité par expertise.....	28
<b>Tab.08</b> : Précipitation Oran Es Senia entre 1997 et 2008.....	33
<b>Tab. 09</b> : Températures moyennes entre 1997 et 2008 Oran Es Senia .....	34
<b>Tab.10</b> : les coefficients du Valeur informative et ratio de fréquence pour chaque facteur...57	
<b>Tab.11</b> : Les valeurs maximales qui représentent la grande susceptibilité aux glissements...58	



# Introduction générale :

Les problèmes de stabilité des pentes sont très fréquents, dans le monde. Certaines pentes naturelles peuvent devenir instables et engendrent ces problèmes qui peuvent être catastrophiques, provoquant des pertes en vies humaines ainsi que des dégâts matériels considérables.

Les mouvements de terrains sont les manifestations du déplacement gravitaire de masses de terrains ou de roches déstabilisées, sous l'effet de facteurs naturels (érosion, pesanteur, séisme.) ou anthropiques (ouverture de fouilles, modification du régime des eaux, déboisement, terrassement ...). Ils provoquent des dommages importants aux ouvrages et aux constructions, car ces travaux peuvent rompre l'équilibre naturel du site, de ce fait, ils ont, aussi, un impact économique extrêmement sensible.

Le risque est le produit de l'aléa et de l'enjeu. L'aléa est la possibilité qu'un événement géologique se passe à tel endroit et durant telle période. L'enjeu peut être humain ou économique (ensemble des personnes et des biens susceptibles d'être affectés par un phénomène naturel). Il n'y a pas de risque s'il n'y a pas d'enjeu.

Il y a divers types de risques et d'aléas. L'aléa naturel, comme les mouvements de terrain. On parle également d'aléa technologique.

L'action de l'homme, l'activité anthropique, est un facteur aggravant par rapport aux aléas naturels. Par exemple, on parle de facteurs de prédisposition. Pour les mouvements de terrain, ça va être la nature des sols géologiques, la pente qu'on observe à cet endroit-là. L'action de l'homme aggravante sera par exemple la déforestation.

Pour faire de la prévention, on doit connaître les phénomènes. La connaissance de ces phénomènes géologiques consiste à l'étude, à la réalisation d'inventaires, à la surveillance. Ainsi, on va pouvoir réaliser des cartes d'aléas ».<sup>1</sup>

Parmi les risques naturels, on va étudier la *susceptibilité* aux *glissements de terrain*, dans une zone du bassin versant, situé au nord du Tessala.

La cartographie de la susceptibilité se réalise par des calculs mathématiques de la probabilité – ratio de fréquence, valeur informative, régression logistique.

Et, la comparaison entre ces méthodes, pour obtenir la plus précise qui nous permet d'identifier le glissement de terrain.

Après les résultats obtenus, à partir des calculs, on a délimité les zones exposées aux glissements de terrain, pour les éviter dans l'urbanisation et dans tous les travaux d'aménagements.

---

<sup>1</sup>La gestion des risques naturels - à l'occasion de l'exposition La Terre et nous à la Cité des sciences et de l'industrie,

### Résumé :

Les glissements de terrain sont des phénomènes très dangereux qui dépendent de plusieurs paramètres et critères. Très répandu à la Wilaya d'Oran ce phénomène peut engendrer beaucoup de dommages sur la commune de Tafraoui dans le bassin versant nord Tessala..

La description des mouvements de versant, se base sur une classification des mouvements de versant. La classification n'est pas un but en soi, mais elle donne un cadre qui propose d'examiner tous les éléments importants qui permettent de caractériser et qualifier les instabilités en termes de mécanisme de rupture, d'état d'activité jusqu'à la propagation ou le fluage après rupture.

Ce travail a pour objectif de réaliser une étude géostatistique du phénomène.

À cette fin, on a débuté notre étude par des généralités sur les glissements des terrains puis une analyse de la stabilité par les méthodes statistique bivariée – ration de fréquence et valeur informative ; pour établir une cartographie (Cartographie de la susceptibilité aux glissements de terrain), pour la région afin d'être utilisée comme document de base joint au plan directeur d'aménagement et au plan d'occupation des sols pour éviter les erreurs d'appréciations.

Le travail consiste à :

- Inventorier tous les sites de la région touchée par Ce phénomène.
- Mettre au point les facteurs déterminants selon la compilation des données.
- Cartographier les zones exposées au glissement et leur degré de susceptibilité d'après les analyses géostatistiques et les courbes obtenus.

### Abstract:

Landslides are very dangerous phenomena that depend on Several parameters and criteria. Very widespread in the State of Oran this phenomenon can cause a lot of damage on the municipality of Tafraoui in the Tessala northern basin ..

The description of slope movements is based on a classification of slope movements. Classification is not a goal in itself, but it provides a framework that proposes to examine all the important elements that characterize and qualify instabilities in terms of mechanism of rupture, state of activity up to propagation or creep after rupture.

This work aims to make a geostatistical study of the phenomenon.

To this end, we began our study with generalities on landslides then a stability analysis by bivariate statistical methods - frequency ration and informative value; to map (Mapping susceptibility to landslides), for the region to be used as a basic document attached to the management master plan and the land use plan to avoid errors of assessment.

The work consists of:

- Inventory all sites in the area affected by this phenomenon.
- Develop the determinants according to the data compilation.
- Map areas exposed to landslide and their degree of susceptibility according to geostatistical analyzes and curves obtained.

# **CHAPITRE 01 : GENERALITE SUR LES GLISSEMENTS DE TERRAIN.**

## **I-Mouvements de terrain :**

Les mouvements de pente regroupent tous les processus de transport en bloc, un volume plus au moins grand de matériaux d'un versant <sup>1</sup>. Selon la vitesse du mouvement, ils se répartissent en deux familles :

- Les déformations lentes, reptation et fauchage ;
- Les mouvements de terrain.

La reptation est un déplacement lent et continu de l'ensemble du matériau, résultant d'une infinité de très petits mouvements de particules les unes par rapport aux autres <sup>2</sup>.

La caractéristique essentielle de la reptation est l'absence d'une limite nette entre zone mobile et zone stable.

Le fauchage désigne une évolution lente des têtes de couches qui s'incurvent peu à peu vers le bas sous l'effet de la gravité <sup>3</sup>. Il est très fréquent sur les versants où la stratification ou la schistosité sont proches de la verticale.

Les mouvements de terrain impliquent une rupture et un déplacement simultané des matériaux <sup>4</sup>. Ils sont divisés en quatre catégories ; définies par Colas et Pilot en 1976 et repris d'une manière universelle.

- Les chutes ;
- Les glissements de terrain ;
- Les coulées ;
- Le fluage et les solifluxions.

La distinction entre ces différentes classes se fait généralement selon l'agent de déplacement, la nature du matériau et la surface de rupture.

## **II --Glissements de terrain :**

« Compte tenu de la grande diversité des phénomènes de mouvements terrain, de nombreuses classifications existent à ce jour. Elles ont longtemps été fondées sur des critères morphologiques simples, selon une approche naturaliste, mais s'appliquaient le plus souvent à une région et à un type de milieu donnés (Heim, 1882 ; Howe, 1909 ; Reimolds, 1932 et Popov, 1945).

Plus récemment, ces classifications se sont étendues, en essayant de considérer un plus grand nombre de phénomènes et ce indépendamment du contexte régional. Elles reposent pour l'essentiel sur des

---

<sup>1</sup>COQUE R. (1977) - Géomorphologie. Ed. Armand Colin, coll. U Géographie, Paris, 503 p

<sup>2</sup>CAMPY M., MACAIRE J.J. (1989) - Géologie des formations superficielles. Géodynamique Faciès-Utilisation. Ed. Masson, Paris, 433 p .

<sup>3</sup>P. ANTOINE et D. FABRE, 1980

<sup>4</sup>Flageollet J.C. (1989). Les mouvements de terrain et leur prévention. Paris, Ed. Masson, Coll. Géographier, 244 p.,

critères, soit morphologiques et géométriques (Carson & Kirkby, 1972 ; Crozier 1973 in Flageollet, 1989 ; Varnes, 1978 : Hutchinson, 1988), soit géotechniques (Hutchinson, 1978 et Sass 1985), soit cinématiques ou dynamiques (Millié-Lacroix, 1981 Syneys, 1984 et Rizzo, 1988), soit d'une combinaison de plusieurs d'entre eux (Antoine & Giraud, 1994).

Dans un souci d'exhaustivité et de simplicité, la classification repose sur une distinction principale d'ordre dynamique, tout en conservant quelques-uns des critères précédents. Elle permet de regrouper l'ensemble de ces phénomènes en deux groupes principaux : les mouvements lents et continus et ceux rapides et discontinus »<sup>5</sup>.

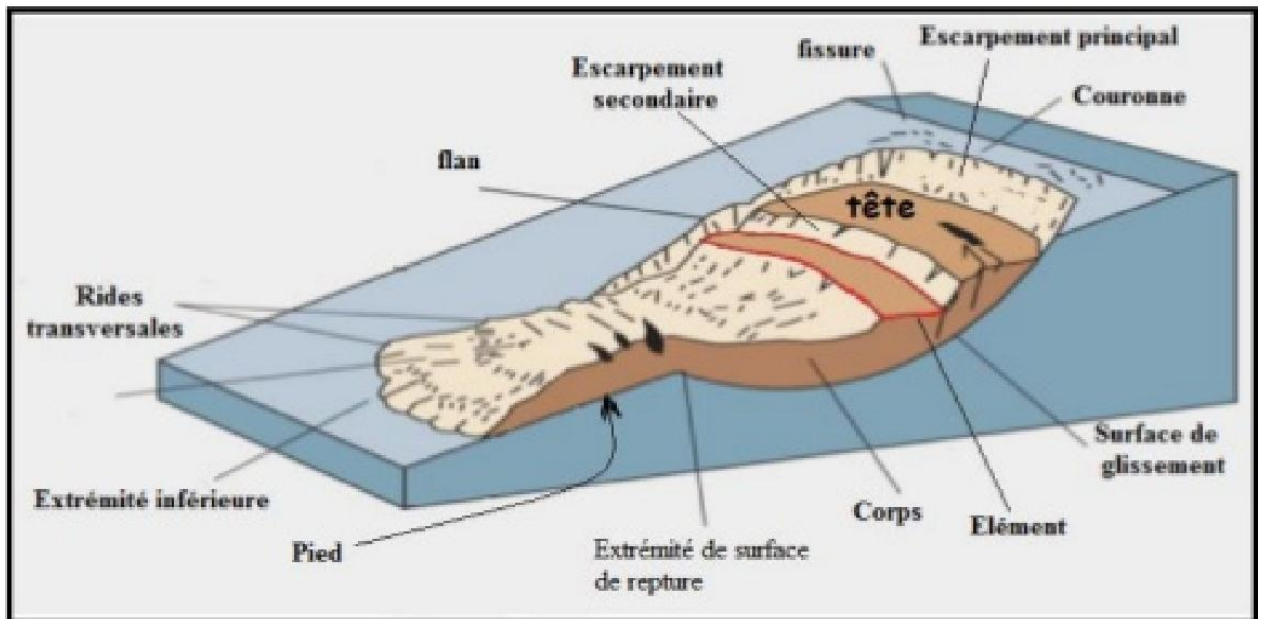


Fig.01 : Eléments descriptifs d'un glissement de terrain.<sup>6</sup>

- **Un escarpement principal** : surface inclinée ou verticale, souvent concave limitant le glissement à son extrémité supérieure et prolongée en profondeur par la surface de glissement.
- **Le couronne** : zone située au-dessus de l'escarpement principale souvent peu affectée par le désordre. Seules quelques fissures ou crevasses témoignent de la mise en traction des terrains dans ces zones.
- **La tête** : c'est la limite amont du glissement et plus précisément partie où le matériau

glissé se trouve en contact avec l'escarpement principale.

- **Un escarpement secondaire** : circulaire semblable à l'escarpement principal, mais visible dans la masse remaniée. Ces escarpements confèrent à la masse en mouvement une structure en escalier.
- **L'élément** : fraction de la masse glissée entre deux escarpements.
- **Le flanc** : limite latérale du glissement prolongeant l'escarpement principale.
- **Le pied** : correspond à l'intersection aval de la surface topographique initiale. Le pied est souvent masqué par le bourrelet.
- **L'extrémité inférieure** : zone aval du mouvement du terrain ou extrémité du bourrelet.

<sup>5</sup> Frédéric L. Concept de vulnérabilité appliquée à l'évaluation des risques générés par les phénomènes de mouvements de terrain. Environnement et Société. Université de Grenoble, 1996. Français

<sup>6</sup> Bouamra, O. (2004) : contribution à l'analyse de stabilité des terrains marneux en pente de la région d'Alger par plaxis.mem., Master.univ., DJILALI BOUNAAMA DE KHEMIS MILIANA

- **Rides transversales** : elles se forment dans le bourrelet du mouvement du terrain. Témoins d'effort de compression pouvant aboutir à chevauchements dans le matériau.
- **La surface de glissement ou de rupture** : c'est une surface qui sépare la masse glissée des terrains en place.
- **Le corps** : partie centrale du glissement recouvrant la surface de rupture.

**Dans la description d'un glissement de terrain, A. MILLIES LACROIX, en 1981, a distingué trois secteurs :**

- Le secteur amont, zone de départ ou d'arrachement.
- Le secteur central ou corps de glissement en forme de dépression.
- Le secteur aval qui présente parfois deux parties : Le pied généralement soulevé en un bourrelet ; le front constitue la langue qui progresse vers l'aval sur la pente qu'elle recouvre sous forme de coulée boueuse.

**En fonction de la géométrie de la surface de rupture, on distingue :**

- **Les glissements plans** : Mouvement au long d'une surface de rupture sensiblement plane pouvant être un joint stratigraphique, un plan de faille, une surface de schistosité ou de foliation, une interface entre formation de pente.
- **Les glissements circulaires ou rotationnels** : Surface de glissement plus ou moins circulaire ; mouvement caractérisé en général par l'existence d'une zone de départ nette et par un bourrelet frontal plus ou moins marqué. Ils se produisent en particulier en terrains assez homogènes, à dominante argileuse ou marneuse.
- **Les glissements quelconques, composite ou complexes** : Le mouvement est très semblable au précédent dans son allure externe, mais la (ou les) surface (s) de rupture est (sont) de forme générale convexe et passe (nt) au travers de différents niveaux de faiblesse du massif.

## **II.1- Classification de glissement de terrain**

### **2.1. Classification de K. TERZAGHI (1925) :**

K. TERZAGHI (1925) fait intervenir la mécanique des sols pour le classement des mouvements de terrains. Il distingue d'une part les mouvements se produisant à sec, et d'autre part, les mouvements impliquant des formations plastiques<sup>7</sup>.

### **2.2. Classification de J. MOUGIN (1973):**

« J.P. MOUGIN (1973) intègre l'existence et la forme de la surface de rupture, il s'est basé sur quelques critères observables sur le terrain tels que :

- Existence d'une surface de rupture et sa forme ;
- Le degré de relation de cette surface avec le contexte géologique ;
- Le degré de remaniement de la masse glissée ;
- La nature des terrains impliqués ;
- L'extension de la masse glissée. »<sup>8</sup>

---

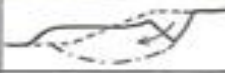









<sup>7</sup>Ghenani, B.(2003) : Cartographie et zonage de l'aléa des zones exposées aux risques de mouvement de pentes.mem.,Magister ,univ.,Abou bekr Belkaid Tlemcen UABT ,107p « Page N° 16 »

<sup>8</sup>Ghenani, B.(2003) : Cartographie et zonage de l'aléa des zones exposées aux risques de mouvement de pentes.mem.,Magister ,univ.,Abou bekr Belkaid Tlemcen UABT ,107p « page N 21 »



ORDRE	GROUPE	CLASSE	VARIETE
A./ Mouvements à sec	I./ Reptation (mouvement de masse, continu)	1. Reptation de sol	
		2.Reptation d'éboulis (matériaux meubles)	
		- gravier - glacier rocheux	
B./ Mouvements plastique	II./ Glissements (mouvement de masse rapide)	3.Mouvements de roches	Ecroulement de roches
		4.Mouvements d'éboulis (matériaux meubles)	
	5.Glissements mixtes	Glissement dans gravier	
	III./ Affaissement et coulées (résultat d'une variation rapide de la porosité)	6. Sables bouillants et coulées de terre	
		7. Chutes, coulées de sable	Cendres volcaniques
		8. Sédiments lacustres	Dépôts lacustres anciens Dépôts lacustres récents Dépôts lacustres mixtes
B./ Mouvements plastique	IV./ Dislocation et coulées (résultat d'une dislocation après gonflement et fragmentation)	9. Desquamation et altération	
		10.Glisement profond dans les matériaux homogènes	
		11.Glisement profond dans matériaux hétérogènes	
	V./ Coulées résultant d'une Suppression hydrostatique	12.Reprise de mouvement dans un ancien glissement	
13. Glissement suivant des plans et joints de stratification			
B./ Mouvements plastique	VI./ Expulsion (diminution de la résistance sous l'action d'une forte sous-pression)	14. Compression et expulsion résultant de sous-pressions locales	
		15. Gonflement résultant d'une baisse de la pression	
		16. Expulsion résultant de sous-pressions locales	

Tab.01 : classification des mouvements de terrain, k, TERZAGHI (1925)

SURFACE de RUPTURE DEFINIE ou NON	RELATION de la Surface de Rupture avec la GEOLOGIE	REMANIEMENT INTERNE	FORME de la SURFACE de RUPTURE	TERRAINS CONCERNES	EXTENSION des MASSES en MOUVEMENT	ZONE de DEPART	CLASSE	TYPE	SCHEMA	
SURFACE DE RUPTURE	SURFACE de RUPTURE INDEPENDANTE de la STRUCTURE GEOLOGIQUE des TERRAINS ou dans un TERRAIN HOMOGENE	FAIBLE	CIRCULAIRE	TOUS SAUF ROCHES DURES	FAIBLE & MOYENNE	EXISTANTE	GLISSEMENTS DE TERRAIN AU SENS STRICT	GLISSEMENT CIRCULAIRE		
			PLANE					GLISSEMENT PLAN		
			MIXTE					GLISSEMENT MIXTE		
	GEOLOGIQUE des TERRAINS ou dans un TERRAIN HOMOGENE	FORT	quelconquet	SOLS	MEUBLES	FAIBLE & MOYENNE	EXISTANTE	COULEES	COULEE DE TERRE	
				ROCHES DURES		FORTE & tres forte			MOYENNE & TRES FORTE	EXISTANTE
		?	?	SOLS MEUBLES	FAIBLE	INEXISTANTE	SOLIFLUXION			
		DANS UNE COUCHE et EN RELATION avec sa GEOMETRIE	FAIBLE	selon la structure geologique	TOUS SAUF TRES DURS	FAIBLE & MOYENNE	EXISTANTE	GLISSEMENTS DANS UNE COUCHE	GLISSEMENT DE BLOC	
	FORT	GLISSEMENT DE BLOC ET ECROULEMENT								
	au CONTACT de DEUX COUCHES ou de DEUX TERRAINS	FAIBLE	selon la limite entre les terrains	tous	FAIBLE & FORTE	EXISTANTE	GLISSEMENTS COUCHE SUR COUCHE	GLISSEMENT SELON LA STRATIFICATION		
		FORT	GLISSEMENT SUPERFICIEL & D'ALTERATION							
NON DEFINIE	?	VARIABLE	pas	ROCHES	FAIBLE	?	FAUCHAGE			

Tab.02 : classification des mouvements de terrain, J. MOUGIN (1973)

2.3. La Classification Du Varnes(1978)

La Classification du Varnes (1978) se base sur deux critères :

- a- Le type de matériaux.
- b- Le type de mouvements.

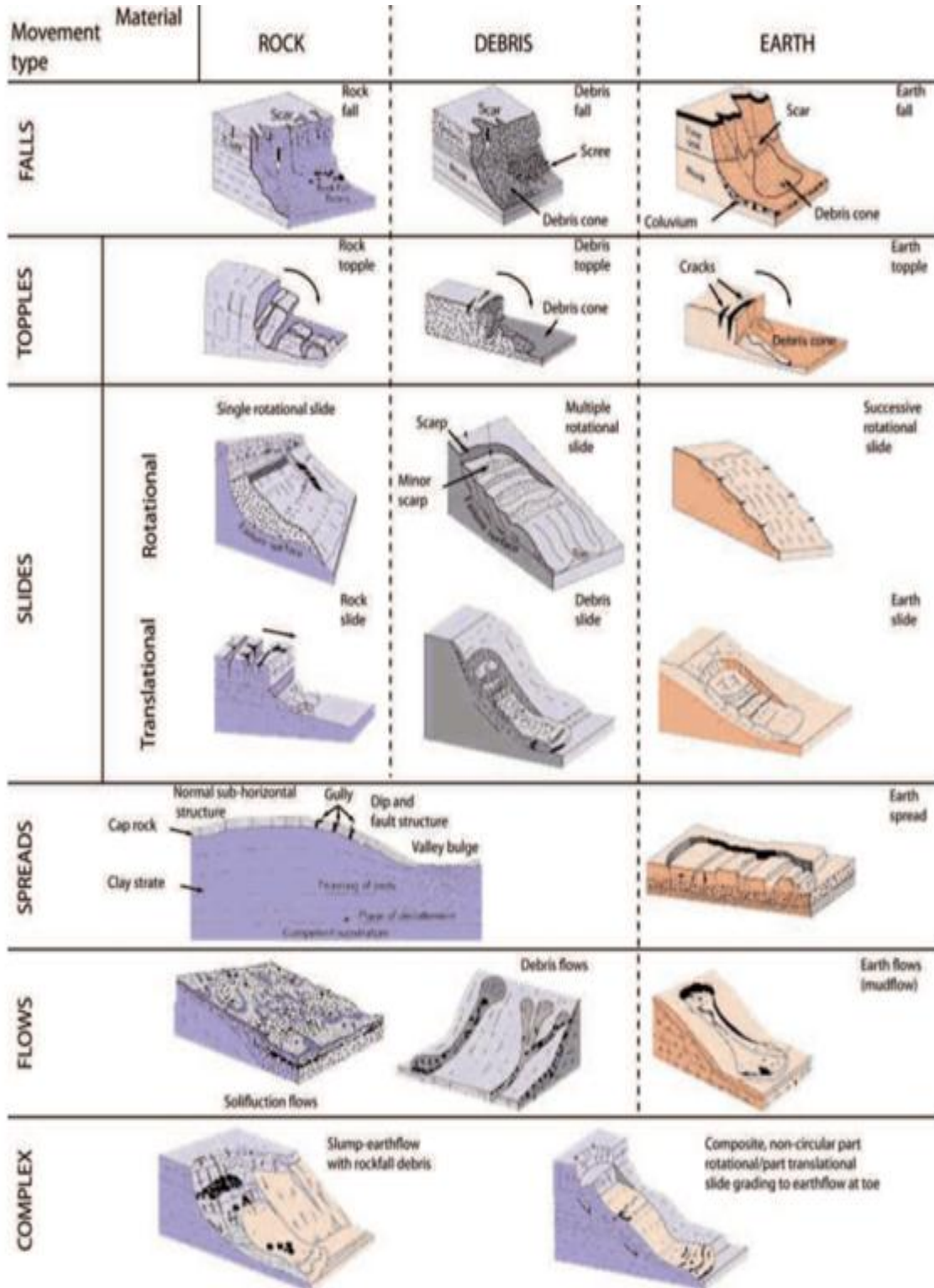


Fig. 02 : classification des mouvements de terrain en fonction du type de mouvement et de type du matériel déplacé (d’après Varnes, 1978, simplifié).

TYPE OF MOVEMENT		TYPE OF MATERIAL		
		BEDROCK	ENGINEERING SOILS	
			Predominantly coarse	Predominantly fine
FALLS		Rock fall	Debris fall	Earth fall
TOPPLES		Rock topple	Debris topple	Earth topple
SLIDES	ROTATIONAL	Rock slide	Debris slide	Earth slide
	TRANSLATIONAL			
LATERAL SPREADS		Rock spread	Debris spread	Earth spread
FLOWS		Rock flow (deep creep)	Debris flow	Earth flow (soil creep)
COMPLEX		Combination of two or more principal types of movement		

Tab.03 : types de glissements de terrain, version abrégée de la classification de Varnes du mouvement de la pente (Varnes, 1978)

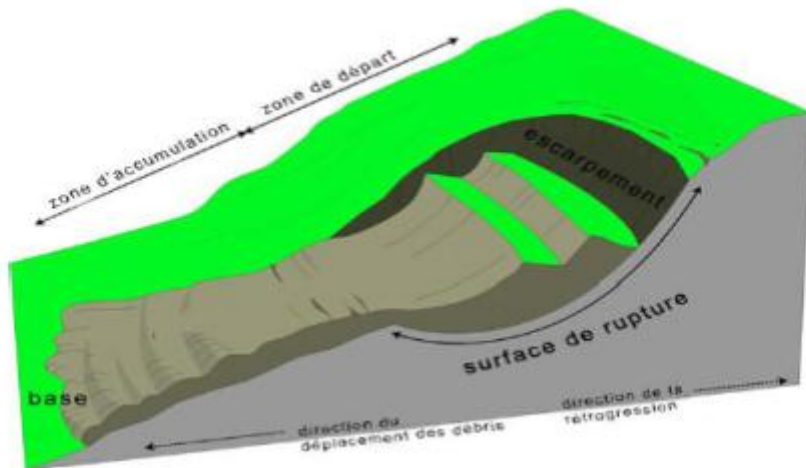
Type de Mouvement		Type de Matériel		
		Roche-Mère	Sol d'ingénierie	
			Principalement grossier	Principalement Fine
Les Chutes		Chute de Roche	Coulée de débris	Chute de la terre
Les Ecoulements		Ecoulement de Roche	Ecoulement de Débris	Ecoulements de la terre
Glissement	Rotationnel	Glissement Rocheux	Glissement de débris	Glissement de la terre
	Translationnel			
Ecoulement latérale		Dispersion rocheux	Dispersion de débris	Dispersion de la terre
Ecoulement		Ecoulement rocheux -Glissement Profond -	Ecoulement de Débris  (Glissement du sol)	Ecoulement de la terre (boue)
Complexe		Combination de deux types de mouvements ou plus		

Tab.04 : Types de Glissements, version abrégée de la classification de mouvement de pentes ,Varnes, (1978)

### **b.1. Les glissements circulaires ou rotationnels :**

Ce sont des glissements à surface plus ou moins circulaire, mouvement caractérisé en général par l'existence d'une zone de départ nette et par un bourrelet frontal plus ou moins marqué.

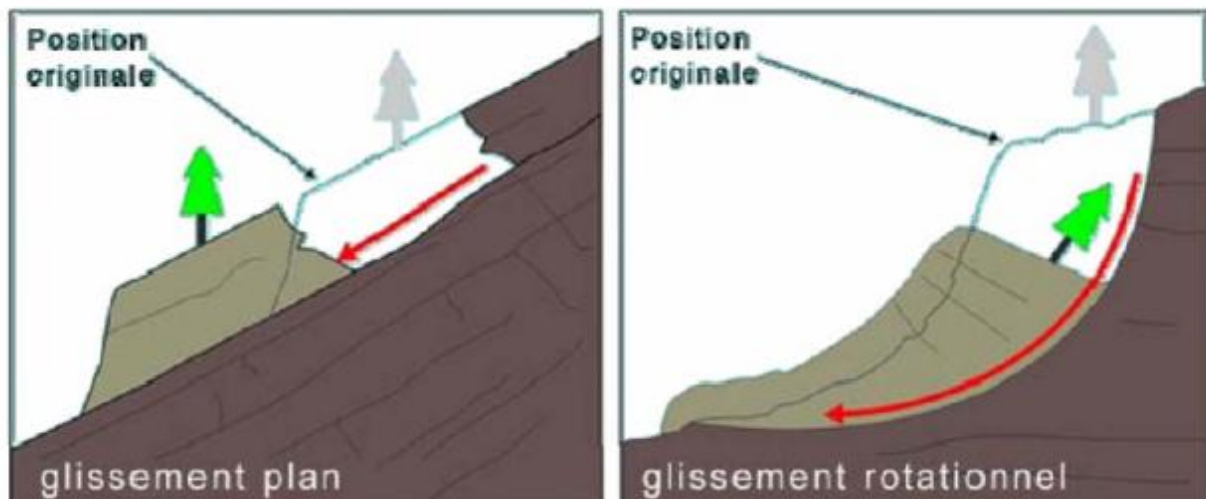
Le remaniement interne dépend de la nature des terrains et de l'importance du déplacement. Il se produit en particulier en terrains meubles, dans les roches homogènes à faible cohésion (argile). La majorité des glissements observés se rattache assez correctement à cette catégorie.



**Fig.03 : glissements circulaires ou rotationnels.**

### **b.2. Glissement plan ou translationnel :**

Mouvement au long d'une surface sensiblement plane (couche ou surface tectonique). Il se produit surtout en milieu rocheux.

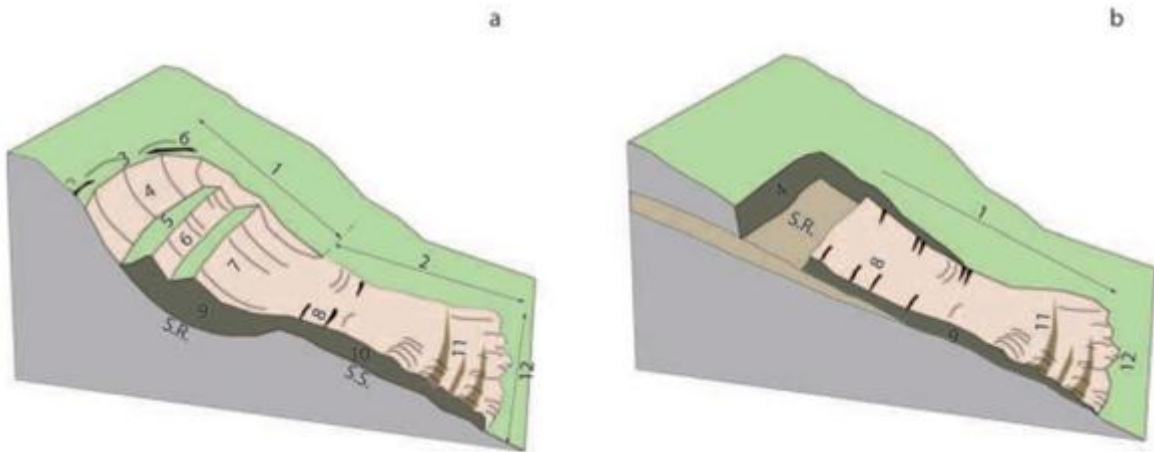


**Fig.04 : glissement plan -glissement rotationnel.**



### b.3. Les glissements quelconques ou composite :

Le mouvement est très semblable au précédent dans son allure externe, mais la section verticale de la surface de glissement est de forme irrégulière. Il s'agit souvent d'une combinaison des deux cas précédents. Les glissements peuvent être également classés en fonction de la profondeur de la surface de rupture.



**Fig.05 : les principaux détails et unités d'un glissement de terrain rotationnel (a) et translationnel (b) (d'après Varnes, 1978).**

*1 : zone de déplacement.*

*2 : zone d'accumulation.*

*9.10 : corps du glissement.*

*11 : fissures radiales.*

*12 : bourrelet frontal.*

*S.R : surface de rupture.*

*S.S : surface de cisaillement.*

**II.2- les principaux types de glissement de terrain**

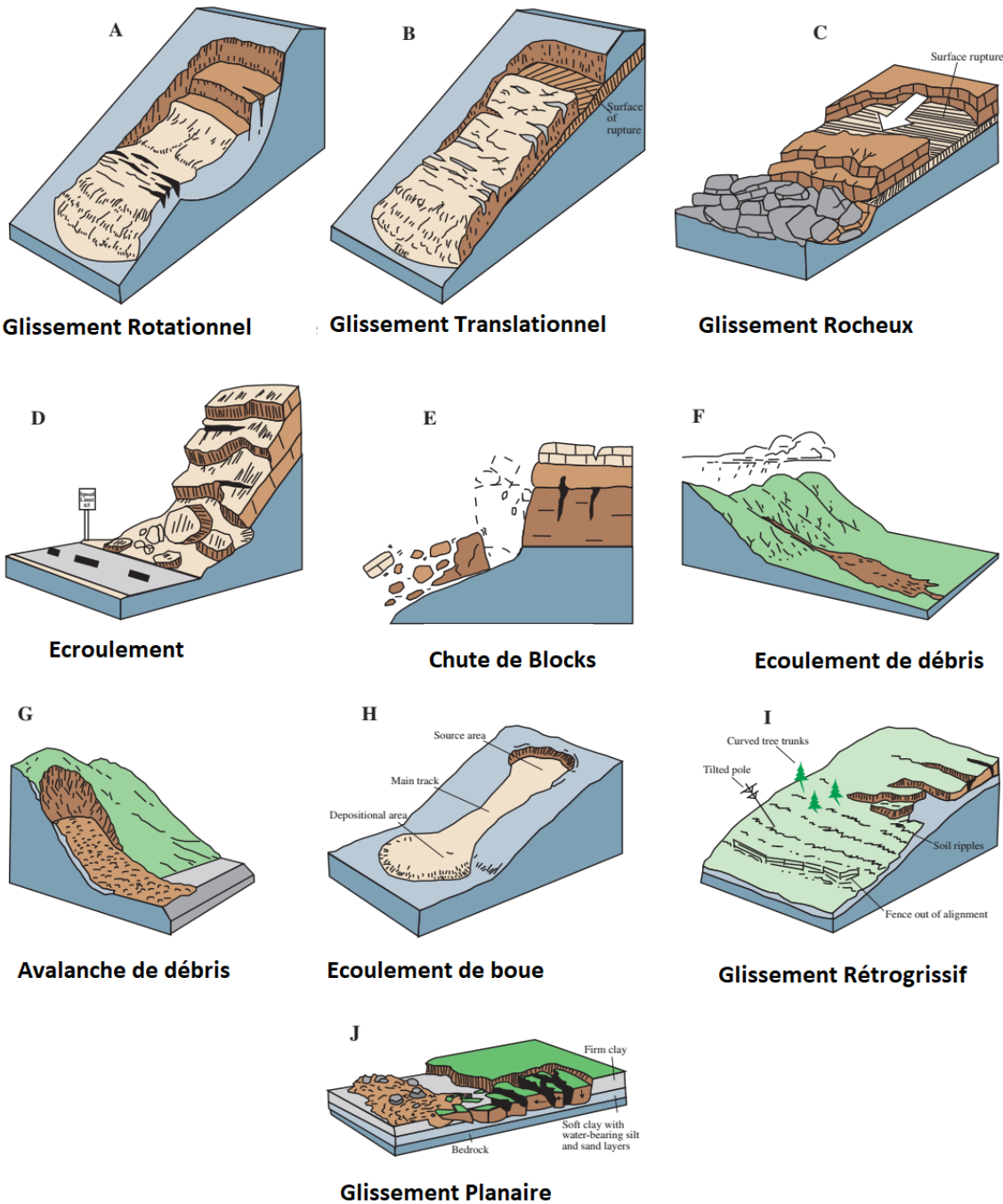


Fig.06 : les principaux types de glissement de terrain.

**A. Le glissement rotationnel :**

Il est caractérisé par une surface de rupture de forme circulaire qui peut se propager à quelques mètres de profondeur. Il est très souvent causé par l'érosion naturelle d'un cours d'eau à la base d'un talus. L'action de l'eau à la base des talus a ainsi pour effet d'entraîner de façon graduelle du matériel qui agit comme contre-poids naturel. Petit à petit, cette érosion modifie les conditions d'équilibre de la

penne. Ce type de glissement peut affecter une bande de terrain située au sommet du talus, dont le recul est généralement inférieur à une distance équivalant à une fois la hauteur du talus. Lors d'un glissement rotationnel, les éléments situés dans la bande de terrain en sommet de talus (routes, bâtiments, infrastructures, etc.) peuvent subir des dommages dont l'importance peut varier selon les situations.

### **B. Le glissement translationnel :**

La masse du glissement se déplace le long d'une surface à peu près plane avec peu de rotation ou d'inclinaison vers l'arrière.

### **C. Un glissement de bloc :**

C'est un glissement translationnel, dans lequel la masse en mouvement est constituée d'une seule unité ou de quelques unités étroitement apparentées qui descendent vers le bas en tant que masse relativement cohérente.

### **D. Ecoulement :**

Les pluies efficaces sont à l'origine des écoulements superficiels et souterrains.

L'écoulement superficiel est collecté directement par le réseau hydrographique. Il se produit dans les heures ou jours qui suivent la pluie.

L'écoulement souterrain des nappes peut être lent, différé et de longue durée (quelques heures à plusieurs milliers d'années).

### **E. Chute de blocs :**

Ce sont des mouvements rapides, discontinus et brutaux résultant de l'action de la pesanteur et affectant des matériaux rigides et fracturés tels que calcaires, grès, roches cristallines, etc. Ces chutes sont caractérisées par une zone de départ, une zone de propagation et une zone d'épandage. Les blocs décrochés suivent généralement la ligne de plus grande pente. Les distances parcourues sont fonction de la position de la zone de départ dans le versant, de la pente du versant, de la taille, de la forme et du volume des blocs éboulés, de la nature de la couverture superficielle de la végétation.

### **F. Un écoulement de débris :**

C'est une forme de mouvement de masse rapide dans lequel une combinaison de sol meuble, de roche, de matière organique, d'air et d'eau se mobilise sous la forme d'une boue qui coule vers le bas.

### **G. Avalanche de débris :**

C'est une variété de coulée de débris très rapide à extrêmement rapide.

### **H. Ecoulement de boue :**

Ils ont une forme caractéristique de "sablier". Le matériau de la pente se liquéfie et s'écoule, formant un bol ou une dépression à la tête. Le flux lui-même est allongé et se produit généralement dans des matériaux à grains fins ou des roches argileuses sur des pentes modérées et dans des conditions saturées. Cependant, des flux secs de matériau granulaire sont également possibles. Une coulée de boue est une coulée de terre constituée d'un matériau suffisamment humide pour s'écouler rapidement et qui contient au moins 50 pour cent de particules de sable, de limon et d'argile.

### **I. Glissement rétrogressif :**

Les glissements fortement rétrogressifs se produisent uniquement dans les sols argileux. Ils affectent non seulement le talus, mais aussi des bandes de terrain de dimensions importantes à l'arrière du



sommet du talus . Leurs dimensions peuvent atteindre plusieurs dizaines, et parfois plusieurs centaines de mètres, et ce, en quelques minutes seulement.

Les débris constituent une masse importante et peuvent s'étaler, dans certains cas, sur des distances considérables. Les constructions situées sur le terrain affecté par le glissement peuvent être complètement détruites. De même, les bâtiments et les infrastructures situés sur le passage des débris peuvent être endommagés.

### J. Glissement planaire :

Il se distingue par le fait qu'il se produit, généralement, sur des pentes très douces ou sur des terrains plats.

### II.3-Dynamique de glissement de terrain :

- La vitesse de déplacement de la masse glissée es généralement lente avec des accélérations liées le plus souvent aux mauvaises conditions météorologiques (en phase de glissement proprement dite, les vitesses peuvent aller de quelques dizaines à quelque centaines de mètre par jour). (fig.07).
- L'extension dépend de la vitesse d'évolution du mouvement. Elle est généralement faible pour les ruptures circulaires et quelconques, et peut être beaucoup plus forte pour des glissements plans, selon le contexte morphologique.

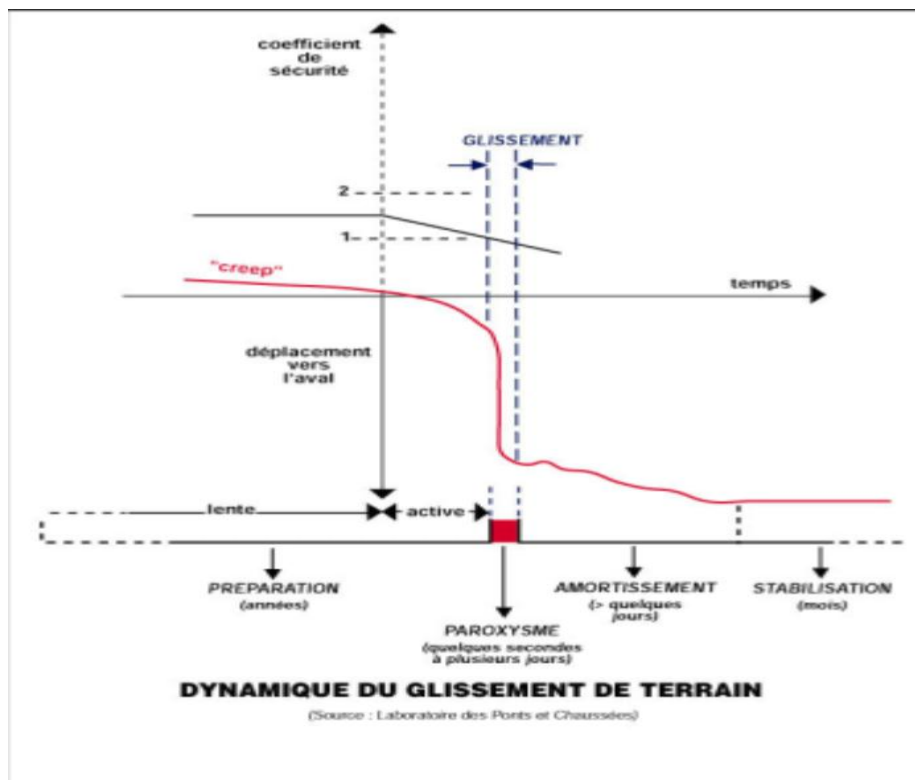


Fig.07 : Dynamique du glissement de terrain.

### **III -Les facteurs d'instabilité :**

#### **Les facteurs déterminant la genèse des mouvements de terrain :**

La genèse d'un mouvement de terrain résulte de l'action simultanée de plusieurs facteurs. Certains sont permanents et forment le cadre propice créant les conditions indispensables aux mouvements, à savoir : la topographie, la lithologie et la géomorphologie ; les autres dynamiques ont un rôle déclenchant et sont représentés par le climat, l'hydrologie, l'évolution de la dynamique actuelle des mouvements de terrain, l'action de l'homme, la végétation et la sismicité. Ces facteurs dynamiques ont une intensité et une fréquence variables dans le temps et dans l'espace.

#### **4.1.Facteurs permanents :**

Ce sont des facteurs de prédisposition d'un site aux instabilités (relief, nature géologique des terrains, etc.) :

##### **4.1.1La pesanteur :**

Elle constitue le moteur essentiel des mouvements de terrain, qualifiés souvent de gravitaires.

##### **4.1.2. L'eau :**

Elle est un facteur très déterminant pour la genèse d'un glissement de terrain. Elle agit par ameublissement et dégradation mécanique des terrains. Elle joue en même temps un facteur permanent et un facteur variable dans le temps (précipitation).

##### **4.1.3. La structure des terrains :**

La tectonique, simple ou cassante, conditionne notablement la susceptibilité des terrains aux instabilités.

Les discontinuités qui affectent les roches cohérentes jouent un rôle déterminant dans la stabilité des massifs rocheux. Elles constituent des surfaces de faiblesse sur lesquelles se désigne la rupture et qui peuvent être à l'origine d'une étude de prédiction du mécanisme et du type de glissement (glissements plans, des glissements de dièdres, etc.) en se basant sur leurs orientations.

Les joints sédimentaires, plan de schistosité ou de foliation sont eux aussi des surfaces de faiblesse qu'il faut prendre en compte. Ils jouent le même rôle (favorisant l'instabilité des massifs) que les discontinuités.

##### **4.1.4. La morphologie :**

La pente des talus représente un paramètre qui conditionne sa stabilité. Il existe une pente limite au-delà de laquelle on observe un optimum favorable aux glissements.

On ne peut pas utiliser la valeur de la pente comme déterminante, elle s'associe avec d'autres facteurs tels que la nature lithologique, la hauteur des versants et la présence ou non de l'eau.

##### **4.1.5. Le couvert végétal**

#### **Le rôle stabilisateur du couvert végétal et des arbres tient à plusieurs facteurs :**

- **L'ancrage par les racines :** Le terrain du versant se trouve emprisonné dans un radicaire dense et donc il est stable.

- **Le drainage par l'évapotranspiration :** Les arbres prélèvent dans le terrain une quantité d'eau considérable par l'évapotranspiration.

• **La rétention des eaux de pluie**: La couverture végétale permet la rétention des eaux pluviales qu'elles ne viennent pas imbiber la masse de terrain.

• **La protection contre l'érosion** : La couverture végétale représente un tapis protecteur qui réduit fortement l'action du ruissellement superficiel.

#### 4.1.6. L'action de l'homme :

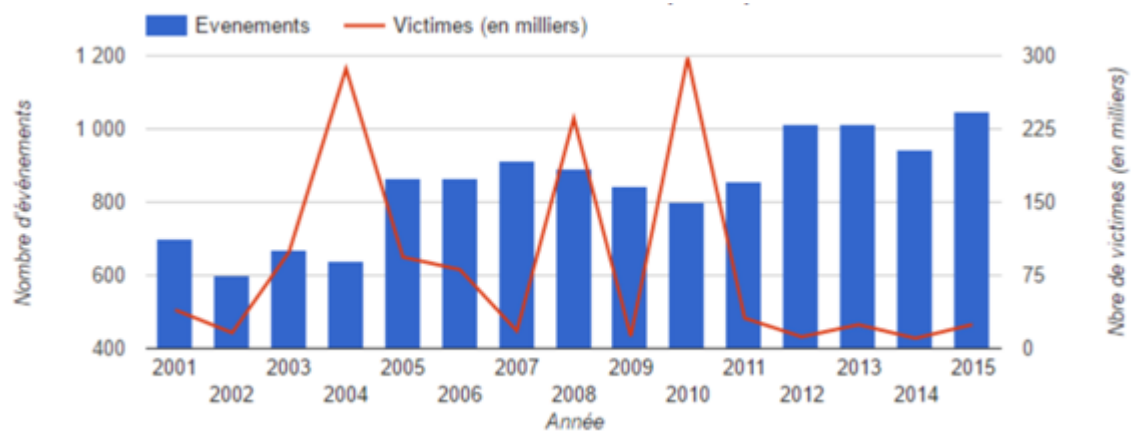
#### L'homme constitue fréquemment une cause d'accélération ou déclenchement des instabilités, notamment :

• Les modifications de l'équilibre naturel des pentes ; talutage en pied de versant, remblaiement en tête de versant.

• Les modifications des conditions hydrologiques du milieu naturel ; rejets d'eau dans une pente (fluide de canalisation, par exemple), pompage excessif d'eau qui favorisent la dissolution des roches solubles, etc.

• Les ébranlements provoqués par les tirs à l'explosif, qui sont susceptibles de déclenchement des chutes de pierres et de blocs ou vibrations dues au trafic routier ou ferroviaire qui peuvent déstabiliser à la longue des versants. »<sup>9</sup>

#### IV - Les cumules de catastrophes naturelles dans le monde.



*Fig.08 : Nombre d'événements et de victimes dans l'Europe pour la période 2001-2015.*

- « Du 1er janvier 2001 au 31 décembre 2015, 12657 catastrophes naturelles ont été recensées dans le monde soit en moyenne 844 événements par an. Les 3 années les plus sinistrées ont été recensées en fin de la période étudiée. En effet, avec 1047 catastrophes naturelles enregistrées, 2015 apparaît comme l'année la plus sinistrée suivi par 2012 et 2013 avec respectivement 1014 et 1013 événements recensés tandis que l'année 2002 aura été celle qui compte le moins d'événements (599) »<sup>10</sup>.
- Sur la période étudiée, on constate deux paliers distincts d'augmentation du nombre d'événement : en 2005 puis depuis 2012. A cet égard, les 5 dernières années rassemblent près de 40 % des événements survenus ces 15 dernières années.

<sup>9</sup>Ghenani, B.(2003) : Cartographie et zonage de l'aléa des zones exposées aux risques de mouvement de pentes.mem.,Magister ,univ.,Abou bekr Belkaid Tlemcen UABT ,107p « page N28 »

<sup>10</sup>Ubyrisk Consultants, cabinet d'étude spécialisé dans l'étude des risques naturels, effectuée depuis 2001 .

- Sur les 15 dernières années le nombre d'événements s'est accrue en moyenne de 2 % / an dans le monde.
- Cependant, sur le long terme (30 dernières années), il apparaît que la décennie 2005-2015 est de loin celle qui aura connu le plus grand nombre d'événements.



Fig.09 : Nombre d'événements et de victimes dans l'Europe par origine d'aléa entre 2001 et 2015.

- D'une manière générale 42,3 % des événements naturels dommageables sont d'origine météorologique (tempêtes, cyclones, intempéries, tornades orages, grêle, neige), 23 % d'origine hydrologique (inondations et coulées de boue), 18,7 % climatique (incendies de forêt, sécheresse, canicule, vague de froid) et 15,1 % d'origine géologique (séismes, mouvements de terrain).

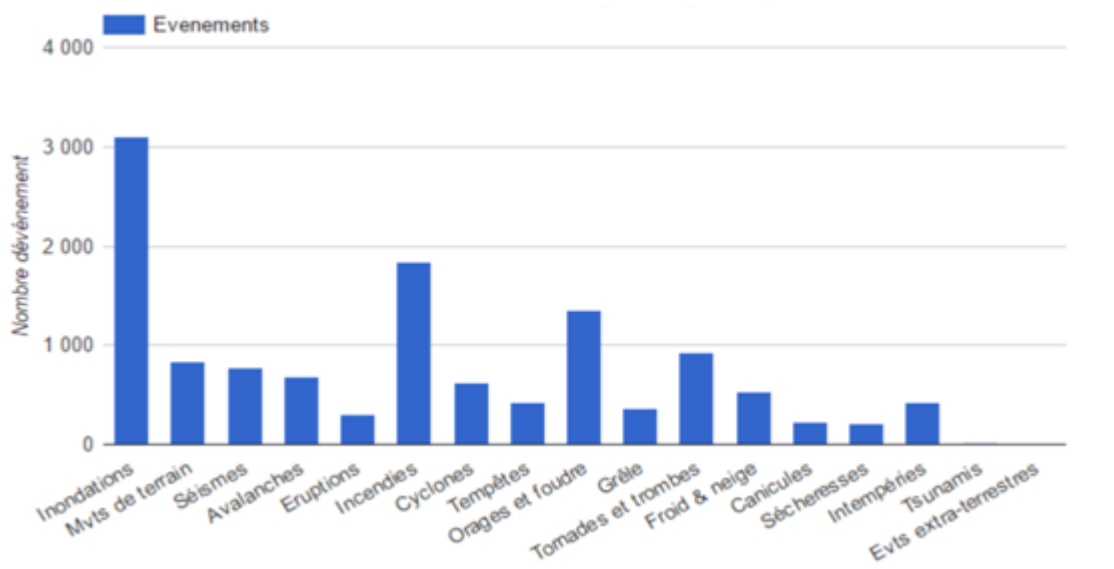


Fig.10 : Nombre d'événements et de victimes dans l'Europe par aléa entre 2001 et 2015.

- En termes de fréquence de typologie d'aléa, avec 3101 événements recensés les inondations constituent plus d'un quart des catastrophes, suivies par les *incendies de forêt* (1840 événements soit 14,5% des événements recensés) et les orages / foudre (1354 événements soit près de 11 %).

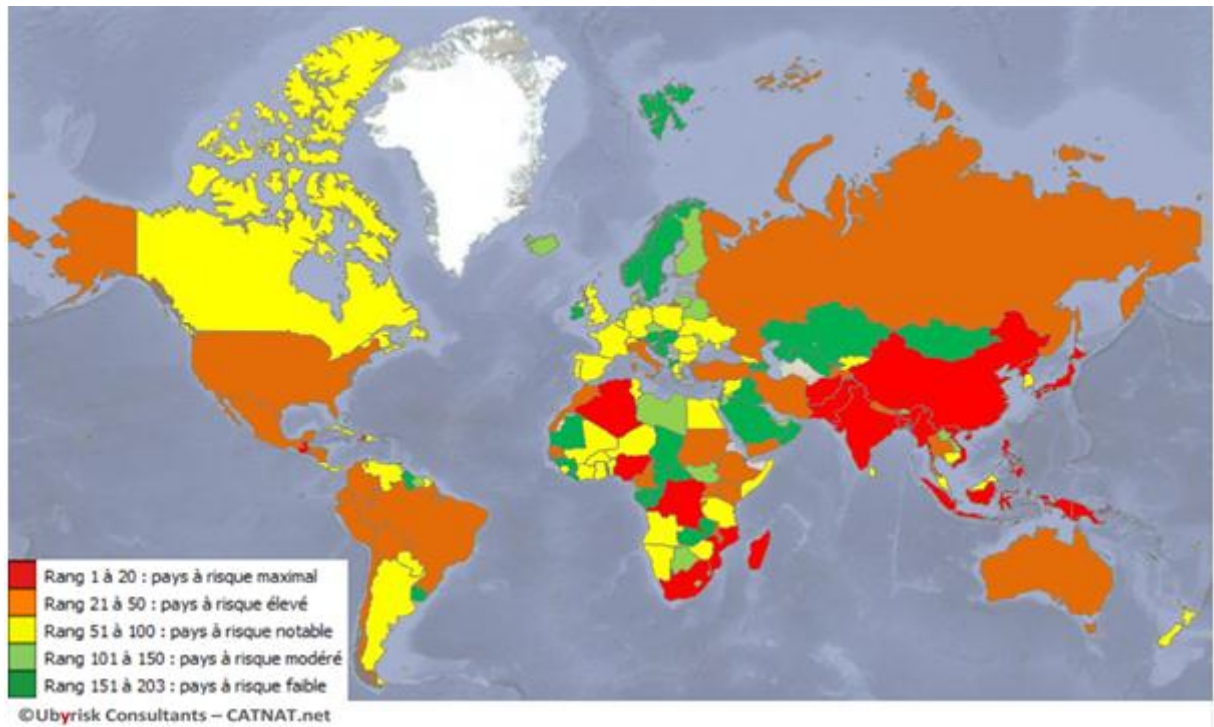


Fig.11 : carte de classement risque-pays dédié ou aux risque naturels.

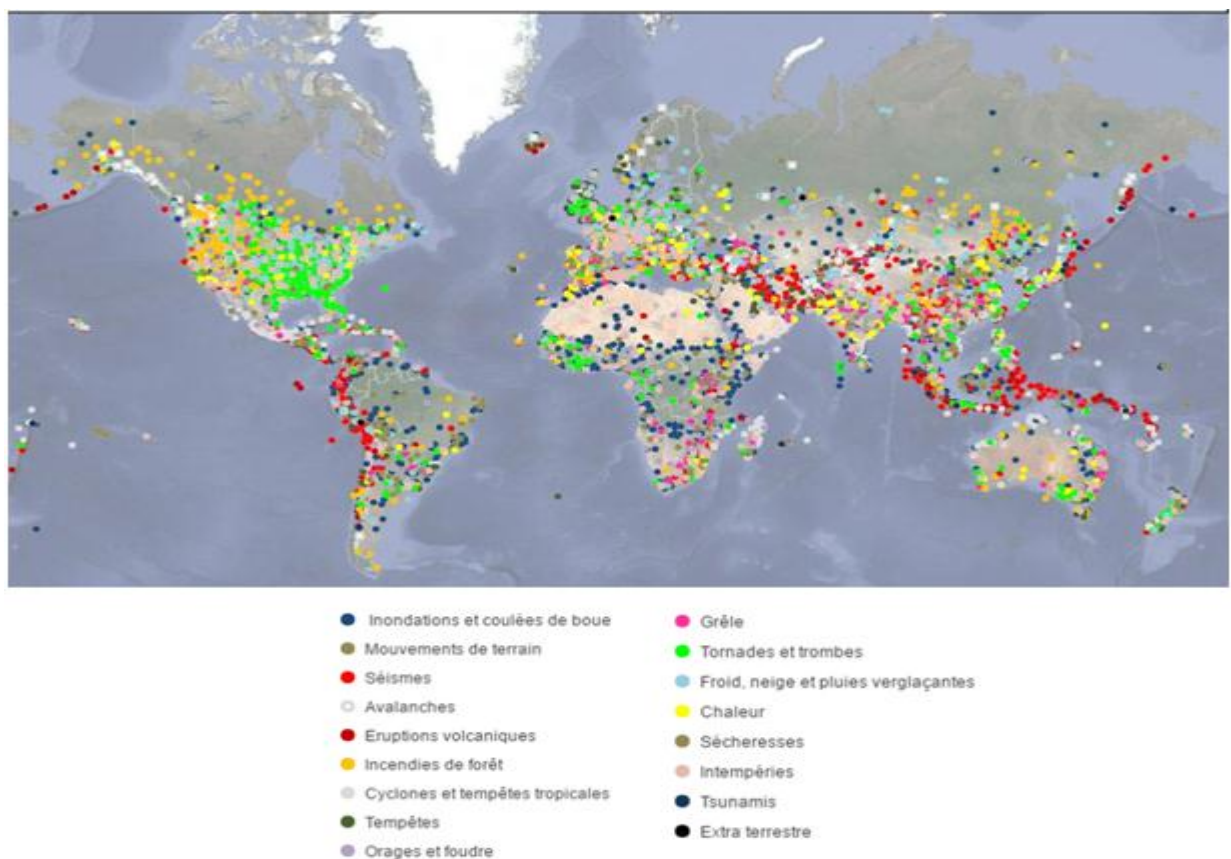


Fig.12 : Evènements dommageables d'origine naturelle enregistrés dans le monde entre 2001 et 2015 par type d'aléa.



On remarque que les pays asiatiques sont de loin les nations les plus exposées aux risques naturels, et on constate que les Etats-Unis, le Mexique, la partie nord de l'Amérique, l'Océanie ainsi que l'Afrique Sahélo-soudanaise et l'Afrique de l'Est sont aussi les pays les plus exposés à des phénomènes naturels destructeurs. Concernant l'Europe, cette dernière présente des valeurs fortes sur la façade océanique, et moyennes dans sa partie orientale, (*Fig.11 et 12*)

Pays	Victimes	Evénements
Indonésie	286198	385
Haïti	230325	56
Myanmar	140107	33
Chine	114453	874
Pakistan	84575	135
Inde	67024	358
Russie	59436	224
Corée du Nord	57468	23
Italie*	37227	204
Iran	29641	112
France*	25146	1292
Philippines	23865	296
Japon	22242	223
Bangladesh	12577	119
Népal	10502	68
Afghanistan	9342	102
Etats-Unis	7604	2139
Guatemala	4190	50
Algérie	4011	163
Pérou	3483	84

Tab.05 : les 20 pays ayant eu le plus de victime entre 2001-2015

On remarque dans le (Tab.05) que l'Asie est de loin le continent où les catastrophes naturelles tuent le plus puisque l'on y dénombre 67,4% des victimes (870505 morts). Les Amériques (Nord et Sud) arrivent en seconde position avec 20,2% des victimes (259 075morts) et l'Europe en troisième place avec 10,2% des victimes (131 206 morts). On notera que la position des Amériques est en partie due au séisme de janvier 2010 survenu en Haïti qui a fait à lui seul 222 750 victimes. Cette tendance se retrouve également lorsque l'on établit le classement du nombre cumulé de victimes par pays.

Ces chiffres démontrent la très forte vulnérabilité du rapport humain - développement : la lourdeur du bilan des catastrophes naturelles sont humaines alors que dans les pays développés, les conséquences sont surtout financières.

#### V - Risque de glissement en Algérie :

La date	Le Risque	Facteurs
19/01/2017	Trois personnes dont un ressortissant africain ont péri suite à un glissement de terrain dans un chantier d'agrandissement du parking de Sidi Yahia à	Anthropique

	Hydra (Alger) ( <a href="http://www.algerie1.com">www.algerie1.com</a> )	
25/01/2017	Un glissement de terrain menace une cité de 196 logements à Souidania ( <a href="http://www.alg24.net">www.alg24.net</a> )	Anthropique
16/08/2017	Un chantier provoque un glissement de terrain mortel : Drame et colère à Saïd Hamdine (Le Soir d'Algérie)	Anthropique
17/08/2017	Au moins deux personnes ont été blessées, ce lundi en début de soirée, après un glissement de terrain sur un chantier à Sidi Yahia, ( <a href="http://www.tsa-algerie.com">www.tsa-algerie.com</a> )	Anthropique
28/01/2018	Un glissement de terrain a été relevé dans les 24 dernières heures à Mostaganem sur la route nationale n°11 au niveau de Djebel Diss, de même que l'érosion du sol sur le chemin de wilaya n°7 (CW7) à Chelaïlia ( <a href="http://Www.algeriepatriotique.com">Www.algeriepatriotique.com</a> )	Les précipitations

Tab.06 : Risque de glissement en Algérie

## **VI - Conclusion :**

Les phénomènes de glissements de terrains ont des conséquences et des causes relativement importantes.

En anglais tous les mouvements de terrain sont appelés landslide ce qui facilite la terminologie, en français le terme glissement de terrain ne recouvre qu'une partie des mouvements de terrain ou mouvements de versant ou instabilités de versant. C'est la raison pour laquelle nous utiliserons indifféremment ces trois expressions pour désigner l'ensemble des mouvements.

Dans ce chapitre nous avons montré les différents types de mouvements de terrains qui existent dans la nature.

## **CHAPITRE 02 : PRESENTATION DE ZONE D'ETUDE**

### **I - Présentation de la zone d'étude :**

#### **-Les monts de Tessala :**

Les monts des Tessala correspondent à la partie du tell méridional comprise entre les BENI – CHOUGRANE à l'Est, les SEBAA CHIOUKH à l'Ouest.

#### **Ils englobent divers éléments morphologique et topographique qui sont d'EST en Ouest :**

##### **1-Les monts d'OULAD ALI :**

Entre le djebel de Tafraoui et l'oued SIG, dominés au sud par le plateau des MAADJA entre la forêt de GUETARNIA et le plateau des MAADJA et en contre –bas, se développe le plateaux GOUADIA.

##### **2-Les monts du djebel TESSALA :**

Qui s'abaissent progressivement au Sud –EST vers le plateaux de SIDI HAMADOUCH, qui est l'équivalent du plateau de GOUADIA dont il est séparé par le djebel de OULAD AID, une ligne de collines qu'on nomme : collines de MEHADID, sépare ce plateau de la plaine de SIDI BELABBES au sud.

##### **3-Les Bérkéches :**

Ce sont de hautes collines arrondies qui s'étendent au pied (w-sw) du djebel TESSALA. Au Sud, comme une véritable chaîne de montagne, surgissant brusquement de la plaine de la MLETA.

Entre l'altitude de la plaine (de 150 à 200 m) , et les plus hauts sommets ( djebel TESSALA 1045 M , djebel KERKOUCHA 809 m , djebel karma 848 m les dénivellation sont brutales et accentuent l'apparence montagneuses des TESSALA . Par contre, vus de la plaine de SIDI BEL ABBES dont l'altitude moyenne est à plus de 500 m , ils apparaissent comme des collines arrondies et aisément accessibles .

De nombreux petits oueds, dont les plus importants sont les oueds de : TLELAT, TAFRAOUI RASSOUL, descendant des TESSALA vers la dépression endoréique de la SEBKHA , qui est également alimentée par tous les ravins du revers Sud du massif d'ORAN .

Le paysage du tell a connu de grandes transformation suite aux dégradations progressives du couvert végétal et du sol, ce qui a donné un milieu fragile et très sensible à l'érosion sous ce climat méditerranéen agressif <sup>1</sup>.

Ces milieux marque par une grande instabilité nécessitent des interventions pour la protection et la préservation des ressource naturelles.

Notre étude s'intéresse à un des bassins du versant Nord du TESSALA : le bassin versant de Tafraoui qui se caractérise par un paysage diversifié, une topographie très accidentée et une dynamique érosive importante.

---

<sup>1</sup>SARI D., (1977). L'homme et l'érosion dans l'Ouarsenis (Algérie). Alger, SNED, 624 p



**-présentation de bassin versant de Tafraoui :**

Le bassin versant correspond à la zone drainée par l'oued Tafraoui .et ses affluents : l'oued EL MADI à l'Est et l'oued TAMEZRET dans la partie Ouest du bassin versant.

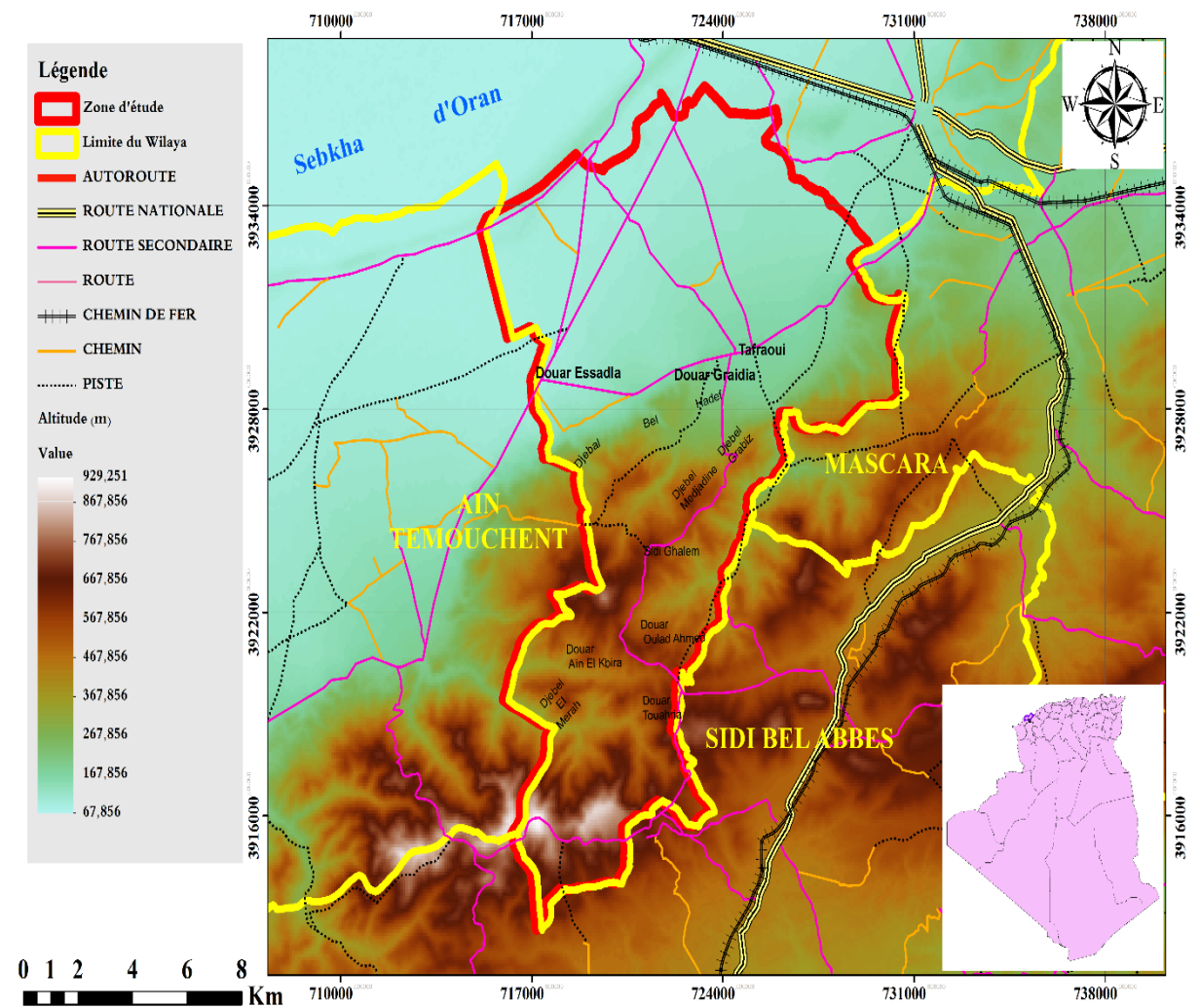
Il occupe une superficie d'environ 30 km<sup>2</sup>, et se situe dans la partie Est des Monts du TESSALA, qui est limité au Nord par la plaine de MLETA ainsi que par la grande sebkha d'ORAN.

L'oued Tafraoui déverse dans une très ancienne digue conçue, pour devenir utilité publique donc servir en quelques sortes à l'irrigations, et en eau potable de la commune de Tafraoui Toutefois, l'aménagement n'a jamais servi, et ne le sera probablement jamais malgré l'existence d'une étude datant de deux ans, faite par les services des eaux, et qui a pour but la reconstruction d'une nouvelle digue à l'amont de l'ancienne.

**I.1- -Situation géographique :**

Notre zone d'étude est située au Sud de la commune de TAFRAOUI. Et limitée par le village de sidi Ghalem à l'Est.

**Limite de la zone :**



**Fig.13: Situation géographique de la commune de Tafraoui(versant Nord de Tessaala).**

**Elle est limitée :**

Au Nord ; par les lignes de partage des eaux représentées par le djebel Echegha et le djebel GRABIS se situant de part et d'autre de la digue.

A l'Ouest, la limite est matérialisée par les lignes de crêtes des djebels du HAMMAR EL MOUGUEB et HAMMAR DOUIS.

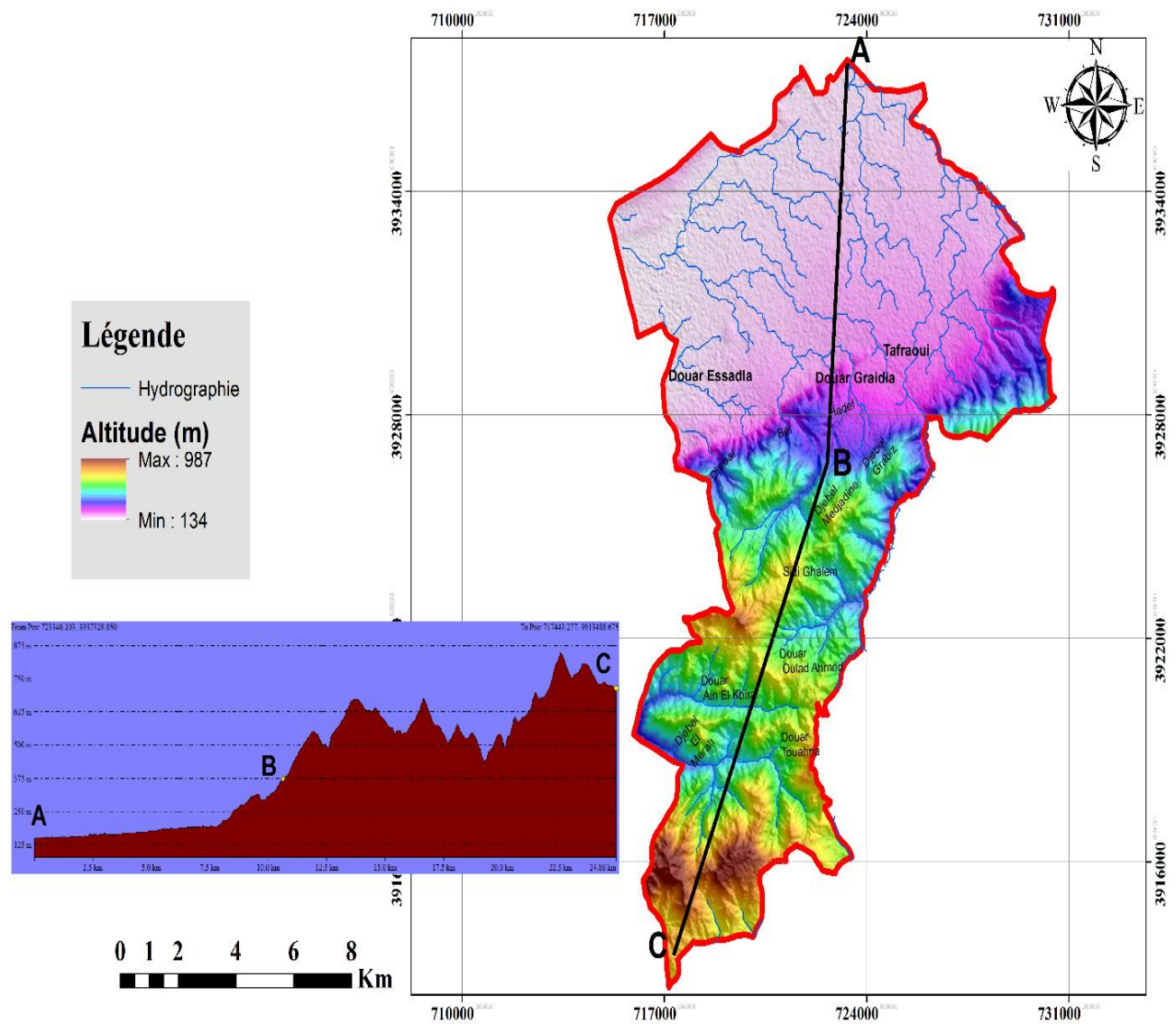
**I.2- Voies d'accès dans la zone :**

**Elles sont très réduites, et on y accède :**

Au Nord par la route nationale numéro 50 reliant ORAN à TAFRAOUI, pour parvenir à la zone d'étude on emprunte une piste qui mène à la digue, ou au petit barrage,

Une autre piste secondaire relie Tafraoui et SIDI GHALEM qui parcourt tout le bassin versant.

**II- La morphologie :**



**Fig.14: la morphologie de la commune de Tafraoui(versant Nord de Tessala).**

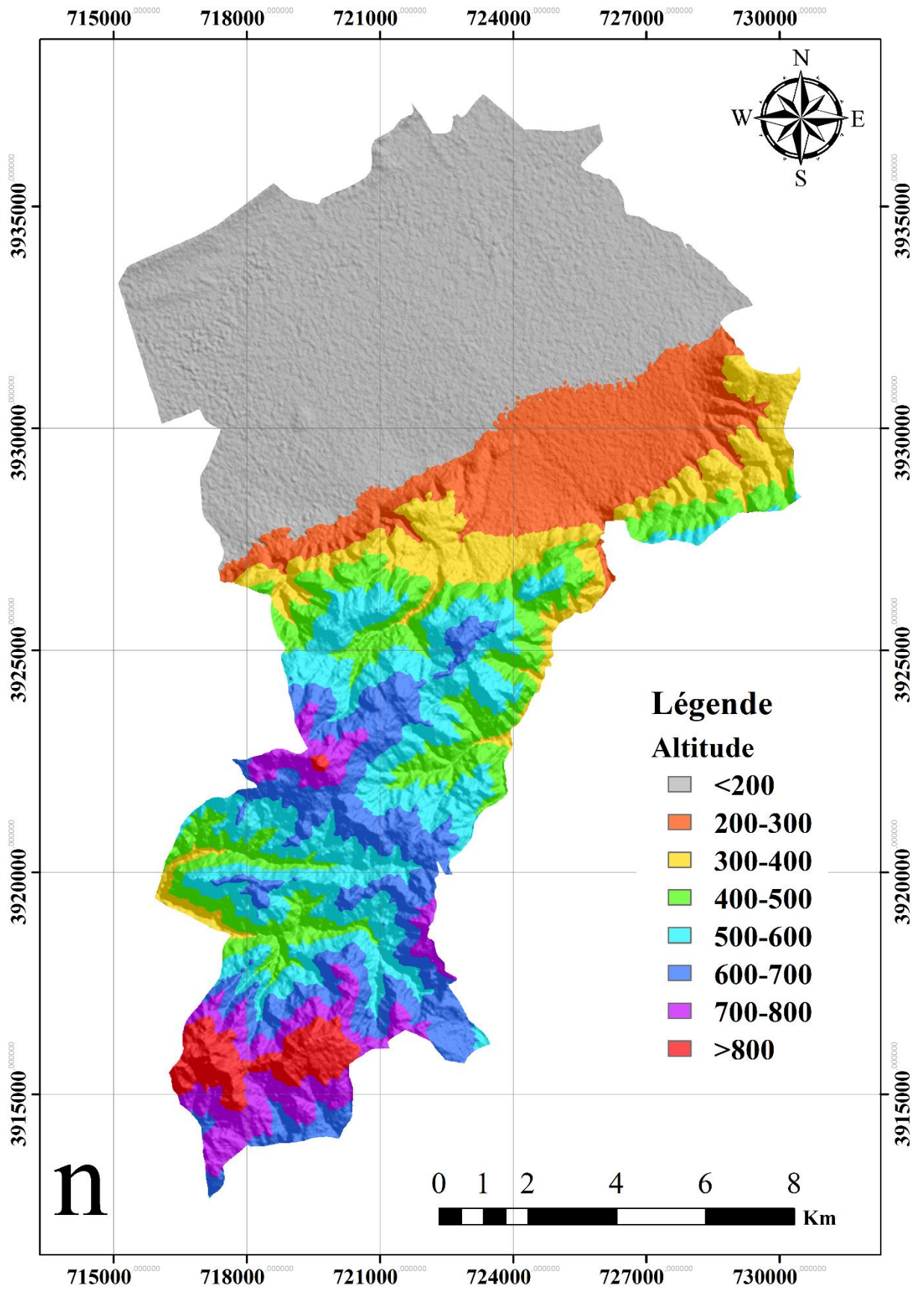
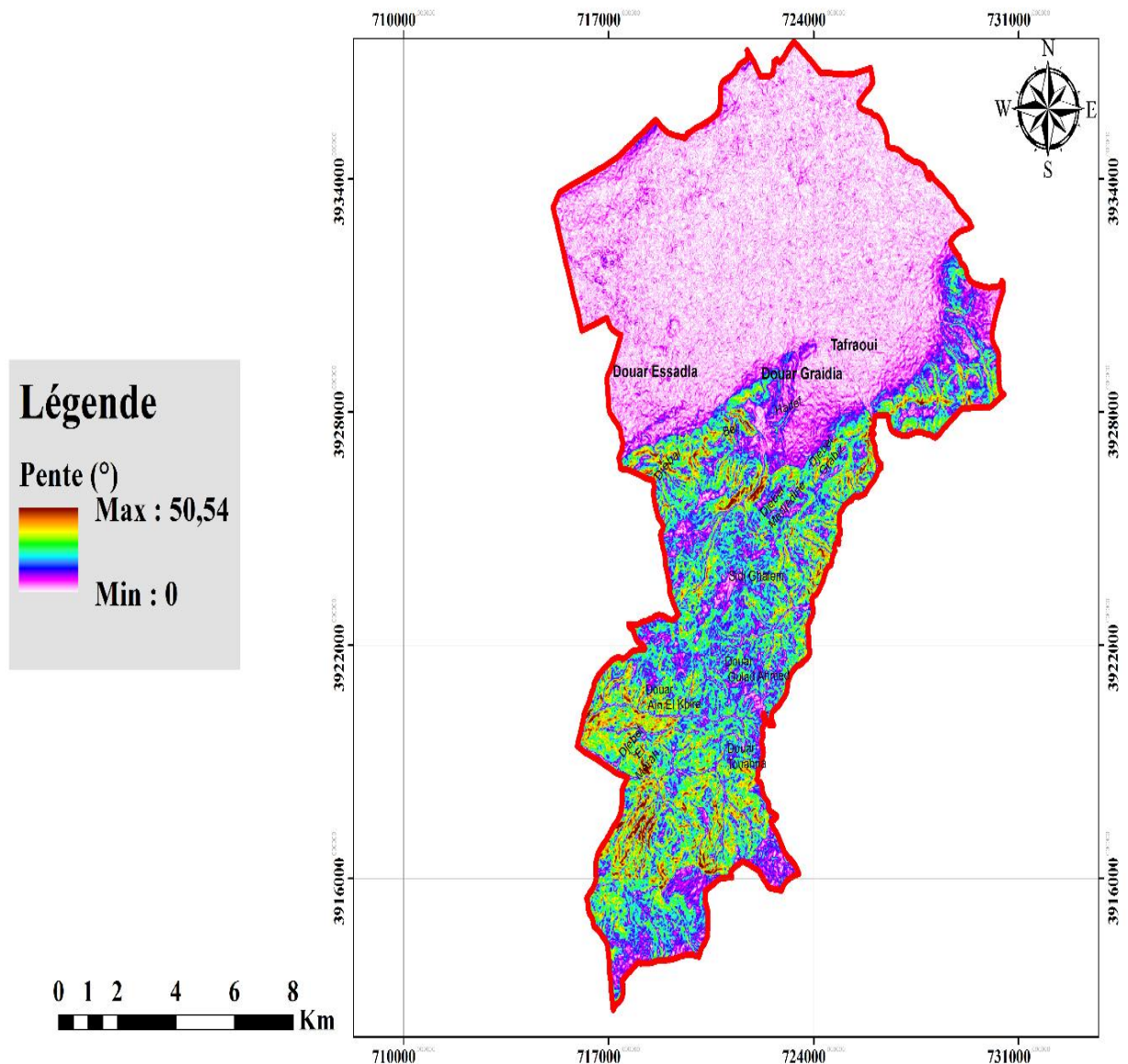


Fig.15 : L'altitude de la commune de Tafraoui (versant Nord de Tessala).



### III- La Pente :



**Fig.16 : La Pente de la commune de Taфраoui (versant Nord de Tessala).**

#### **D'Après les cartes de la morphologie, d'altitude et de la pente on observe que :**

-Les altitudes minimales et maximales sont respectivement de 134 m et 987m, l'altitude du pic de Taфраoui(740 m) représente le point repère pour toute observation ,et toute orientation .

La topographie du bassin versant de Taфраoui présente un aspect très varié, c'est une zone très complexe où les phénomènes d'érosion du sol prennent une ampleur catastrophique.

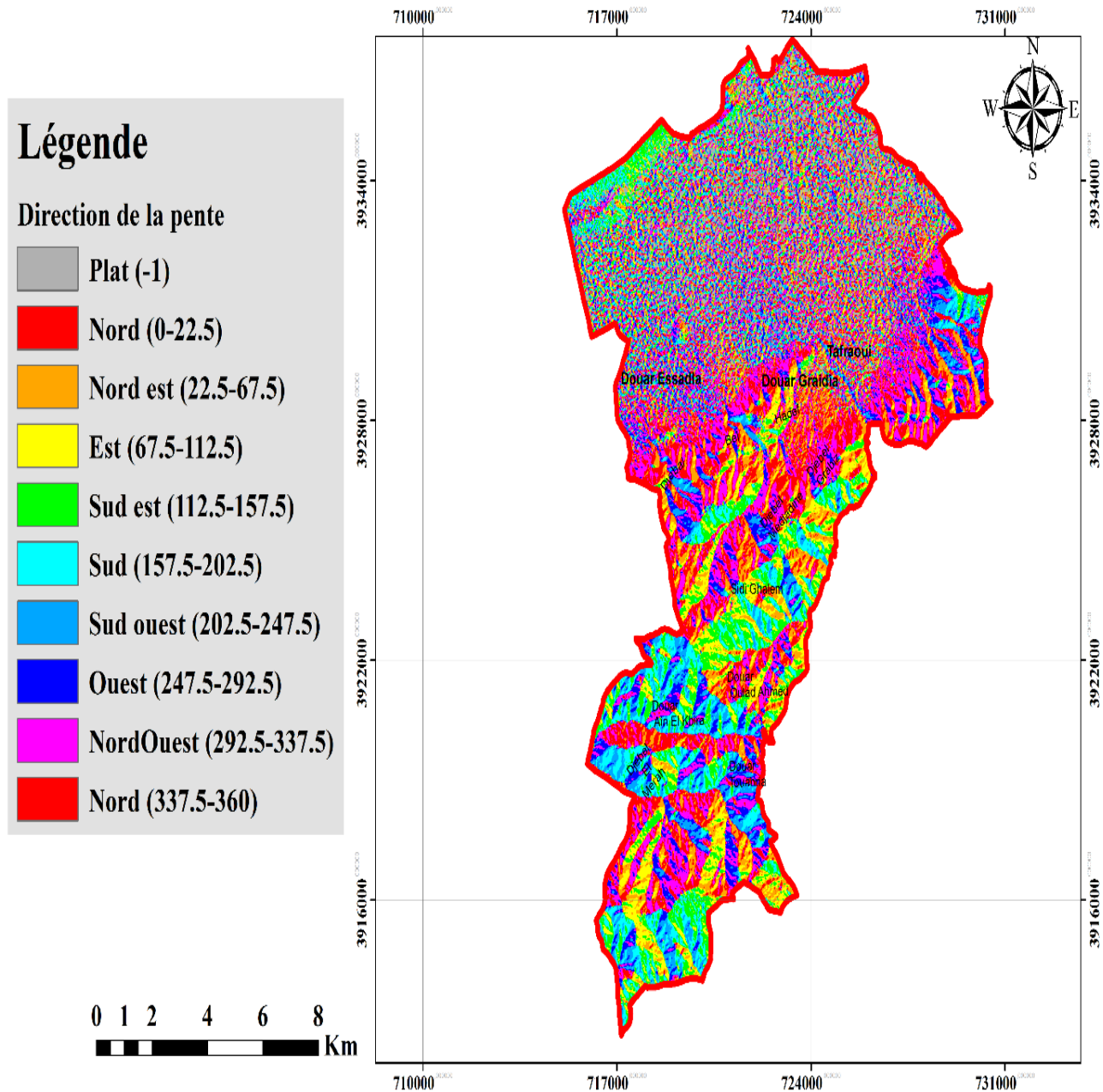
L'ensemble de la région est constitué, du Nord au Sud,( la zone des plaines de M'Lata occupe la partie Nord centrale, la zone montagneuse qui englobe Djebel Taфраoui qui se situe au Sud) par une succession de moyennes montagnes à pentes très variables (de A à B), et de pentes de plus en plus escarpées, dans le fond du bassin versant au Sud (de B à C).

**Toute cette multitude et diversité de pentes est due à :**

- une érosion intense et progressive.
- la densité du couvert végétal.
- la nature des matériaux qui composent le relief.

**En conclusion,** Tafraoui constitué une zone de contact entre les hauteurs de Sidi Ghalem et la plaine de la M'Lata, précédemment, elle constituait une zone de contrôle militaire s'étendant sur toute la région montagneuse.

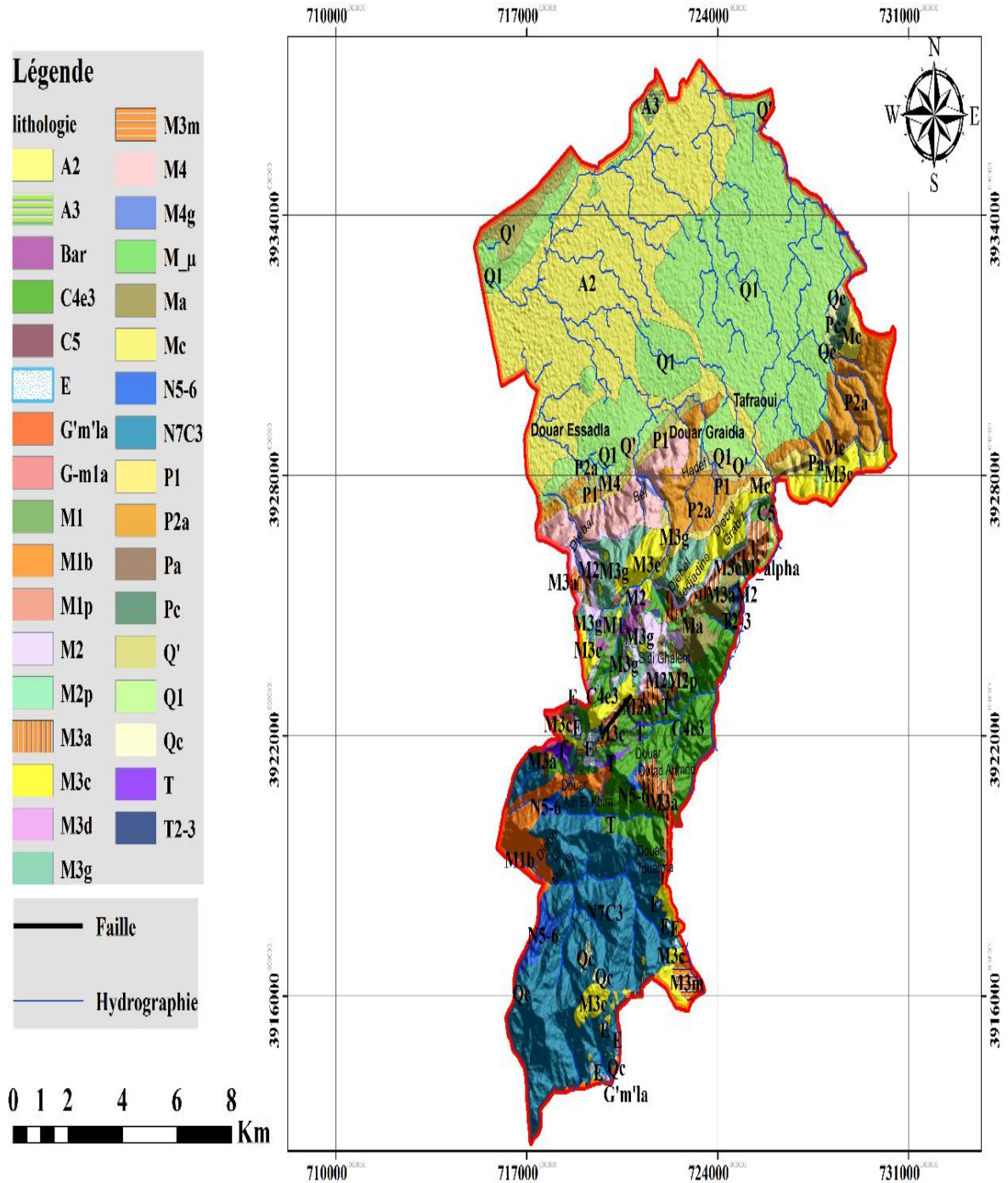
**III .1- Direction de la pente**



**Fig.17 : La direction de la pente de la commune de Tafraoui(versant Nord de Tessala).**

- La région est constituée par une succession de moyennes montagnes, à pentes très variables, situées dans la partie Nord du bassin ; et de pentes fortes, dans le fond du bassin versant, les pentes très fortes se situent au Nord –Est par rapport à la digue.

**IV - La Lithologie :**



**Fig.18 : la Lithologie de la commune de Tafraoui(versant Nord de Tassala).**

Symbole	Age	lithologie	degré de susceptibilité	Unité
M3a	Miocène	Argilites continentales	MODERE	2
A3	Actuel	Bas Fond inondées hiver	FAIBLE	1
P2a	Pliocène	Marnes alluvionnaires rouges	MODERER	2
P1	Pliocène	Conglomérats alluvionnaires	FAIBLE	1
Ma	Miocène	Conglomérats très limoneux rouges	FORT	3
M2	Miocène	Marnes helvétiques	FORT	3
M4g	Miocène	Calcaires gréseux	FAIBLE	1
M4	Miocène	Calcaires blancs sahéliens du mardjado	FAIBLE	1
M3g	Miocène	Grès jaunâtres passant au calcaires supérieurs	FAIBLE	1
C3	Barrémien	/	MODERER	2
M2p	Miocène	poudingues et grès de base l'hélien	FAIBLE	1
M3m	Miocène messénien	Marne bleues	FORT	3
N5-6	Aptien - Albien	Marnes argileuses Vertes	FORT	3
M1b	miocène autochtone	Conglomérats	FORT	3
T	Trias	Argilites – gypseroches vertes et blocs collogène	FORT	3
M3d	Miocène messénien	Conglomérats	FORT	3
N7C3	Varconien à coniacien	Marne et merno calcaire induré	FORT	3
M1	Miocène	Marnes et grès cartenniens	FORT	3
A2	Actuel	Alluvions récentes	FAIBLE	1
L2-3	Lias moyen	Dalles et bancs calcaires	FAIBLE	1
M_alpha	Miocène	Tufs rhyolithiques	FORT	3
Mc	Miocène	Calcaires de la série gypseuse	FAIBLE	1
Pa	Pliocène	Marnes sableuses et grès fossilifères	MODERER	2
Pc	Pliocène	Marnes-sables et conglomérats rouges à passées grises	MODERER	2
Q1	Quaternaire	Alluvions anciennes	FAIBLE	1
C5	Cénomaniens	Marnes	FORT	3
M1p	Miocène	Poudingues et grès calcaires très durs	FAIBLE	1
C4e3	Sénonien supérieur à pliocène	Marne brune et marnocalcaire	FORT	3
Q'	Quaternaire	Alluvions anciennes et dépôts de pentes	FAIBLE	1
Qc	Quaternaire	Glacis anciennes et encroulements calcaires	FAIBLE	1
E	Actuel	Eboulis et glissements	FORT	3

M3c	Miocène messénien	Calcaires organogènes	FAIBLE	1
G-m1a	Oligo_micène	Marne	FORT	3

**Tab. 07 : tableau de degré de susceptibilité par expertise.**

D'après la carte de la lithologie de notre zone d'étude, on observe qu'il est constitué par deux ensembles physiques distincts :

**Le premier ensemble** la zone des plaines de M'Lata qui occupe la partie Nord centrale de la commune de Tafraoui qui est essentiellement comblée d'un niveau quaternaire récent et

**Le deuxième ensemble** la zone montagneuse « Monts de Tassala » qui englobe Djebel Tafraoui qui se situe au Sud, est couverte à dominance de broussailles, les versants sont abrupts.

- Au-delà de la limite Sud de la commune de Tafraoui de par ses aspects liés à son altitude 640 m, les monts de sidi Ghalem sont constitués de terrains à faciès continental à la base, et de faciès marin au **sommet relevant du Miocène** :

-**le miocène continental** : c'est une série qui affleure le long des vallées, elle est formée par une succession de marnes et de calcaire noirs.

-**le miocène marin** : il est représenté à la base par des marnes grises litées et entrecoupées de petits bancs calcaires, il présente des faciès variés : un faciès gréseux, et un faciès calcaire.

**Les formations géologiques existantes dans la zone d'étude :**

-calcaire marneux

-marnes sableuses ou gréseuses (miocène supérieur-tertiaire)

-calcaire oligocène (tertiaire)

-les alluvions récentes qui proviennent du transport et de la sédimentation des limons (dans l'oued de Tafraoui) ,

-les alluvions anciennes, qui sont des éléments limoneux recouverts d'éléments grossiers, elles forment une zone homogène le long de l'oued Tafraoui et s'élargit au contact de la plaine alluviale de tafraoui.



V - Occupation du sol :

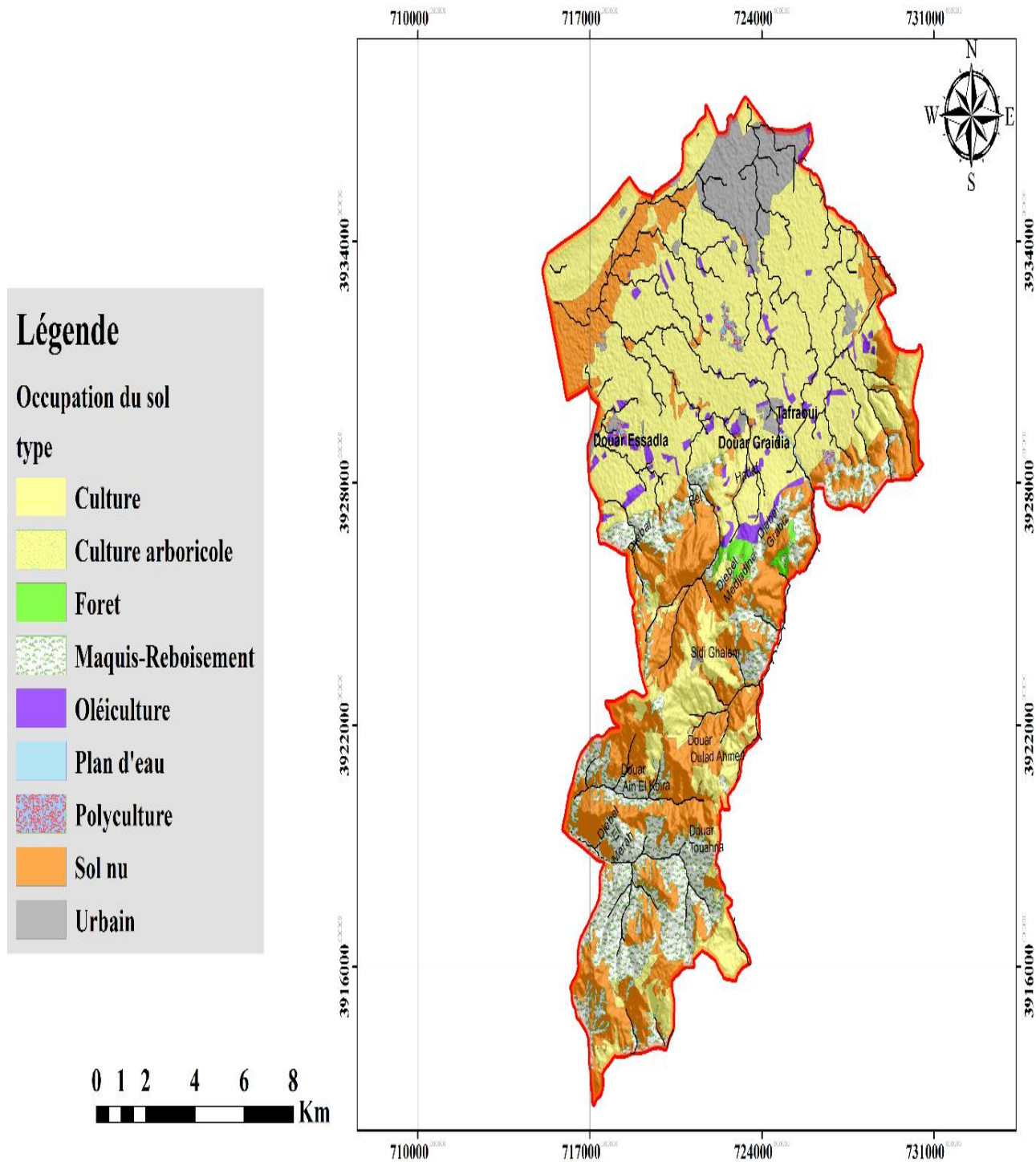


Fig.19 : Occupation du sol de la commune de Tafraoui (versant Nord de Tessala).

Au niveau de notre zone d'étude, la couverture végétale étant en majorité faible, les sols qui en résultent sont peu évolués.

Les différents types de sols existants dans le bassin versant de Tafraoui :

**1-les sols bruts d'érosion ou régosols :**

Sont généralement sur des terrains d'argile et de marne, où l'érosion est intense, et atteint un stade grave

**2-les sols bruts d'apport colluvial :**

Localisés au bord de l'oued TAFRAOUI et ses affluents, constitués par les éboulis le long des versants à pentes moyennes et fortes.

**3-les sols d'apport alluvial :**

Formés d'éléments fins (limons), et grossiers (graviers, galets..), ils sont étendus essentiellement tout le long de l'oued TAFRAOUI.

**VI -La sismicité de la commune de Tafraoui :**

La commune de Tafraoui est une zone sismique puisque fait partie du Nord Algérien qui est soumise à l'activité sismique, ce séisme peut frapper à n'importe quel moment, cette commune est classée dans la zone II au deuxième niveau de l'activité sismique.

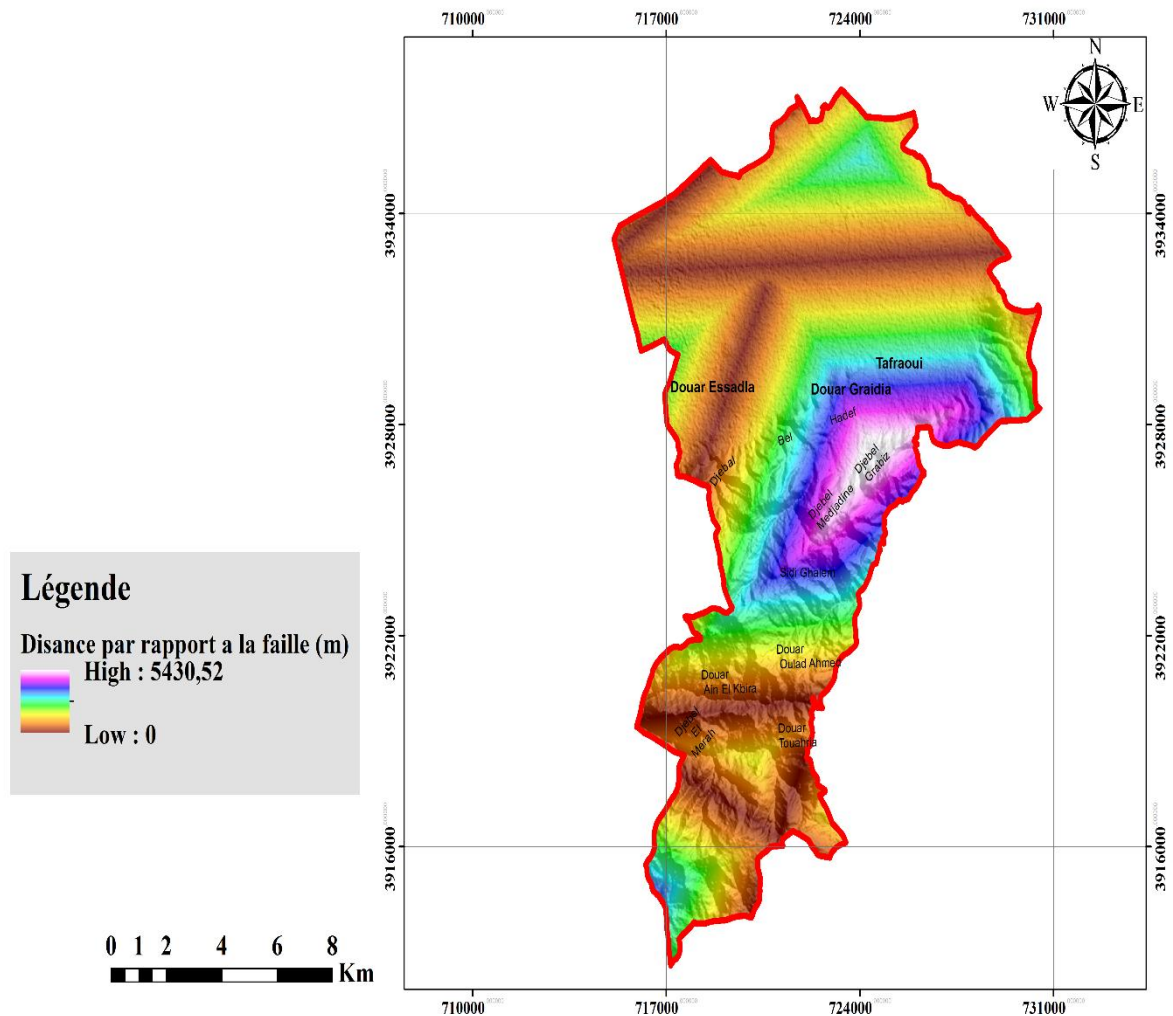


Fig.20 : la distance par rapport à la faille (m) de la commune de Tafraoui (versant Nord de Tessala).

**VII -l'activité morphogénique :**

Les manifestations de l'érosion sont nombreuses et spectaculaires, et sont constituées par un ensemble complexe de processus qui provoquent un façonnement du model actuel.

**1-ruissellement diffus :**

C'est un processus de façonnement des interfluvés, il peut être localisé, isolé ou généralisé à toute une surface, il est très dominant dans le bassin versant

**2-ruissellement concentré :**

Il engendre des incisions linéaires localisées formant un chevelu du réseau suivant leur taille : les rigoles (l'ordre de centimètre), les ravineaux et les ravines ( inf et égal à 1 m) , et en fin les ravins ( supérieur à 1 m)

**3- ravinement généralisé :**

Représente le stade ultime de dégradation, il est favorisé par des pentes très fortes et par une absence totale de végétation

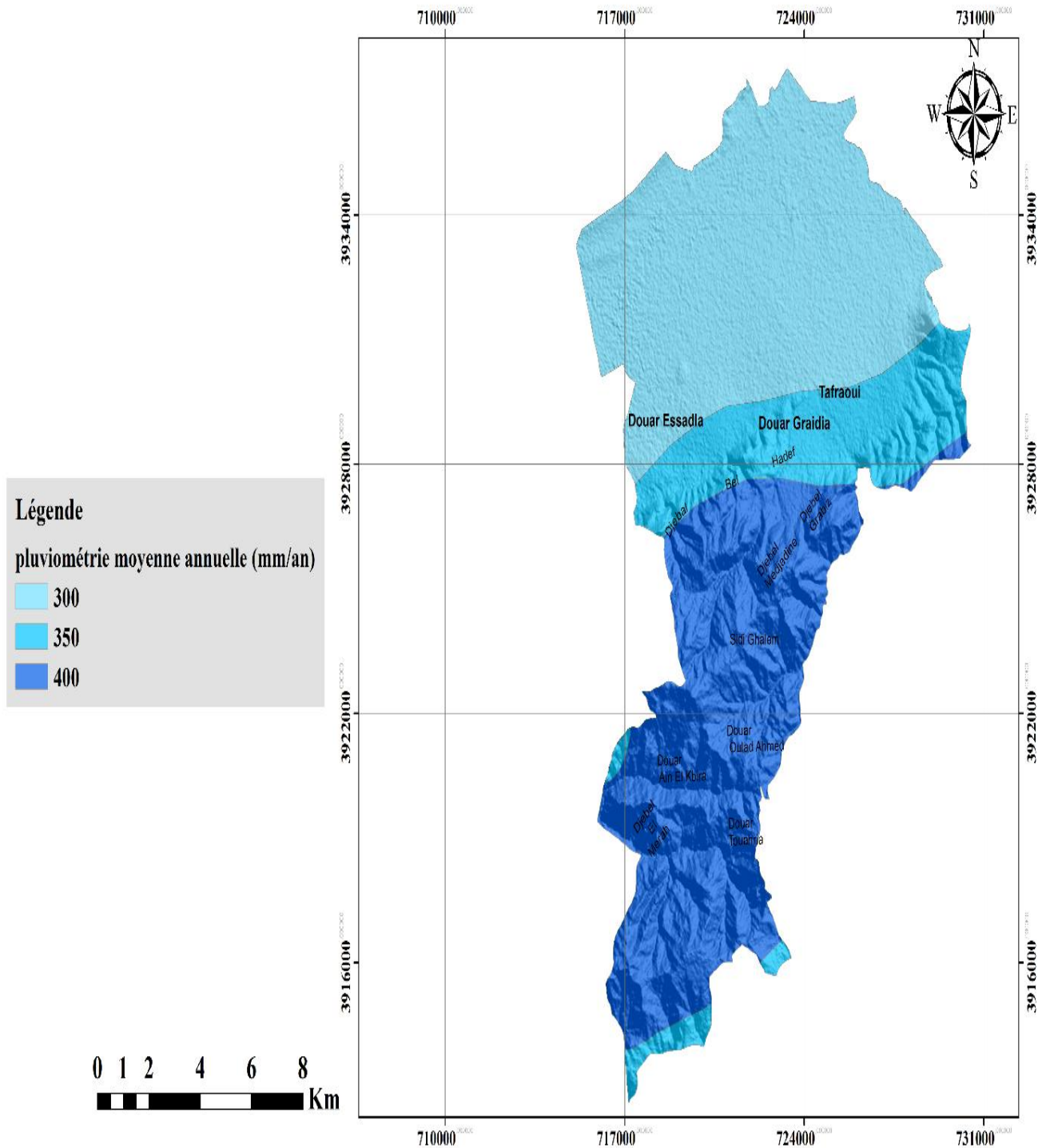
**VIII -les mouvements de masse :**

Ce sont des phénomènes fréquentes qui se produisent soit rapidement, soit lentement. Ils affectent un versant dans son ensemble ou uniquement quelques parties de celui-ci.

Ces mouvements de masse ou solifluxion, représentent un faible pourcentage dans le bassin versant. Par contre, d'autres formes sont assez répandues et très fréquentes, ce sont les pieds de vache qui sont des petits gradins discontinus , qui résultent d'un tassement suite aux passages réguliers du cheptel.

La nudité presque totale du sol, et le relief accidenté montrent l'effet de l'érosion dans le bassin versant, et il ressort un net déséquilibre biologique créé par les incendies, les défrichements, et le surpâturage.

**IX -La Pluviométrie :**



**Fig.21 : La Pluviométrie de la commune de Tafraoui(versant Nord de Tessala).**

Selon la carte pluviométrique, le bassin versant de Tafraoui se caractérise par un paysage diversifié, une topographie très accidentée et une dynamique érosive importante. Il est constaté, au Nord, une pluviométrie moyenne annuelle de 300 mm/an, alors que vers le Sud où les dénivellations sont plus importantes, il est constaté une pluviométrie moyenne atteignant 400 mm/an.

**X -aperçu sur le milieu physique :****1-le climat :**

Il joue un rôle très important du milieu naturel.

Le climat est la résultante des actions de l'atmosphère : humidité, température, précipitations .... C'est l'élément naturel qui influe directement sur les processus de la pédogenèse : de la formation végétale et de l'évolution des sols.

**Nous sommes référés aux données d'Oran et Es Senia enregistré entre 1997 et 2008.**

Le climat de Tafraoui à l'instar de celui d'Es Senia est méditerranéen avec un caractère semi-aride.

Une saison chaude et sèche en Eté.

Une saison fraîche et humide en Hiver.

**Les précipitations enregistrées à Oran et Es Senia entre 1997 et 2008 selon l'office de la météo d'Oran sont présentées dans le tableau suivant :**

Année	Septembr e	Octobr e	Novembr e	Décembr e	Janvie r	Févie r	Mar s	Avri l	Ma i	Jui n	Juille t
1997- 1998	44	21	35	28	28	28	18	14	37	0	0
1998- 1999	1	6	49	42	65	60	54	0	1	0	0
1999- 2000	13	29	120	79	1	0	13	17	34	0	0
2000- 2001	21	43	111	20	71	108	1	25	28	0	0
2001- 2002	17	23	184	26	3	4	50	57	38	1	0
2002- 2003	1	15	71	1	79	82	13	26	24	0	1
2003- 2004	11	21	54	78	35	22	18	47	68	4	0
2004- 2005	1	45	69	70	8	63	33	22	0	8	0
2005- 2006	6	10	81	43	77	61	12	18	20	7	0
2006- 2007	9	0	9	111	25	33	60	87	4	1	0
2007- 2008	33	131	123	15	13	16	15	4	12	6	7

**Tab. 08 : Précipitation Oran Es Senia entre 1997 et 2008**

**2- les températures :**

Les températures moyennes enregistrées entre 1997 et 2008 sont présentées par le tableau suivant :

<b>Année</b>	<b>Septem bre</b>	<b>Octob re</b>	<b>Novem bre</b>	<b>Décem bre</b>	<b>Janvi er</b>	<b>Féври er</b>	<b>Ma rs</b>	<b>Avr il</b>	<b>M ai</b>	<b>Jui n</b>
<b>1997- 1998</b>	23,8	21,4	16,8	12,9	12,5	13,9	14, 5	16, 4	18, 5	22, 7
<b>1998- 1999</b>	24,6	18,1	15,2	10,7	11,4	10,5	14, 4	16, 6	20, 6	23, 2
<b>1999- 2000</b>	24,2	21,5	13,3	12	9,2	12,8	14	16, 3	20, 1	23, 5
<b>2000- 2001</b>	23,1	18,3	14,8	13,2	11,8	12,3	16, 8	16, 1	18, 5	23, 7
<b>2001- 2002</b>	23,5	22	14,2	11,2	11,1	12,3	14, 5	16, 1	19	22, 9
<b>2002- 2003</b>	23,2	20	16	14,3	10,9	11,1	15, 3	16, 1	19, 3	24, 9
<b>2003- 2004</b>	24	20,8	15,4	12,2	12,1	13,6	13, 7	15, 6	17, 3	23, 1
<b>2004- 2005</b>	24,8	21,3	13,5	11,8	8,7	9,1	13, 9	15, 8	20, 6	23, 5
<b>2005- 2006</b>	23	20,7	14,6	11,4	10,4	11	14, 9	18, 1	20, 6	22, 9
<b>2006- 2007</b>	23,5	21,5	17,4	12,8	11,1	13,9	13, 1	15, 5	19, 4	22, 9
<b>2007- 2008</b>	23,4	19,4	14	11,3	11,5	13,4	14, 5	17, 4	19, 3	22, 5
<b>Moyen ne</b>	23,7	20,4	15,0	12,1	10,9	12,1	14, 5	16, 3	19, 3	23, 2

**Tab. 09 : Températures moyennes entre 1997 et 2008 Oran Es Senia**

## **XI -hydrographie et point d'eau :**

### **Il se compose de :**

#### **1-les oueds :**

On se trouve en présence de quatre oueds dont le principal est l'oued Tafraoui.

Le second oued ; est l'oued EL –MADI, qui se trouve à l'Est du 1 er oued ; ou plusieurs chaabets l'alimentent,

Le 3ème et le 4ème se trouvent dans la partie Sud du bassin versant,

Qui sont respectivement : l'oued TEMEZRET, et l'oued MORRA.

#### **2- les chaabets :**

Les ruisseaux alimentent progressivement les chaabets, qui se trouvent en général entaillées dans un sol de nature très tendre, ainsi qu'un couvert végétal moyennement dense à très clair, parmi ces chaabets , nous distinguons : chaabet DRAA EL BEL à l'Ouest de l'oued Tfraoui ) et chaabet BOU ZEMIMA , et chaabet EL-KOUL.

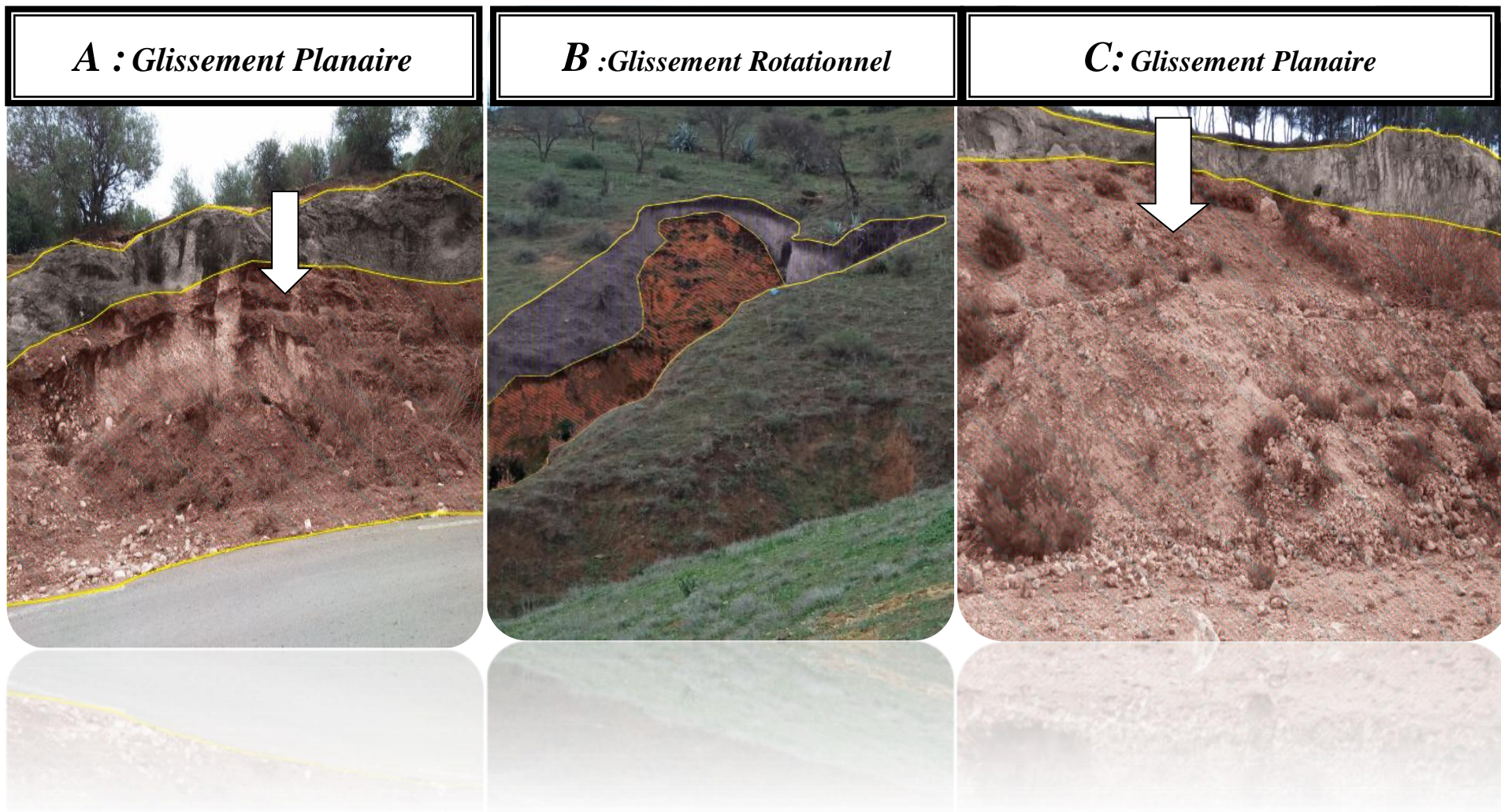
## **XII. Le But d'étude et le choix de terrain :**

En Algérie du Nord, les mouvements de terrain jouent un rôle prépondérant dans l'évolution des versants. Les études géologiques et géotechniques du terrain sont le plus souvent motivées par la recherche de solutions à apporter à un mouvement déclaré. Ainsi l'objectif de notre travail est d'étudier la stabilité du versant nord de Tessala , identifier les différents facteurs , délimiter les zones exposer au risque de glissements de terrain et recherche des solutions .

La région de Tafraoui a connu plusieurs de glissements qui ne sont pas déclarés, aussi ces glissements à causer une grande perte de terrain fertile qui endommagé les espaces agricoles.

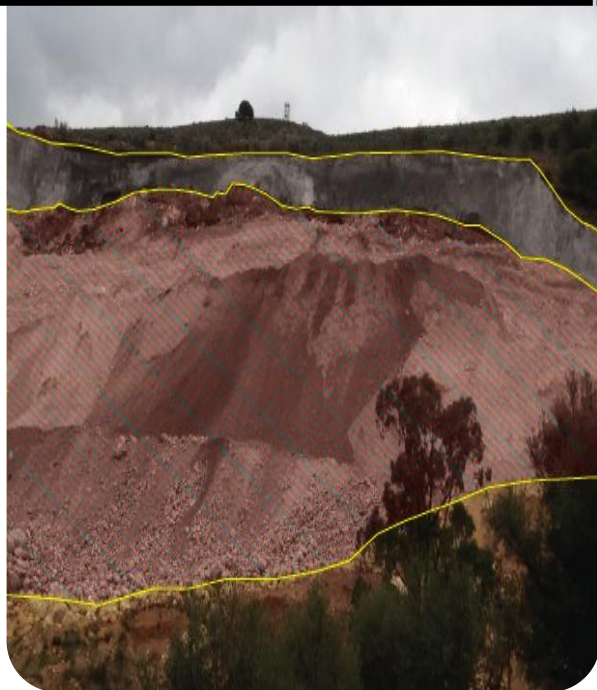
## **Quelque glissement de terrain enregistré aux niveaux de la région Tafraoui**



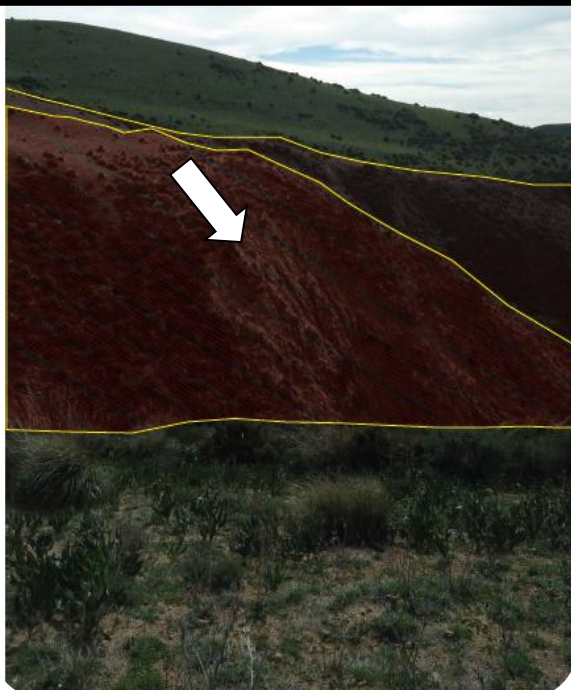




***D*** : Glissement Rotationnel



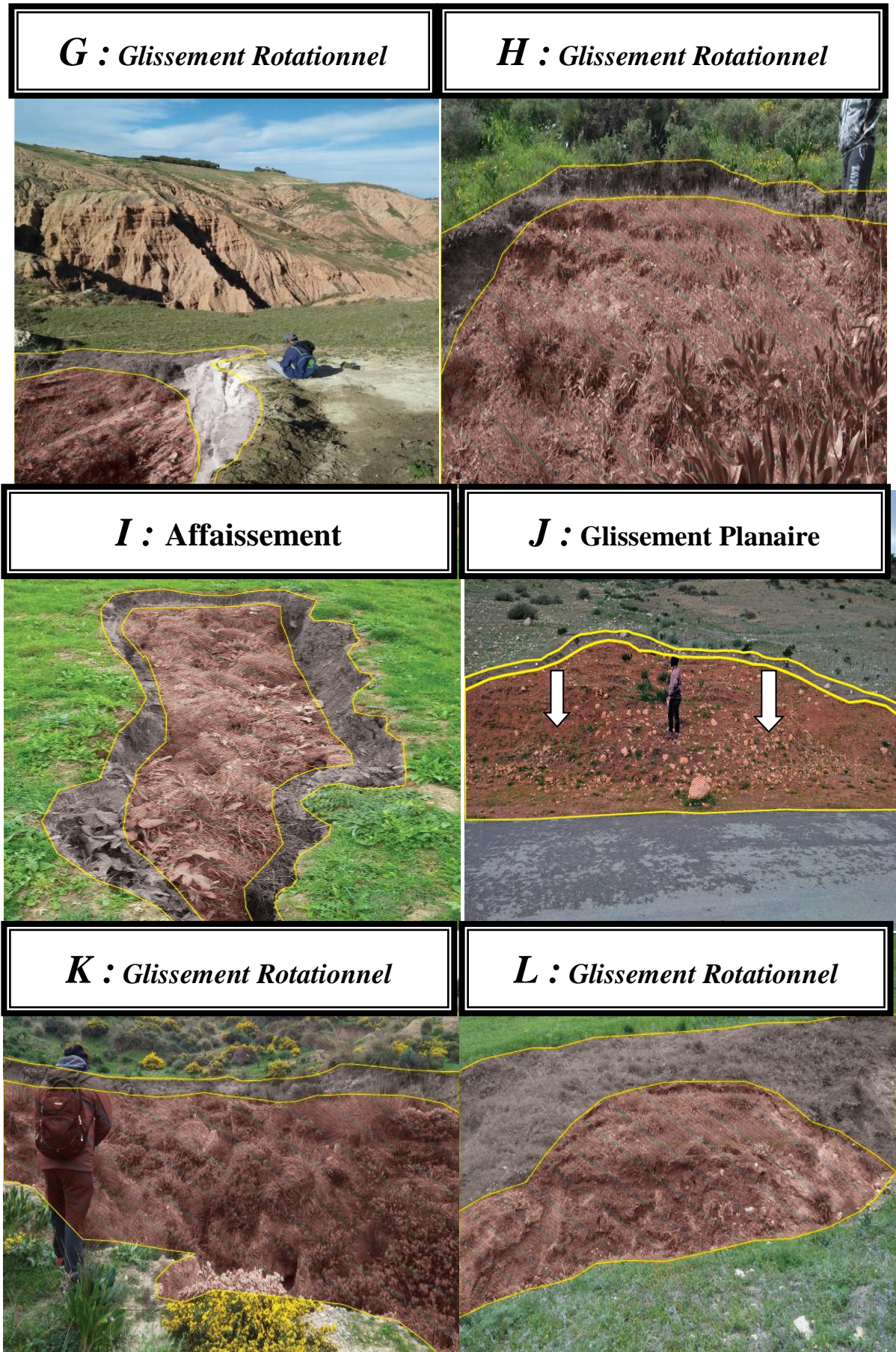
***E*** : Glissement Planaire



***F*** : Glissement Rotationnel







**Fig.22 : Glissements sur la région deTafraoui (versant Nord de Tessala).**





**Fig.23 : Localisation des glissements à l'aide des locaux.**

## **XII -Conclusion :**

La commune de Tafraoui se trouve sur la zone sismique qui couvre le Nord de l'Algérie, son climat est dit tempéré-chaud. Selon l'aspect géomorphologique de cette région, il est constaté qu'elle est susceptible aux glissements de terrains, donc c'est une zone à risques.

On a remarqué, après chaque sortie effectuée, de **continuels** glissements de terrains après chaque **précipitation**. Les types dominants sont des glissements rotationnels.

## **CHAPITRE 3 METHODES D'EVALUATION DE L'ALEA DES GLISSEMENT DE TERRAIN**

### **I- L'aléa et la vulnérabilité :**

#### **I.1-Aléa :**

L'aléa désigne la probabilité d'occurrence d'un phénomène.

L'aléa est principalement fonction de l'intensité du phénomène et de son occurrence.

#### **I.2-Les composantes de l'aléa :**

##### **a. Probabilité d'occurrence :**



Plus la probabilité est forte, plus l'aléa est fort.

##### **b. Intensité :**

- F= (Volume et vitesse de la masse en mouvement, hauteur de submersion, vitesse d'écoulement, etc).
- Conditionne potentiel de gravité et potentiel destructeur.



Plus l'intensité est forte, plus l'aléa est fort.

##### **c. La période de référence:**

- Temps pendant lequel les événements étudiés sont susceptibles d'intervenir.



On identifie ce qu'il pourrait se passer dans le siècle à venir (potentialité), c'est-à-dire pendant toute la durée de vie d'une construction classique.

#### **I.3- Vulnérabilité :**

Exprime le niveau de conséquences prévisibles d'un phénomène naturel sur les enjeux, des préjudices humains aux dommages matériels.

**Vulnérabilité = F ( nature des biens, localisation, résistance intrinsèque).**

**Enjeux = vulnérabilité X valeur.**

**I.4- Les enjeux :**

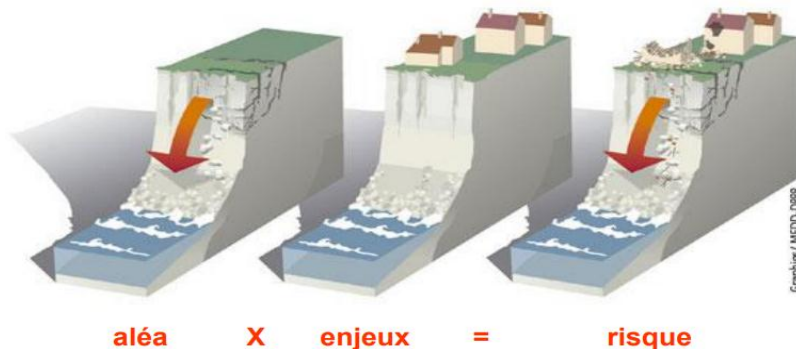
**Sont les domaines affectés par le risque.**

Les hommes, leurs biens et les milieux dans lesquels ils vivent.

Ces enjeux varient suivant la nature de l'aléa.

**2.1-Triple composante : humaine, socio-économique, environnementale.****2.2-Les enjeux (ou valeurs) peuvent être quantifiés à l'aide de divers critères :**

- Les dommages corporels (nombre de victimes, décès, blessés).
- Le nombre de personnes déplacées, sans-abris, etc.
- Les dommages matériels (coût pour remettre en état les constructions endommagées, etc.). – La valeur stratégique de certains édifices.
- La valeur patrimoniale de certains édifices.
- Le nombre d'emplois exposés, etc.
- Le coût de cessation de production ou d'activités.



**Fig.24 : le risque.**

**II- Alea et carte de risque de glissement :****III - Méthodologie générale :**

Différentes méthodologies de cartographie de l'aléa mouvements de terrain peuvent être mises en œuvre en fonction du contexte. Mais, quelle que soit l'approche, l'élaboration d'une carte d'aléa comporte deux phases principales : la phase analytique et la phase de synthèse et d'interprétation.

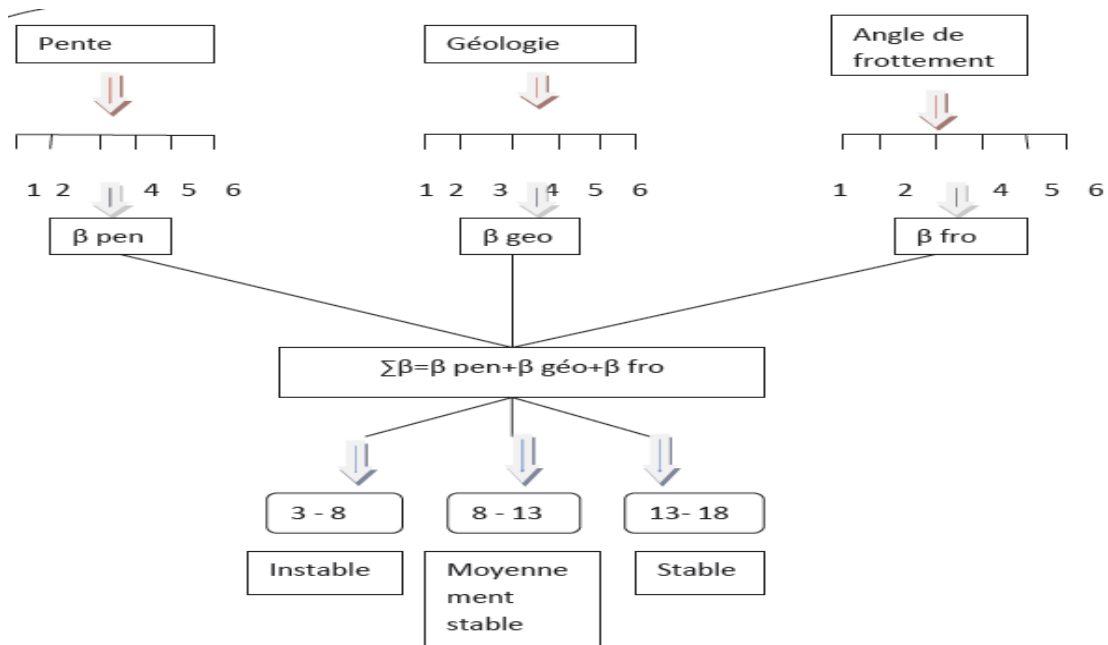


Fig.25 : Schéma d'indexation des paramètres.

### III.1- Description des deux phases :

#### A- La phase analytique :

Consacrée au recueil de l'information de base nécessaire à la mise en œuvre de la phase suivante.

**Pour chaque zone/quartier/cité, faisant l'objet d'un zonage de l'aléa, la phase analytique consiste en la mise en œuvre autant que possible des points suivants :**

- Analyse des instabilités figurant au sein de la zone étudiée ou encore dans un contexte géologique et morphologique proche équivalent à celui de la zone étudiée.
- Recherche documentaire relative au secteur d'étude (données géologiques, pédologiques, formations superficielles, ...).
- Recherche des photographies aériennes disponibles et collecte des photos les plus pertinentes auprès du Service de l'Urbanisme.
- Analyse des données topographiques et cartographiques disponibles la précision du support cartographique va déterminer la précision du zonage ; Il est illusoire de vouloir produire des cartes à grande échelle si le support décrivant la topographie n'est pas suffisamment précis.
- Identification par photo interprétation d'indices d'instabilité ou de morphologies remarquable qui feront ensuite l'objet d'une interprétation sur le terrain.
- Elaboration d'une carte géologique des sols, des roches, des colluvions et des alluvions.

**B- Une phase de synthèse et d'interprétation :**

Qui vise à déduire des données de base ou à produire à partir de celle-ci, une information Nouvelle concernant l'aléa.

Parmi les méthodes mises en œuvre dans la phase de synthèse et d'interprétation, on distingue les méthodes qualitatives des méthodes déterministes.

**-B.1 Les méthodes qualitatives :**

Consistent à partir de règles d'expert (basées sur l'expérience et l'observation) ou de règles empiriques, à délimiter des zones homogènes en termes de niveau d'aléa.

La formulation de règles peut permettre une cartographie assistée par ordinateur. Les méthodes dites « par expertise » sont les plus communément utilisées.

L'aléa est généralement exprimé de façon qualitative (faible, moyen, fort).

L'approche qualitative ne permet pas toujours une grande précision dans la définition des contours et des niveaux d'aléa.

**-B.2 Les méthodes déterministes :**

Reposent sur la mise en œuvre de modèles physiques et mathématiques reproduisant plus ou moins fidèlement la réalité. Les résultats sont a priori plus précis que précédemment, à condition que les données de base du modèle aient un niveau de précision compatible avec celui du modèle.

L'aléa est exprimé de façon quantitative, ce qui n'empêche pas une traduction sous forme Qualitative plus facilement compréhensible.

L'approche déterministe convient d'avantage pour les grandes échelles (1/10000 et plus) et est en général mise en œuvre ponctuellement ou sur des territoires d'extension limitée, étant donné les fortes contraintes liées à la qualité des données de base.

- « Plusieurs méthodes sont utilisées pour l'évaluation de l'aléa, que nous présentons dans ce chapitre. Elles peuvent être qualitatives ou quantitatives, et directes ou indirectes.

Les méthodes qualitatives sont subjectives et portent le zonage d'aléa sur des termes descriptifs (qualitatifs). Les méthodes quantitatives produisent des estimations numériques (probabilités) pour l'occurrence des phénomènes de glissement dans toutes zones d'aléa.

Les méthodes directes consistent en une cartographie géomorphologique de l'aléa de mouvements de pente. Concernant les méthodes indirectes, l'évaluation de l'aléa est faite essentiellement par étapes judicieuses.

**IV - Les plus importantes méthodes proposées dans la littérature peuvent se regrouper en quelques catégories principales (CARRARA et al 1992 ; VAN WESTEN 1993 ; CARRARA et al1995 ; HUTCHINSON 1995) et qui sont :**

- **Cartographie géomorphologique d'aléa** : Méthode directe et qualitative, elle met en évidence la capacité et la compétence de l'investigateur à estimer l'actuel et le potentiel mouvement de pente.
- **Méthode basée sur des indices** : C'est une méthode indirecte et qualitative, elle est fondée à priori sur la connaissance de toutes les causes des événements et les facteurs d'instabilités responsables de ces derniers.
- **Analyser l'inventaire des glissements de terrain** : C'est une tentative de prédire de futur modèle d'instabilité par distribution passée ou présente le dépôt de mouvements de terrain. Elle est accomplie en préparant la carte de densité des phénomènes (carte donnant le nombre ou le pourcentage de surface couvert par les dépôts de glissements de terrain partout dans la région). C'est une méthode indirecte et quantitative.
- **Méthodes statistiques, probabilistes** : Elles se basent sur l'analyse de relations fonctionnelles entre les facteurs d'instabilité et la distribution, passée ou présente, des glissements de terrain. C'est une méthode indirecte et quantitative.

**On peut aussi différencier ces méthodes (d'après FARES 1994) en deux groupes, méthodes déterministes (arithmétique) et méthodes probabilistes.**

« Cette méthode de cartographie des risques naturels a été utilisée pour faire face aux mouvements de terrain au niveau du site de **Taounate (Rif central, Maroc) (fig. 26)** ».

Elle tient en compte les facteurs permanents liés à la topographie, à la nature et à la structure du matériau et à la géomorphologie. Ces facteurs sont cartographiés séparément pour obtenir les cartes de facteurs du risque. La superposition de ces cartes fait ressortir les relations entre la lithologie, la pente et les indices d'instabilité. Une Étude basée sur les calculs de rapports de surfaces (rapport des surfaces instables sur la surface de la classe considérée) permet de fonder une simulation du risque qui est gradué en cinq niveaux dans une échelle numérique (1, 2, 3,4 et 5). Ceci conduit à transcrire les cartes de facteurs en cartes numériques appelées cartes de simulation du risque.



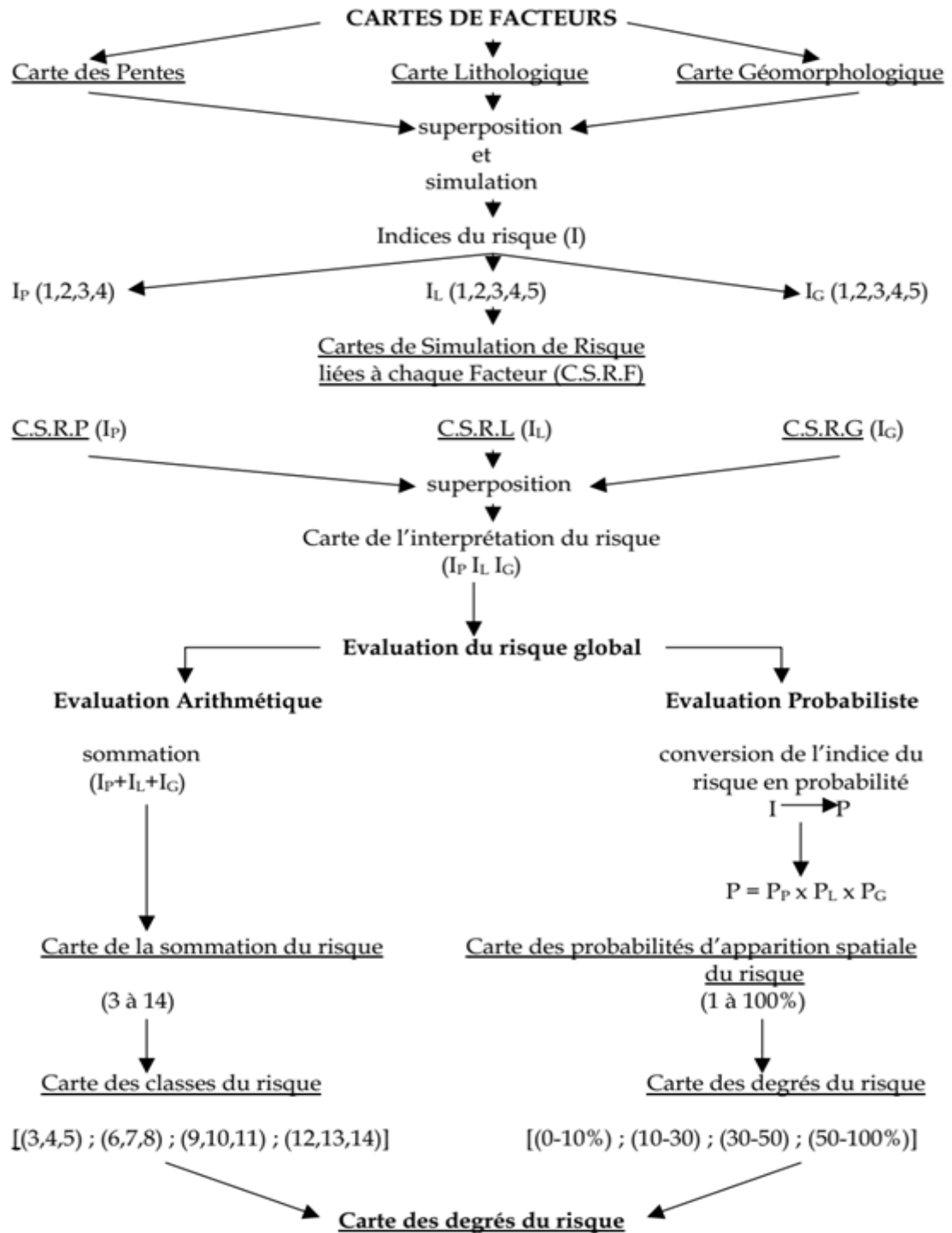


Fig.26 : Schéma de la méthode de la cartographie des risques naturels (d'après Fares, 1994).

**D'après P. ANTOINE et al (2000), ces méthodes sont classées en catégories suivantes :**

- Jugement qualitatif d'expert ;
- Méthode par pondération des facteurs ;
- Etude statistique ;
- Calculs systématiques de stabilité.

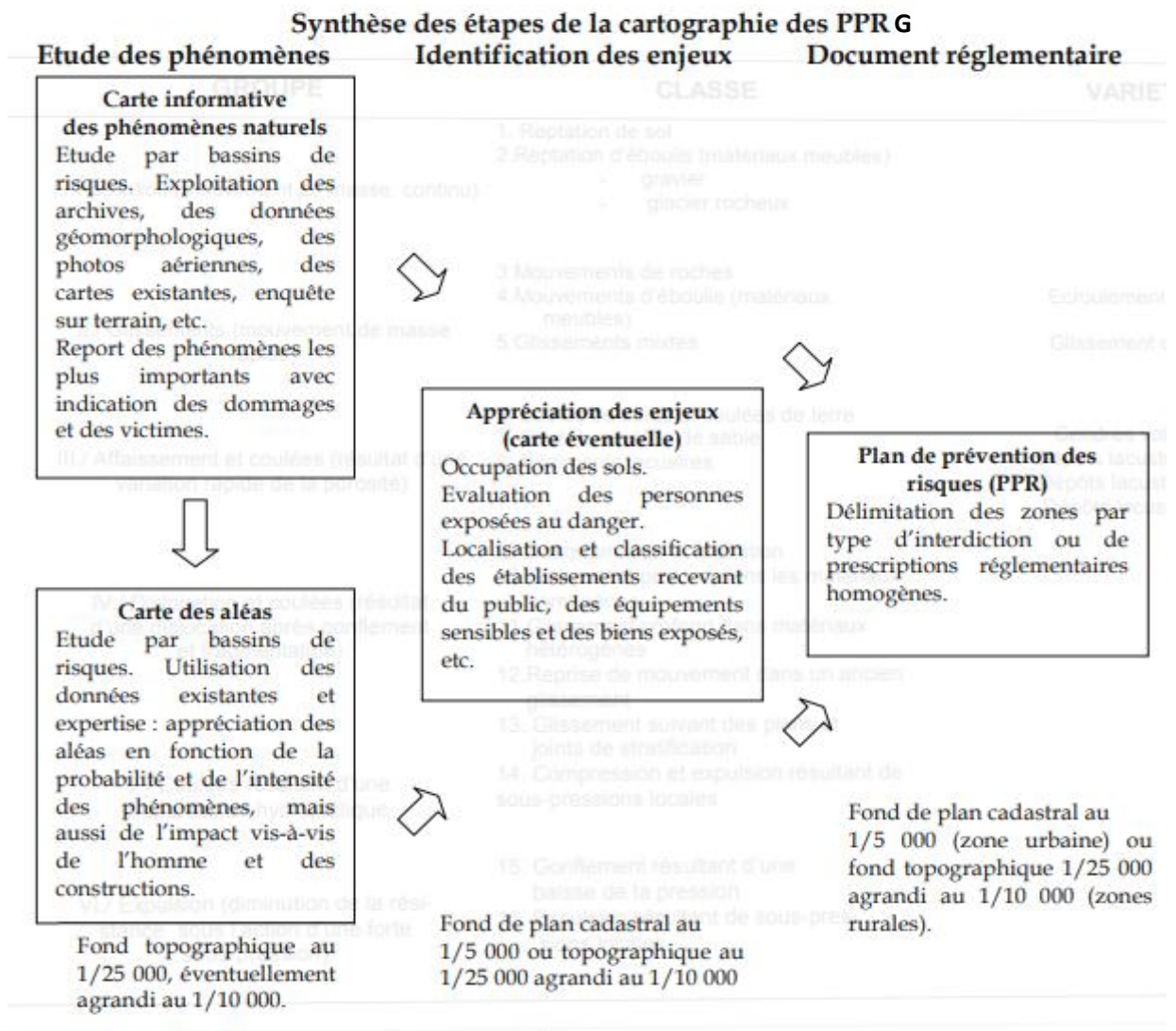
**V - Les deux objectifs principaux assignés à la carte d'aléa :**

- **Fournir une information la plus complète possible sur les phénomènes naturels :**

La carte doit être significative et intelligible au spécialiste qui la dresse, sans perdre pour autant l'une de ses fonctions premières qui est la communication. Les informations doivent passer, d'une manière compréhensible, de l'émetteur au récepteur. On peut citer l'exemple des cartes ZERMOS (France) qui ont été vendue en librairie. Donc la carte est de type informatif, et doit induire un comportement responsable des citoyens et des décideurs (récepteur), qui se protégeront des dangers ou éviteront les zones à risque.

- **Préparer la réalisation d'une carte de type réglementaire :**

Son rôle est d'imposer des contraintes et des modalités aux habitants, aux usagers d'un équipement public, aux candidats à la construction, etc. (obligation de travaux de protection, interdiction de construire, etc.) de façon à réduire le risque. En France, les plans de prévention des risques (PPR), dressés au niveau communal, délimitent des zones dans lesquelles une réglementation s'impose aux projets nouveaux, voire aux installations existantes (fig.27).



**Fig.27 : Diagramme décrivant la démarche des PPRG, incluant la carte des aléas et la carte informative qui la précède (carte de constat) (d'après un document du ministère français de l'environnement et de l'aménagement du territoire) (P. ANTOINE ET al.2000).**

**VI- Cartes d'inventaire <sup>1</sup>:**

Ces cartes sont destinées essentiellement aux techniciens qui prennent en considération des sources de renseignements inexploitable par les non-spécialistes, telle que photo-interprétation, enquête sur le terrain, etc. Toutefois, on peut citer l'exemple de la carte PER (plans d'exposition aux risques, France) qui s'adresse à un large public. Elle a pour but de situer les phénomènes connus (manifestation dans le temps et extension) et de livrer quelques éléments permettant à ce dernier de comprendre la carte d'aléa (principaux facteurs d'instabilité par exemple).

La seule difficulté qui réside dans cette carte est qu'elle soit « multirisque » et ceci par la représentation des différents types de mouvements de terrain (glissement de terrain, chute de blocs, etc.) par plusieurs couleurs. Certaines cartes traitent de six phénomènes présentés selon trois possibilités, c'est-à-dire trois nuances. Ceci sature l'œil par les dix-huit couleurs à identifier.

**Pour cette carte, l'ordre de présentation des éléments met donc en relation :**

- Une identification spatio-temporelle ;
- Le phénomène : couleur dominante ;
- Son déroulement dans le temps (ancien/ actif/ potentiel/ rare/ fréquent) : couleur nuancée ;
- Son type : poncifs.
- Une seconde série de renseignements, qui vise à souligner les principaux facteurs d'instabilité des mouvements de terrain et les systèmes de défense. »<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> Bouamra, O. (2004) : contribution à l'analyse de stabilité des terrains marneux en pente de la région d'Alger par plaxis.mem., Master.univ., DJILALI BOUNAAMA DE KHEMIS MILIANA

<sup>2</sup> Ghenani, B. (2003) : Cartographie et zonage de l'aléa des zones exposées aux risques de mouvement de pentes.mem., Magister ., univ., Abou bekr Belkaid Tlemcen UABT ,107p « PAGE N59 »

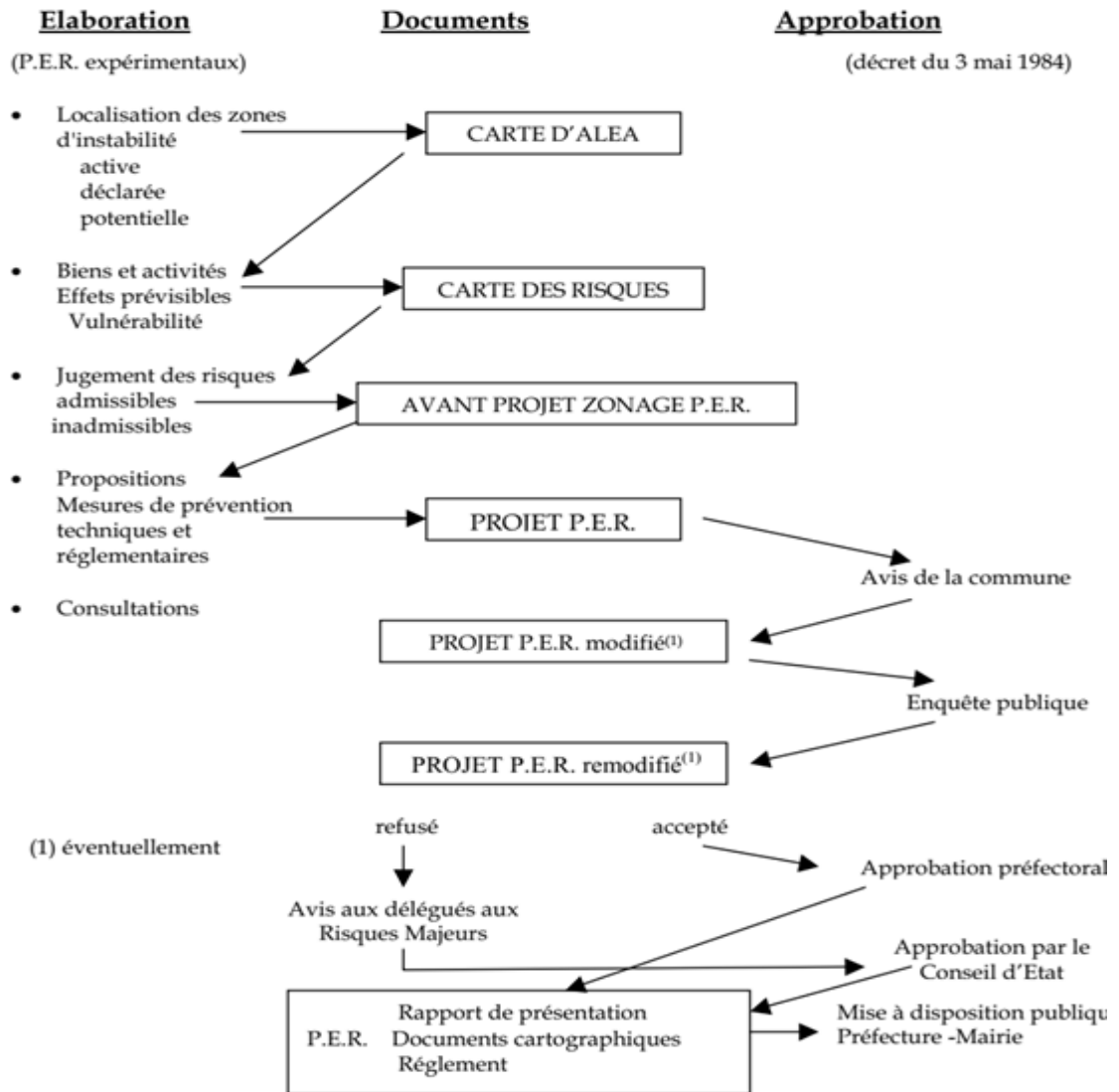


Fig.28 : procédure scientifique, technique et administrative d'établissement d'un PER (France) mouvement de terrain (J.C.FLAGEOLLET,1989).

**VII- Les Méthodes de calcules :**

« Si le glissement est supposé, on détermine sa probabilité d'occurrence (ou aléa), s'il est passé, on détermine sa probabilité de réactivation, s'il est en cours, on détermine son activité. Dans tous les cas, l'évaluation de l'aléa suit la même démarche : identification des facteurs de prédisposition au phénomène et de déclenchement du phénomène.

**VII.1- Facteurs de prédisposition :**

La nature, l'épaisseur, l'altération des terrains et leurs propriétés ; l'existence de discontinuités (failles) ; morphologie du site (pente) ; hydrogéologie (circulations d'eau souterraine) et drainage du site.

**VII.2- Facteurs de déclenchement :**

D'origine naturelle (forte pluviométrie, fonte des neiges), sollicitations sismiques, érosion, crues ; d'origine anthropique (terrassment, vibration / explosion, fuite d'eau, surcharge, pompage).

**VII.3- L'intensité :**

Dépend du volume total de l'éboulement potentiel, du volume des blocs individuels, de leur énergie cinétique, de leur aptitude à se fragmenter au cours de la chute et de la propagation, de la diffusion ou de la concentration du phénomène.

**VIII- La notion d'aléa de référence :**

Pour prévoir au mieux le phénomène qui pourrait se produire et dont il faut protéger les populations et les biens concernés, il convient de déterminer pour chaque type de mouvement de terrain le phénomène de référence susceptible de se produire sur un secteur homogène donné.

**Conventionnellement, il s'agit du plus fort événement historique connu sur le site. Cependant, en l'absence d'antécédents identifiés sur le secteur considéré, on se base :**

- a-* Soit sur le plus fort événement potentiel vraisemblable à échéance centennale ou plus en cas de danger humain ;
- b-* Soit sur le plus fort événement historique, observé dans un secteur proche, présentant une configuration similaire (géologie, géomorphologie, hydrogéologie, structure).

**À chaque mouvement prévisible de référence est associé un aléa de référence.**

**IX- Les Approches :****IX.1- Approche par expertise :****DESCRIPTION :**

L'évaluation de l'aléa repose sur l'expérience de l'expert à travers une approche essentiellement naturaliste. Les règles pour définir le zonage sont rarement explicitées et pour la plupart qualitatives. L'expertise reste l'approche la plus employée compte-tenu de la modicité des moyens requis.

**INCONVÉNIENTS :**

- Peu explicite, cette approche n'autorise que rarement une critique constructive des cartes élaborées ; la comparaison des cartes réalisées par différents experts peut être de ce fait délicate ;
- Seuls les facteurs permanents sont généralement pris en compte ; il s'agit donc d'un zonage dans le temps et non d'un modèle spatio-temporel.

**IX.2- Approche statistique des événements historiques :****DESCRIPTION :**

Elle est basée sur l'analyse en retour de phénomènes historiques connus. Il s'agit, par des traitements plus ou moins élaborés, d'extraire les facteurs de prédisposition aux mouvements de terrain et in fine les règles de définition des zonages.

**INCONVÉNIENTS :**

- Nécessite d'avoir un échantillonnage représentatif pour réaliser des traitements statistiques significatifs. C'est un point particulièrement problématique qui motive le développement de bases de données exhaustives sur les mouvements de terrain.
- Seuls les facteurs permanents sont généralement pris en compte (non prise en compte des facteurs déclenchant).

**IX.3- Approche déterministe :****DESCRIPTION :**

L'évaluation de l'aléa est basée sur une analyse mécanique de la stabilité à l'aide de modèles (modèles de stabilité) à deux ou trois dimensions. Le choix du modèle dépend des données disponibles. Le rôle des facteurs déclenchant est pris en compte.

**INCONVÉNIENTS :**

Le calage des modèles de stabilité est directement dépendant de la densité et de la qualité des données disponibles.

**Le choix de la méthode dépend de :**

La densité, la précision, la fiabilité des données existantes ; la plus ou moins grande complexité et le degré de connaissance des processus physiques en jeu, la multiplicité des paramètres intervenant ; l'importance des enjeux socio-économiques et humains ; le délai et les moyens disponibles pour fournir l'évaluation ; les objectifs de l'évaluation de l'aléa. »<sup>3</sup>

**X- Notre méthode : les analyses statistiques bivariées sont considérées comme des approches plus objectives que les méthodes qualitatives**

**X.1- Analyses bivariées <sup>4</sup>:**

Les analyses statistiques bivariées s'apparentent aux approches basées sur des opérations simples d'algèbre cartographique. Cependant, ces deux types d'approches se distinguent par les calculs des poids qui s'appliquent aux différentes classes de facteurs contrôlant la stabilité. Dans les analyses bivariées~ l'attribution des poids aux classes est réalisée en fonction de la densité de glissements de terrain à l'intérieur de celles-ci.

Les étapes suivies dans l'évaluation de l'aléa « glissement de terrain » lors d'une analyse statistique bivariée sont les suivantes :

1. Identification et préparation des cartes des facteurs qui contrôlent la stabilité ;
2. Établissement de la carte de localisation des glissements de terrain ;
3. Superposition de la carte des glissements de terrain aux cartes des facteurs ;
4. Attribution d'un poids à chacune des classes de chacun des facteurs en fonction de la densité de glissements de terrain.
5. Attribution d'un poids à chacun des facteurs selon l'expérience régionale d'experts ;
6. Calcul et cartographie de l'aléa par des opérations d'algèbre cartographique entre les cartes des facteurs pondérés.

---

<sup>3</sup><http://observatoire-regional-risques-paca.fr/article/principes-generaux-devaluation-lalea-mouvements-terrain>

<sup>4</sup>Aleotti, P & Chowdhury, Robin. (1999). Landslide hazard assessment: Summary review and new perspectives in Bulletin of Engineering Geology and the Environment ;.



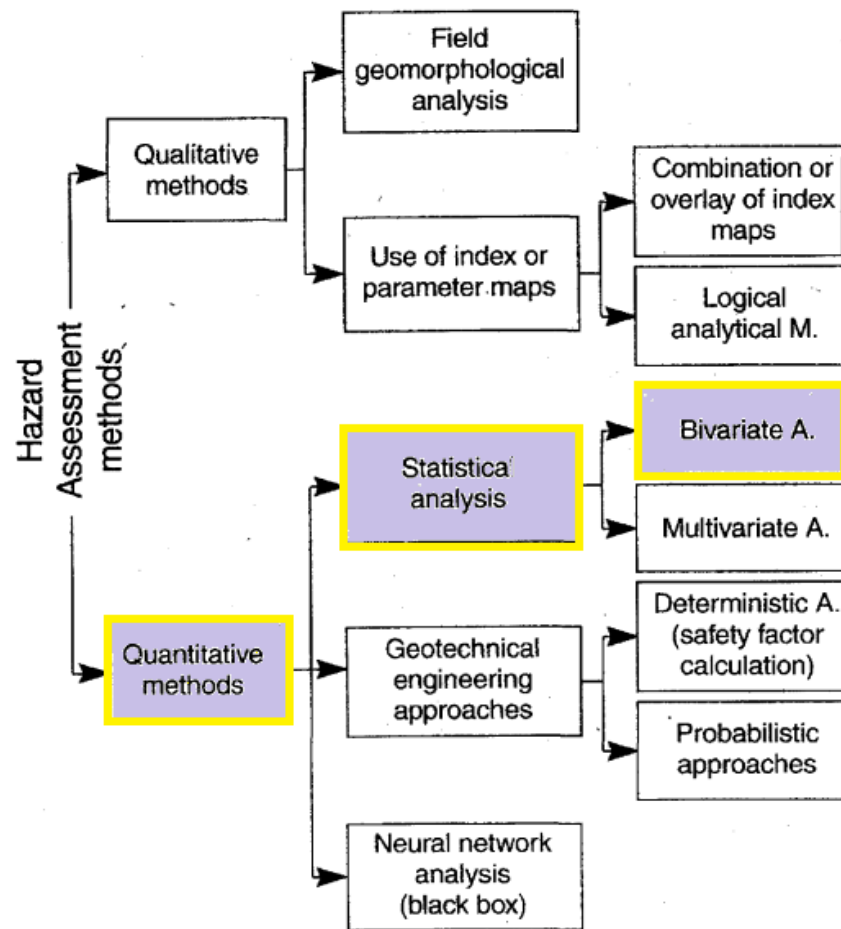


Fig.29 : Classification des principales approches d'évaluation de l'aléa « glissement de terrain» (tiré de Aleotti et Chowdhury, 1999).

**X.2- Ratio de Fréquence :**

La susceptibilité d'occurrence de chaque aléa (pour les glissements de terrain « Landslide susceptibility » ou « LSS ») en fonction des valeurs prises par chacune des variables explicatives considérées est le ratio entre :

- la fréquence d'un aléa pour une plage de valeur d'une variable prédictive.
- la fréquence des aléas sur l'ensemble du territoire considéré.

Ce calcul revient à déterminer l'indice de spécialisation de chaque type de mouvement de masse en fonction des plages de valeurs de chaque paramètre.<sup>5</sup> lorsque l'indice LSS est supérieur à 1 alors la plage de valeur du paramètre considéré est favorable au déclenchement du type de mouvement de masse considéré.

C'est le pourcentage de glissement de terrain dans une class donnée divisé par le pourcentage de la même Class.

<sup>5</sup>Pumain, Denise et Saint-Julien, Thérèse (1997) L'analyse spatiale. Localisation dans l'espace. Paris, Arman Colin (Coll. « Géographie »), 167 p

Le ratio de fréquence valeur moyen égale a 1

Si la valeur est supérieure à 1 ça veut dire corrélation forte.

Si la valeur est inférieure à 1 ça veut dire corrélation faible.

Pour calculs l'indice de Susceptibilité au glissement de terrain le ratio de fréquence de chaque paramètre doit être sommé selon l'équation suivante :

$$(isg) = RF1 + RF2 + RF3 + \dots + RFm$$

D'où :

ISG = indice de susceptibilité au glissement de terrain

RF = ratio de fréquence pour chaque class

**X.3- Valeur informative :**

**EVALUATION DE LA SUSCEPTIBILITE AUX GLISSEMENTS DE TERRAIN**

La démarche méthodologique adoptée pour évaluer la susceptibilité aux glissements de terrain est illustrée sur la figure (Fig.30). Il s'agit d'une méthode quantitative, statistique (probabiliste).

Cette démarche s'articule essentiellement autour de quatre étapes<sup>6</sup> :

1. L'inventaire et l'identification des instabilités de terrain ;
2. La cartographie des facteurs conditionnant (paramètres de prédisposition), dans cette étude on a pris la lithologie, la pente, l'exposition des versants, le réseau hydrographique. La précipitation est aussi prise en considération autant qu'un facteur déclenchant.
3. La définition de pondération relative à chaque facteur mis en cause pour la localisation des phénomènes.
4. Calcul de l'indice d'aléa et la réalisation de la carte de susceptibilité avec ses différentes classes.

*Exemple*

*Dans le cas des mouvements de masse, on peut établir la formule suivante :*

$$LSS = \frac{A_{mi} / A_i}{A_{mt} / A_t} \quad \text{où}$$

$A_{mi}$  : Aire occupée par les mouvements de masse de type m dans une plage de valeur i d'un paramètre.

$A_i$  : Aire occupée par une plage de valeur i d'un paramètre.

$A_{mt}$  : Aire occupée par les mouvements de masse de type m sur la totalité de la zone d'étude.

$A_t$  : Aire totale de la zone d'étude.

<sup>6</sup> Van Westen, C. J., Rengers, N., Terlien, M. T. J., & Soeters, R. (1997). Prediction of the occurrence of slope instability phenomena through GIS based hazard zonation. Geological review, 86(2), 404-414.



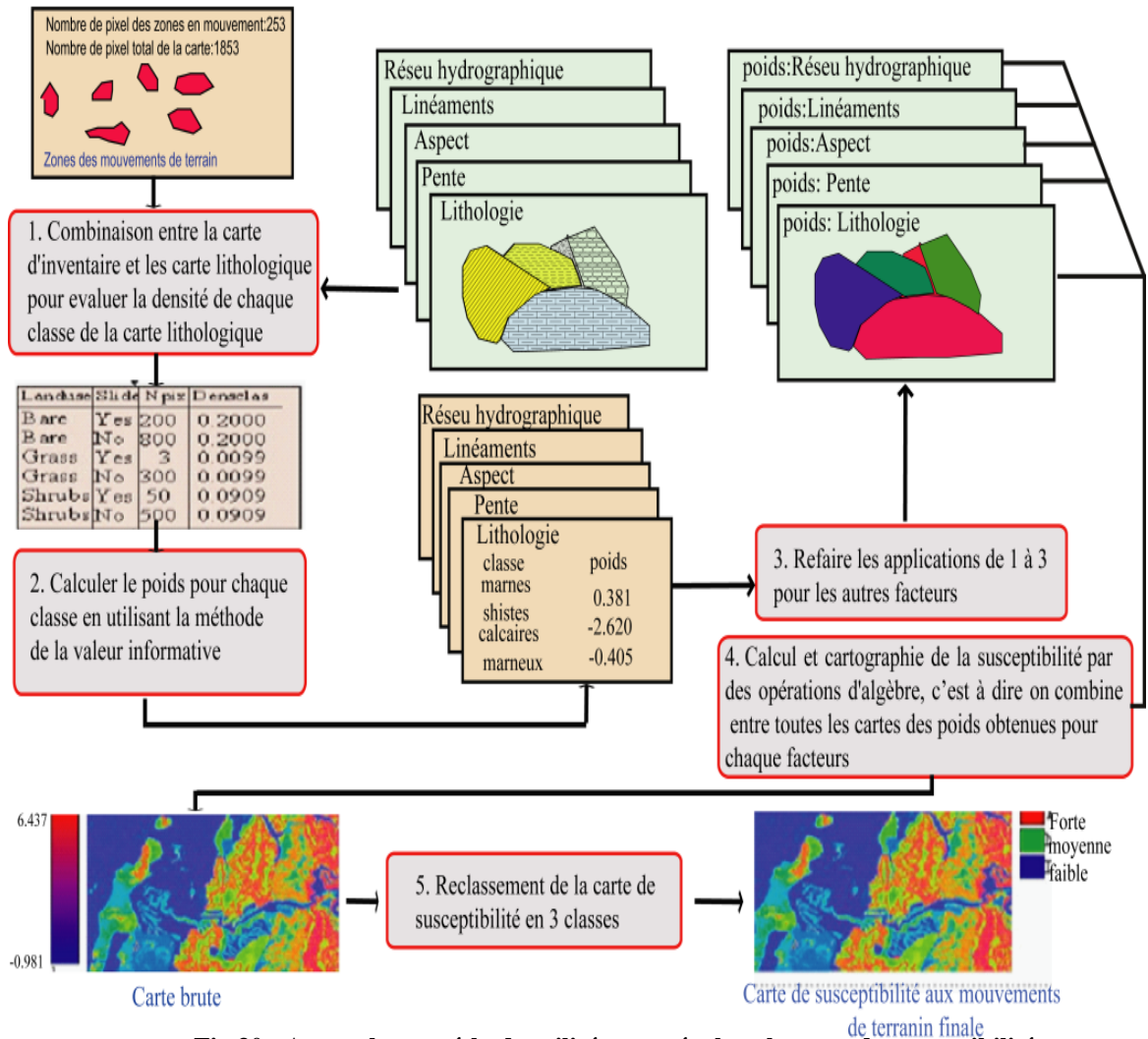


Fig.30 : Approche et méthode utilisée pour évaluer la carte de susceptibilité Aux glissements de terrain.

Afin de développer le modèle d'analyse spatiale, nous avons utilisé le GIS en se basant sur la formule suivante proposée par : (Yin & Yan, 1988; Jade & Sarkar, 1993; Van Westen J.C. 1997).

$$w = \ln \left( \frac{\text{Densité classe}}{\text{Densité map}} \right) = \ln \left( \frac{\frac{Si}{Ni}}{\frac{S}{N}} \right)$$

D'où :

- ✓ Si = le nombre de pixels ou la surface de la classe i qui a glissé ;
- ✓ Ni = le nombre de pixels ou la surface de la classe i ;
- ✓ S = le nombre total de pixels ou la surface totale qui a glissé ;
- ✓ N = le nombre total de pixels ou la surface totale des unités de la carte (zone d'étude).

La valeur informative permetre pour calculs la pondération de chaque class.

Des résultats positive et négative de l'indice de susceptibilité aux glissements de terrain ça veut dire et les valeurs élevées indiquent une grande possibilité aux glissements de terrain.

**XI : L'organigramme de travail :**

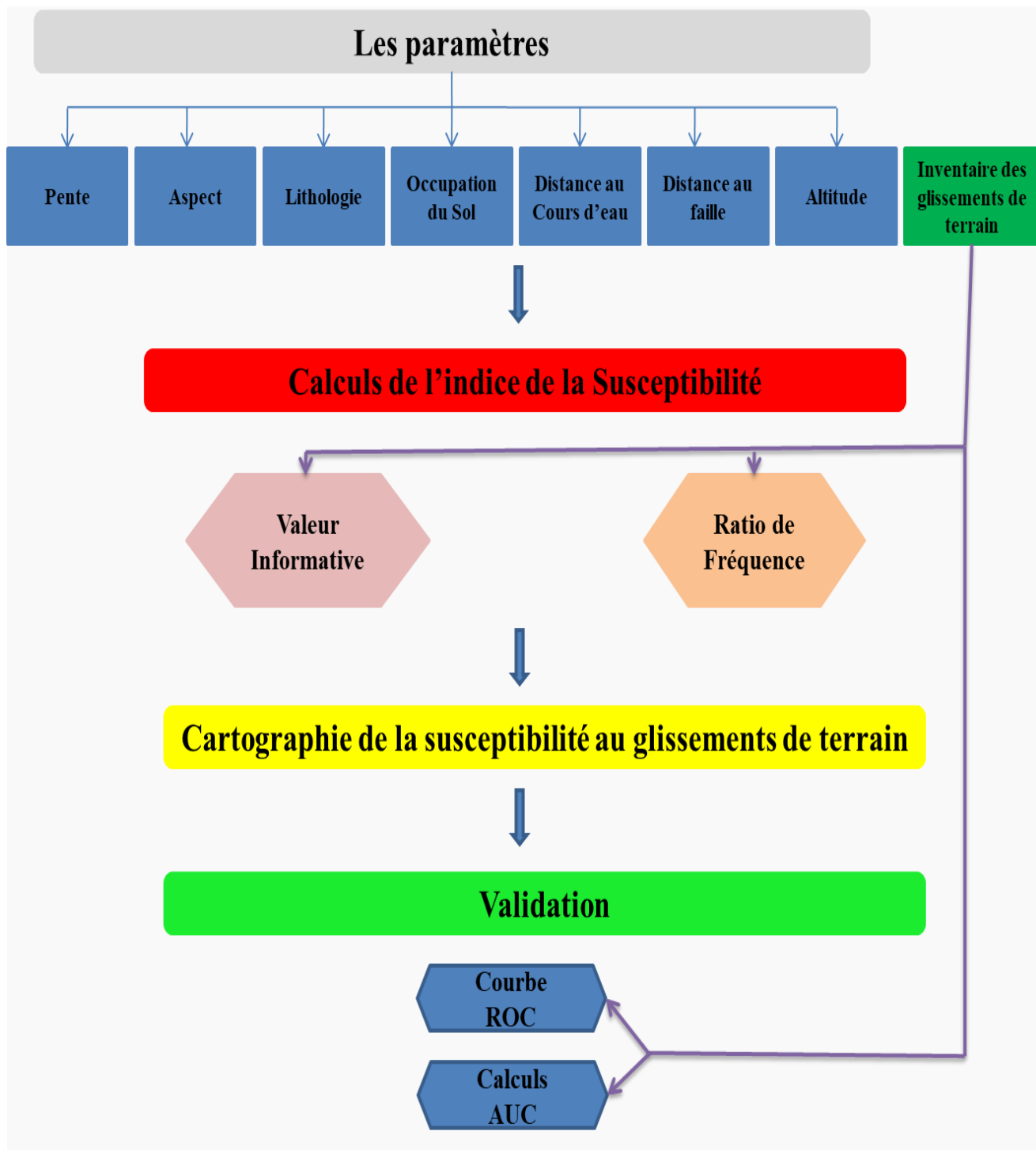


Fig.31 : Schéma synthèse de la méthodologie du travail

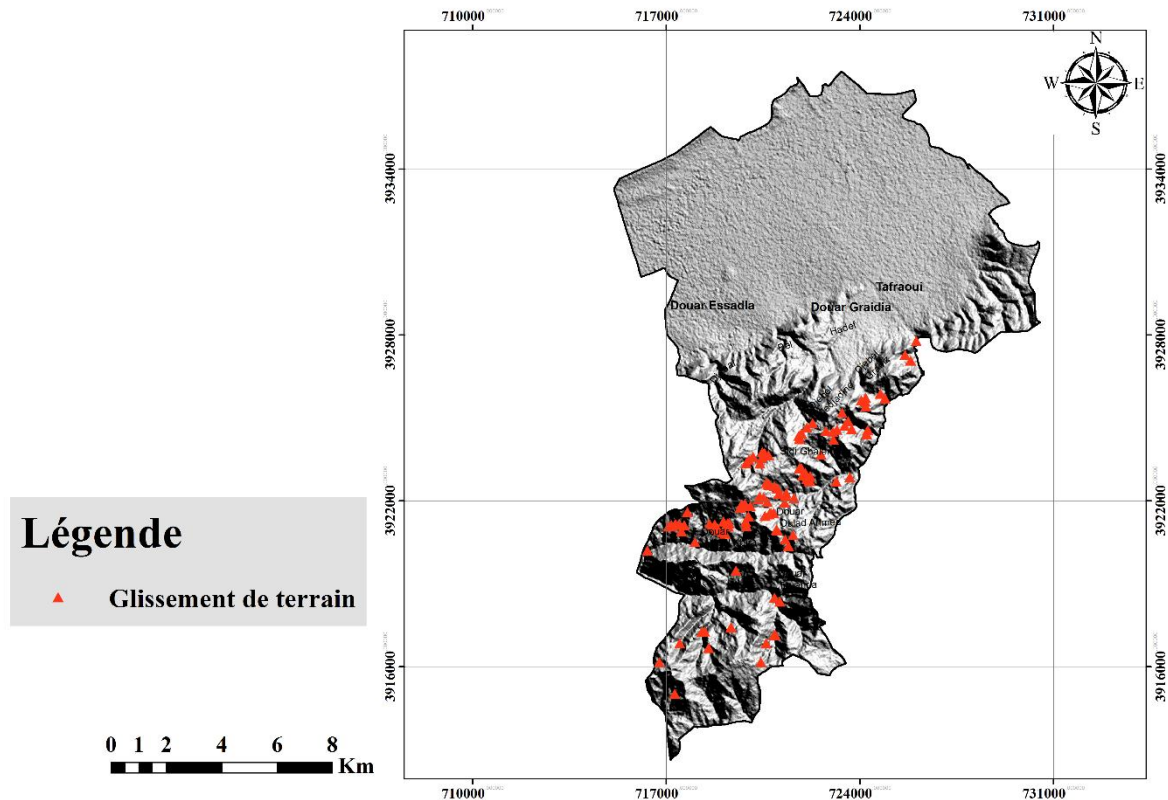


Fig.32 : Carte d'inventaire de glissements de terrain localisé ( Plus de 120 )

## **XII- PRESENTATION GENERAL DE L'OUTIL DE TRAVAIL ArcGIS :**

### **I. Introduction :**

Un SIG (ou Système d'Information Géographique) est un système capable d'acquérir, d'organiser, de traiter, d'analyser et de diffuser des données géo spatiales, et ce, par exemple, afin de produire des cartes, des plans et des bases de données spatiales. Désignant à la fois les aspects logiciels mais également les aspects méthodologiques et humains, les SIG sont aujourd'hui de véritables outils de connaissance et d'outils d'aide à la décision dans de nombreux domaines. L'ensemble des outils et procédures permettant la représentation et l'étude de phénomènes spatiaux grâce à des données géographiques est désigné sous le terme de géomatique (combinaison des termes géographie et informatique).

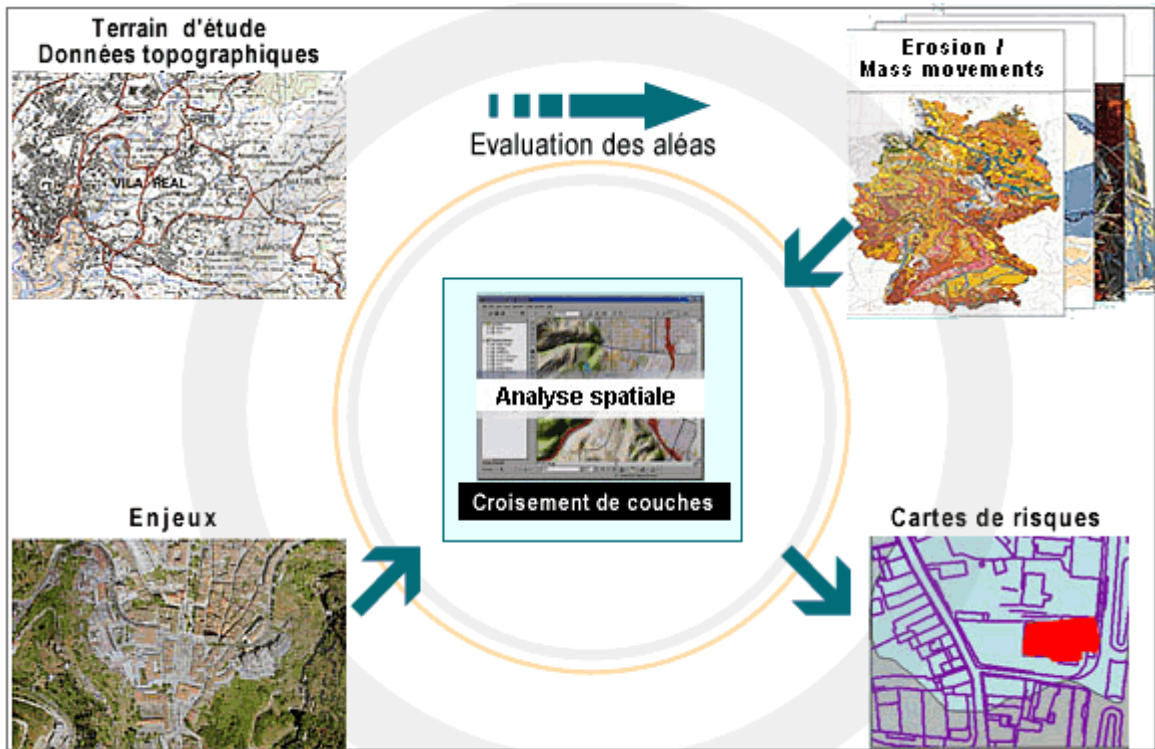
### **\* Présentation de logiciel ArcGIS :**

#### **1. Définition :**

ARC GIS est le premier logiciel ESRI de SIG (Système d'Information Géographique).

Système informatisé associant des bases de données géographiques et des logiciels assurant leur gestion (stockage, mise à jour) et la production de représentations visuelles, cartes et graphiques notamment, issues de leur traitement.

« Logiciel SIG » permet l'intégration, l'organisation, les traitements, le croisement de données géographiques et la production cartographique.

**LE PRINCIPE D'UN SIG APPLIQUÉ À L'ÉVALUATION DES RISQUES ET À LA PRODUCTION DE CARTES DE RISQUES<sup>7</sup>**

**Fig.33** : LE PRINCIPE D'UN SIG APPLIQUÉ À L'ÉVALUATION DES RISQUES ET À LA PRODUCTION DE CARTES DE RISQUE

<sup>7</sup><https://e-cours.univ-paris1.fr/modules/uved/risques-naturels/html/2/22/index.html>



## CHAPITRE 04 : CARTOGRAPHIER DE LA SUSCEPTIBILITE AUX GLISSEMENTS DE TERRAIN

### I. EVALUATION DE SUSCEPTIBILITE PAR LES METHODES STATISTIQUES

D'après les calculs et l'élaboration de chaque formule relative au méthodes statistique on a obtenu ce résultat dans le tableau suivant « 120 Glissements Traité. »

Facteur	Class	Nombre de pixels de la class	Pourcentage de la class	Pourcentage de glissements de terrain	Ratio de fréquence	Valeur informative
La pente	0-10	765879	0.070133011	0.63974817	0.109625966	-0.955364774
	10-20	297997	0.34885127	0.248920568	1.401456187	0.151301319
	20-30	119046	0.245868601	0.099440591	2.472517491	0.397861166
	30-40	13706	0.014510278	0.011448791	1.267407049	0.107637912
	Plus 40	529	0.003426038	0.044188022	0.07753318	0.894209393
ASPECT	Plat	157457	0.004433696	0.131525773	0.033709713	-1.467523149
	Nord	131112	0.089883112	0.10951947	0.820704408	-0.08109144
	Nord-est	136825	0.155582426	0.114291609	1.361276016	0.138667987
	Est	111535	0.066908505	0.09316656	0.718160081	-0.139056945
	Sud-Est	116742	0.06267634	0.097516032	0.642728576	-0.187250597
	Sud	106274	0.106207175	0.088771982	1.196404223	0.082599731
	Sud-Ouest	106473	0.073155985	0.088938209	0.822548441	-0.080116723
	Ouest	125133	0.063079403	0.104525137	0.603485487	-0.214611376
Nord-Ouest	205606	0.060862555	0.171745226	0.354376984	-0.445812698	
Altitude	134-200	501211	0	0.418667727	0	0
	200-300	139360	0.00120919	0.116409126	0.010387414	-1.978770744
	300-400	91138	0.024183797	0.076128695	0.317669926	-0.493302105
	400-500	114950	0.253526804	0.096019152	2.640377449	0.426387809
	500-600	149203	0.303305119	0.124631105	2.433622958	0.390975088
	600-700	112713	0.093107618	0.094150558	0.988922631	-0.00011589
	700-800	58706	0.007456671	0.049037845	0.152059509	-0.813264623
	Plus 800	29876	0	0.024955791	0	0
Lithologie	Class 1	741540	0.096936719	0.619445962	0.156489387	-0.800773363
	Class 2	108717	0.121523579	0.090816823	1.338117495	0.131235996
	Class 2	346845	0.4643289	0.289737215	1.602586326	0.20956318
L'occupation du Sol	Plan d'eau	1058	0	0.000883583	0	0
	Sol nu	342620	0.456267634	0.286137346	1.594575612	0.207279855
	Culture	569661	0.086658605	0.47574948	0.182151761	-0.734931889
	Culture arboricole	1591	0	0.001328716	0	0
	Polyculture	4990	0	0.004167373	0	0
	Urbain	67022	0	0.055973082	0	0
	Oléiculture	26457	0	0.022095429	0	0
	Reboisement	175805	0.139862958	0.146822649	0.952597974	-0.016455609
	Foret	8193	0	0.006842342	0	0

<b>Précipitation</b>	<b>300</b>	<b>512371</b>	<b>0</b>	<b>0.428008404</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
	<b>350</b>	<b>206332</b>	<b>0.00241838</b>	<b>0.17235915</b>	<b>0.014031049</b>	<b>-1.8481692</b>
	<b>400</b>	<b>478402</b>	<b>0.680370818</b>	<b>0.399632447</b>	<b>1.702491437</b>	<b>0.23582559</b>
<b>La distance au Faille</b>	<b>0-1000</b>	<b>458476</b>	<b>0.065699315</b>	<b>0.38298761</b>	<b>0.17154423</b>	<b>-0.760882863</b>
	<b>1000-2000</b>	<b>329012</b>	<b>0.139862958</b>	<b>0.274839947</b>	<b>0.508888755</b>	<b>-0.288636124</b>
	<b>2000-3000</b>	<b>197067</b>	<b>0.21866183</b>	<b>0.164619782</b>	<b>1.328284042</b>	<b>0.128031976</b>
	<b>3000-4000</b>	<b>122252</b>	<b>0.32063684</b>	<b>0.102123124</b>	<b>3.139708501</b>	<b>0.50163035</b>
	<b>Plus4000</b>	<b>90297</b>	<b>0.255139057</b>	<b>0.075429537</b>	<b>3.382482092</b>	<b>0.533976527</b>
<b>La distance au cours d'eau</b>	<b>0-100</b>	<b>258073</b>	<b>0.24445788</b>	<b>0.215574079</b>	<b>1.133985499</b>	<b>0.059334374</b>
	<b>100-200</b>	<b>225800</b>	<b>0.150745667</b>	<b>0.188615729</b>	<b>0.799221081</b>	<b>-0.092606196</b>
	<b>200-300</b>	<b>193669</b>	<b>0.068520758</b>	<b>0.161775995</b>	<b>0.423553307</b>	<b>-0.36836505</b>
	<b>300-400</b>	<b>161474</b>	<b>0.066908505</b>	<b>0.1348828</b>	<b>0.496049197</b>	<b>-0.299748377</b>
	<b>400-500</b>	<b>118531</b>	<b>0.041112455</b>	<b>0.099011563</b>	<b>0.41522882</b>	<b>-0.376985638</b>
	<b>500-600</b>	<b>84100</b>	<b>0.02579605</b>	<b>0.070250588</b>	<b>0.367200483</b>	<b>-0.430369883</b>
	<b>600-700</b>	<b>63433</b>	<b>0.035469569</b>	<b>0.052986987</b>	<b>0.669401509</b>	<b>-0.16958644</b>
	<b>Plus700</b>	<b>92063</b>	<b>0.049778315</b>	<b>0.076902258</b>	<b>0.647293284</b>	<b>-0.184172026</b>

Tab.10 : les coefficients du Valeur informative et ratio de fréquence pour chaque facteur.

**N.B : le pourcentage de glissements de terrain dans la zone d'étude égale : 0.0041**

A partir des résultats finals les valeurs max représentes la relation maximale avec la susceptibilité d'occurrence d'un glissement de terrain. Quand la valeur est élevée la probabilité d'occurrence est grande.

Les facteurs apparaissent que ce sont les déclencheurs d'après les calculs dans le tableau suivant :

<b>Facteur</b>	<b>Class</b>	<b>Ratio de Fréquence</b>	<b>Valeur Informative</b>
<b>La pente</b>	<b>20-30</b>	<b>2.472517491</b>	<b>0.397861166</b>
<b>Aspect</b>	<b>Nord-Est</b>	<b>1.361276016</b>	<b>0.138667987</b>
<b>Altitude</b>	<b>400-500</b>	<b>2.640377449</b>	<b>0.426387809</b>
<b>Lithologie</b>	<b>Class 3</b>	<b>1.602586326</b>	<b>0.20956318</b>
<b>L'occupation du sol</b>	<b>Sol NU</b>	<b>1.594575612</b>	<b>0.207279855</b>
<b>Précipitation</b>	<b>400</b>	<b>1.702491437</b>	<b>0.23582559</b>
<b>La distance au faille</b>	<b>Plus 4000</b>	<b>3.382482092</b>	<b>0.533976527</b>
<b>La distance au cours d'eau</b>	<b>0-100</b>	<b>1.133985499</b>	<b>0.059334374</b>

Tab.11 : les valeurs maximales qui représentes une grande susceptibilité aux glissements.

**Les Classes les Plus susceptibles aux glissements :**

La pente entre 20et 30 degré au Nord-Est a une Altitude de 400 m à 500 m caractérisé au sol nu au moment d'une forte précipitation de 400 Ml près au cours d'eau moins de 100 m.



**II. CARTOGRAPHIER**

La carte de susceptibilité de glissements de terrain basée sur la valeur informative.

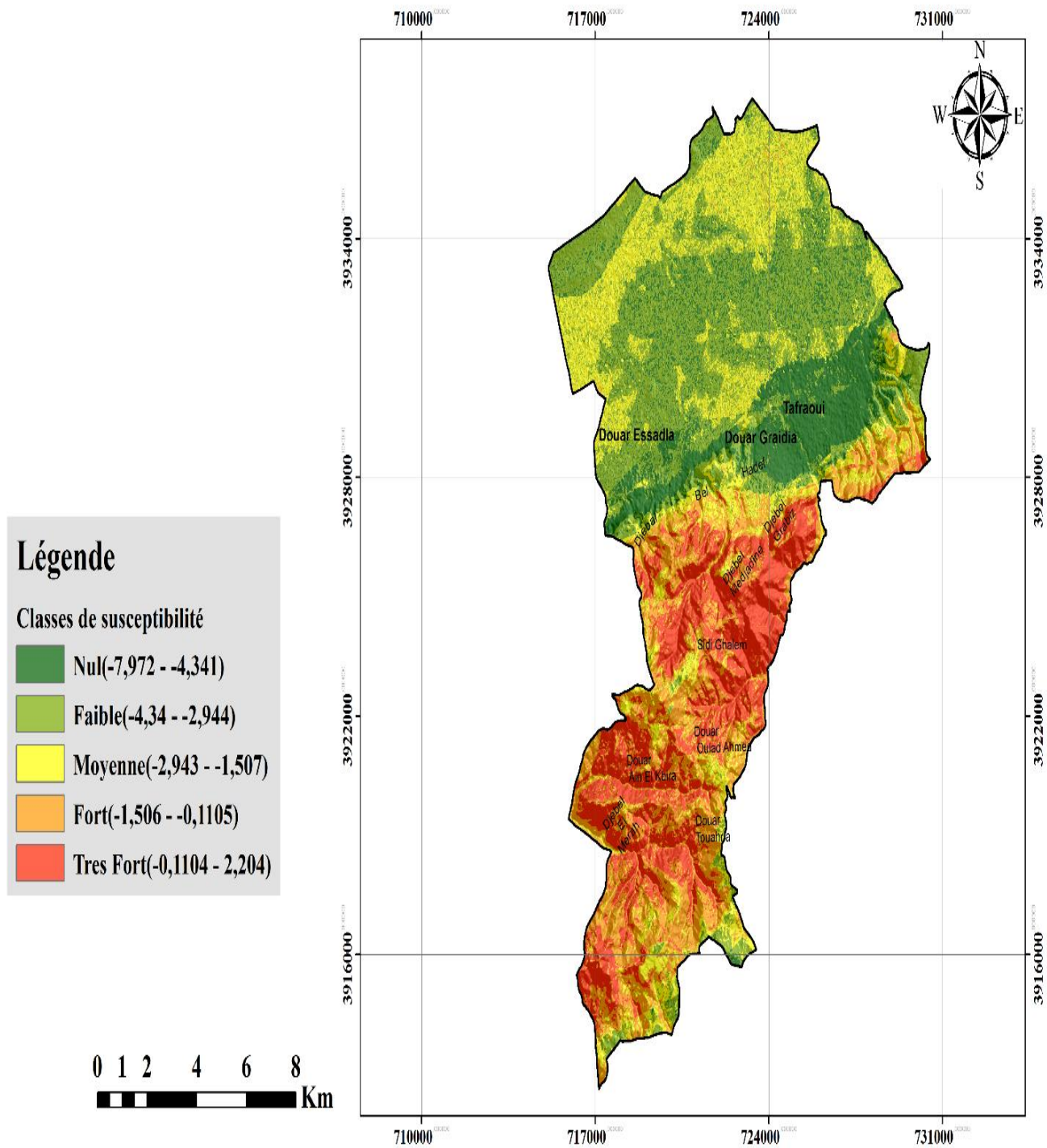
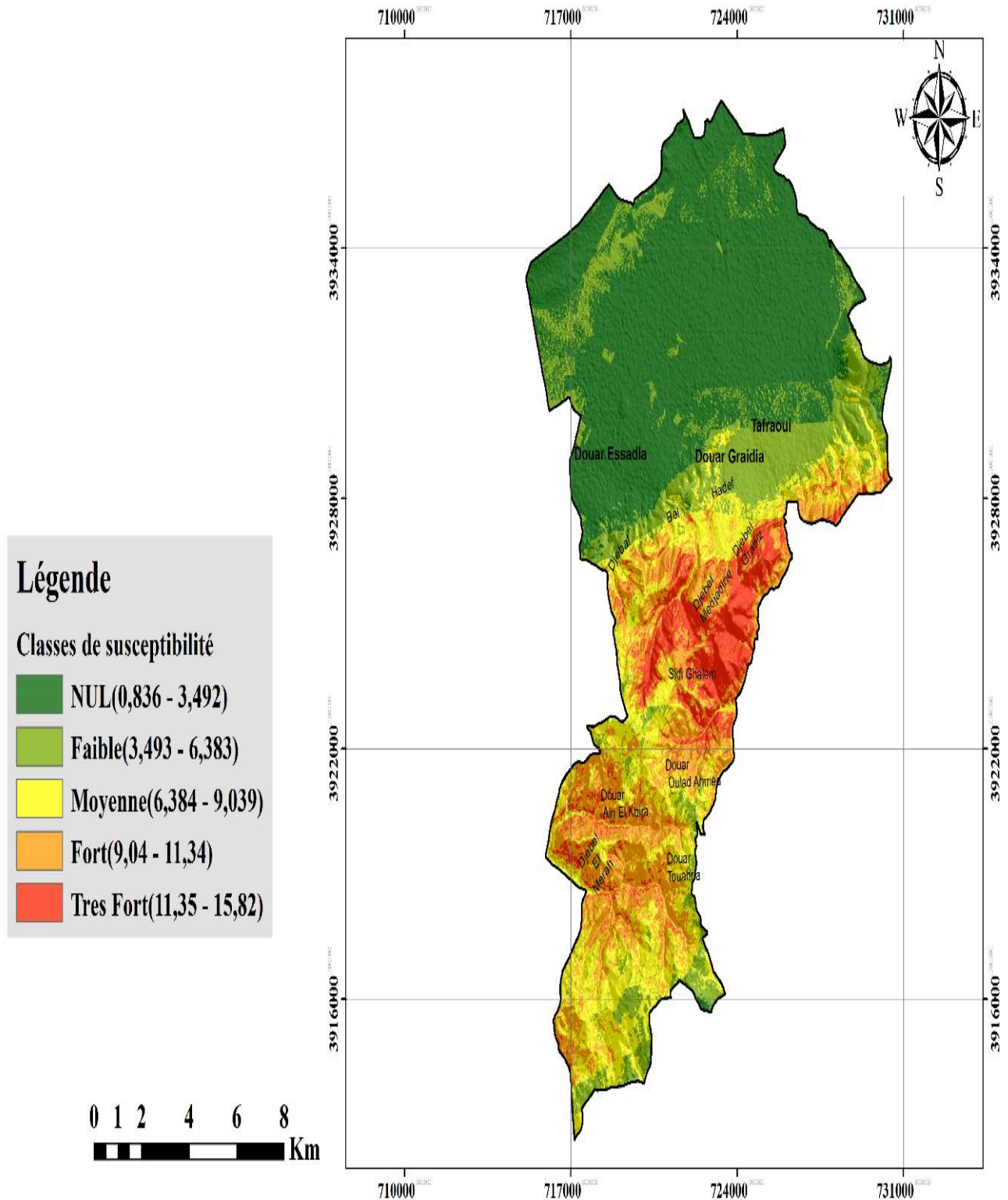


Fig.34 : La carte de susceptibilité de glissements de terrain basée sur la valeur informative.

**La carte de susceptibilité de glissements de terrain basée sur le Ratio de Fréquence.**



**Fig.35 : La carte de susceptibilité de glissements de terrain basée sur le ratio de fréquence.**

Les cartes montrant la distribution et le zonage des régions par leur susceptibilité aux glissements de terrain.

Les zones à susceptibilité très forte au sud de la commune Tafraoui jusqu'à nul au nord.

### **III - Méthodes d'évaluation de la qualité des résultats - VALIDATION :**

- L'évaluation de la qualité des résultats constitue une étape fondamentale à toute démarche de cartographie de la susceptibilité et/ou de l'aléa (Chung & Fabbri, 2003).

Elle doit suivre un protocole rigoureux et adapté à la méthode de cartographie afin désélectionner les résultats les plus robustes.

Pour cette recherche, chacune des cartes produites a été évaluée suivant trois tests de qualité successifs reposant sur les approches à la fois qualitatives et quantitatives.

Les différents tests présentés ici dans le cadre de la cartographie semi-quantitative, seront également repris dans le cadre des démarches quantitatives (.....) .

#### **III.1- la courbe ROC (Receiver Operating Characteristic) :**

Constitue une analyse de la qualité purement quantitative, basée sur la distribution des scores bruts de la carte simulée et leurs relations avec les mouvements de versant.

Cette technique a l'avantage d'être totalement indépendante de la classification et donne ainsi une évaluation plus objective des performances de la carte simulée.

La courbe ROC confronte en abscisse la "spécificité" et en ordonnée la "sensibilité".

La "sensibilité" représente la proportion de glissements correctement associés à des cellules classées comme instables. La "spécificité" représente, quant à elle, la proportion de cellules non affectées par des glissements classés comme stables (Metz, 1978 ; Swets, 1988 ; Lasko et al., 2005). Plus la courbe est au-dessus d'une ligne diagonale (forte croissance, puis tend vers l'asymptote), plus le modèle est considéré comme performant. L'AUC (Area Under the Curve) constitue un indicateur chiffré synthétique de cette courbe, mesurant la surface située sous celle-ci. Plus la valeur de l'AUC est proche de 1, plus le modèle est considéré comme performant. À l'inverse, un modèle de performance nulle montrera des valeurs d'AUC proches de 0.5.

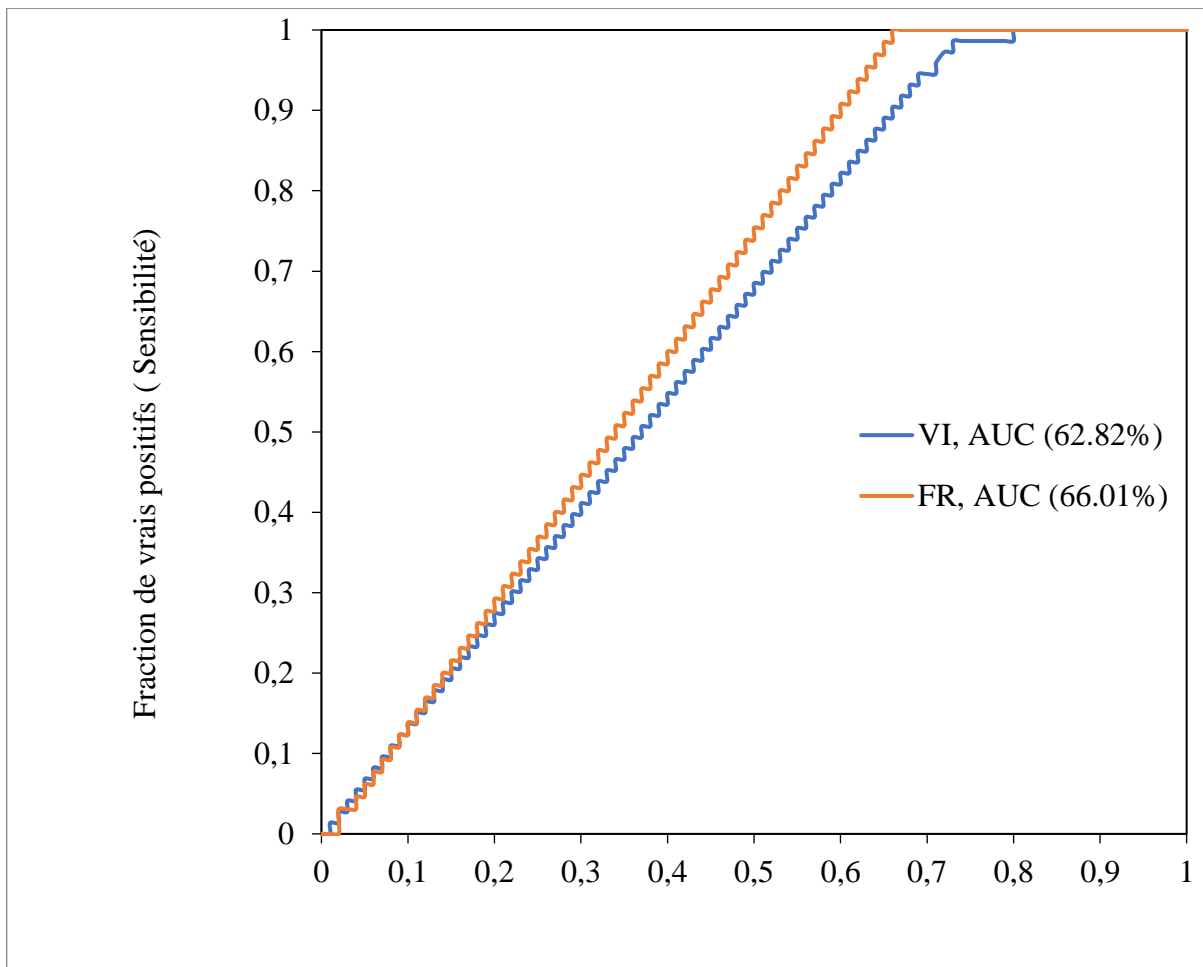
#### **III.1.1- la taille relative des classes :**

On considère généralement que les classes de susceptibilité forte doivent prédire une large majorité de glissements tout en occupant une proportion limitée du secteur d'étude. Les classes doivent donc, suivant le gradient de probabilité estimé et/ou calculé, occuper une proportion du secteur d'étude ayant une relation générale inverse avec la proportion de glissements reconnus. Ainsi, la taille relative de chacune des classes de susceptibilité peut renseigner sur la qualité de la carte.

#### **III.1.2- l'évaluation experte :**

Repose sur une démarche purement qualitative dans laquelle les formes générales de la carte modélisée sont évaluées. L'objectif est de vérifier la cohérence globale de la carte, l'homogénéité des formes et la bonne prédiction des mouvements de versant. D'un point de vue "expert", une carte de bonne qualité doit nécessairement permettre de prédire une très large part des glissements dans la classe de susceptibilité forte. La classe la plus élevée doit être d'une étendue limitée et être caractérisée par un zonage homogène. Les différentes classes doivent être composées de pixels agglomérés ("clusters") et éviter l'effet "pixel isolé", souvent induit par une médiocre qualité des données d'entrée et/ou des problèmes dans la pondération des variables (Fressard et al., 2013).

**IV : La Courbe ROC et le Calcule de AUC :**



**Fig. 36 : La Courbe de ROC de VALIDATION de deux Modèle (Valeur Informative et Le Ratio de fréquence).**

La courbe ROC nous permettons de représenter la capacité d'un test à discriminer entre la présence de la susceptibilité au glissement de terrain ou pas.

Après la trace du graphe on distinguer que le ratio de fréquence a montré que notre modèle est de 66.01 % certain au moment où la valeur informative donne que 62.82% certitude.

**Validation par expertise :**

Après la comparaison entre ces cartes avec la carte d'inventaire on observe la présence des glissements de terrain a la zone forte et très forte.

**Justification de résultats :**

Le modèle considéré comme juste si le résultat dépasse le 50 %.

**V - RECOMMANDATION <sup>1</sup>**

**V.1- Technique et moyens de confortement :**

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

**Les exigences liées aux moyens de confortement :**

La méthode de confortement choisie doit répondre aux exigences suivantes :

- Doit assurer la stabilité du talus, avec un mode de renforcement qui ne génère aucun risque d'augmentation des efforts moteur du talus.
- Doit être le moins coûteux et le plus disponible dans le marché, car il y a des modes de renforcement qui nécessitent une importation en règle générale ou utilise ce qui est disponible (locale) et moins coûteux.
- Doit être simple et ne demande qu'un minimum d'effort ainsi qu'on peut la réaliser facilement.

**V.2- Les différentes techniques de confortements :**

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

**V.2.1-La modification géométrique :**

Les conditions de stabilité étant directement liées à la pente du terrain. Pour cela la modification géométrique et morphologique s'impose en première lieu, elle peut être envisagée par plusieurs méthodes selon la nature du problème. On peut citer :

**A. Le reprofilage :**

**Ce procédé s'apparente au déchargement en tête :**

Il consiste à un adoucissement de la pente moyenne (fig.37, (A)). Ce type de traitement est spécifiquement bien adapté aux talus de déblais.

L'adoucissement de la pente est généralement mal adapté aux versants naturels instables car il met en jeu des volumes de sol très importants.

**B. Le déchargement en tête :**

Le déchargement en tête consiste à terrasser dans la partie supérieure (Fig.37, (B)). Il en résulte une diminution du poids moteur et par conséquent, une augmentation du coefficient de sécurité.

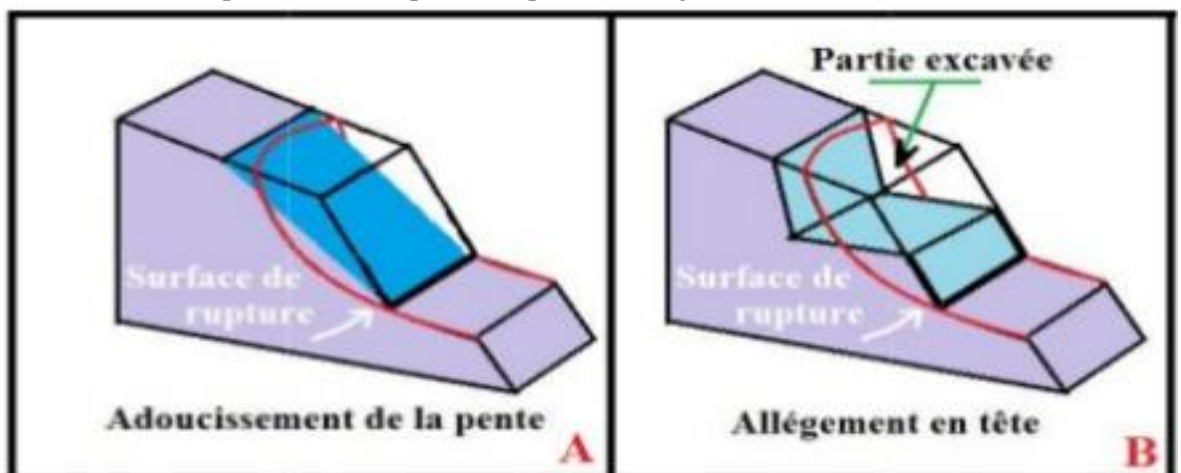


Fig.37 : Les différents procédés de modification géométrique.

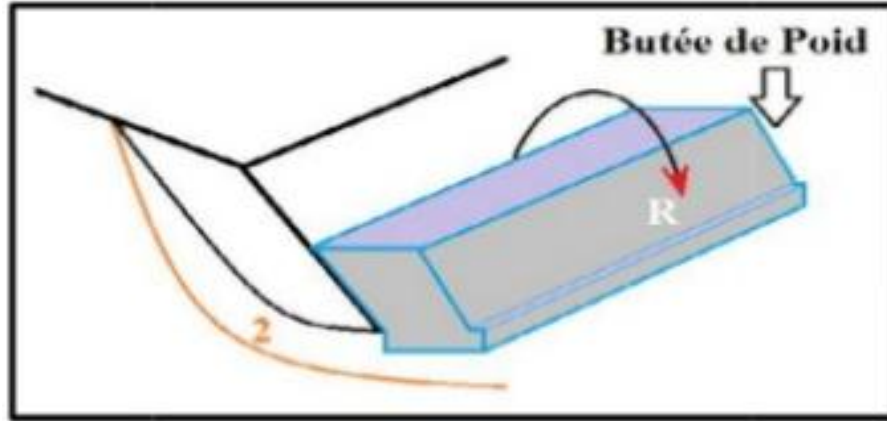
<sup>1</sup> Bouamra ,O .(2004) :contribution à l'analyse de stabilité des terrains marneux en pente de la région d'Alger par plaxis.mem.,Master.univ.,DJILALI BOUNAAMA DE KHEMIS MILIANA



**C. Le chargement en pied :**

Le chargement en pied d'un glissement est une technique souvent utilisée, généralement efficace.

L'ouvrage, également appelé banquette, berme ou butée, agit par contre balancement des forces motrices (**Fig.38**). Pour qu'il soit fiable, il faut réaliser un ancrage dans les formations sous-jacentes en place.



**Fig.38 : chargement au pied d'un talus.**

Comme dans le cas d'un ouvrage de soutènement, le dimensionnement doit justifier de la stabilité au renversement (**R**) et la stabilité au glissement sur la base (**2**).

**D. La substitution :**

La substitution totale consiste à venir purger l'ensemble des matériaux glissés ou susceptibles de glisser, et à les remplacer par un matériau de meilleure qualité, Cela permet de reconstituer le profil du talus initial. Il est important de vérifier la stabilité, au cours des phases de travaux et celle du talus définitif dans lequel on prend en compte les caractéristiques du matériau de substitution et du matériau en place. (BENTAIBA.F, HENDI.F.Z, 2009).

**E. Le drainage :**

Dans la plupart des cas de glissement, l'eau joue un rôle moteur, et il peut être un facteur occasionnel de glissement, et dans ce cas le drainage est recommandé.

L'implantation d'un dispositif de drainage est souvent moins couteux que les autres méthodes de stabilisation. L'efficacité de ce système est liée en particulier à la nature et l'hétérogénéité des terrains.

Les méthodes de drainage habituelles consistent en générale à (**Fig.39**)

- Capter les eaux de surface,
- Eviter les ruissellements et infiltrations dans les zones instables.
- Diminuer les pressions interstitielles en profondeur en abaissant la nappe
- Améliorer l'écoulement des eaux dans les structures.



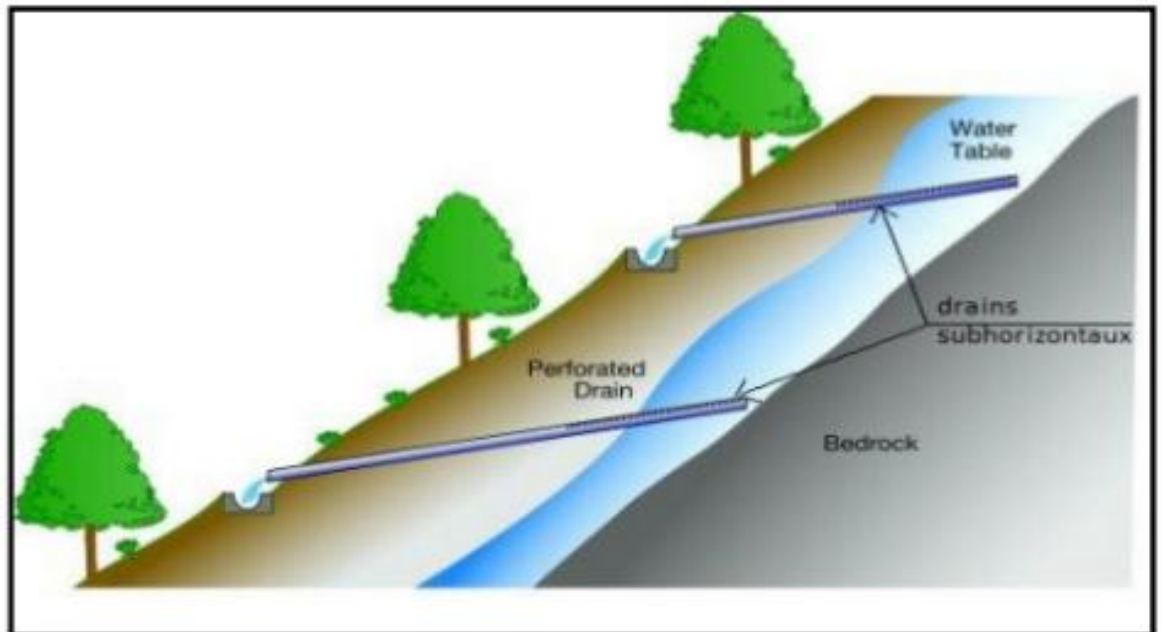


Fig.39 : drains subhorizontaux.

**F. La végétation :**

La végétation possède un rôle stabilisateur mécanique par enracinement dans le sol. C'est une méthode écologique et économique qui consiste à stabiliser le sol avec des plantations appropriées au terrain et à l'environnement (*Fig.40*)



Fig.40 : l'implantation des plantes dans un talus.

### V.2.2- Les éléments résistants :

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

**La compatibilité des déplacements du sol et des structures doit être prise en compte lors du choix de ce type de technique. On distingue :**

#### A. Les ouvrages de soutènement :

Il existe plusieurs types d'ouvrages destinés à résister à la poussée des terres on distingue : les ouvrages rigides (murs en béton armé, en béton...) et les ouvrages flexibles (rideau de palplanches).

##### A.1. Les murs de soutènements :

Les murs de soutènements sont les ouvrages réalisés dans le but de stabiliser, un talus instable utilisant leurs poids propres ou leurs rigidités (*Fig.41*).

Il existe deux types d'ouvrages :

- *Les murs poids*
- *Les murs souples*

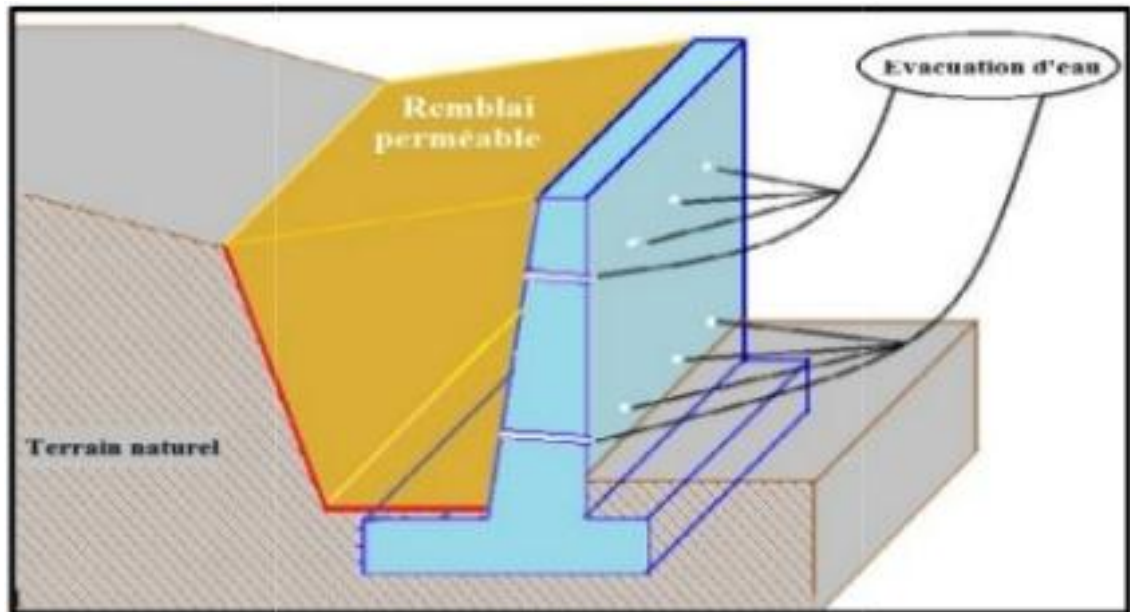


Fig.41 : Mur de soutènement.

##### A.2. Les rideaux de palplanches :

Les rideaux de palplanches sont utilisés en soutènement provisoire ou permanent. Cette technique est applicable dans tous les terrains meubles, ces rideaux sont auto stable pour une hauteur de terre à soutenir de 3 à 4 mètre. Au-delà ils doivent être renforcés par des tirants d'ancrages (*Fig.42*).

L'un des avantages de cette technique est la rapidité d'exécution. Par contre leur utilisation pose des problèmes particuliers en site urbain en raison des nuisances créées par le fonçage à proximité d'habitations.

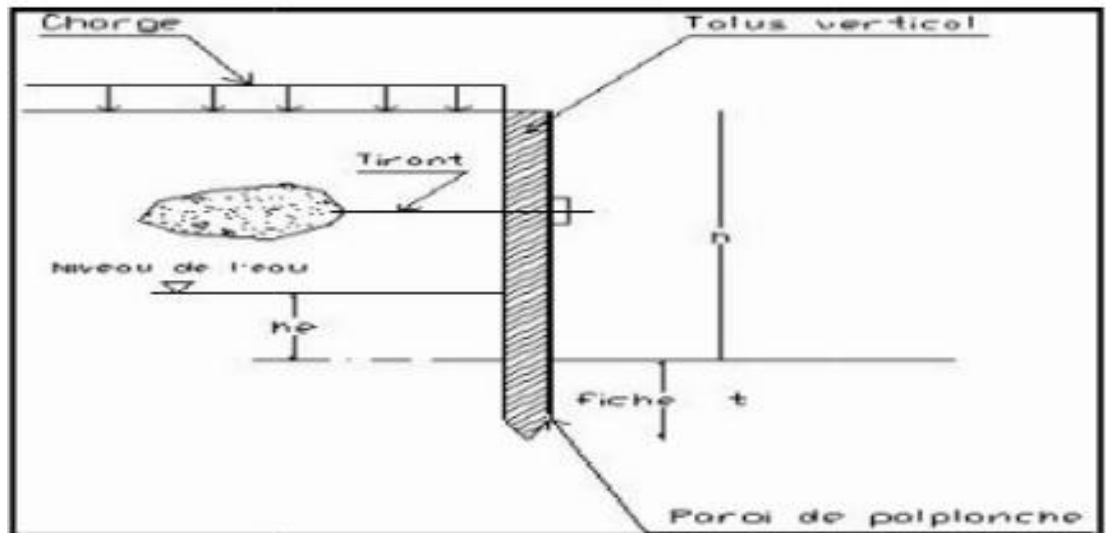


Fig.42 : Paroi de palplanche.

### A.3. La terre armée :

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

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

### B. Les tirants d'encrage :

Le principe de base consiste à immobiliser un certain volume de terrain ou de rocher encaissant, afin de rétablir ou de renforcer la stabilité d'une fondation, au glissement ou au soulèvement.

Un tirant est constitué par une armature continue d'un diamètre d'une trentaine à quarantaine de millimètres (barre unique ou faisceaux de barres, tube, fils ou torons parallèles, câble) introduite dans un forage sur une partie de sa longueur, par injection de coulis ou de mortier de scellement, ou ancrée mécaniquement dans un terrain (*Fig.43*).

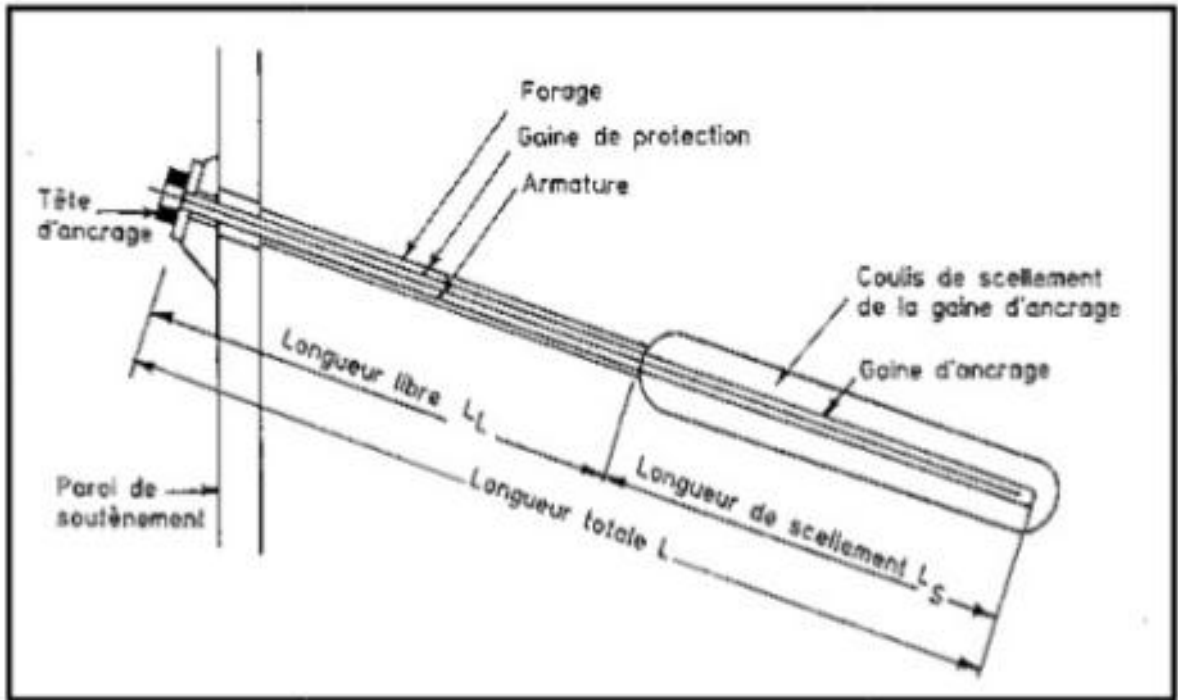


Fig.43 : Schéma de principe d'un tirant d'ancrage injecté.

### C. Le clouage :

Désignée aussi par le terme cloutage. Les armatures, généralement métalliques, sont déposées perpendiculairement aux lignes de glissements éventuelles (*Fig.44*).

La technique repose sur un transfert des efforts du sol vers les barres par mise en butée du terrain.

Il en résulte une cohésion apparente du sol clouté, ce qui explique le succès du procédé.



Fig.44 : Un versant stabilisé par clouage.



**D. Les géotextiles :**

Les géotextiles sont des produits textiles à base de fibres polymères (**Fig.45**), leurs domaines d'utilisation sont très vastes et concernent aussi bien la géotechnique routière, les centres de stockage des déchets, les aménagements hydrauliques, la stabilisation des sols et le renforcement des fondations, drainage...etc.



**Fig.45 : Le renforcement du talus en utilisant du géotextile.**

## **Conclusion :**

La modélisation de la susceptibilité des mouvements gravitaires est une voie de recherche cherchant à réduire la subjectivité des approches expertes et à fournir des cadres méthodologiques reproductibles pour la cartographie de l'aléa. Depuis une vingtaine d'années maintenant, l'apport des SIG et des méthodes probabilistes a largement nourri la littérature scientifique et les comparaisons de méthodes ont contribué pour une large part à ces apports scientifiques. Une voie encore peu explorée vise à combiner les résultats obtenus par plusieurs méthodes afin de limiter les artefacts de chacune des approches. Cette procédure permet en outre de quantifier l'incertitude de classement des pixels par classe de susceptibilité, mais il y'a deux problèmes sont posés dans cette contribution :

- 1) le problème du choix de la méthode la mieux adaptée au contexte local et aux données d'entrée.
- 2) la quantification de l'incertitude des classes intermédiaires de susceptibilité afin de réajuster à postériori le modèle. Sur la commune de Tafraoui (versant Nord de Tessala), un ensemble de 2 méthodes de modélisation de la susceptibilité ont été combinées en une carte de susceptibilité (la valeur informative et le ratio de fréquence) permettant de quantifier le niveau de susceptibilité et la certitude de classement par pixel. Une validation ROC ainsi qu'une validation sur terrain permettent de considérer les modèles finals comme acceptable. Les modèles permettent enfin de délimiter les zones de forte susceptibilité mais de forte incertitude sur lesquelles des investigations complémentaires devront être menées afin de parfaire la cartographie de la susceptibilité pour une possible utilisation dans un PPRG/communal Tafraoui.

Au final, on a observé selon ces approches géostatistiques de la commune de Tafraoui (versant Nord de Tessala) et ces calculs de stabilité des ruptures de type circulaire et à des ruptures de types plan. Le mouvement de terrain a été favorisé par trois principales raisons : 1) l'action de l'eau dans le remblai et dans le substrat altéré, 2) les matériaux argileux du versant présentent des caractéristiques physiques favorables aux mouvements de terrain, 3) le versant avait déjà subi des déformations. Les solutions techniques envisagées pour assurer la stabilité du site sont des aménagements de confortement, la mise en place d'un système de drainage et la stabilisation par des murs de soutènement et reboisements qui constituent une meilleure protection de paysage (bassin versant). Donc, la région est susceptible aux glissements de terrains, c'est une zone à risques qui nécessite un travail complémentaire quant a viabilité des infrastructures communal et la valorisation des terrains avec le consentement des responsables communaux.



## **Bibliographies:**

- 1 Aleotti, P & Chowdhury, Robin. (1999). Landslide hazard assessment: Summary review and new perspectives in Bulletin of Engineering Geology and the Environment .
- 2 ANTOINE P. et FABRE. D, 1980 Journal officiel du France.
- 3 Bouamra ,O.(2004) :contribution à l'analyse de stabilité des terrains marneux en pente de la région d' Alger par plaxis.mem.,Master.univ.,DJILALI BOUNAAMA DE KHEMIS MILIANA
- 4 CAMPY M., MACAIRE J.J. (1989) - Géologie des formations superficielles. Géodynamique Faciès-Utilisation. Ed. Masson, Paris, 433 p .
- 5 COQUE R. (1977) - Géomorphologie. Ed. Armand Colin, coll. U Géographie, Paris, 503 p
- 6 Exposition La Terre et nous. (2008/2009) : La gestion des risques naturels - l'occasion de l'exposition La Terre et nous à la Cité des sciences et de l'industrie, du 16 décembre 2008 au 30 août 2009. © BRGM / Cité des Sciences et de l'Industrie.
- 7 Flageollet J.C. (1989). Les mouvements de terrain et leur prévention. Paris, Ed. Masson, Coll. Géographier, 244 p
- 8 Frédéric Leone. Concept de vulnérabilité appliqué à l'évaluation des risques générés par les phénomènes de mouvements de terrain. Environnement et Société. Université de Grenoble, 1996. Français.
- 9 Ghenani, B.(2003) : Cartographie et zonage de l'aléa des zones exposées aux risques de mouvement de pentes.mem.,Magister .,univ.,Abou bekr Belkaid Tlemcen UABT ,107p
- 10.<http://observatoire-regional-risques-paca.fr/article/principes-generaux-devaluation-lalea-mouvements-terrain>
- 11 <https://e-cours.univ-paris1.fr/modules/uved/risques-naturels/html/2/22/index.html>
- 12 Pumain, D et Saint-Julien, T (1997) L'analyse spatiale. Localisation dans l'espace. Paris, Arman Colin (Coll. « Géographie »), 167 p.
- 13 SARI D., (1977). L'homme et l'érosion dans l'Ouarsenis (Algérie). Alger, SNED, 624 p
- 14 Ubyrisk Consultants, cabinet d'étude spécialisé dans l'étude des risques naturels, effectuée depuis 2001.
- 15 Westen.V, C. J., Rengers, N., Terlien, M. T. J., & Soeters, R. (1997). Prediction of the occurrence of slope instability phenomena through GIS based hazard zonation. Geological review, 86(2), 404-414.