

**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**  
**Université Djilali Bounaama de Khemis Miliana**  
**Faculté sciences de la nature et de la vie et des sciences de la terre**  
**Département des sciences de la terre**



***Mémoire de fin d'étude***

En vue de l'obtention d'un diplôme de master en **Géotechnique**

**Spécialité : Géotechnique - géologie appliqué –**

**Thème :**

***Evaluation d'aléa de glissement de terrain dans la zone de Tachta,  
Wilaya d'Ain Defla, par méthode de pondération et cartographie.***

**Présenter par :**

✓ **Mr. HARKAT Mustapha**

**Devant le juré composé de :**

|                                   |     |     |
|-----------------------------------|-----|-----|
| -Président : HADJ MOHAMED Nacéra  | MAA | UKM |
| - Encadreur: SAHRAOUI Abdelbasset | MAA | UKM |
| - Examineur : GHARBI Benyoucef    | MCB | UKM |
| - Examineur : BRAHMI Ghanem       | MAA | UKM |

Année universitaire : 2019 – 2020

# *Dédicace :*

**Je dédie ce modeste travail à :**

**Ma famille qui m'a soutenu toute ma vie;**

**Mes amis pour leur sincère amitié ;**

**Mes collègues qui ont incarné un esprit de solidarité entre eux ;**

**Tous ceux qui ont participé de loin ou de près à la réussite de ce travail**

# *Remerciement :*

Je remercie Dieu pour tout,

C'est grâce à Dieu Le Tout Puissant que je finie dans ce jour mes plusieurs années d'études.

Je veux adresser mes vifs remerciements à mon encadreur **Mr.SAHRAOUI Abdelbasset** qui a fait son possible pour diriger ce travail avec ses conseils et son courage au cours la réalisation de ce mémoire ;

Je veux remercie également les membres de jury et leur président qui acceptent de présider et d'examiner ce travail ;

Je tiens également à remercier tous ceux qui m'ont aidé, que ce soit avec des informations ou des conseils dont j'avais besoin au cours de ce travail ;

Sans oublier les remerciements de tous ceux qui m'ont appris à toutes les étapes de ma carrière scientifique et de ma vie ;

**Résumé :**

La zone de Tachta (wilaya d'Ain Defla) est située dans la partie nord de l'Algérie qui forme un terrain très accidenté, cette région a été témoin de nombreux phénomènes naturels dangereux tels que des glissements de terrain qui affectent négativement les critères de développement à l'échelle régionale. Le but de ce mémoire est de comprendre les glissements de terrain, les méthodes utilisées pour évaluer leurs aléas et les systèmes de parade et leurs différentes techniques. La méthode la plus courante parmi les méthodes d'évaluation de l'aléa de glissement de terrain, c'est la pondération des facteurs qui influent sur la stabilité des versants avec l'utilisation de la cartographie à l'aide d'un système d'information géographique (SIG), l'intérêt de cette méthode est de déterminer la susceptibilité aux glissements de terrain, les géotechniciens prennent en considération cette dernière dans les ouvrages de confortement des versants et le choix de système de prévention et protection dans les autres projets de construction.

**Mots clés :** mouvements du sol, glissement de terrain, aléa, évaluation, SIG, pondération, Ain Defla, Tachta.

**Abstract:**

The area of Tachta (wilaya of Ain Defla) is located in the northern part of Algeria which forms a very rugged terrain; this region has witnessed many dangerous natural phenomena such as landslides that negatively affect development criteria at the regional level. The aim of this dissertation is to understand landslides, the methods used to assess their hazards and the countermeasure systems and their different techniques. The most common method of landslide hazard assessment is the weighting of factors affecting slope stability with the use of Geographic Information System (GIS) mapping, the interest of this method is to determine the susceptibility to landslides; the Geotechnicians take this into consideration in the slope reinforcement works and the choice of prevention and protection system in other construction projects.

**Keywords:** soil movement, landslide, hazard, assessment, GIS, weighting, Ain Defla, Tachta.

## ملخص:

تقع منطقة ناشنة (ولاية عين الدفلة) في الجزء الشمالي من الجزائر والتي تشكل تضاريس وعرة للغاية. شهدت هذه المنطقة العديد من الظواهر الطبيعية الخطيرة مثل الانهيارات الأرضية التي تؤثر سلبا على معايير التنمية على المستوى الإقليمي. الهدف من هذه الرسالة هو فهم الانهيارات الأرضية والطرق المستخدمة لتقييم مخاطرها وأنظمة الإجراءات المضادة وتقنياتها المختلفة. الطريقة الأكثر شيوعًا لتقييم مخاطر الانهيارات الأرضية هي ترجيح العوامل التي تؤثر على استقرار المنحدرات باستخدام خرائط نظام المعلومات الجغرافية ، وتكمن فائدة هذه الطريقة في تحديد مدى قابلية التعرض للانهيارات الأرضية ؛ يأخذ الفنيون الجيوتقنيون ذلك في الاعتبار في أعمال تقوية المنحدرات واختيار نظام الوقاية والحماية في مشاريع البناء الأخرى.

**الكلمات المفتاحية:** التحركات الأرضية ، انزلاق التربة ، الخطر ، التقييم ، نظم المعلومات

الجغرافية ، الترجيح ، عين الدفلة ، ناشنة.

# Table des matières

|   |           |
|---|-----------|
| Dédicace .....  | I         |
| Remerciement .....  | II        |
| Résumé .....  | III       |
| Abstract .....  | III       |
| ملخص .....  | IV        |
| Tables des matières .....   | V         |
| Liste des figures .....   | V         |
| Liste des tableaux .....  | V         |
| Notations et symboles .....   | V         |
| Introduction général .....  | 2         |
| <b>Chapitre 1 : Généralités sur les glissements de terrain</b>      |           |
| <b>1.1 Introduction .....</b>                                       | <b>4</b>  |
| <b>1.2 Définition du glissement de terrain .....</b>                | <b>4</b>  |
| <b>1.3 Les types des glissements de terrain .....</b>               | <b>4</b>  |
| 1.3.1. Glissement rotationnel .....                                 | 4         |
| 1.3.2. Glissement transrationnel ou plane .....                     | 6         |
| 1.3.3. Glissement composé ou complexe .....                         | 7         |
| <b>1.4. Classification des glissements de terrain .....</b>         | <b>8</b>  |
| 1.4.1. Selon la profondeur de la surface de rupture .....           | 8         |
| 1.4.2. Selon l'activité de glissement .....                         | 8         |
| <b>1.5. Les causes principales des glissements de terrain .....</b> | <b>9</b>  |
| 1.5.1. Les causes naturelles .....                                  | 9         |
| 1.5.1.1. Causes géologiques .....                                   | 9         |
| 1.5.1.2. Causes physiques .....                                     | 9         |
| 1.5.1.3. Causes morphologiques .....                                | 10        |
| 1.5.2. Causes anthropiques .....                                    | 10        |
| <b>1.6. Le glissement de terrain dans le monde .....</b>            | <b>10</b> |
| 1.6.1. Au Salvador.....   | 10        |
| 1.6.2. Au France .....  | 11        |
| 1.6.3. Au Turquie .....   | 12        |
| <b>1.7. Le glissement de terrain en Afrique .....</b>               | <b>12</b> |
| 1.7.1. Au Cameroun .....  | 12        |
| 1.7.2. Au Maroc .....   | 13        |
| <b>1.8. Les glissements en Algérie .....</b>                        | <b>14</b> |
| 1.8.1. A Constantine .....  | 14        |

|  |           |
|--|-----------|
| 1.8.2. A Bejaia .....  | 15        |
| 1.8.3. A Tlemcen .....   | 15        |
| <b>1.9. Méthodes actuel d'analyse de l'alea .....</b>              | <b>16</b> |
| 1.9.1. Méthodes qualitative(ou directe) .....                      | 17        |
| 1.9.1.1. Analyse géomorphologique (méthode expert) .....           | 17        |
| 1.9.1.2. Cartographie d'indices ou des paramètres avec poids ..... | 17        |
| 1.9.2. Méthodes quantitative(ou indirecte) .....                   | 17        |
| 1.9.2.1. Analyse statistique .....                                 | 17        |
| 1.9.2.1.1. Analyse statistique bi variée .....                     | 17        |
| 1.9.2.1.2. Analyse statistique multi variée .....                  | 18        |
| 1.9.2.2. Approches géotechnique .....                              | 18        |
| 1.9.2.2.1. Méthode déterministe .....                              | 18        |
| 1.9.2.2.2. Méthode probabiliste .....                              | 19        |
| 1.9.2.3. Modélisation .....  | 19        |
| <b>1.10. Conclusion .....</b>                                      | <b>19</b> |

## **Chapitre 2 : Méthodologie et Outils informatique**

|  |           |
|--|-----------|
| <b>2.1. Introduction .....</b>   | <b>21</b> |
| <b>2.2. Principe de méthode .....</b>                                      | <b>21</b> |
| 2.2.1. Les caractéristiques de la méthode AHP .....                        | 22        |
| <b>2.3. La collection des données .....</b>                                | <b>23</b> |
| 2.3.1. Carte géologique .....  | 23        |
| 2.3.2. Les paramètres géotechniques .....                                  | 23        |
| 2.3.3. Modèle digital de l'élévation (DEM) .....                           | 23        |
| 2.3.3.1. Le pourcentage des pentes .....                                   | 24        |
| 2.3.3.2. L'aspect .....  | 24        |
| 2.3.3.3. Densité de drainage .....   | 24        |
| 2.3.4. Carte pluviométrique .....  | 24        |
| 2.3.5. L'occupation du sol .....   | 24        |
| 2.3.6. La répartition des failles .....                                    | 25        |
| 2.3.7. Carte d'inventaire des glissements de terrain .....                 | 25        |
| <b>2.4. Présentation le système d'information géographique (SIG) .....</b> | <b>26</b> |
| 2.4.1. Les éléments constituant le noyau d'un SIG .....                    | 27        |
| 2.4.1.1. La partie de géodatabase – catalogue .....                        | 27        |
| 2.4.1.2. La partie de géovisualisation- carte .....                        | 27        |
| 2.4.1.3. La partie géotraitement-boîte à outils .....                      | 27        |
| 2.4.2. Les types des données dans un SIG .....                             | 28        |
| 2.4.3. Logiciel Arc GIS .....  | 29        |
| 2.4.3.1. Les phases de résolution des problèmes spatiaux .....             | 29        |
| 2.4.3.2. L'analyse de superposition .....                                  | 30        |
| 2.4.3.2.1. Collection des couches source .....                             | 30        |
| 2.4.3.2.2. Reclassification .....  | 30        |
| 2.4.3.2.3. Création des couches d'aptitude .....                           | 30        |

|   |           |
|---|-----------|
| 2.4.3.2.4. Calcul la superposition pondérée ..... | 31        |
| 2.4.3.3. La validation des résultats .....        | 31        |
| <b>2.5. Conclusion .....</b>                      | <b>32</b> |

## **Chapitre 3 : Techniques de stabilisation des terrains en pente**

|   |           |
|---|-----------|
| <b>3.1. Introduction .....</b>                        | <b>34</b> |
| <b>3.2. Les systèmes de parade .....</b>              | <b>34</b> |
| 3.2.1. Approche douce .....                           | 34        |
| 3.2.1.1. Terrassement .....                           | 34        |
| 3.2.1.1.1. Moyens et techniques de terrassement ..... | 35        |
| 3.2.1.2. Drainage .....                               | 35        |
| 3.2.1.2.1. Les types de drainage .....                | 35        |
| 3.2.1.2.1.1. Drainage de surface .....                | 35        |
| 3.2.1.2.1.2. Drainage de subsurface .....             | 36        |
| 3.2.1.2.2. Les techniques de drainage .....           | 37        |
| 3.2.1.3. Végétation .....                             | 37        |
| 3.2.1.3.1. Mécanismes de végétation .....             | 38        |
| 3.2.1.3.1.1. Mécanismes hydrologiques .....           | 38        |
| 3.2.1.3.1.2. Mécanismes mécaniques .....              | 38        |
| 3.2.1.3.2. Les inconvénients .....                    | 38        |
| 3.2.2. Approche dure .....                            | 39        |
| 3.2.2.1. Soutènement .....                            | 39        |
| 3.2.2.1.1. Murs en pierres sèches .....               | 40        |
| 3.2.2.1.2. Les gabions .....                          | 40        |
| 3.2.2.1.3. Mur de soutènement .....                   | 41        |
| 3.2.2.1.4. Mur pneu/sol .....                         | 42        |
| 3.2.2.1.5. Les palplanches .....                      | 42        |
| 3.2.2.2. Renforcement .....                           | 43        |
| 3.2.2.2.1. Terre armé .....                           | 43        |
| 3.2.2.2.2. Les géosynthétiques .....                  | 44        |
| 3.2.2.2.2.1. Produits perméables .....                | 44        |
| 3.2.2.2.2.2. Produits imperméables .....              | 44        |
| 3.2.2.3. Durcissement .....                           | 45        |
| 3.2.2.3.1. La congélation .....                       | 45        |
| 3.2.2.3.2. Les injections .....                       | 45        |
| 3.2.2.3.3. L'utilisation des additifs .....           | 46        |
| <b>3.3. Le choix d'un système de parade .....</b>     | <b>46</b> |
| 3.3.1. Critère techniques .....                       | 46        |
| 3.3.2. Critères économiques .....                     | 46        |
| 3.3.3. Contraintes sociopolitiques .....              | 47        |
| 3.3.4. Coté environnemental et esthétique .....       | 47        |
| <b>3.4. Conclusion .....</b>                          | <b>47</b> |

## **Chapitre 4 : Présentation de la zone d'étude**

|  |    |
|--|----|
| <b>4.1. Introduction</b> .....           | 49 |
| <b>4.2. Situation géographique</b> ..... | 49 |
| <b>4.3. Contexte géologique</b> .....    | 50 |
| 4.3.1. Géologie régional .....           | 50 |
| 4.3.1.1. Les terrains Crétacés .....     | 50 |
| 4.3.1.2. Les terrains Eocènes .....      | 51 |
| 4.3.1.3. Les formations Néogènes .....   | 51 |
| 4.3.1.4. Les terrains Quaternaires ..... | 52 |
| 4.3.2. Géologie locale .....             | 52 |
| <b>4.4. La topographie</b> .....         | 54 |
| <b>4.5. Tectonique</b> .....             | 55 |
| <b>4.6. La sismicité</b> .....           | 56 |
| <b>4.7. Climat</b> .....                 | 57 |
| 4.7.1. Température .....                 | 57 |
| 4.7.2. Pluviométrie .....                | 57 |
| <b>4.8. Conclusion</b> .....             | 59 |
| <br>                                     |    |
| <b>Conclusion général</b> .....          | 61 |

## **Références bibliographiques**

## Liste de figures :

### Chapitre 1 :

|   |    |
|---|----|
| <b>Figure 1.1</b> : schéma d'un glissement de terrain rotationnel .....               | 5  |
| <b>Figure 1.2</b> : schéma des positions des cercles .....                            | 5  |
| <b>Figure 1.3</b> : schéma d'un glissement rotationnel .....                          | 5  |
| <b>Figure 1.4</b> : glissement de rivière Delise, 2005 .....                          | 6  |
| <b>Figure 1.5</b> : Schéma de glissement de terrain plan rotationnel .....            | 6  |
| <b>Figure 1.6</b> : glissement plan du Beaton river Valley en 2001 .....              | 7  |
| <b>Figure 1.7</b> : Schéma d'un glissement de terrain composé .....                   | 7  |
| <b>Figure 1.8</b> : glissement de Chambon en 2015 au France .....                     | 8  |
| <b>Figure 1.9</b> : glissement de terrain de Los Colinas en 2001.....                 | 11 |
| <b>Figure 1.10</b> : l'évolution du glissement de terrain de Chambon en 2015 .....    | 10 |
| <b>Figure 1.11</b> : le glissement d'Ordu en Mer Noire, 2019) .....                   | 12 |
| <b>Figure 1.12</b> : le glissement de terrain de Kikem en 2007 .....                  | 13 |
| <b>Figure 1.13</b> : le glissement de terrain de Tissoufa en 2013 au Maroc.....       | 13 |
| <b>Figure 1.14</b> : les conséquences des glissements de terrain en Constantine ..... | 14 |
| <b>Figure 1.15</b> : glissement de terrain en Bejaia qui a affecté la route .....     | 15 |
| <b>Figure 1.16</b> : glissement de terrain de Tlemcen en 2014 .....                   | 15 |
| <b>Figure 1.17</b> : méthodes d'analyse de l'aléa .....                               | 16 |

### Chapitre 2 :

|  |    |
|--|----|
| <b>Figure 2.1</b> : organigramme de la méthodologie du modèle SIG .....  | 25 |
| <b>Figure 2.2</b> : les éléments constituant le noyau d'un SIG .....     | 26 |
| <b>Figure 2.3</b> : fonctionnalité d'un outil .....                      | 27 |
| <b>Figure 2.4</b> : les types des données .....                          | 27 |
| <b>Figure 2.5</b> : empilassions des données des types différentes ..... | 28 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Figure 2.6:</b> phases de résolution des problèmes spatiaux .....   | 29 |
| <b>Figure 2.7 :</b> les étapes d'analyse de superposition pondérée .....   | 30 |
| <b>Liste des figures (la suite) :</b>  |    |
| <b>Chapitre 3 :</b>  |    |
| <b>Figure 3.1 :</b> systèmes de parade pour les glissements de terrain .....   | 33 |
| <b>Figure 3.2 :</b> les moyens et techniques de terrassement .....   | 34 |
| <b>Figure 3.3:</b> drainage de surface .....   | 35 |
| <b>Figure 3.4 :</b> des tranchées drainantes .....   | 35 |
| <b>Figure 3.5 :</b> tuyaux de drainage installés à l'autoroute Mumbai-Pune .....   | 36 |
| <b>Figure 3.6 :</b> les techniques de drainage .....   | 36 |
| <b>Figure 3.7 :</b> l'influence de végétation sur la stabilité des pentes.....   | 38 |
| <b>Figure 3.8 :</b> murs en pierres sèches .....   | 39 |
| <b>Figure 3.9 :</b> Gabions électro soudés .....   | 40 |
| <b>Figure 3.10 :</b> Gabion a double torsion.....  | 40 |
| <b>Figure 3.11 :</b> mur de soutènement .....  | 41 |
| <b>Figure 3.12 :</b> la technique de mur pneu/sol .....  | 41 |
| <b>Figure 3.13 :</b> exemples des palplanches encrées dans le sol .....  | 42 |
| <b>Figure 3.14 :</b> exemples des ouvrages en terre armé .....   | 42 |
| <b>Figure 3.15 :</b> géosynthétiques perméable .....   | 43 |
| <b>Figure 3.16 :</b> exemples des géomembrane .....  | 44 |
| <b>Figure 3.17 :</b> les techniques d'injection .....  | 45 |
| <b>Chapitre 4 :</b>  |    |
| <b>Figure 4.1 :</b> situation géographique de Tachta .....   | 48 |
| <b>Figure 4.2 :</b> Extrait de la carte géologique de l'Algérie au 1/500 000 <sup>e</sup> , 2 <sup>ème</sup> édition ..... | 52 |
| <b>Figure 4.3 :</b> Extrait de la carte topographique d'Ain Defla Ouest au 1/50 000 <sup>e</sup> .....                     | 53 |
| <b>Figure 4.4 :</b> mouvement tectonique de plaque Africaine .....   | 54 |
| <b>Figure 4.5 :</b> carte de zonage sismique du territoire national.....   | 55 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Figure 4.6 :</b> la variation de température moyenne mensuelle d'Ain Defla entre 2002 et 2014.....          | 56 |
| <b>Figure 4.7:</b> la variation de pluviométrie moyenne annuelle d'Ain Defla entre 1985 et 2014.....           | 57 |
| <b>Figure 4.8 :</b> Extrait de la carte des pluies moyennes annuelles du nord de l'Algérie au 1/500 000° ..... | 57 |

**Liste des tableaux :**

**Chapitre 1 :**

**Tableau 1.1 :** classification des glissements selon la profondeur de la surface de rupture... 8

**Tableau 1.2 :** classification des glissements selon l'activité ..... 8

**Chapitre 2 :**

**Tableau 2.1 :** les caractéristiques de la méthode AHP ..... 22

## Notations et symboles :

AHP : Processus d'Hiérarchie Analytique

ANDI : Agence nationale de Développement et de l'Indépendance

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques

Esri : l'Institut de Recherche sur les Systèmes Environnementaux

INCT : l'Institut National de Cartographie

GIS : Système d'Information Géographique

LSI : landslide susceptibility index : indice de susceptibilités aux glissements de terrain

RPA : Règles Parasismiques Algériennes.

ZERMOS : Zones Exposées aux Risques associés aux Mouvements du Sol et du sous-Sol

°C : Degré Celsius

cm / an : centimètre / année

cm / j : centimètre / jour

mm : millimètre

ha : hectare

$c$  : cohésion

$\varphi$  : angle de frottement

$\alpha$  : l'angle de pente

$h$  : profondeur de la nappe

$z$  : l'épaisseur des matériaux sollicités

$\gamma_{\text{sat}}$  : poids volumique saturé du sol

$\gamma_h$  : poids volumique humide du sol

$\gamma_w$  : poids volumique de l'eau

$\tau$  : contrainte de cisaillement mobilise

$\tau_{\text{max}}$  : résistance aux cisaillement maximale

# **Introduction générale**

## Introduction générale

---

Le glissement de terrain c'est un phénomène naturel très fréquent dans le monde, le phénomène s'accroît dans les pays en voie de développement où les pratiques d'aménagement sont mal codifiées et maîtrisées (villes, routes...etc.). Ce mouvement des masses de sol constitue une menace pour les zones en pente où le terrain est escarpé, il cause des dégâts plus ou moins importants avec des résultats parfois catastrophiques représentés par des dommages matériels et des pertes en vies humaines.

La zone de Tachta est située dans la partie nord de l'Algérie exactement au Nord-ouest de wilaya d'Ain Defla, cette région est caractérisée par sa nature géomorphologique montagneuse à cause de la série des monts de Dahra qui comprise entre Mostaganem et Miliana, ces caractéristiques avec la présence des formations meubles, fragiles, fracturées ou sensibles à la teneur en eau, rendent la zone de Tachta plus vulnérable aux glissements de terrain qui peuvent entraver le développement dans la région et créer une anxiété socio-économique.

Pour cette raison, notre travail vise à évaluer l'aléa de glissement de terrain dans cette zone par les méthodes de pondération et de cartographie des facteurs influents sur l'occurrence de ces mouvements de terrain pour déterminer les niveaux d'aléa et les classer dans une carte de susceptibilité aux glissements de terrain.

Dans le cadre général de ce mémoire, nous présenterons une synthèse bibliographique qui sera regroupée en quatre chapitres de contenu lié à notre sujet comme suivant :

- Le premier chapitre contient des généralités sur les glissements de terrain qui expliquent et définissent ces mouvements, leurs types et classifications, les causes dominantes et quelques exemples existent dans le monde, en Afrique et ici en Algérie, ce chapitre décrit également les méthodes utilisées pour l'évaluation de l'aléa de glissement de terrain.
- Le deuxième chapitre est destiné à savoir brièvement la méthodologie utilisée, les différents types de données nécessaires et l'outil informatique qui a représentée par les systèmes d'informations géographiques (SIG).
- Le troisième chapitre explique les systèmes de parade contre les problèmes d'instabilités des pentes, il articule les techniques utilisées pour conforter les terrains meubles en pente avec respecter les critères et les conditions de choix.
- Le quatrième chapitre décrit la zone d'étude (Tachta) et sa caractéristiques (morphologiques, géologiques, climatologiques...etc).

**CHAPITRE 1 :**

**Généralités sur Les glissements des  
terrains**

### 1.1. Introduction :

Les mouvements des terrains sont des uns de plusieurs risques naturels qui menacent la vie des gens et leurs ouvrages, le très fréquent parmi ces mouvements c'est le glissement de terrain et cela nous incite à l'étudier en profondeur pour mieux comprendre sa dynamique et sa survenance.

Généralement les sites touchés par les glissements de terrain sont les terrains en pente en particulier des pentes formées de sols meubles, fissurés ou sensibles à l'eau; les dommages causés dépendent à l'importance et l'ampleur de glissement de terrain.

Dans ce chapitre, on va rédiger et présenter des informations disponibles sur les glissements de terrain, leurs types, les classifications existées, et les causes principales de l'occurrence ces mouvements, tous ça avec donner des exemples réels pour enrichir la compréhension, et ainsi on va mentionner les méthodes d'évaluation l'aléa de glissement de terrain.

### 1.2. Définition du glissement de terrain

Un glissement de terrain est un déplacement généralement lent (quelque millimètre par an à quelque mètre par jour) d'une masse de terrain cohérente (sol, roches ou débris) sur une pente, le long d'une surface de rupture identifiable (Besson et al., 1999). Il se produit lorsque la gravité et d'autres types de contrainte de cisaillement dans une pente dépassent la résistance au cisaillement des matériaux qui forme la pente (Slimi, 2010).

### 1.3. Les types des glissements de terrain

On distingue 3 types :

#### 1.3.1. Glissement rotationnel

Dans ce type la masse de sol se déplace le long d'une surface de rupture qui est incurvée concave vers le haut, c'est à dire cette surface est plus ou moins circulaire, il se produit le plus souvent dans les matériaux assez homogènes. Il est subdivisé en deux sous-type : rotationnel simple ou simple et rotationnel multiple ou complexe (Varnes, 1978)

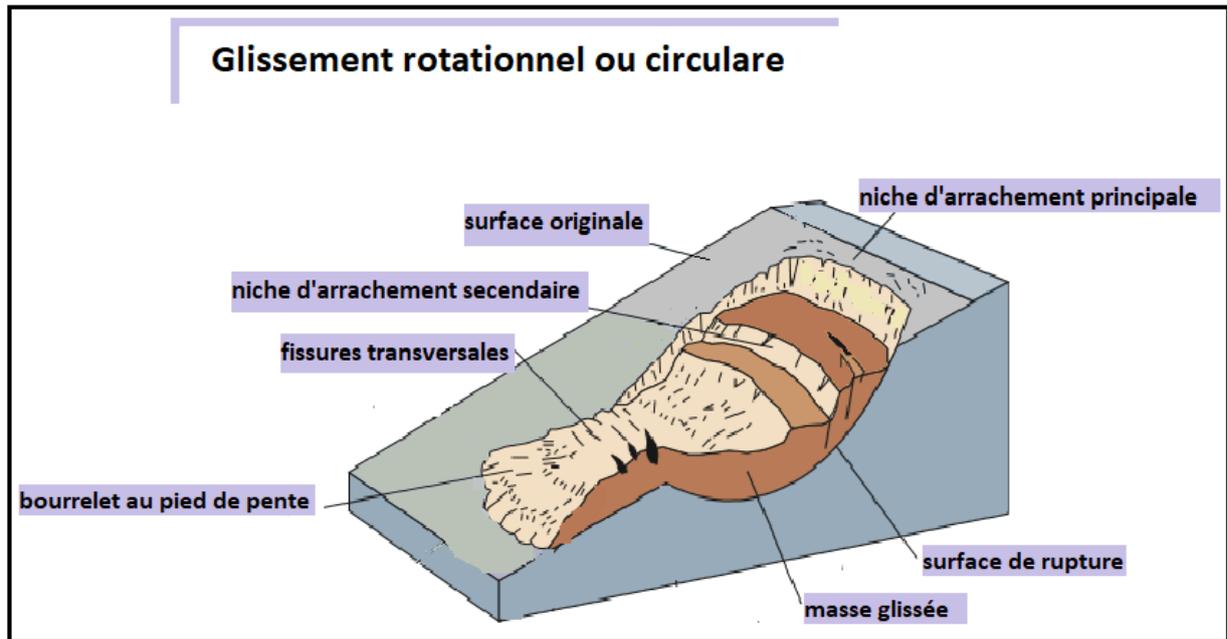


Figure 1.1 : schéma d'un glissement de terrain rotationnel (Highland et Bobrowsky, 2008)

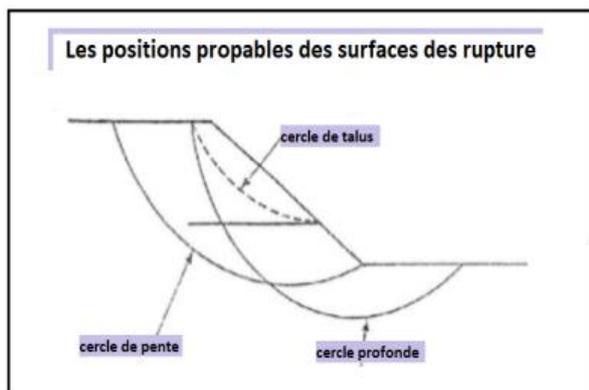


Figure 1.2 : schéma des positions des cercles de glissement rotationnel

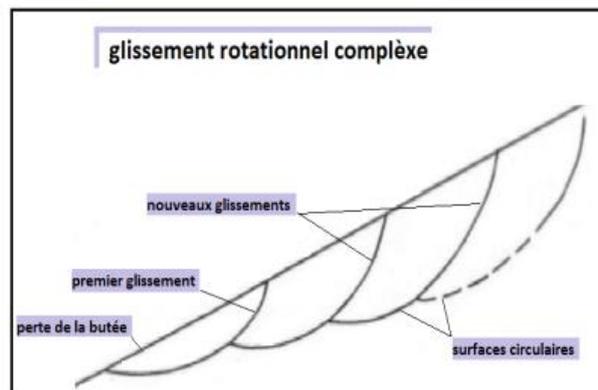


Figure 1.3 : schéma d'un glissement rotationnel complexe (Aissa et Haddouche, 2011)

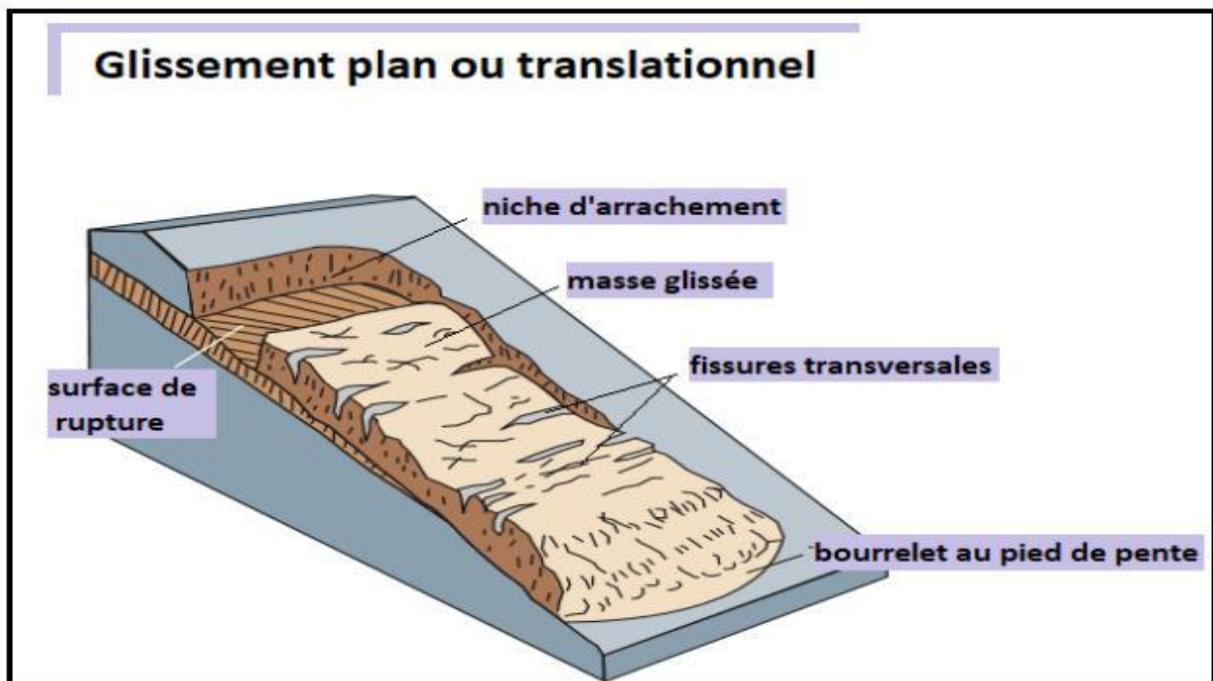
**-Exemple :** le glissement rotationnel de rivière Delisle au Canada en 2005 dans les sols argileux qui a affecté les fondations d'une résidence.



**Figure 1.4:** glissement de rivière Delise, 2005 (Demers et al., 2008)

### 1.3.2. Glissement translationnel ou plane :

La masse de sol se glisse vers le bas de pente le long d'une surface plus ou moins plane ou légèrement ondulatoire. Ce type généralement contrôlé structurellement par des surface de faiblesse tels que de faible des joints, des plans de litage et des variations de la résistance au cisaillement entre des couches de dépôt de lit ou par le contact entre un substrat rocheux forme et des détruits sus-jacent (Varnes, 1978)



**Figure 1.5 :** Schéma de glissement de terrain plan rotationnel (Highland et Bobrowsky, 2008)

-Exemple : le glissement plan du Beaton river Valley dans la Province Britannique au Canada en 2001.



Figure 1.6 : glissement plan du Beaton river Valley en 2001 (Highland et Bobrowsky, 2008)

### 1.3.3. Glissement composé ou complexe :

Ce type de glissement implique une combinaison de deux types de glissement précédentes. Il reflète la présence d'hétérogénéité à une profondeur modérée sous une pente. Dans tels cas, la surface de rupture est formée d'une composition d'éléments incurvés et planaires. (Skempton et Hutchinson, 1969)

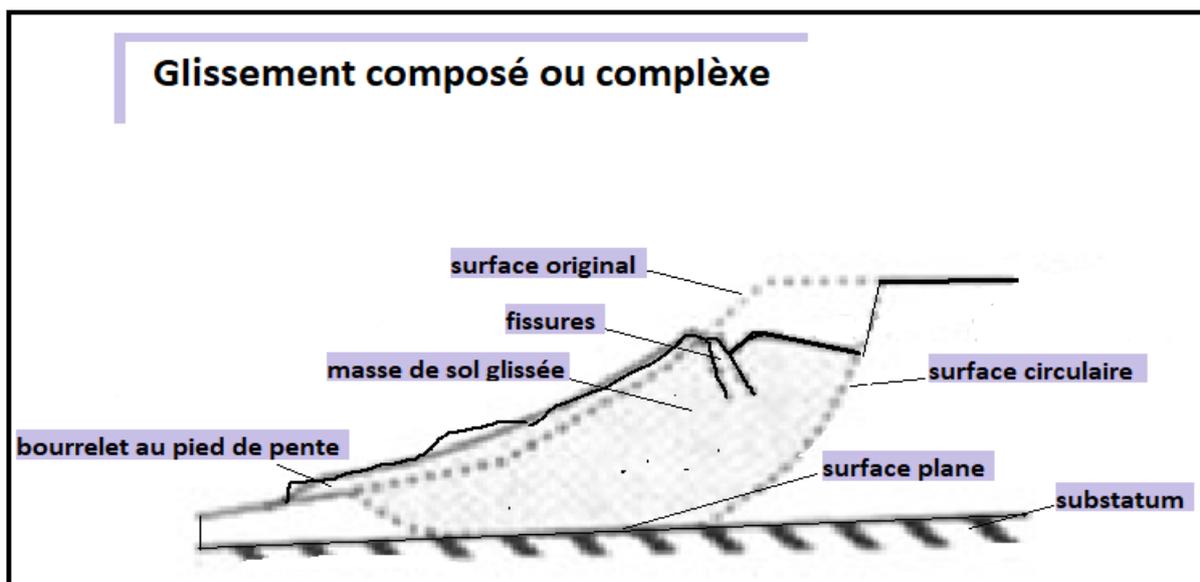


Figure 1.7: Schéma d'un glissement de terrain composé (Skempton et Hutchinson, 1969)

*-Exemple :* le grand glissement de terrain de Chambon sur la vallée de la Romanche a la France en 2015 (Dubois et al., 2016)



**Figure 1.8 :** glissement de Chambon en 2015 au France (Chanut et al., 2017)

#### 1.4. Classification des glissements de terrain :

On peut classer les glissements des terrains selon : la profondeur de surface de rupture et l'activité en fonction de l'évaluation de la vitesse moyen de mouvement des masses du terrain à long terme comme suite :

##### 1.4.1. Selon la profondeur de la surface de rupture:

| Glissement de terrain | profondeur de la surface de glissement (m) |
|-----------------------|--|
| Superficiel           | 0 - 2                                      |
| Semi-profond          | 2 - 10                                     |
| Profond               | >10  |

**Tableau 1.1 :** classification des glissements selon la profondeur de la surface de rupture (Lateltin, 1997).

##### 1.4.2. Selon l'activité de glissement :

| Glissement de terrain              | Vitesse moyenne de glissement (cm/an) |
|------------------------------------|---------------------------------------|
| Substabilisé, très lent            | 0 - 2                                 |
| Peu actif, lent                    | 2 - 10                                |
| Actif(ou lent avec phases rapides) | >10                                   |

**Tableau 1.2 :** classification des glissements selon l'activité (Lateltin, 1997).

### 1.5. Les causes principales des glissements de terrain :

Il existe des nombreuses causes qui provoquent et conduisent les glissements de terrain, on distingue parmi les ceux qui sont naturelles représentées par des causes géologiques, physiques et morphologiques et ceux qui sont anthropiques, ces dernières représentées par les activités humain et ses ouvrages (Wieczorek, 1999).

#### 1.5.1. Les causes naturelles

Elles sont généralement sans intervention humaine comme :

##### 1.5.1.1. Causes géologiques

- ❖ La stratigraphie non consolidée comme des matériaux faibles, sensibles altérés ou fissurés ça dépend de ses compositions minéralogiques (Highland et Bobrowsky, 2008). On prend par exemple le cas de glissement de Menton en 1952 à cause de l'existence de couche argileuse intermédiaire et son pendage est de même sens que la pente topographique (Pomerol et Renard, 1999) ;
- ❖ La présence d'une schistosité qui peut former des plans de glissement probable (Autran et al., 1975) ;
- ❖ Les discontinuités géologiques comme des failles, discordances ou des contacts entre des géo mâtereaux difféérées comme le cas de glissement de Bokoya qui a été provoqué par le recoupement de deux failles normal (Azzouz et al., 2002) ;
- ❖ Les contrastes des perméabilités et/ou des rigidités (Highland et Bobrowsky, 2008).

##### 1.5.1.2. Causes physiques

- ❖ Le tremblement de terre : comme le cas de glissements de terrain provoqués par le tremblement de terre de Wenchuan, sud ouest de la Chine en 12 mai 2008(Dai et al., 2016) ;
- ❖ Les précipitations intenses : les glissements de Java en Indonésie c'est le meilleur exemple ou la forte précipitation est estimées a environ de 2 a 3,5 mille mm/an (pluies de mousson) joué un grand rôle dans la fréquence des plusieurs glissements de terrain dans cette zone (David, 2004) ;
- ❖ La fonte des neiges rapide ;
- ❖ Les mauvais drainages à flanc de colline comme le cas de glissement de Fourvière à Lyon en 1930 (Pomerol et Renard, 1999) ;
- ❖ Eruption volcanique.

### 1.5.1.3. Causes morphologiques

- ❖ L'activité tectonique comme le cas de glissement au Salvador en 2001 ou soulèvement volcanique ;
- ❖ Les dépendances des eaux de fonte glaciaire ;
- ❖ Le chargement sur la pente ou sa crête ;
- ❖ L'érosion fluviale, glaciaire ou par vague du pied de pente ;
- ❖ L'élimination de la végétation par les incendies de forêt ou par la sécheresse (Cruden et Varnes, 1996).

### 1.5.2. Causes anthropiques

Elles sont liés aux activités humaines comme :

- ❖ Excavation au pied de pente comme le cas de glissement de terrain de Chaancun dans la ville de Dilian, a la Chine (Zhang et al., 2015) ;
- ❖ Construire sur des pentes instable ou sur sa crête ;
- ❖ Déforestation : comme le cas de région Nilgiris en Inde qui a connu des glissements de terrain fréquents (Kumar et Bhagavanulu, 2008) ;
- ❖ Irrigation : cette opération peut changer la teneur en eau puis le poids des sols qui forme le versant ;
- ❖ Exploitation minière
- ❖ Vibration artificiel (Cruden et Varnes, 1996).

## 1.6. Le glissement de terrain dans le monde :

Au cours de temps, le monde a été témoin de nombreux glissement de terrain de types et formes diverses sur tous les continents. Dans les communautés à travers les Etats-Unis seulement, les glissements de terrain causent des souffrances humaines dont 25 à 50 décès par an, des milliards de dollars de perte économique et une dégradation de l'environnement (Spiker et Gori, 2003).

### 1.6.1. Au Salvador:

Un glissement de terrain sur la route de Pan Américain au Salvador en 13 Janvier 2001, provoqué par un tremblement de terre d'une magnitude de 7,6 sur l'échelle de Richter a cause de l'activité tectonique entre les deux plaques Cocos et Caraïbe. Les débris se sont écoulés le

long de la crête, emportant avec eux une partie de la forêt, après ce glissement qui rasé une partie de Las Colinas, environ de 450 personnes ont été tués et 1200 disparues (Reed, 2001)



**Figure 1.9:** glissement de terrain de Los Colinas en 2001(Reed, 2001).

### 1.6.2. En France :

Le 10 Avril 2015, c'est le jour du déclenchement d'un grand glissement de terrain qui a entraîné la fermeture totale du grand tunnel du Chambon, avec une vitesse moyenne de déplacement de versant instable constituée de schiste d'ordre 10 à 15 cm/j, ainsi d'une surface de rupture en forme de cuillère car elle a une double composante translationnelle et rotationnelle, la présence des fissures au niveau de schiste friable (marnes métamorphisées) et ainsi que le versant est conforme à la schistosité étaient les causes principales qui ont conduit ce glissement (Dubois et al., 2016)



**Figure 1.10 :** l'évolutions du glissement de terrain de Chambon en 2015 (Dubois et al., 2016).

### 1.6.3. En Turquie :

La région de la Mer Noire en Turquie est une zone très sensible aux glissements de terrain car elle possède des caractéristiques topographiques, montagneuses et soumis à de fortes précipitations (Akgun et al., 2008). Le 16 mai 2019, un glissement de terrain s'est produit au province d'Ordu district de Aybasti, ce glissement a causé des dégâts comme la destruction des 15 maison ([www.hurriyetdailynews.com](http://www.hurriyetdailynews.com))



**Figure 1.11** : le glissement d'Ordu en Mer Noire, 2019([www.hurriyetdailynews.com](http://www.hurriyetdailynews.com))

## 1.7. Les glissements de terrain en Afrique :

### 1.7.1. Au Cameroun :

Le 20 octobre 2007 à l'ouest de Cameroun, un déclenchement de glissement de terrain de Kekem qui provoqué par forte précipitations, ce mouvement des masses de terrain se déplacés avec une manière complexe car il contient de deux surfaces de rupture : rotationnel en amont et translationnel en aval, les facteurs qui ont facilité ce glissement sont multiples et variés, parmi les celui qui sont naturels comme le type de sol qui est riche en fines et en roches altérés, le pente qui est dépasser 30° et l'augmentation de niveau de la nappe phréatique, et celui qui sont anthropiques comme des construction de la route, déforestation et l'urbanisation mal contrôlée. Le glissement de Kekem a causé la mort d'une personne et coupé la route nationale (ABOUBAKAR et al., 2013) ;



**Figure 1.12** : le glissement de terrain de Kikem en 2007(ABOUBAKAR et al., 2013).

### 1.7.2. Au Maroc :

En 2013, un glissement de terrain de type rotationnel complexe s'est produit dans la vallée de Tissoufa sur le versant du Jbel Outka d'une superficie de 8,34 ha, les causes principales sont nombreuses et variées entre celle qui sont naturelles : comme les fortes précipitations hivernales, la pente qui dépassé  $30^\circ$  et la teneur important des argiles et des silts, et autre causes anthropique comme : la déforestation et les réseaux perforé en plastique qui perdent la stabilité du versant. Le glissement de Tissoufa a détruit des maisons et la route P5302(TIMA et al., 2018) ;



**Figure 1.13** : le glissement de terrain de Tissoufa en 2013 au Maroc (TIMA et al., 2018).

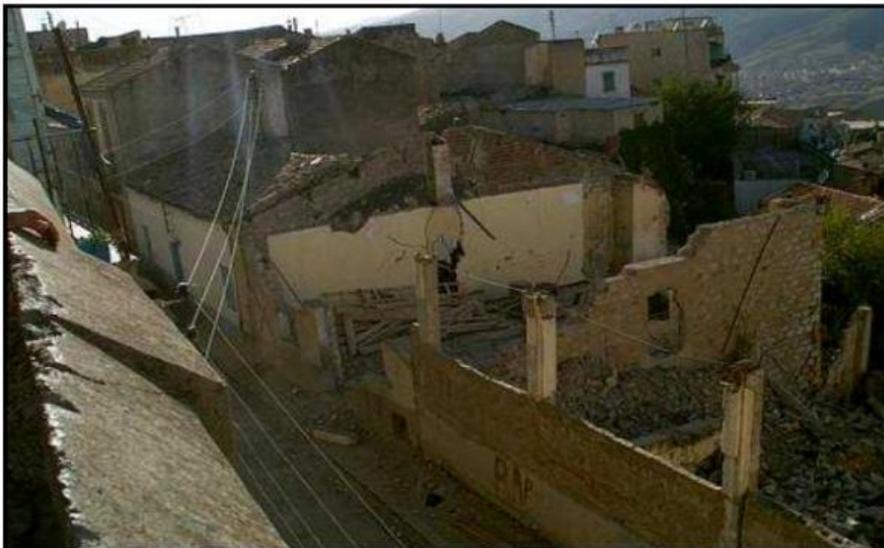
### 1.8. Les glissements en Algérie :

L'Algérie aussi comme le reste de monde a subi de nombreux glissements de terrain surtout dans les régions situées au nord qui sont caractérisées par une nature géomorphologique plus ou moins complexe (les diverses structure géologiques, pendages..), l'activité sismique et le changement climatique au cours les saisons (climat de la mer méditerrané), ces mouvements de terrain peuvent être catastrophique sur les zones urbaine ou sur les trajets économique.

Quelques exemples :

#### 1.8.1. A Constantine :

Les activité humaine dans la région de Constantine depuis le 20emè siècle (construction des ouvrages ou des logements non ou mal contrôlés sur les versants) ont causé des instabilités des pentes dans cette région comme le glissement de terrain en 1972 qui a frappé les quartiers de Belouizdad, Kitoni et autres cartiers en voisinage avec une superficie d environ de 120 ha, ce glissement de terrain a menacé la vie de 100000 habitants qui sont distribués à près de 1500 habitations (Mezhoud, 2006)



**Figure 1.14 :** les conséquences des glissements de terrain en Constantine ([www.constantinier-aujourd'hui.fr/](http://www.constantinier-aujourd'hui.fr/))

**1.8.2. A Bejaia :**

Un glissement de terrain a été provoqué sur les montagnes de Bejaia, les facteurs et les causes de ce glissement sont variés et nombreux comme la nature montagneuse des reliefs tel que la pente peut dépasser  $60^\circ$  dans cette zone, cette dernière a été subie par des précipitations qui affecte les matériaux sensibles (les marnes schisteux) qui ont joué un grand rôle sur la rupture de ce versant au cours d'un 80m de longueur a proximité la route (Omar et Abderrahmane, 2018) ;



**Figure 1.15 :** glissement de terrain de Bejaia sur la route (Omar et Abderrahmane, 2018).

**1.8.3. A Tlemcen :**

Le 02 mars 2014, un glissement de terrain détruit l'autoroute Est-Ouest sur un tronçon près de ville de Tlemcen avec une estimation de 2 m de déplacement vertical et autre d'environ 3 a 4 m a l'horizontale, ce glissement est déclenche a cause de l'écoulement d'un cours d'eau a proximité de la route et cela a déformé les couches inférieures de la plate forme.



**Figure 1.16 :** glissement de terrain de Tlemcen en 2014 (Bourdim et al., 2018).

1.9. Méthodes actuel d'analyse de l'alea :

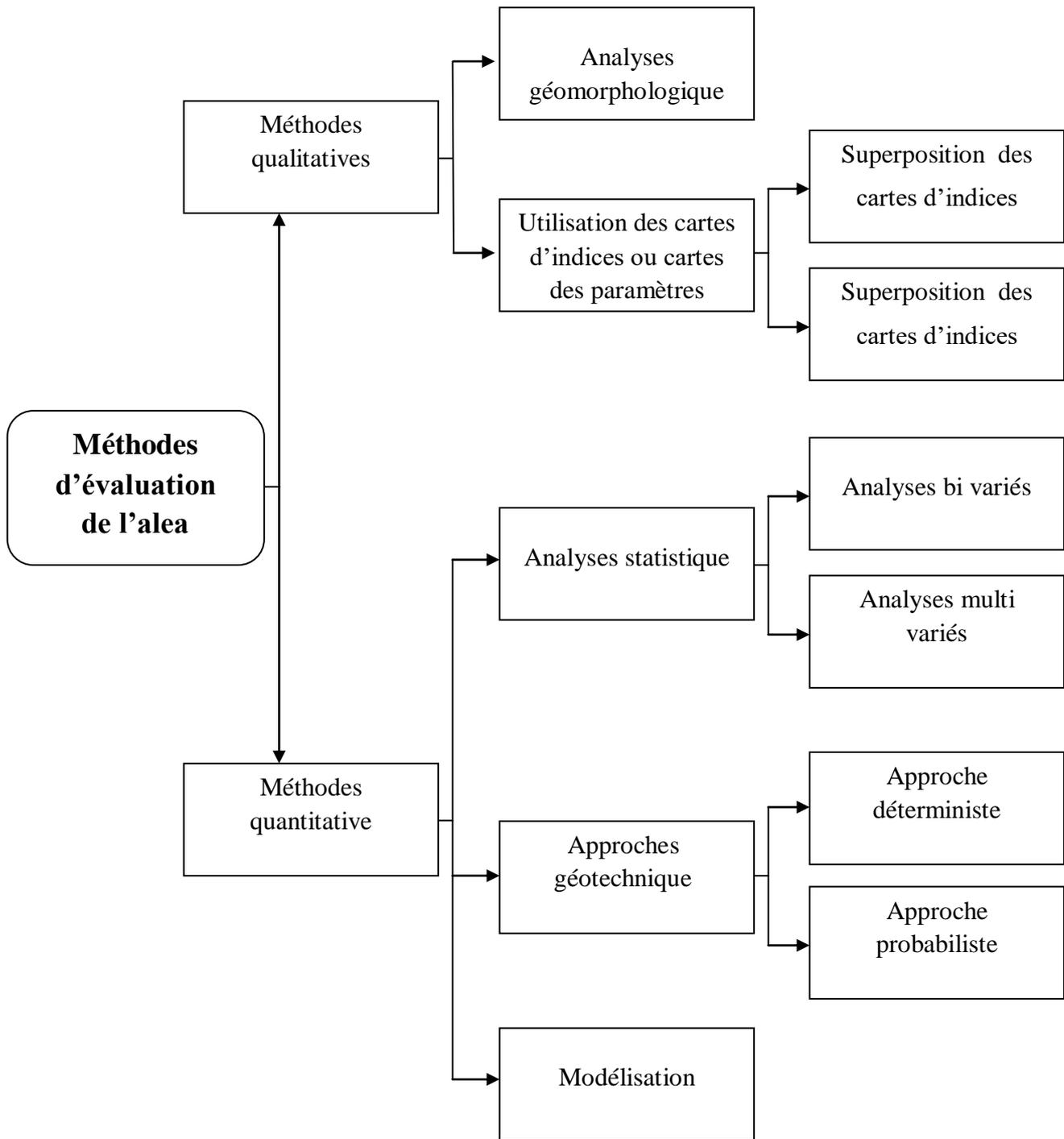


Figure 1.17 : méthodes d'analyse de l'aléa (Aleotti et Chowdhury, 1999)

**1.9.1. Méthode qualitative (ou directe) :****1.9.1.1. Analyse géomorphologique (méthode expert) :**

Parmi les méthodes d'analyse qualitative, l'analyse géomorphologique de terrain est la plus simple car elle est basée principalement sur les informations récoltées de terrain par l'expert et sa compétence et son expérience sur site, cette méthode permet de l'évaluation rapide de l'aléa de glissement de terrain à n'importe quelle échelle mais elle nécessite d'une longue mission de terrain (Stieltjes, 2004) ;

**1.9.1.2. Cartographie d'indices ou des paramètres avec poids :**

L'expert doit faire une sélection puis cartographier les facteurs d'instabilité par la superposition des paramètres (géologiques, géomorphologiques, hydrogéologiques...etc.) d'une zone à l'aide d'un SIG et de pondération avec une attribution des poids à chaque paramètre, alors l'utilisation d'une méthode analytique logique est très efficace, la cartographie par pondération avec des poids permet l'évaluation de l'aléa de glissement et détermine les zones plus sensibles à ces mouvements de terrain sur toutes les échelles mais il y a le problème de subjectivité sur l'attribution des valeurs de poids de chaque paramètre (Aleotti et Chowdhury, 1999)

**1.9.2. Méthode quantitative (ou indirecte) :****1.9.2.1. Analyse statistique :**

C'est une méthode indirecte basée sur l'analyse historique des événements surtout sur les sites stables qui ont même caractéristiques avec des sites instables, le monde professionnel utilise cette technique pour résoudre le problème de subjectivité et combler le manque de la précision d'évaluations d'expert, elle est subdivisée en deux méthodes :

**1.9.2.1.1. Analyse statistique bi variée :**

Cette technique s'appuie sur deux variables, nécessite d'une préparation des cartes des paramètres et localisation des glissements de terrain puis superposition les uns sur les autres pour déterminer la densité des glissements de terrain par rapport aux paramètres, après ceci on peut attribuer des poids à ces derniers, enfin la superposition finale permet de calculer la valeur de susceptibilité de chaque zone, cette technique est très utilisée par les géologues mais elle contient des problèmes parce que les paramètres ou les facteurs analysés ne sont pas

indépendants et les corrélations entre eux plus ou moins importantes (Aleotti et Chowdhury, 1999)

#### **1.9.2.1.2. Analyse statistique multi variée :**

Cette technique permet d'utiliser plusieurs variables et assister à la division du terrain en zones par unité cartographique telle que chaque unité représente une portion de terre possède des caractéristiques homogènes (géologiques, topographique, hydrographique ...) et hétérogènes pour les zone adjacentes (Stieltjes, 2004) ; puis la superposition des cartes des glissements de terrain et celles des facteurs en identifiant le pourcentage des glissements qui est effectué à chaque zone après ça on utilise la méthode régressive multiple (car les variables sont généralement continues), enfin le classement des unités selon la susceptibilité de chaque unité, cette technique nécessite d'utilisation d'un SIG qui facilite de stocker, restaurer et l'emploi sur une grande quantité des information, mais parfois elle donne des résultats illogique car les facteurs ne sont pas indépendants et la précision médiocre sur la détermination des paramètres physiques joue un rôle dans la réussir cette méthode ,

#### **1.9.2.2. Approche géotechnique :**

Cette méthode consiste sur les modèles géotechnique et ces calcules pour identifier la susceptibilité aux ruptures (glissements de terrain), on distingue parmi les deux méthodes (déterministe et probabiliste) (Aleotti et Chowdhury, 1999) comme suite:

##### **1.9.2.2.1. Méthode déterministe :**

C'est une méthode indirecte basée principalement sur l'analyse de stabilité de pente par la détermination d'un facteur de sécurité ( $F_s$ ), ce facteur qui est représenté par le rapport entre la résistance au cisaillement critique et l'autre appliquée au niveau de surface de rupture comme suite :  $F_s = \tau_{\max}/\tau$  , les géotechniciens souvent utilisent la méthode de tranches qui consiste à l'analyse des forces appliquées par le découpage d'un talus en tranches verticales, les techniques et les théories sur cela sont nombreux : sur les formes de rupture rotationnelles (Fellunius, Taylor, Bishop, Caquot-Biares )et sur les formes de rupture quelconques (Jambu, Morgenstern-Price, Spencer et méthode de perturbation) , les données nécessaires sont les paramètres géotechniques (la cohésion  $c$ , l'angle de frottement  $\varphi$ , poids volumique saturé  $\gamma_{\text{sat}}$ , poids volumique sec  $\gamma_h$  et le poids volumique de l'eau  $\gamma_w$ ) et les paramètres géométriques comme la profondeur de la nappe  $h$  , l'épaisseur des matériaux sollicités  $z$ , cette méthode

nécessite l'utilisation d'un logiciel pour faciliter le calcul des facteurs de sécurité et leurs moyen, on peut considérer les versant à l'état instable si :  $F_s < 1$  (Khemissa, 2006) ;

#### **1.9.2.2.2. Méthode probabiliste :**

Les valeurs des facteurs de sécurité calculées par la méthode précédente seulement ne sont pas suffisants pour l'estimation de la stabilité d'un versant, il s'agit des problèmes d'homogénéité des matériaux des versants et la précision des résultats d'essais de laboratoire , alors ; il faut utiliser une méthode probabiliste qui prend en considération la variabilité des autres facteurs (précipitations, séismes ..) pour résoudre ces problèmes et déterminer des valeurs de stabilité plus proche a les cas réels (Aleotti et Chowdhury, 1999)

#### **1.9.2.3. Modélisation :**

C'est une technique qui permet d'une représentation schématique du glissement de terrain par l'usage des données expérimentales prises en compte des facteurs déclenchants, la possibilité d'une prévision de la rupture ça dépend à la précision des essais déterministes, les scientifiques proposaient trois catégories des modèles : empirique, analytique et numérique , les deux premières basées sur le prévision des déplacements des masses des débris mais la troisième consiste en les analyses des mécanismes des mouvements de terrain (les glissement dans notre cas) cette technique est très utile par les géotechniciens à l'aide d'un logiciel mais parfois elle nous donne des résultats plus loin que la réalité (l'homogénéité des milieux est l'habitude problème pour la modélisation des glissement de terrain) (Stieltjes, 2004).

#### **1.10. Conclusion :**

Le glissement de terrain avec ces types : rotationnel, translationnel et complexe c'est un danger qui menace les zones en pente avec des pertes plus ou moins importantes, la prévision de ce phénomène est très difficile car les facteurs qui peuvent provoquer ces mouvements sont nombreux (géologiques, hydrogéologiques, morphologiques, climatiques ...etc.) et toujours il y a des relations entre eux plus ou moins fortes , pour cette raison beaucoup des techniques et méthodes ont été développées pour évaluer et prévisionner les glissements de terrain puis trouver des solutions pour prévenir ou réduire les risques de ces mouvements.

**CHAPITRE 2 :**  
**Méthodologie et Outils informatique**

### 2.1. Introduction :

L'évaluation d'aléa de glissement de terrain c'est une tâche plus ou moins difficile, les géoscientifiques ont traité ce problème sérieusement, et cela est confirmé par leurs efforts depuis le siècle dernier. 1972, c'est la date de l'émergence de la cartographie ZERMOS (zones exposées aux risques associés aux mouvements du sol et du sous-sol) le rôle de cette cartographie est axé sur la représentation de nature et localisation des instabilités (Pomerol et Renard, 1999). La méthode proposé pour notre cas consiste à cartographie des glissements de terrain a l'aide d'une méthode de pondération des facteurs avec l'utilisation d'un système d'information géographique (SIG) comme Arc GIS ou Map info pour profiter ces avantages et faciliter le travail.

### 2.2. Principe de méthode :

Abedini et Tulabi (2018) ont utilisé des modèles pour la cartographie des glissements de terrain, parmi ces modèles on cite le processus d'hiérarchie analytique (AHP) qui est proposé en première fois par Saaty en 1980, cette méthode basée sur la comparaison binaire des facteurs efficaces dans le cas d'étude et s'appuie sur la jugement d'experts pour dériver les échelles de priorités, ces comparaisons aident les décideurs pour peser les coefficients, l'analyse hiérarchique des procédés nécessite un SIG pour l'entrer, traiter et analyser des données nécessaires selon les étapes suivante :

- 1) Hiérarchisation des facteurs efficaces ;
- 2) Production des matrices de comparaison par paire basée sur l'avis d'experts ;
- 3) Calcul du poids relatif et du taux d'incohérence ;
- 4) Calcul du poids final des facteurs effectifs et leur donner la priorité ;
- 5) Préparation des cartes pondérées à partir des valeurs du poids final des unités ;
- 6) Préparation une carte de zonage par la somme des cartes pondérées ;
- 7) Calcul de superficie et pourcentage des zones en risques.

Sarkar et Kanungo (2004) ont soulignés la nécessité d'un système numérique de notation, dans lequel des valeurs numériques sont attribuées aux facteurs des glissements de terrain et à leurs classes, la notation (classification) a été élaborée et développée sur la base d'analyse causale associée ces facteurs qui étudiés sur le terrain et sur les connaissances issues des travaux antérieurs, les facteurs sont classées sur une échelle numérique de 1 à 9 par ordre leurs importances, des poids ont également été attribués aux classes des facteurs (catégories

des facteurs) sur une échelle ordinal de 0 à 9 où un poids plus élevé indique une grande influence sur l'occurrence des glissements de terrain.

Selon Ntarawichian et Dasananda (2010), avec l'utilisation les outils d'un SIG, on peut calculer l'indice de susceptibilité aux glissements de terrain (LSI) pour chaque pixel par la somme de poids de chaque facteur multiplié par le poids de classe de chaque facteur comme suite :

$$LSI = \sum_{i=1}^n (W_i * R_i)$$

Où :  $W_i$  : c'est le poids de facteur,  $R_i$  : c'est le poids de classe de facteur et  $n$  : c'est le nombre de facteurs.

A partir de la valeur de cet indice, Awawdeh et al. (2018) ont classés la carte de susceptibilité (potentiel) aux glissements de terrain en 5 zones comme suite : très faible, faible, moyen (modéré), élevé et très élevé.

### 2.2.1. Les caractéristiques de méthode AHP :

| La méthode AHP             | Description  |
|----------------------------|--|
| historique                 | Crée par Saaty en 1980   |
| La réputation              | Largement utilisée dans le monde   |
| Les informations           | Qualitatives   |
| L'objectif                 | Pondération des paramètres (analyse multicritère)  |
| Le principe                | Comparaison par paire des paramètres (deux par deux)   |
| Echelle de poids           | De 1 à 9 (de petite a grande importance des paramètres)                                      |
| L'importance des résultats | L'aide pour prend des décisions  |
| Limitations                | La qualité des résultats toujours liées a la compréhension de la situation par les décideurs |

**Tableau 2.1** : les caractéristiques de la méthode AHP (Zardari et al., 2015).

### **2.3. La collection des données :**

L'acquisition des données est basée sur la collection de toutes les informations qui sont liées aux glissements de terrain, telles que les informations géologiques, géomorphologiques, géotechniques, hydrologiques et autres qui jouent un rôle dans l'instabilité des terrains en pente, ces informations peuvent être sous forme : des livres, articles, les données de télédétection par satellite, rapports des essais en laboratoire ou in situ, publications des entreprises...etc.

#### **2.3.1. Carte géologique :**

A partir d'une carte géologique on peut savoir les formations existantes dans l'affleurement de la zone d'étude et les structures géologiques dans le sous-sol, donc la carte géologique nous permet de dériver une carte lithologique (Sarkar et Kanungo, 2004) ;

#### **2.3.2. Les paramètres géotechniques :**

Ces paramètres sont utilisables dans le domaine d'évaluation des glissements de terrain, Ayenew et Barbieri (2005) ont utilisé les données géotechniques avec les autres facteurs pour déterminer les zones plus susceptibles aux glissements de terrain, les propriétés géotechniques des sols et des roches sont récoltées à partir des résultats des essais géotechniques élaborés dans le laboratoire ou bien in situ, les essais d'identification (granulométrie, limites d'Atterberg, indice des vides...etc.) sont importants pour déterminer les types et la nature des sols, ainsi que les essais de cisaillement qui ne sont pas moins importants, car grâce à leurs résultats, on peut déterminer la résistance au cisaillement des matériaux (à partir des valeurs de cohésion  $C$  et l'angle interne de frottement  $\phi$ ) qui affecte principalement la survenue de glissements de terrain.

#### **2.3.3. Modèle digital de l'élévation (DEM) :**

Ce modèle peut être utile pour l'extraction des plusieurs informations de la région et beaucoup de plus topographiques, on prend par exemple l'élévation de terrain, l'angle de pente, l'aspect de pente et les bassins versants existants (Sarkar et Kanungo, 2004) ;

**2.3.3.1. Le pourcentage des pentes :**

Le pourcentage de pente joue un rôle très important sur les instabilités des sols, l'augmentation de l'angle de pente conduit théoriquement une augmentation des contraintes de cisaillement dans la pente ;

**2.3.3.2. L'aspect :**

Ce facteur affecte sur la quantité des pluies, l'effet de vent et l'énergie solaire distribuée sur la zone d'étude, ces paramètres contrôlent la couverture végétal, l'épaisseur des sols, l'humidité...etc. donc la susceptibilité aux glissements de terrain se diffère d'une direction de pente et d'autre (Abedini et Tulabi, 2018) ;

**2.3.3.3. Densité de drainage :**

Ce paramètre est défini par la proportion de la longueur totale du débit d'eaux par rapport à la superficie totale du bassin de drainage (Ghanavati, 2016). La densité de drainage joue un rôle déterminant dans les mouvements de terrains en général et dans les glissements de terrain en particulier car les réseaux de drainage imposent une agressivité sur les masse de sol (Abedini et Tulabi, 2018). On peut préparer une carte de drainage à partir d'images satellites (DEM), cette carte peut être divisée en plusieurs classes : faible, moyen, élevé et très élevé, cette classification basée sur le pourcentage de densité de drainage dans la zone d'étude (Awawdeh et al. 2018)).

**2.3.4. Carte pluviométrique :**

La pluviométrie d'une zone est prise en considération dans les études des glissements de terrain, parce qu'elle affecte sur la stabilité des terrains en pente, en plusieurs cas dans le monde, les investigations des catastrophes naturelles montrent une relation plus ou moins forte entre les paramètres des précipitations et le déclenchement des glissements de terrain (Dahal et Hasegawa, 2008). Les données pluviométriques sont collectées au niveau des stations pluviométriques pour obtenir une carte de précipitation qui représente la précipitation moyennes annuelle en millimètre dans la région étudiée, puis on peut classer ces moyennes en plusieurs classes d'intervalles égaux (Awawdeh et al., 2018)).

**2.3.5. L'occupation du sol :**

Ce paramètre ainsi joue un rôle sur l'occurrence des glissements de terrain dan la zone

d'étude, la couche des données sur l'utilisation des sols a été générée sous forme des polygones vectoriels et convertis en rasters (Dahal et al., 2008). L'occupation des sols peut être en : forêt (dense ou clairsemée), pâturage, sol nu, volume d'eaux, agriculture, irrigation et zone urbanisme, n'importe quel changement sur l'utilisation des sols peut modifier les résultats de la carte finale de susceptibilité aux glissements de terrain (Reichenbach et al., 2014).

### **2.3.6. La répartition des failles :**

Les failles représentent des discontinuités et de formations cisailées, donc la présence de ces déformations dans une région peut provoquer des problèmes d'instabilité des pentes, on classe la carte des failles en plusieurs classes selon la densité de réseau faillé (Sarkar et Kanungo, 2004). Les failles actives jouent un rôle important dans le déclenchement des glissements de terrain parce qu'elles sont des sources très probables des tremblements de terre et elles peuvent ainsi provoquer des fissurations du sol au voisinage (Abedini et Tulabi, 2018).

### **2.3.7. Carte d'inventaire des glissements de terrain :**

Les études précédentes des glissements de terrain survenus dans la même zone d'étude nous permettent de construire une carte qui détermine la distribution de ces mouvements de terrain, cette carte a été utilisée comme un modèle de validation et pour la comparer avec la carte de susceptibilité aux glissements de terrain.

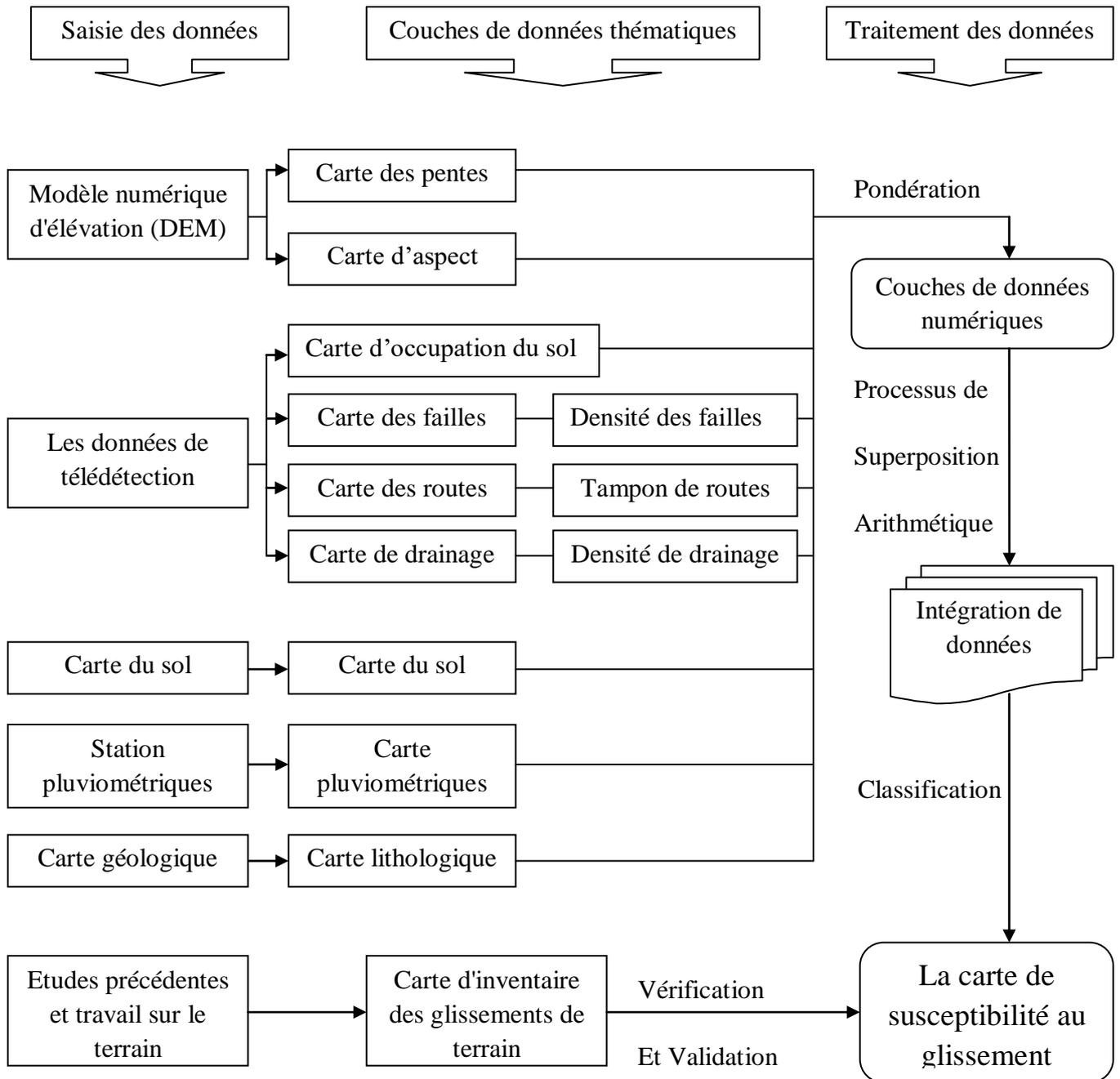
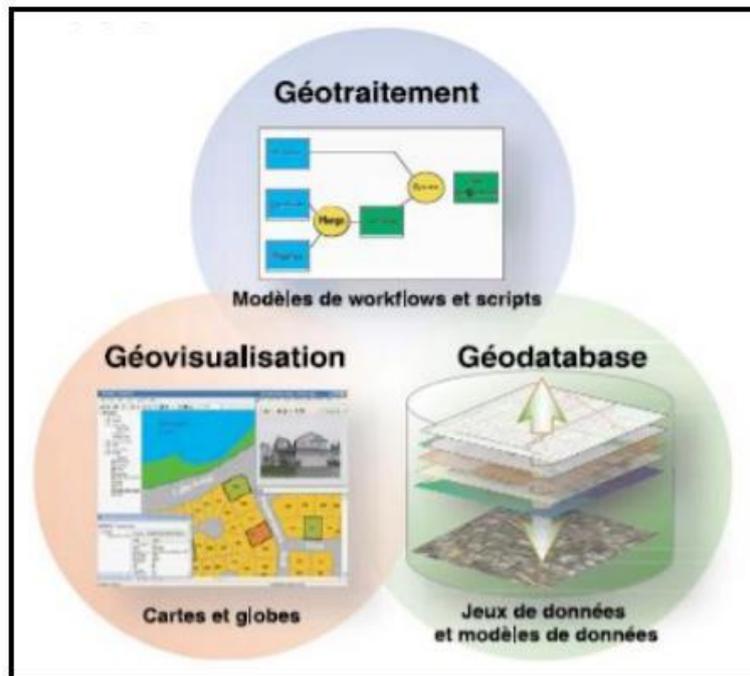


Figure 2.1 : organigramme de la méthodologie du modèle SIG (Awawdeh et al., 2018).

2.4. Présentation le système d’information géographique (SIG) :

Le terme système d’information géographique (SIG) a été utilisé pour la première fois par R.F. TOMLINSON, lorsqu’un système d’information créer un pointage vers l’espace au nom du canada en 1963 (Ledig, 2003). Les SIG sont une technologie d’information plus efficace parce qu’elle vise à incorporer des connaissances provenant de sources multiples et à créer un

champ multisectoriel idéal pour la collaboration, pour afficher et manipuler des différentes informations géographiques, le SIG propose les trois constituants suivants :



**Figure 2.2** : les éléments constitutifs du noyau d'un SIG

### 2.4.1. Les éléments constitutifs du noyau d'un SIG :

#### 2.4.1.1. La partie de géodatabase – catalogue :

Le SIG s'accorde à une base de données spatiales, cette dernière contenant des jeux de données qui représente selon un modèle générique de SIG les données géographiques ;

#### 2.4.1.2. La partie de géovisualisation- carte :

Les entités spatiales et leurs relations à la surface de terrain naturel sont représentées dans un SIG par un ensemble des cartes intelligentes des vues bidimensionnels (2D) ou tridimensionnels (3D), après l'effectuation des requêtes, des analyses et des modifications sur les informations géographiques, on peut utiliser ces derniers comme des fenêtres ouvertes trouvées au niveau de la base de données ;

#### 2.4.1.3. La partie géotraitement-boîte à outils :

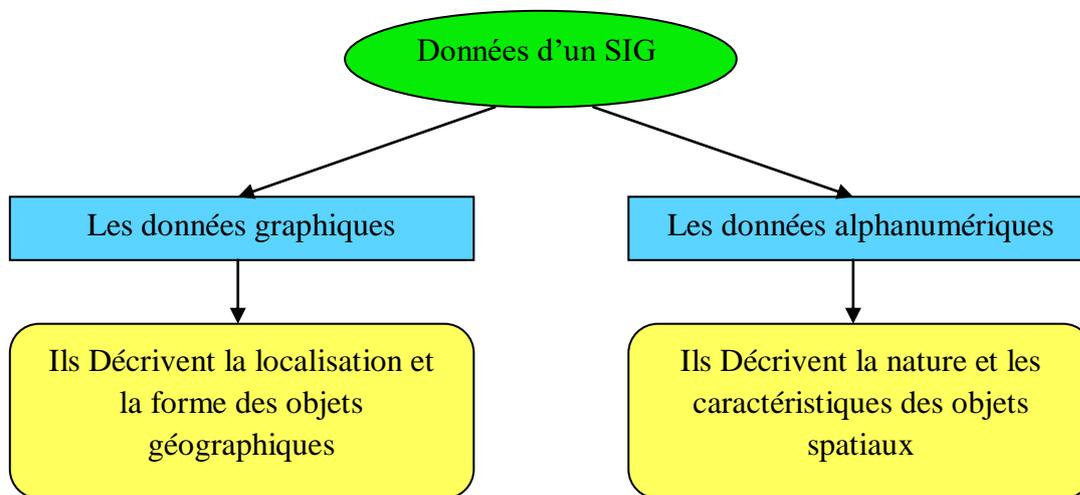
Chaque système d'information géographique contient des outils qui permettent de transférer des informations à partir des jeux de données, l'objectif d'un géotraitement c'est l'application

des fonctions analytiques à des informations qui existent dans les jeux de données et écrire les résultats dans des nouveaux jeux de données (Denis, 2012).



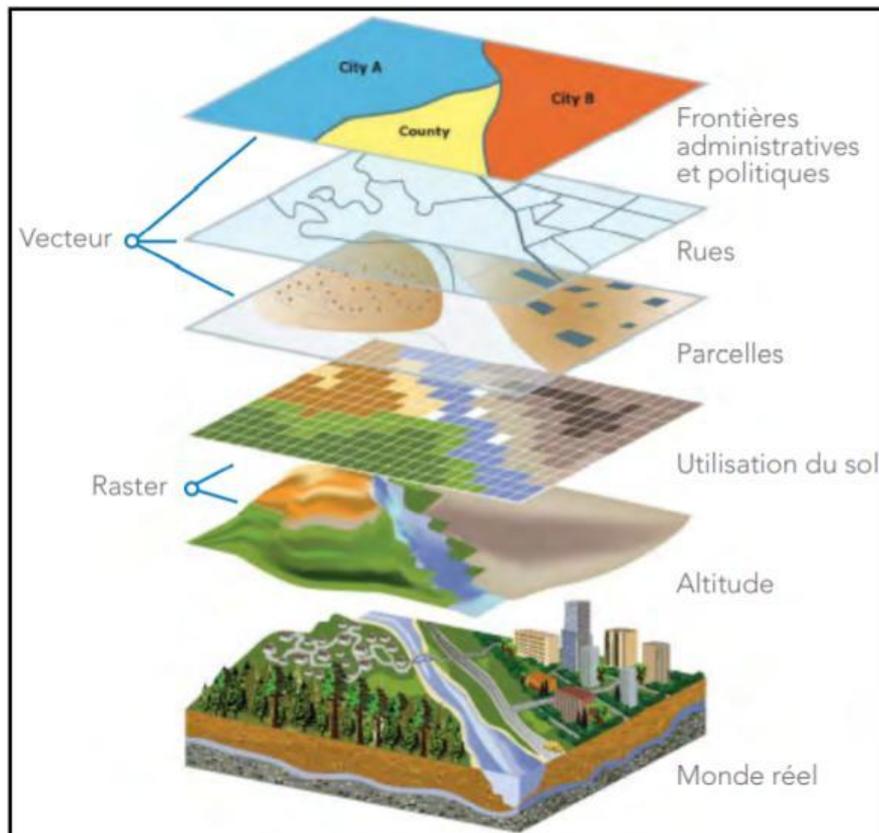
**Figure 2.3** : fonctionnalité d'un outil (Harder et Brown, 2017)

#### 2.4.2. Les types des données dans un SIG :



**Figure 2.4** : les types des données (Habert, 2000)

Le SIG représente les données géographiques en deux modes : les données raster et les données vectorielles, les premières sont utilisées pour représenter des variables continues dans l'espace comme la couverture végétale par exemple, tandis que les données vectoriels utilisés couramment pour stocker les objets spatialement discrets avec des champs des valeurs appelées attributaires, les données vecteurs ont trois formes : points, lignes et polygones (Steiniger et al., 2010). L'analyse spatiale des données a un concept fondamental basé sur l'empiler et la superposition des couches qui contient des différents types de données et comparer-les à d'autres selon l'emplacement de chaque élément composant, toutes les couches sont géoréférencées dans l'espace géographique réel et s'entrelacent entre eux dans la mesure ;



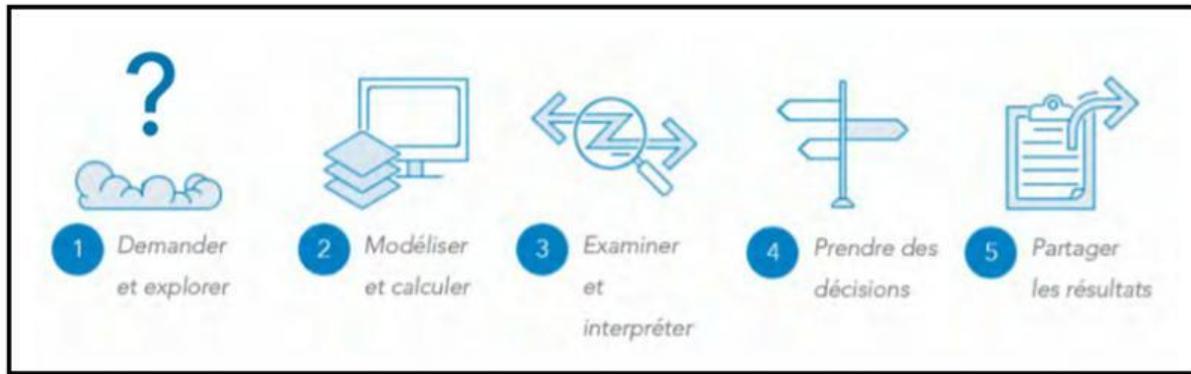
**Figure 2.5 :** empilassions des données des types déférentes (Harder et Brown, 2017)

### 2.4.3. Logiciel Arc GIS :

C'est un logiciel des SIG créé par Esri (l'institut de recherche sur les systèmes environnementaux), avec l'Arc GIS on peut collecter, organiser, gérer, analyser, communiquer et partager des informations géographiques (<https://resources.arcgis.com>). L'utilisation de l'Arc GIS propose une bonne manière pour comprendre des technologies et des concepts liés au SIG et ainsi que la résolution des problèmes géographiques du monde réel est possible avec des applications et des techniques nombreuses, l'utilisation de ce logiciel permet de trouver des résolutions aux problèmes spatiaux et des réponses adaptées aux nombreux types des scénarios possibles par suivre les phases suivantes :

#### 2.4.3.1. Les phases de résolution des problèmes spatiaux :

- demande et exploration (déterminer la problématique)
- Modélisation et calcul (géotraitement)
- Examen et interprétation (explication des résultats)
- Prend des décisions (réponse à la problématique)
- Partage des résultats avec les autres ;



**Figure 2.6:** phases de résolution des problèmes spatiaux

### 2.4.3.2. L'analyse de superposition :

La modélisation des différents facteurs apparemment sans lien qui liés évidemment a le sujet traité est possible, ces facteurs peuvent indiquer des nombreuses informations (compositions du sol, pente relative, distances par rapport aux cours d'eaux, occupations des sols...etc.) et ils sont sous forme des couches de données analysées au moyen de la superposition pondérée, pour effectuer l'opération précédente on doit suivre les quatre étapes si dessous :

#### 2.4.3.2.1. Collection des couches source :

Les données graphiques collectées dans le SIG sous forme des données numériques en polygones ou souvent en raster pour former des couches source qui représentent des données initiales utilisées dans cette étude ;

#### 2.4.3.2.2 Reclassification :

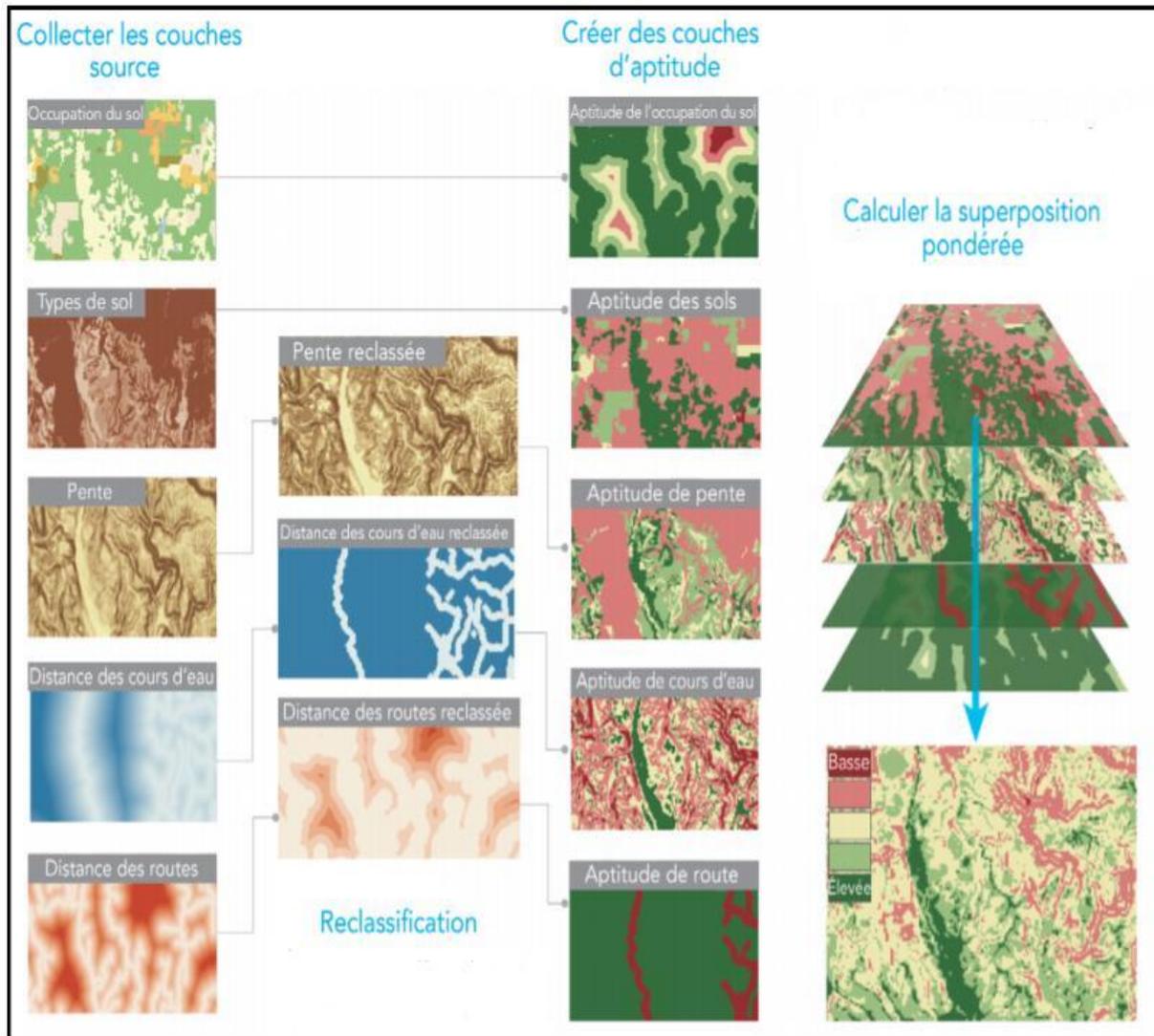
Cette étape consiste à diviser les informations dans la couches de données en plusieurs classes, l'Arc GIS facilite la classification avec des intervalles égaux ;

#### 2.4.3.2.3. Création des couches d'aptitude :

Les couches de données collectées doivent se classer selon la diversité des valeurs de données existant, une échelle d'aptitude à été utilisée pour grouper en classes les données géographiques, le changement des ces dernières est manifesté par la dégradation ou changement de couleur ;

#### 2.4.3.2.4. Calcul la superposition pondérée :

Dans cette étape, l'utilisateur d'un SIG superpose les couches d'aptitude les uns sur les autres pour obtenir un taux d'aptitude globale, chaque cellule (pixel) a un taux qui représente les résultats de calcul des valeurs pondérées ;



**Figure 2.7 :** les étapes d'analyse de superposition pondérée (Harder et Brown, 2017)

#### 2.4.3.3. La validation des résultats :

La carte de susceptibilité aux glissements de terrain résultante doit subir une vérification sur le terrain, il s'agit d'une observation que les zones à forte sensibilité présentent des indications significatives d'instabilité des pentes (glissements de terrain) (Sarkar et Kanungo, 2004). Pour valider l'exactitude des résultats (carte de susceptibilité aux glissements de terrain) il faut les comparer avec une carte d'inventaire des glissements de terrain dans la zone d'étude, cette

dernière carte a été réalisée a partir des glissements de terrain documentés dans les études précédentes et celle observé sure le terrain par les chercheurs (Awawdeh et al., 2018).

### **2.5. Conclusion :**

Les méthodes de pondération sont très utiles dans le monde pour résoudre les problèmes et trouver des réponses aux questions posées par le monde professionnel dans des domaines très divers, dans notre domaine, nous utilisons les méthodes de pondération pour hiérarchiser les facteurs qui jouent un rôle sur l'occurrence des glissements de terrain, à partir d'une distribution des poids aux facteurs et à leurs composantes, ces poids seront utilisés dans les calculs pour déterminer les sensibilités aux glissements de terrain dans la zone d'étude.

La collecte, le stockage, l'analyse et la représentation des données géographiques nécessitent un système d'information géographique (SIG) pour faciliter ces opérations, Esri a développée des logiciels technologiques dans ce contexte comme les dernières versions d'Arc GIS qui vient en tête ces logiciels avec des bénéfices et des avantages qui attirent l'utilisateur d'un SIG.

**Chapitre 3 :**  
**Techniques de stabilisation des**  
**terrains en pentes**

## CHAPITRE 3 Techniques de stabilisation des terrains en pente

### 3.1. Introduction :

Les glissements de terrain peuvent provoquer des dommages voir des pertes des vies humaines, pour cette raison et avant tous les travaux de stabilité, il faut consulter un expert de glissements de terrain comme des ingénieurs de géotechnique car ils connaissent bien les caractéristiques de terrain de site : la mécanique des sols et la mécanique des roches (Highland et Bobrowsky, 2008). Pour résoudre les problèmes des glissements de terrain (dans les sols meubles) et éviter leurs conséquences catastrophiques il y a beaucoup des techniques de stabilisation des versants, Omar et Abderrahmane (2018) ont classé le système de parade en deux approches : la première est douce et elle contient des techniques de terrassement, drainage et végétation, et la deuxième est dure et contient des techniques de soutènement, durcissement et renforcement .

### 3.2. Les systèmes de parade :

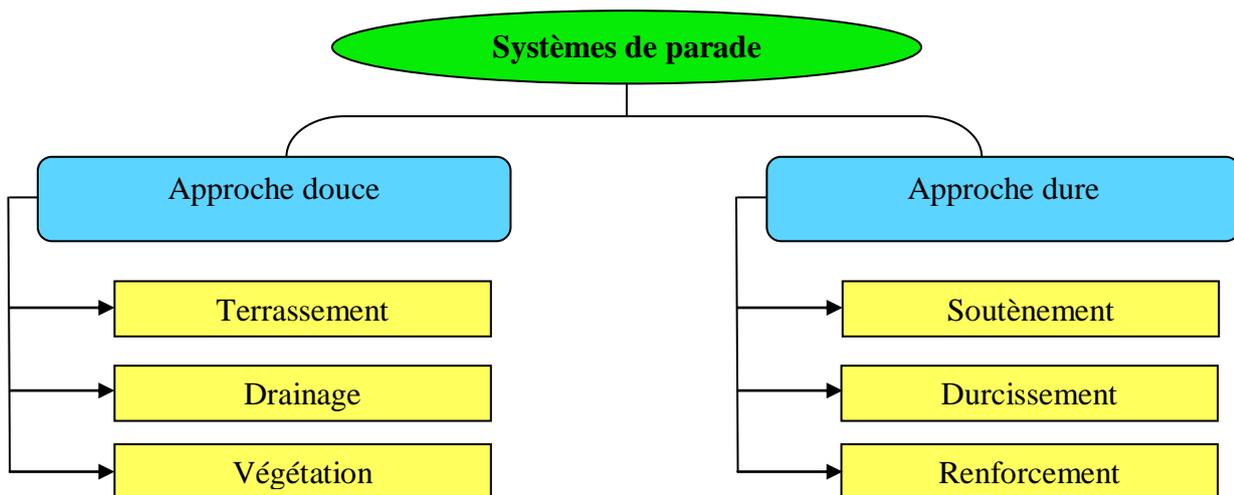


Figure 3.1 : systèmes de parade pour les glissements de terrain (Arab et al., 2015)

#### 3.2.1. Approche douce :

##### 3.2.1.1. Terrassement :

Il s'agit de travaux de déplacement des masses des sols pour faire une modification morphologique favorable (changement des niveaux de terrain), selon Agyei et al. (2018), la réduction de l'angle de pente affecte efficacement sur la stabilité des versants par ce que ce travail va réduire le poids des matériaux qui forment ces derniers puis les contraintes qui peuvent provoquer des glissements de terrain. Il y a aussi autre technique basée sur le remplacement des mauvais sols qui ont grandes susceptibilités aux glissements de terrain par

## CHAPITRE 3 Techniques de stabilisation des terrains en pente

des bons sols comme un remblai et après le compactage nous obtenons des résultats mieux qu'avant (Reuter, 2001).

### 3.2.1.1.1. Moyens et techniques de terrassement :

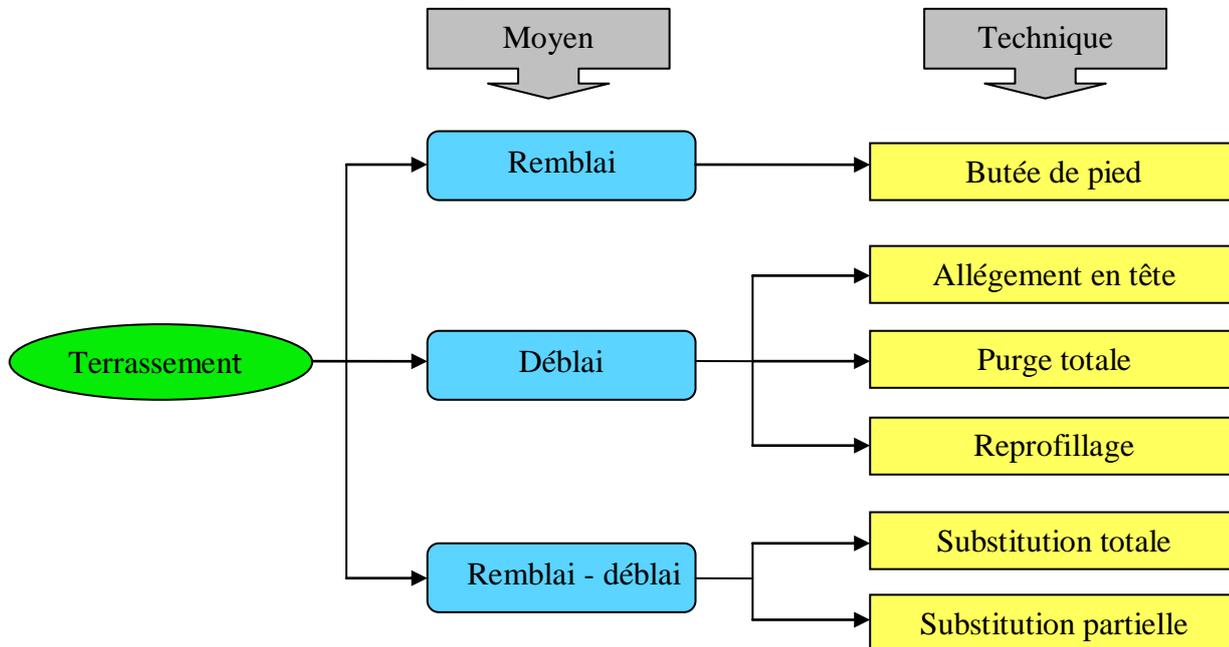


Figure 3.2 : les moyens et techniques de terrassement (Arab et al., 2015)

### 3.2.1.2. Drainage :

L'utilisation des systèmes de drainage dans les versants instables n'est pas moins important que les autres systèmes techniques visant à lutter contre le phénomène de glissement de terrain par ce que ces systèmes permettent de réduire la pression interstitielle dans les pores des sols puis la réduction des contraintes totales qui conduisent parfois le déclenchement des glissements de terrain, on peut classer les mesures de drainage en deux types principaux : drainage de surface et drainage de subsurface (Krishna et Katsumi, 2020).

#### 3.2.1.2.1. Les types de drainage :

##### 3.2.1.2.1.1. Drainage de surface :

Le principe de cette technique est de limiter la pression interstitielle dans les sols par des cunettes, des drains agricoles ou par des fossés pour collecter les eaux de ruissellement des versants et détourner les vers des points de rejet voisins. Budaki et al (2015) conclure que l'absence de drainage de surface était parmi les causes principales de glissement de terrain de Bukavu en janvier 2014 à la république démocratique du Congo, ce mouvement a causé des pertes économiques et 21 personne sont mortes.

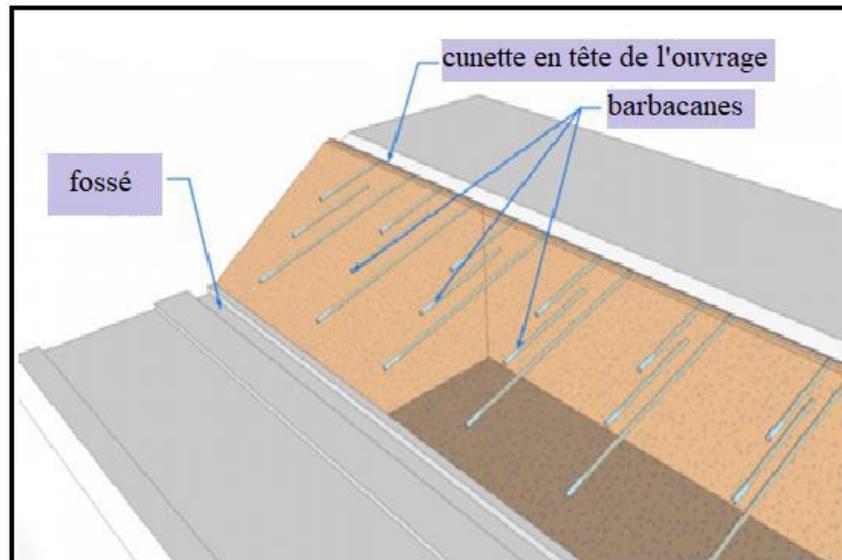


Figure 3.3: drainage de surface (Bruno, 2019)

### 3.2.1.2.1.2. Drainage de subsurface :

Le principe de cette technique est l'abaissement de niveau d'eau puis la réduction de l'effet de la pression interstitielle dans le versant par : des réseaux de drains subhorizontaux pour récolter les eaux d'infiltration ou de l'augmentation de niveau de la nappe et parfois on utilise ainsi des puits drainants, des tranchées drainantes et des galeries pour faciliter l'écoulement gravitaire.

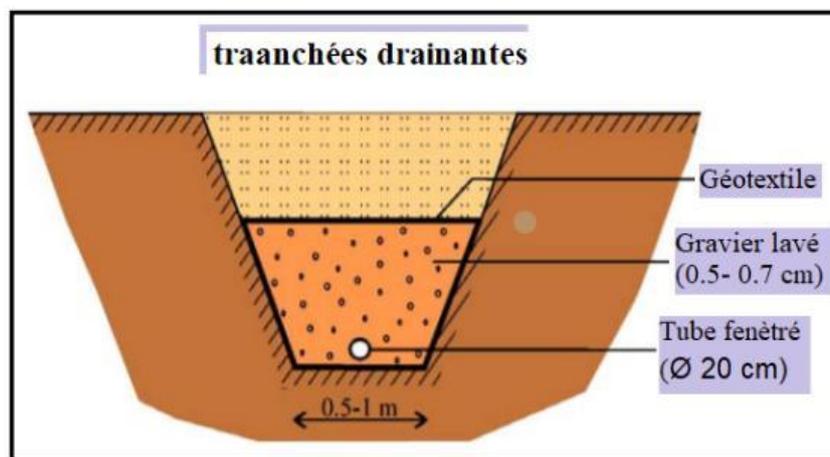


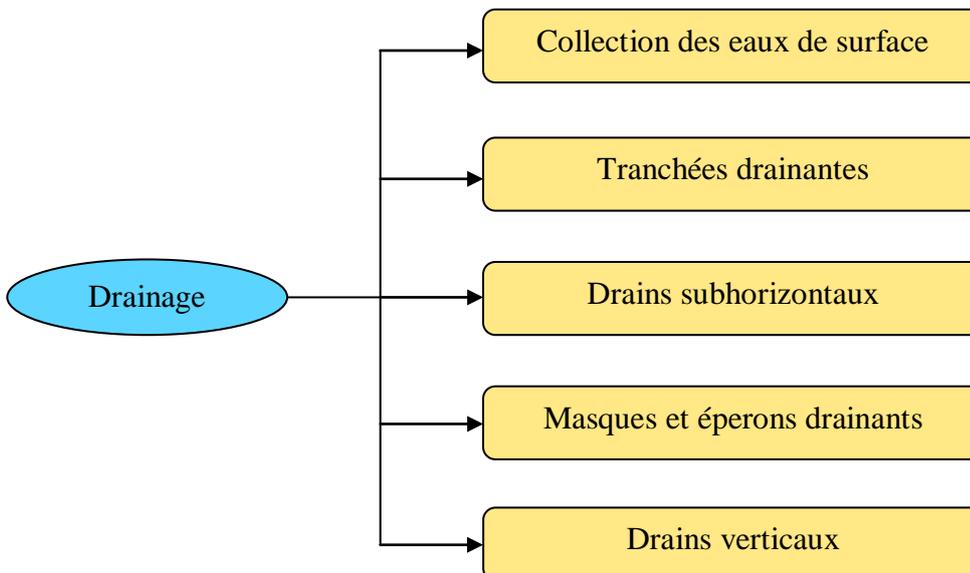
Figure 3.4 : des tranchées drainantes (INTERREG, I. (2006).

Les techniques de drainage généralement moins coûteux parmi les autres mais elles sont très efficaces et permettant d'éviter des dégâts plus ou moins catastrophiques comme les mouvements des terrains en plus particuliers les glissements de terrain.



**Figure 3.5 :** tuyaux de drainage installés à l'autoroute Mumbai-Pune (hauland)

### 3.2.1.2.2. Les techniques de drainage :



**Figure 3.6 :** les techniques de drainage (MENASRIA, 2016).

### 3.2.1.3. Végétation :

L'infiltration des eaux de surface dans les sols qui sont non saturés joue un rôle dans l'instabilité des pentes avec deux effets : le premier c'est l'augmentation de poids du sol humide et le deuxième c'est la réduction de la succion dans le sol, ces deux effets causent une diminution de la résistance au cisaillement de masse de sol qui forme la pente (Hemmati et Modaressi, 2013). l'utilisation des techniques de végétation pour la stabilisation des pentes a pris de l'importance (Cazzuffi et al., 2014).selon Fan et Lai, (2014) : le système racinaires

## CHAPITRE 3 Techniques de stabilisation des terrains en pente

---

des plantes réduit le mouvement du sol et fournit un confortement sur les terrains en pente par ce qu'il augmente la résistance aux cisaillement de ces derniers .

Selon Greenwaw, (1990), la végétation affecte la stabilité de pente avec : mécanismes hydrologiques et mécaniques ;

### **3.2.1.3.1. Mécanismes de végétation :**

#### **3.2.1.3.1.1. Mécanismes hydrologiques :**

Il s'agit des l'influence de la végétation sur l'état hydraulique des pentes comme suite :

- Le feuillage intercepte les eaux des pluies avec l'absorption et l'évaporation de ces dernières, la quantité d'eau qui s'infiltré dans le sol va diminuer ;
- Les racines extraient l'humidité et la transportent dehors par la transpiration ;

#### **3.2.1.3.1.2. Mécanismes mécaniques :**

- Les racines lient les particules du sol donc, elles la renforcent et augmentent sa résistance au cisaillement ;
- L'ancrage des racines dans les strates inferieures en état plus ou moins stable permet de fournir un confortement au versant ;

#### **3.2.1.3.2 Les inconvénients :**

- Les tiges et les racines augmentent la rugosité et la perméabilité du sol ;
- La végétation exposée au vent peut transmet les forces dynamiques dans l'intérieur de la pente et causent des instabilités de ce dernier;
- L'appauvrissement de l'humidité du sol peut accentuer la fissuration par dessiccation qui augmenter l'infiltration dans le sol (Khalilnejad et al., 2012).

Hemmati et Modaressi (2013).ont conclu que la technique de renforcement de la stabilité d'un versant par la végétation est limitée et utilisable uniquement pour les glissements de terrain proches de la surface (superficiels).

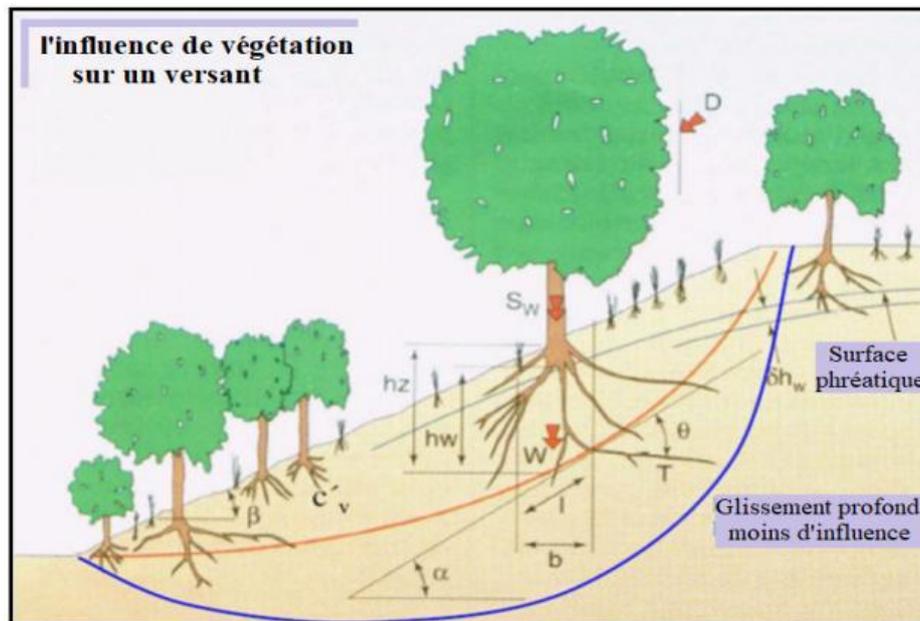


Figure 3.7 : l'influence de végétation sur la stabilité des pentes (Khalilnejad et al., 2012).

### 3.2.2. Approche dure :

#### 3.2.2.1. Soutènement :

Généralement les ouvrages de soutènement destinés pour prévenir les mouvements gravitaires comme les glissements de terrain, on peut utiliser ces ouvrages dans un talus naturel (déblai) ou artificiel (remblai) (Haoues et Loucif, 2017), on peut les classer selon : la rigidité relative en deux groupes :

**-Soutènement souple (flexible)** : si on peut remarquer une déformation après le chargement sur la surface interne (contacte mur/sol) de notre soutènement ;

**-Soutènement rigide** : il y a aucune déformation remarquable au mur de soutènement après le chargement (il reste comme l'état initiale de construction) ;

Classement selon : le mode de fonctionnement en deux groupes :

**Fonctionnement par poids** : le mur de soutènement est réalisé pour stabiliser le versant instable par le poids de lui-même et sa rigidité ;

**Fonctionnement par encastrement** : dans ce cas le mur de soutènement est réalisé pour stabiliser le versant par sa semelle qui encastre.

## CHAPITRE 3 Techniques de stabilisation des terrains en pente

### 3.2.2.1.1. Murs en pierres sèches :

Cette technique consiste à la réalisation d'un mur de soutènement sans liant et seulement avec des pierres naturelles, les vides entre eux permettant d'évacuer les eaux vers l'extérieur.



**Figure 3.8 :** murs en pierres sèches

### 3.2.2.1.2. Les gabions :

Un gabion c'est une cage (à double torsion ou électro soudé) remplie par des pierres de différents types pour soutenir un versant instable, cette technique utilise les matériaux locaux et ne nécessite pas des fondations, ainsi elle est préférée car :

- La mise en œuvre est plus simple et très rapide ;
- Combinaison entre la résistance et la souplesse ;
- Economique, durable et écologique ;
- Drainant et esthétique (MENASRIA, 2016).



Figure 3.9 : Gabions électro soudés



Figure 3.10: Gabion a double torsion (Highland et Bobrowsky, 2008)

### 3.2.2.1.3. Mur de soutènement :

Ce sont des constructions rigides pour minimiser les pousses de terre de talus puis éviter les glissements, généralement l'épaisseur d'un mur de soutènement croissant vers le bas où les contraintes adjacentes sont plus ou moins importantes, un mur de soutènement doit contenir des barbicanes (ouvertures) pour faciliter l'évacuation d'eau qui s'accumule dans le remblais perméable.

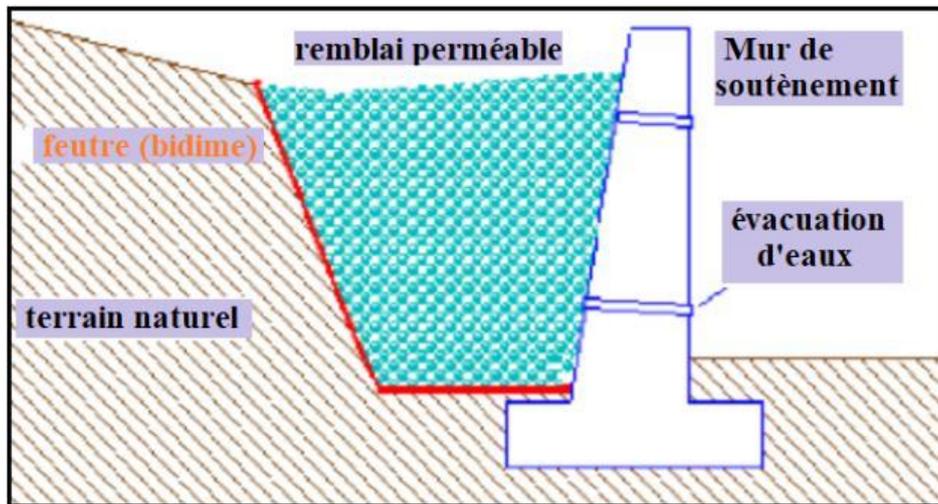


Figure 3.11 : mur de soutènement (Haoues et Loucif, 2017),

### 3.2.2.1.4. Mur pneu/sol :

C'est un mur de soutènement composé par deux éléments principaux : des pneus des véhicules exploités et remblai pour remplir les vides, cette technique permet de stabiliser les sols en pente à partir de ces deux éléments précédents avec un coût favorable, mise en œuvre rapide et présence d'un intérêt environnemental.



Figure 3.12 : la technique de mur pneu/sol

### 3.2.2.1.5. Les palplanches :

Ce sont des pièces utilisées comme des parois pour la fixation mécanique des sols meubles, ces pièces peuvent être en acier, bois, béton, PVC...etc. malgré cette technique contient des avantages aux sols meubles, elle pose beaucoup des problèmes soit économiques (coût de l'ouvrage plus ou moins élevé) soit des nuisances défavorables surtout dans les villes (MENASRIA, 2016). Les palplanches sont emboîtées les un sur les autres et encrées (généralement par battage) dans les sols meubles.

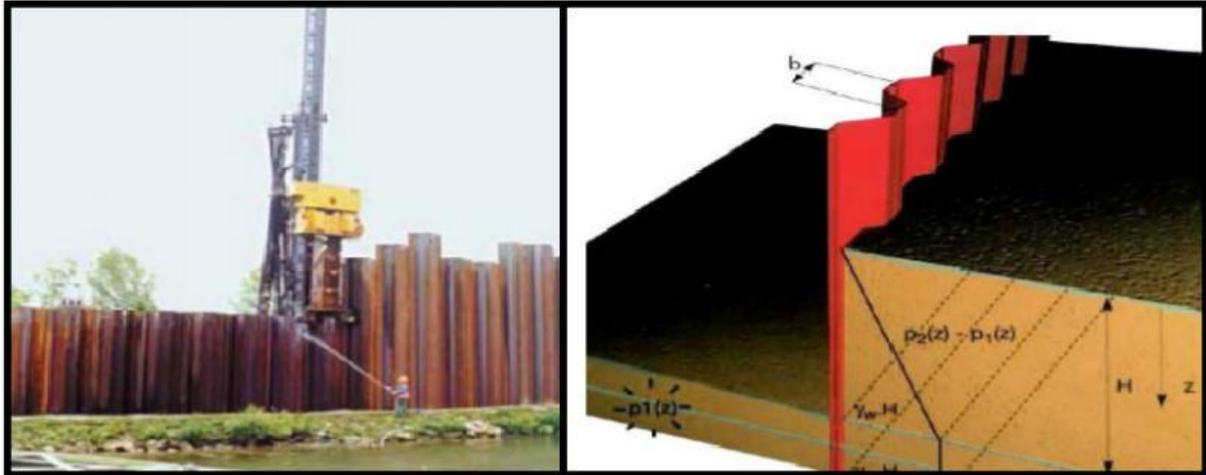


Figure 3.13 : exemples des palplanches encrées dans le sol (BALEGH, 2018)

### 3.2.2.2. Renforcement :

Il s'agit de l'amélioration des caractéristiques mécanique de sol avec des éléments plus performants pour augmenter la résistance au cisaillement de l'ensemble (sol renforcé), il existe plusieurs types de renforcement qui peuvent résoudre les problèmes d'instabilité des pentes comme l'utilisation des géo synthétiques, terre armé, clouage ...etc.

#### 3.2.2.2.1. Terre armée :

C'est une méthode de renforcement des sols instables basée sur la combinaison d'un remblai bien compacté en couches avec des armatures réparties entre ces dernières, l'objectif voulu de ce travail c'est de fournir des associations plus résistantes que le sol de versant lui-même, on peut donc réduire les problèmes liés aux mouvements de terrain voire les empêcher.

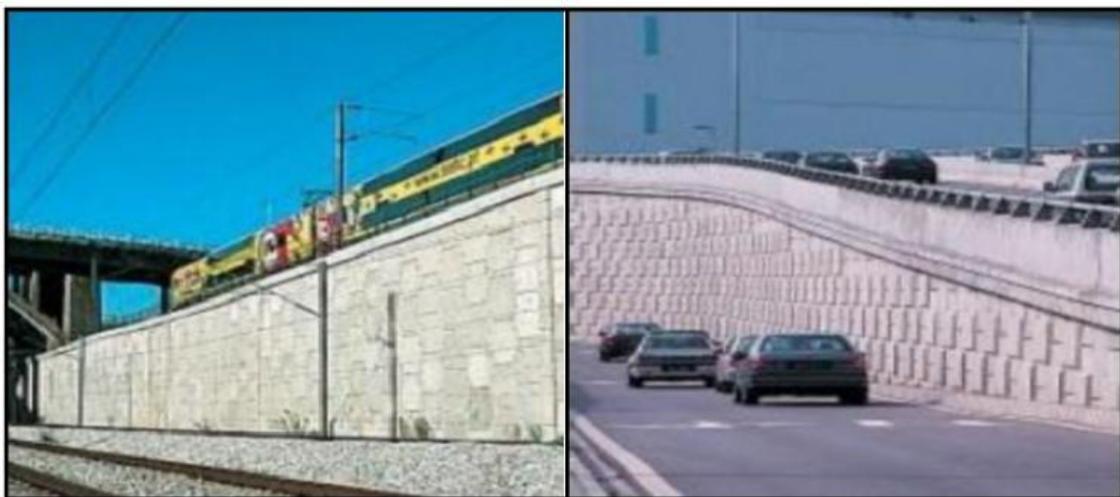


Figure 3.14 : exemples des ouvrages en terre armée (MENASRIA, 2016).

## CHAPITRE 3 Techniques de stabilisation des terrains en pente

### 3.2.2.2. Les géosynthétiques :

Un géo synthétique c'est un produit sous forme de bonde, nappe ou structure tridimensionnelle, constitué par un polymère naturel ou synthétique utilisé pour renforcer les mauvais sols (Eddine et Zakarya, 2016).les géo synthétiques subdivisés en deux groupes : produits perméables et produits imperméables comme suite :

#### 3.2.2.2.1. Produits perméables :

Ce groupe contient les géotextiles et leurs types (tissé, non tissé et tricoté) et les produits apparentés aux géotextiles comme les géogrilles, géospaceurs (genets), géofilets et les géoconteneurs.

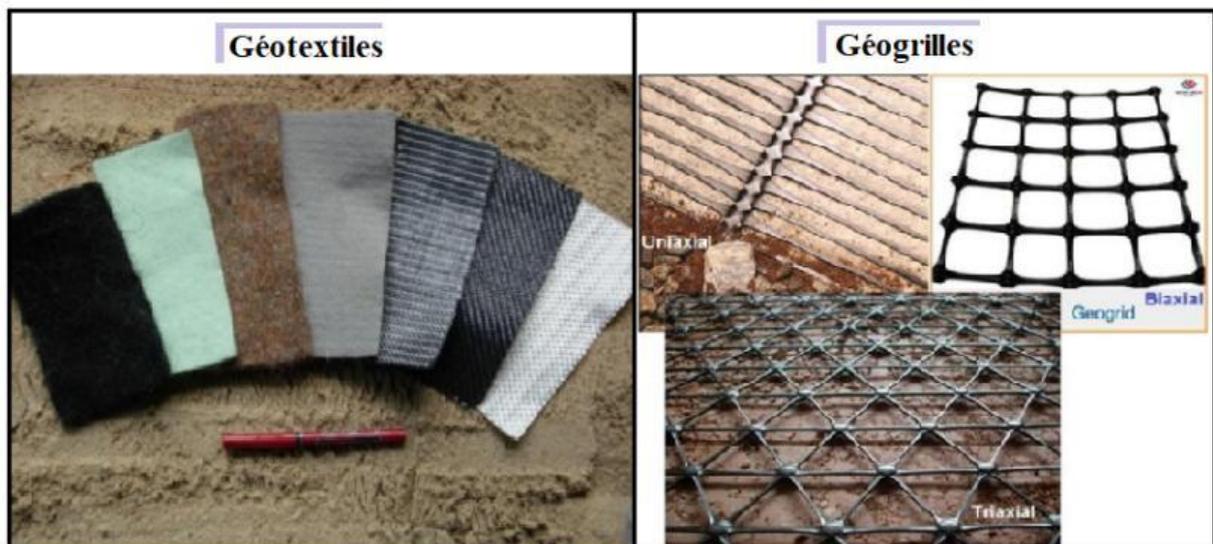


Figure 3.15 : géosynthétiques perméable

#### 3.2.2.2.2. Produits imperméables :

Ce sont des matériaux étanches (comme les géomembrane), leur utilisation liée à la prévention de contact sol/fluides pour contrôler les conditions hydrologiques et hydrogéologiques de sol (niveau de la nappe, saturation...etc.) qui affectent la pression interstitielle puis la contrainte totale a l'intérieur de terrain.



**Figure 3.16 :** exemples des géomembrane (KHAOUANI et OTMANI, 2019)

### 3.2.2.3. Durcissement :

C'est une méthode consiste à faire des modifications physico-chimique d'un sol qui forme le versant, les techniques de durcissement très fréquentes dans ce domaine sont : la congélation, les injections et l'utilisation des additifs comme la chaux.

#### 3.2.2.3.1. La congélation :

Cette technique consiste à consolider provisoirement des sols juste pour faciliter les autres travaux sans problèmes d'instabilité, la congélation de l'eau qui est située dans les pores de sol produit un matériau de bonne propriétés mécaniques (plus dure) (Souad et Ghania, 2019). La réussite de congélation nécessite des tubes réfrigérants enfoncé dans le sol, dans ces tubes un fluide froid (azote liquide par exemple) doit circuler, l'application de cette technique souvent dans les argiles molles ou limon et elle est vraiment coûteuse (NADA et al., 2019).

#### 3.2.2.3.2. Les injections :

Ce sont des techniques d'amélioration basées sur l'injection sous pression (pompage) d'un mortier ou d'un coulis dans le sol par des tubes de forage de petits diamètres, pour améliorer les caractéristiques du sol traité (durcissement des sol), l'injection solide et les colonnes sol/ciment par le jet «jetgrouting» sont des techniques très connues dans ce domaine et au même temps elles sont limités par le coût et nécessitent des entreprises spéciales pour la mise en œuvre (BENGOURAIN et TOUNSI, 2018).

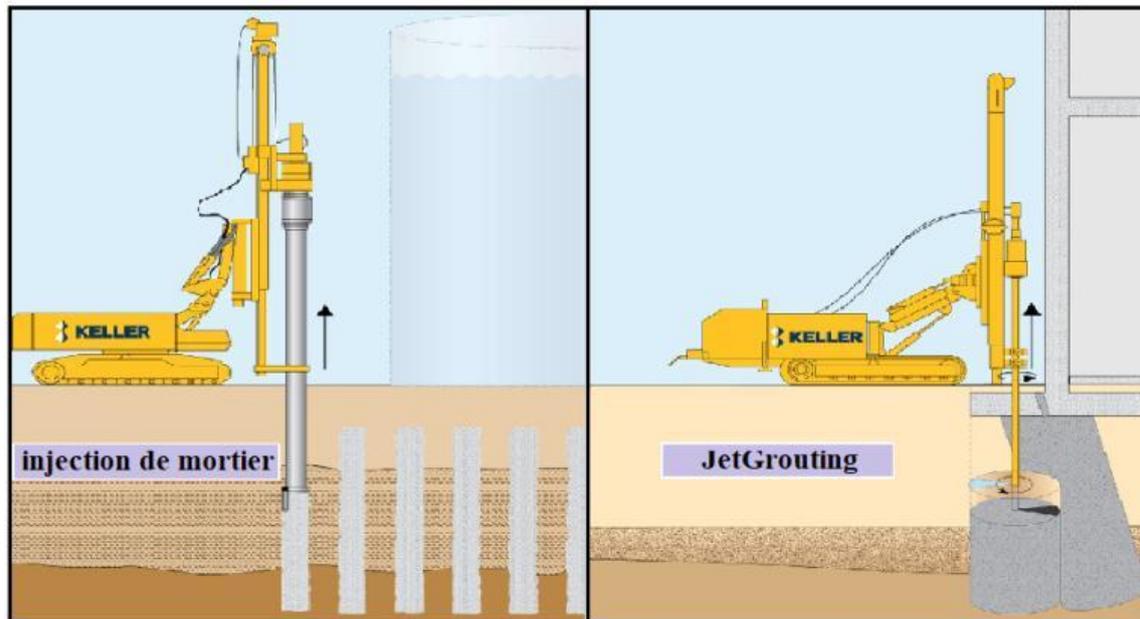


Figure 3.17 : les techniques d'injection ( Keller France, 2018).

### 3.2.2.3.3. L'utilisation des additifs :

Le traitement des mauvais sols par l'ajout d'un ou plusieurs additifs (chaux, ciment, cendres volantes...etc.), peuvent améliorer les caractéristiques des sols argileux, comme la résistance au cisaillement qui liée à l'angle de frottement interne  $\phi$  et la cohésion  $c$ , ces paramètres jouent un grand rôle dans la stabilité des sols en pente, en effet le traitement chimique des sols dépend de leurs compositions minéralogique et la teneur en additifs ajoutées (CHELGHOUM et GHOUTI, 2019).

### 3.3. Le choix d'un système de parade :

La méthode de stabilisation d'un talus doit répondre aux plusieurs critères comme les critères techniques, économiques, sociopolitiques et environnementales ;

#### 3.3.1. Critère techniques :

La méthode choisie doit assurer la stabilité du site, et pour que ce processus soit réussi, le savoir faire est essentiel, pour cette raison, il faut bien sélectionner d'entreprise de bonne réputation qui maîtrise bien la technique de stabilité.

#### 3.3.2. Critères économiques :

La méthode de stabilisation doit être dans un intervalle financier bien déterminé et acceptable, on prend en considération la disponibilité des matériaux et des équipements nécessaires dans

## CHAPITRE 3 Techniques de stabilisation des terrains en pente

---

la mise en œuvre de cette méthode, avec une estimation prévisionnelle du coût d'exécution et de maintenance.

### **3.3.3. Contraintes sociopolitiques :**

Pour bien gérer les projets de stabilisation, les techniciens doivent s'entourer de toutes les contraintes existantes, telles que: l'urgence des travaux, les risques de rupture au voisinage, les problèmes d'emprises ainsi que les questionnements de population, donc la présence d'une manière diplomatique soit aux conversations ou bien au cours de la gestion de ces situations.

### **3.3.4. Coté environnemental et esthétique :**

Généralement, les techniques d'approche douce sont plus favorables en point de vue environnemental, parfois l'utilisation des autres techniques peut créer des problèmes écologiques, donc on prend toujours en considération l'impact de ces solutions sur l'environnement et sur l'aspect esthétique de la zone (Samir, 2008).

### **3.4. Conclusion :**

Dans ce chapitre nous avons vu les systèmes de parade et leurs approches : douce et dure, les deux contiennent des techniques de stabilité des pentes, chaque technique ayant un principe et une méthode de mise en œuvre différente. Le choix des techniques n'est pas aléatoirement, il doit répondre aux plusieurs critères (techniques, économiques, sociopolitiques...etc.) pour la sélection d'une ou plusieurs techniques qui peuvent fournir la stabilité du site avec des méthodes efficaces et moins coûteuses, les systèmes de parade apportent aux décideurs (les ingénieurs de géotechnique ou de génie civil) diverses solutions qui aident dans le contexte de la prévention des mouvements de terrain en plus particulier les glissements de terrain.

**CHAPITRE 4 :**  
**Présentation de la zone d'étude**

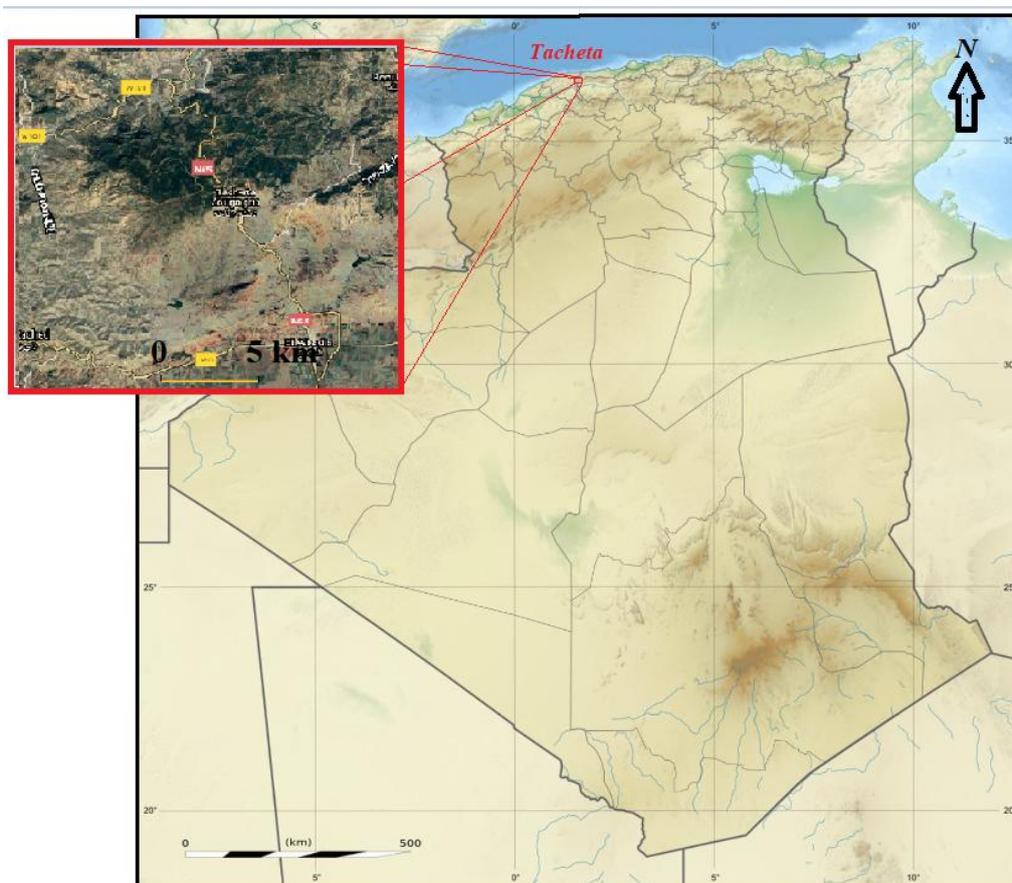
#### 4.1. Introduction :

La wilaya d'Ain Defla est située au nord-ouest de l'Algérie, entourée par des différentes wilayas comme Chlef à l'ouest, Médéa à l'est Tipaza au nord et Tissemsilt au sud, l'activité agricole est très fréquent dans cette wilaya qui contient des 14 Dairas et 36 communes parmi les dernières on cite la commune de Tacheta comme une région de notre étude qui caractérise par la nature montagneuse (les montagnes de Dahra), la couverture végétale (forêt, agriculture...) et la source en eau qui traduit l'état hydrogéologique de cette région.

#### 4.2. Situation géographique :

La zone de Tacheta est située à l'extrême Nord-Ouest de Wilaya d'Ain Defla avec une superficie de 191 Km<sup>2</sup>, bordée par :

- La commune de Breira (wilaya de chlef) au nord ;
- Ain Bouyahia (Ain Defla) et Beni Mileuk (Tipaza) à l'Est ;
- Béni Rached et Zeboudja à l'Ouest ;
- Abadia au Sud (Wilaya-aindefla.dz).



**Figure 4.1 :** situation géographique de Tacheta (fr.wikipedia.org et earth.google.com, 2020)

### 4.3. Contexte géologique :

La zone de Tacheta est située dans la région de Dahra, ce mot d'origine arabe « dahr » qui signifie dos, cette région montagneuse contient tous les zones existantes au Nord de la plaine du Chélif et comprise entre Mostaganem et Miliana, parfois, l'altitude peut dépasser 1000 m ;

#### 4.3.1. Géologie régionale :

##### 4.3.1.1. Les terrains Crétacés :

Ils se caractérisent par les mêmes faciès sur tout le Nord du Tell de l'Algérie avec des faits stratigraphiques importants (discordance et concordance) et peu par l'absence des faunes mais parfois on peut remarquer la présence de nombreux fossiles (des Ammonites, des Bélemnites, etc.) ;

**Gault** : formé par des argiles brunes alternées avec des bancs quartziteux, les argiles dans les parties supérieures sont plus ou moins gréseuses ;

**Cénomaniens** : cet étage a été concordé avec l'étage précédent et il est caractérisé par :

- les calcaires marneux (les calcaires de cet étage généralement durs) au-dessus du schiste de l'étage précédent (Gault) ;
- les marnes brunâtres d'épaisseur importante ;

**Turonien** : cet étage est semblable avec le précédent car ils ont la même nature lithologique donc, il est non séparable au point de vue lithologique ;

**Sénonien** : constitué par deux bandes parallèles : la première est bien remarquable au littoral et l'autre est couverte par des terrains Tertiaires à l'intérieur, les caractérisations de Sénonien sont :

- des dépôts marneux (marnes grises et marnes bleues) ;
- des bancs de calcaires marneux gris aux cassures et jaunâtres aux surfaces ;
- les fossiles sont mal conservés et rares ;

**Danien** : les formations de Danien sont très représentées dans la région de Dahra leurs caractéristiques sont :

- en bas, des argiles schisteuses brunes et des bancs quartziteux (généralement petits)
- au surface, des bancs de grès siliceux grisâtres (généralement gros) cette formation existe dans les forêts de Tacheta, des Ouled-Abd-Allah, des Bissa, etc.

**4.3.1.2. Les terrains Eocènes :**

L'affleurement des terrains Eocènes est rare et caractérisé par :

- Des marnes schisteuses avec des calcaires-brèches en plaquettes ;
- Brèches calcaires compactes couronnant (en tête) les marnes intercalés et poudingues.

**4.3.1.3. Les formations Néogènes :**

**Oligocène** : est bien développé dans la région de Dahra, il comprend :

- Des poudingues rouges ;
- Des marnes blanches-salées ;
- Des grès siliceux blancs ;

**Cartennien (ou Miocène inférieur)** : ces formations sont très développées dans les régions montagneuses et ces caractéristiques sont :

- des poudingues et grès avec des calcaires à lithothamniums (est un genre d'algues rouges de la famille des corallinaceae, comprenant 25 espèces)
- des marnes dures bien caractéristiques ;

**Helvétien (ou Miocène moyen)** : cet étage est nettement discordant avec l'étage précédent, il composé par :

- des poudingues, marnes et grès (généralement grossiers) ;
- les parties supérieures devient complètement calcaire et parfois devient avec lentilles de calcaire à lithothamniums ;

**Sahélien(ou Miocène supérieur)** : cet étage est bien caractérisé par :

- ces relations discordantes avec les autres étages Miocène ;
- la présence d'une faune marine bien remarqué ;

**Pliocène** : cet étage est représenté une formation continentale qui devient franchement marine et subdivisée en deux bandes très nettes : l'une au littoral et l'autre recoupée par la plaine de Chéelif, il comprend :

- des couches caillouteuses dans la partie supérieure ;
- des gris sableux et des faunes de Pliocène ;

#### 4.3.1.4. Les terrains Quaternaires :

Sur la cote du Dahra, on peut remarquer la présence des dépôts marins de quaternaire plus ou moins horizontaux, leurs caractérisations sont :

- des grès grossiers avec des coquilles (bien conservées) ;
- des poudingues à gros éléments.

#### 4.3.2. Géologie locale :

**Crétacé inférieur (Gault) :** il constitue la plupart de flan Sud, évidemment une partie de Tacheta (au milieu), il comprend : des argiles brunes gréseuses alternant avec des bancs quartziteux ;

**Crétacé moyen :** ces formations est rare sur Tacheta (au Nord-est et au Sud-ouest de Djebel Sidi Bernous) il est caractérisé par : les marnes brunes et les calcaires durs au dessus ;

**Crétacé supérieur :** cette formation est présente à l'Est et à l'Ouest de Djebel Sidi Bernous se caractérise par : les dépôts marneux et les bancs des calcaires marneux à l'extérieur ;

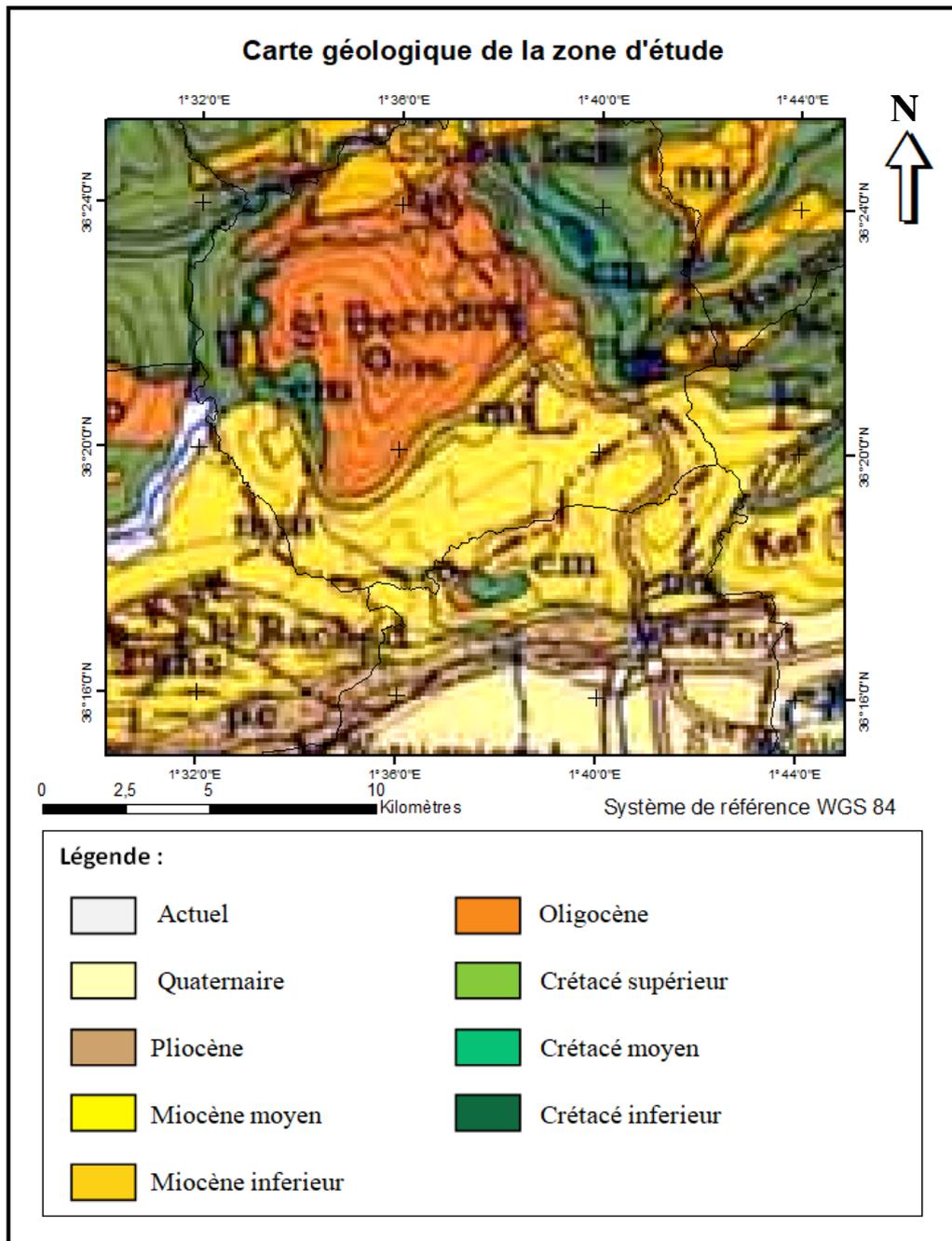
**Oligocène :** cette formation formé des zones de Tacheta comme Djebel Sidi Bernous, caractérisé par : poudingues rouges, marnes blanches salées et grès siliceux blancs ;

**Miocène inférieur(Cartennien) :** ces formations sont présentes au Nord et au Nord-est de Tacheta avec une ceinture étroite au Sud des Djebels Hangouf et Sidi Bernous, il comprend : des marnes dures, poudingues et grès avec des calcaires à lithothamnium ;

**Miocène moyen(Helvétien) :** ces formations sont présentes au Sud des formations précédentes jusqu'à Béni Rached et Al Abadia, caractérisées en plus des poudingues et grès grossier par : des marnes à quelques fossiles avec des calcaires aux surfaces ;

**Pliocène :** cette formation continentale est présente au sud de Tachta sou forme une bande avec des grès sableux, des faunes de pliocène et des couches caillouteuses à l'extérieure ;

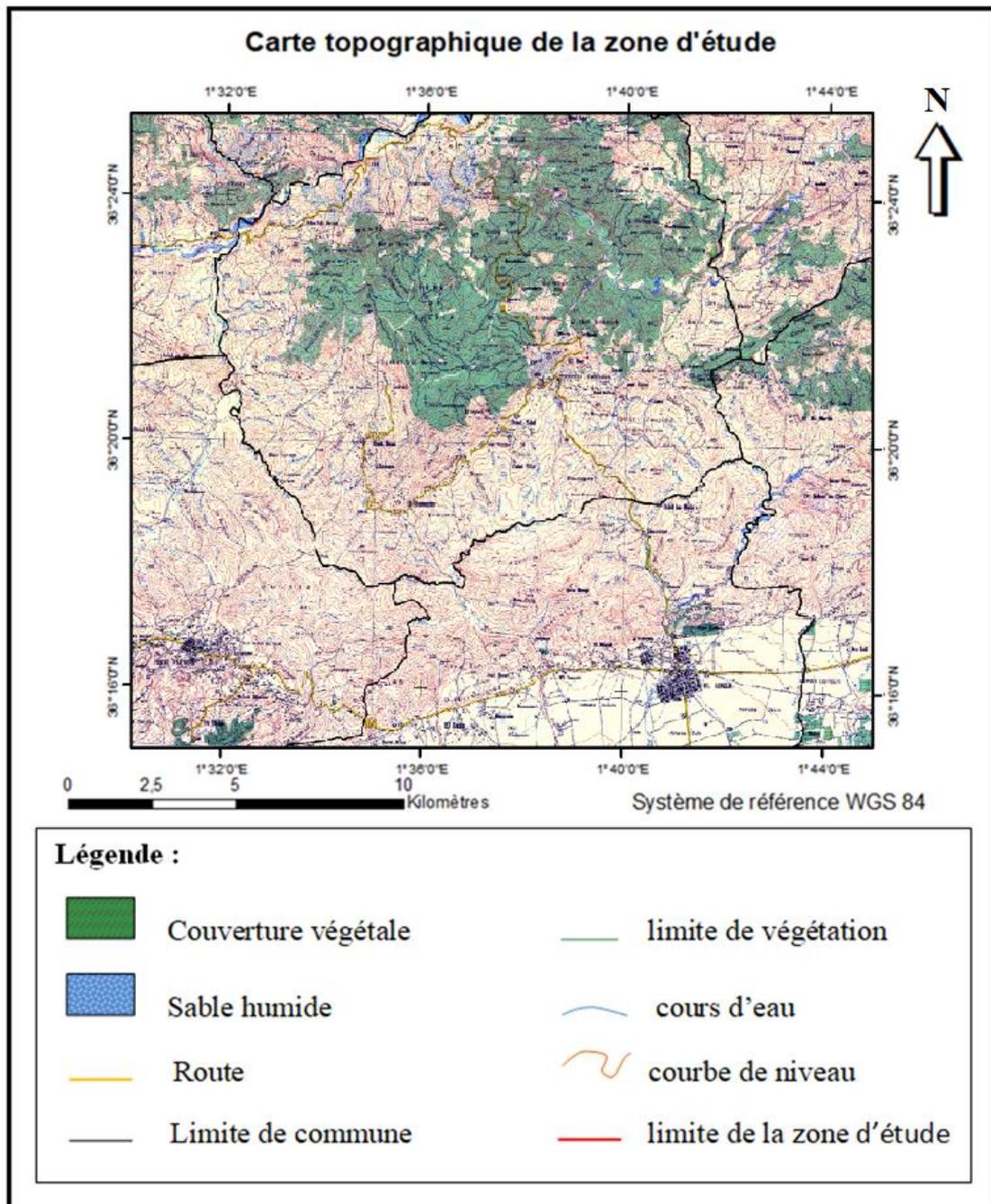
**Quaternaire :** ces formations sont présentent au sud des formations précédentes, leurs caractérisations sont des poudingues à gros éléments et des coquilles bien conservées sur des grès grossiers (Pomel et Pouyanne, 1898).



**Figure 4.2 :** Extrait de la carte géologique de l'Algérie au 1/500 000<sup>e</sup>, 2<sup>ème</sup> édition (d'après l'ingénieur M.G Bétier en 1951-1952)

#### 4.4. La topographie :

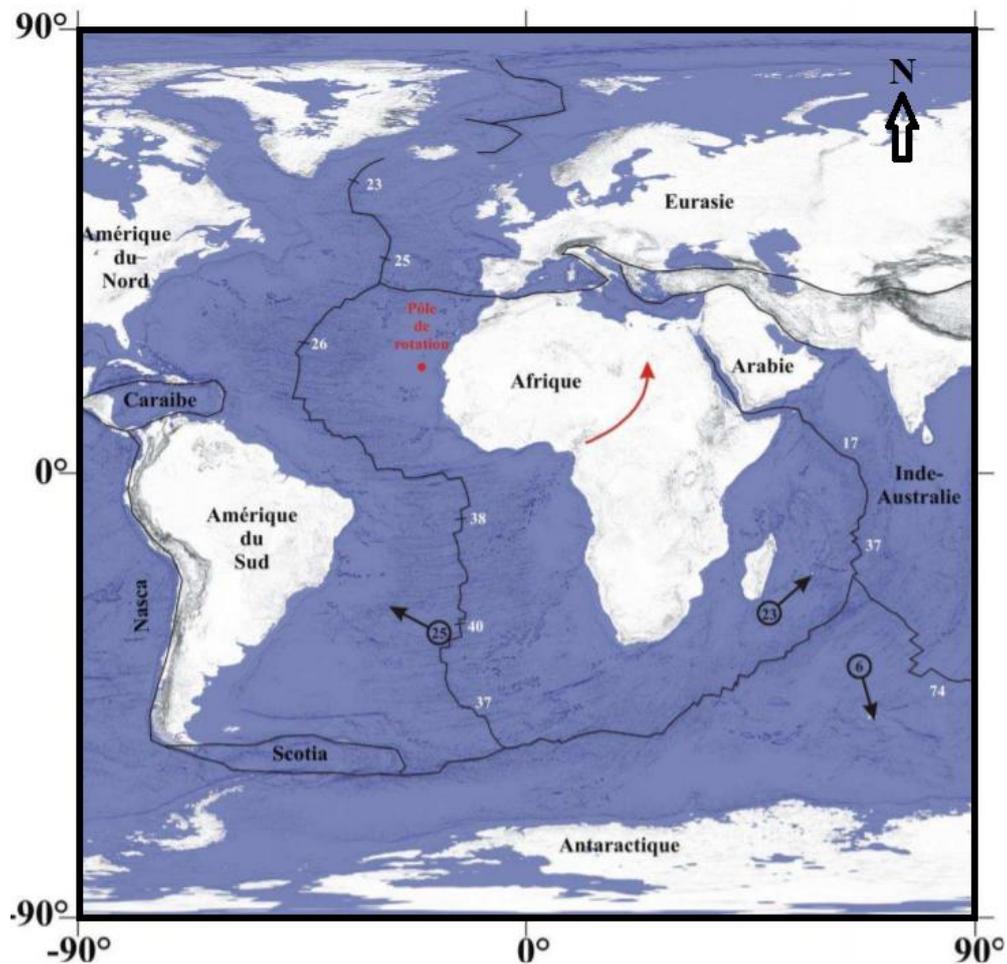
La zone de Tachta est caractérisée par les monts de Dahra comme Djebel Sidi Bernous, Djebel es Safsaf, Djebel Yazrou...etc. ces montagnes forment des reliefs complexes ou les terrains sont très accidentés, les pentes sont souvent fortes avec un pourcentage varier entre 12% et 25% (ANDI, 2013). La végétation est dégradée et le foret de Tachta présente une végétation dense remarquable.



**Figure 4.3 :** Extrait de la carte topographique d'Ain Defla Ouest au 1/50 000<sup>e</sup>, (INCT)

**4.5. Tectonique :**

La zone de Tacheta localisée au Nord de l'Algérie où la tectonique est active, à cause de la convergence des plaques Eurasiatique et Africaine avec un raccourcissement de 5mm/an, la direction de ce raccourcissement évolue de NNE-SSW au Pluocène à NNW-SSE au Quaternaire, ce mouvement des plaque conduit des déformations tectonique remarquable, parfois souples comme les plis anticlinaux et synclinaux et autres fois cassantes comme les failles inverse, les pli-failles et les chevauchements (Yelles-Chaouche et al., 2006)



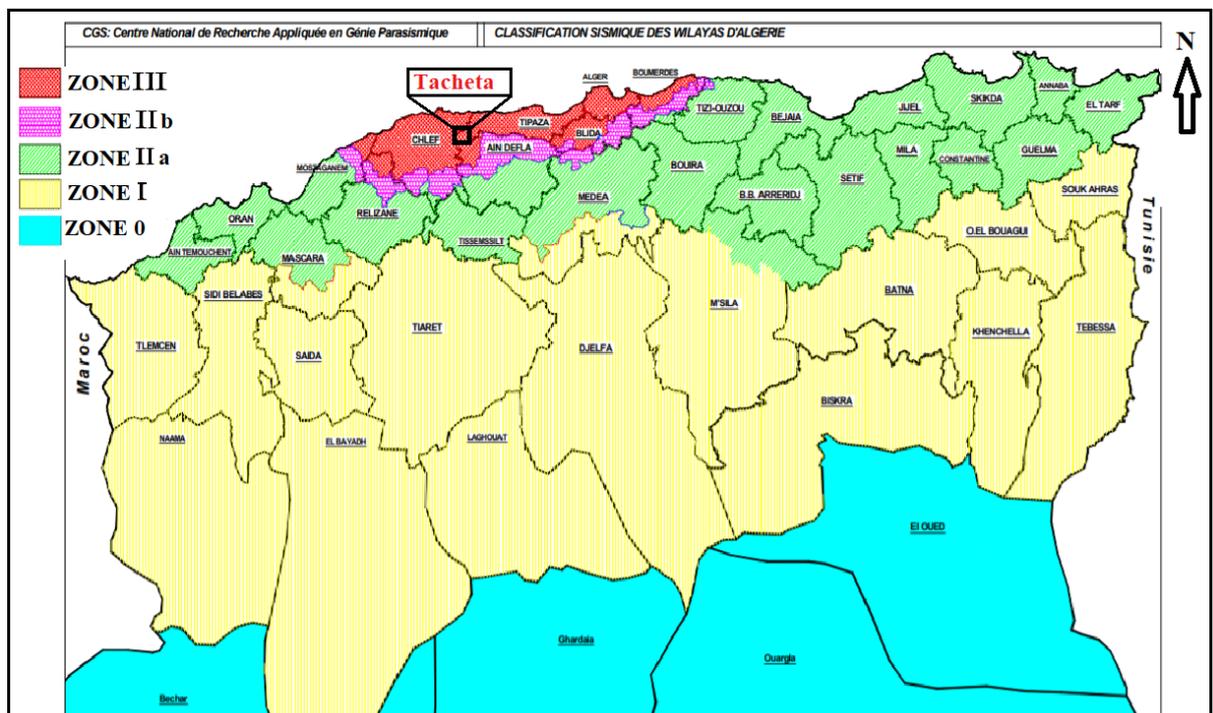
**Figure 4.4 :** mouvement tectonique de plaque Africaine (Abacha, 2018)

#### 4.6. La sismicité :

La Wilaya d'Ain Defla est couverte par les trois zones sismiques suivantes :

- La zone IIa dans la partie sud comme : Tarik Ibn Ziad et Djendel
- La zone IIb au milieu et Nord-est comme : Arib, Miliana et Ain Defla (capital de la wilaya)
- La zone III au Nord-Ouest de la wilaya comme : El Abadia, Tacheta et El Attaf

La région de Tacheta est située dans la zone sismique III qui est connue par une sismicité élevée (RPA, 2003), cette zone sismique a été touchée par des tremblements de terre catastrophiques comme le séisme de l'Asnam (Chlef maintenant) en 10 octobre 1980 avec une magnitude de 7,2 qui a causé plusieurs dégâts : la mort de 2600 personnes et des modifications morphologiques (Magagnosc, 1984)



**Figure 4.5 :** carte de zonage sismique du territoire national (RPA, 2003)

Les zones sismiques en Algérie sont classées en 4 zones comme suit :

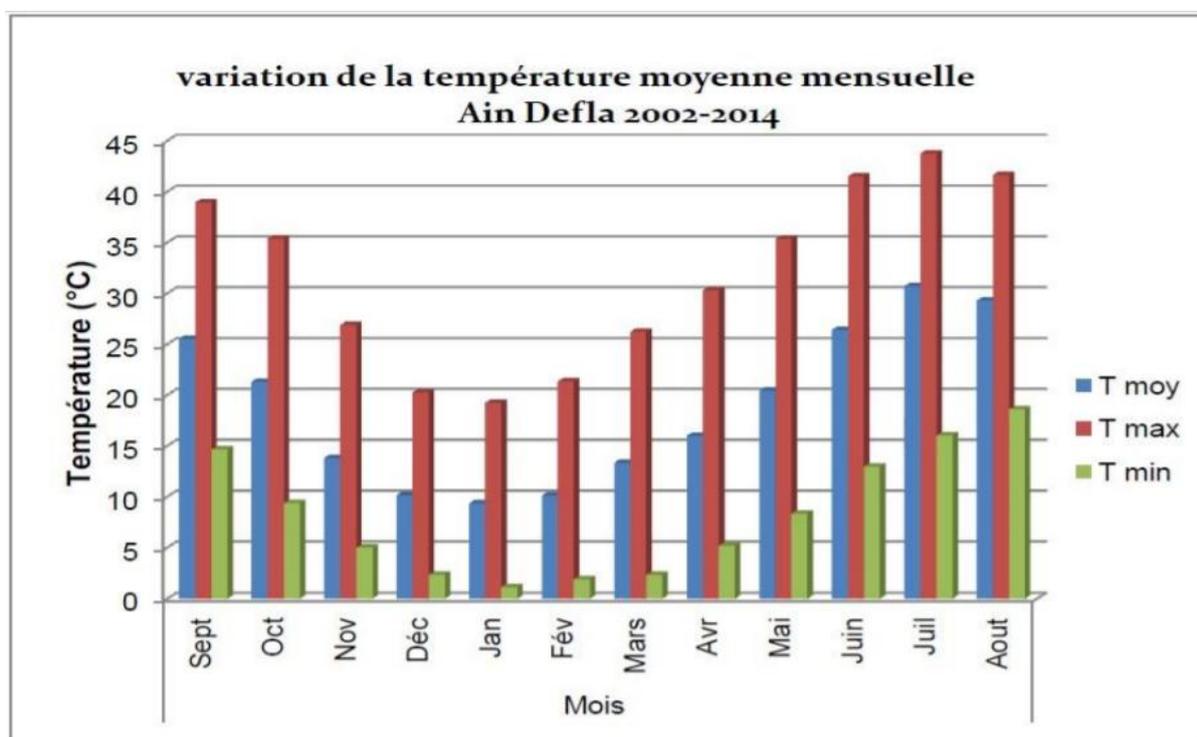
- Zone 0 : sismicité négligeable ;
- Zone I : sismicité faible ;
- Zone II : sismicité moyenne ;
- Zone III : sismicité élevée (RPA, 2003).

#### 4.7. Climat :

La wilaya d'Ain Defla en général et la zone d'étude en particulier sont caractérisées par un climat méditerranéen de type semi-aride (ANDI, 2013), ce climat représente un hiver froid et pluvieux et un été chaud et sec ([www.wilaya-aindefla.dz](http://www.wilaya-aindefla.dz)).

##### 4.7.1. Température :

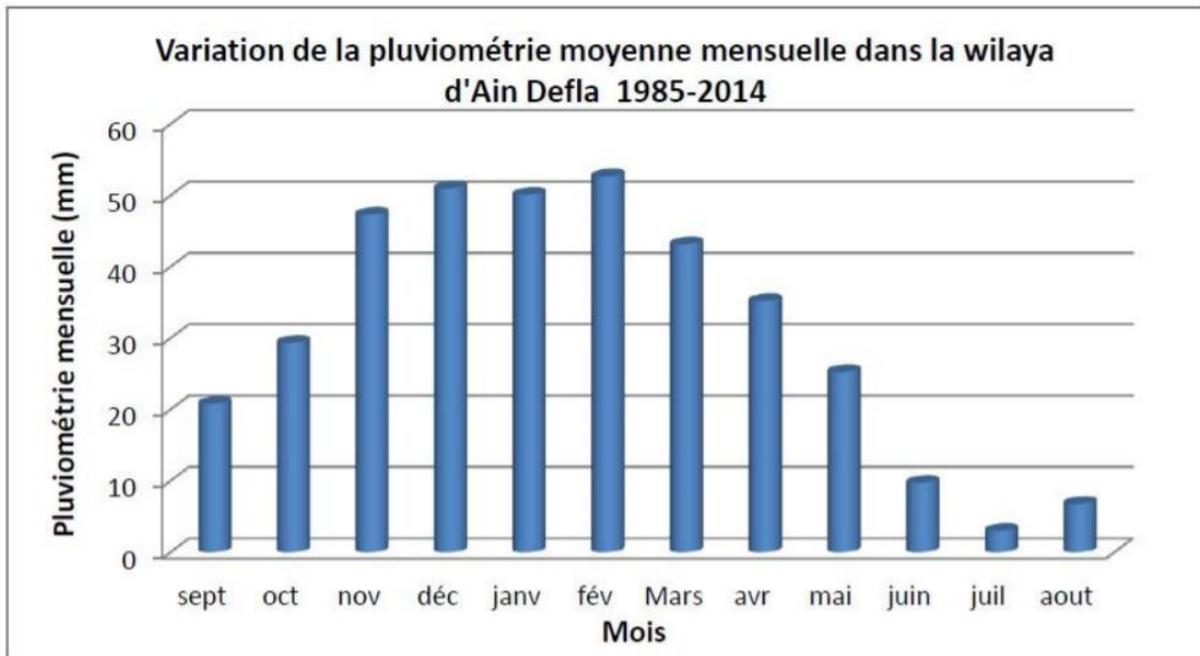
La température d'Ain Defla est variée d'un mois et d'autre avec une température moyenne mensuelle entre 9°C et 10°C dans les mois d'hiver et entre 25°C et 30°C dans les mois d'été, mais ces moyennes ne représentent pas les valeurs maximales et minimales car parfois, on peut enregistrer des valeurs plus proches de 0°C en hiver et plus particulièrement en janvier, autres fois on peut enregistrer des valeurs qui dépassent 40°C en été jusqu'à 43°C en juillet.



**Figure 4.6 :** la variation de température moyenne mensuelle d'Ain Defla entre 2002 et 2014 (Azzeddine et al., 2016).

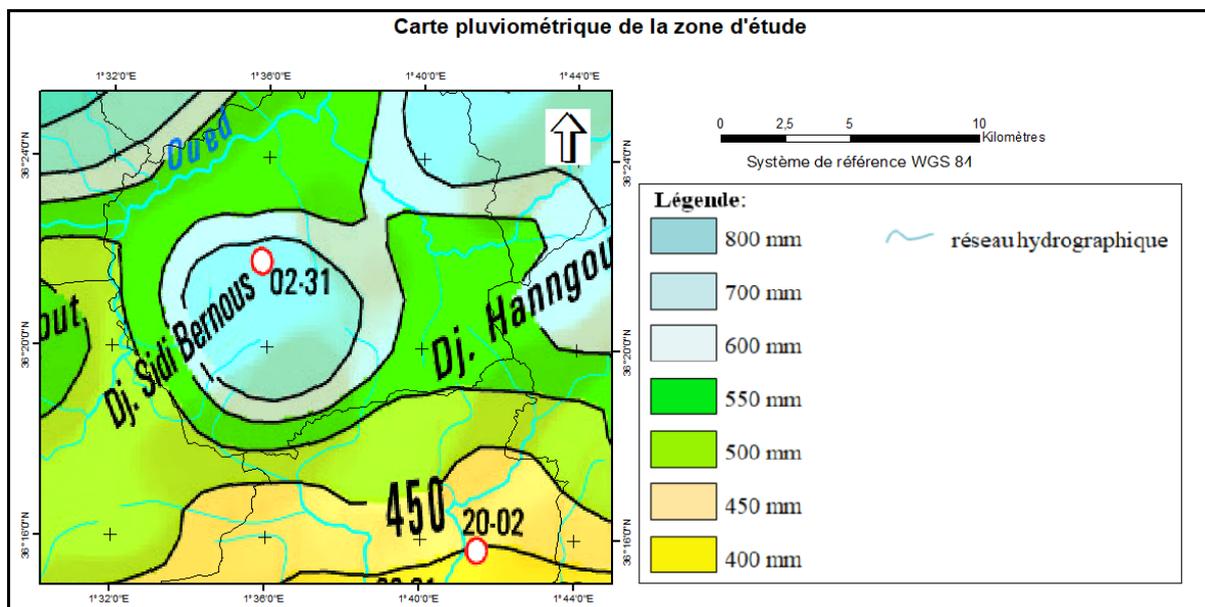
##### 4.7.2. Pluviométrie :

La quantité des pluies moyennes annuelles dans la zone d'étude est estimée entre 400 et 800 mm (ANRH, 2005), au cours des mois d'hiver on peut remarquer une pluviométrie plus ou moins intense qui dépasse parfois 50 mm à la moyenne mensuelle en février, par contre en été la pluviométrie est très faible (moins que 5 mm en juillet).



**Figure 4.7 :** la variation de pluviométrie moyenne annuelle d'Ain Defla entre 1985 et 2014 (Azzeddine et al., 2016).

La carte des précipitations ci-dessous montre la répartition différente des précipitations annuelles moyennes dans la zone d'étude,



**Figure 4.8 :** Extrait de la carte des pluies moyennes annuelles du nord de l'Algérie au 1/500 000<sup>e</sup> (ANRH, 2005)

**4.8. Conclusion :**

La zone de Tachta est située au nord-ouest de wilaya d'Ain Defla dans la partie Nord de l'Algérie, cette zone est caractériser par sa nature montagneuse complexe a cause de présence des monts de Dahra qui sont bien remarquées dans la région, ces montagnes expliquent la topographie déclive, la zone de Tachta contient des différents formations géologiques depuis le Crétacé inferieur jusqu'à le Quaternaire, avec une sismicité élevée dus à L'activité tectonique en Afrique du Nord, l'ensemble des caractéristiques précédentes avec un climat méditerranéens semi-aride rendent la zone de Tachta plus vulnérable aux glissements de terrain, et ces derniers peuvent menacer la vie des personnes et leurs ouvrages.

**Conclusion générale :**

## Conclusion générale

---

Le glissement de terrain est un déplacement généralement lent des masses de sol en pente, avec leur trois types rotationnel, translationnel et complexe, il présente un phénomène naturel dangereux, les conséquences des glissements de terrain affectent de nombreux domaines, notamment environnementaux, économiques, sociopolitiques ... etc. donc les études d'évaluation de l'aléa de glissement de terrain sont devenues très nécessaires de nos jours

A partir de cette synthèse bibliographique sur le même contexte précédent, on a obtenu des bonnes compréhensions des ces mouvements de terrain, leurs types, les classifications des chercheurs selon l'activité des glissements et selon la profondeur de surface de rupture, et ainsi les causes principales et les facteurs liées à l'occurrence des glissements de terrain, telles que les facteurs géologiques, géomorphologiques, hydrologiques et anthropiques. Les glissements de terrain ont touché plusieurs endroits dans le monde, en Afrique et aussi en Algérie avec des conséquences qui sont souvent la destruction ou la détérioration des structures, des moyens de communication, des aménagements divers et parfois des pertes humains.

Pour cette raison, Les chercheurs ont utilisé plusieurs méthodes pour étudier ce phénomène comme la méthode de pondération qui est basée sur l'hierarchisation des facteurs causatifs et les-combiner dans un travail cartographique à l'aide d'un système d'information géographique (SIG), ce dernier facilite l'acquisition, le stockage, le traitement et l'affichage de différents types des données géographiques disponibles, et les sources de ces données varient entre les cartes, les images satellites et les pré-études; Le résultat attendu est de réaliser une carte qui montre la susceptibilité aux glissements de terrain, cette carte est regroupée en plusieurs classes selon le degré de susceptibilité : très faible, faible, moyenne, élevée et très élevée.

La carte de susceptibilité aux glissements de terrain permet de prévenir ces glissements et aide les décideurs comme les géotechniciens et les autres ingénieurs dans les proches domaines pour choisir les sites qui adaptent avec des différents ouvrages ou bien pour la sélection des techniques parmi les systèmes de parade dans les ouvrages destinés au confortement des sols en pente.

# **Références bibliographiques**

## Références bibliographiques

---

### Bibliographie :

- Abacha, I. (2018). *Étude de la sismicité de la région nord-est de l'Algérie* (Doctoral dissertation).
- Abedini, M., & Tulabi, S. (2018). Assessing L NRF, FR, and AHP models in landslide susceptibility mapping index: a comparative study of Nojian watershed in Lorestan province, Iran. *Environmental Earth Sciences*, 77(11), 405.
- ABOUBAKAR, B., DONGMO, A. K., NKOUATHIO, D. G., & NGAPGUE, F. (2013). Instabilités de terrain dans les hautes terres de l'Ouest Cameroun: caractérisation géologique et géotechnique du glissement de terrain de Kekem. *Bull. Institut Scientifique, Rabat, Maroc, section Sci. de la Terre*, 35, 39-51.
- Aissa, M. H., & Haddouche, K. (2011). Analyse et Modélisation d'un Glissement de Terrain. *Cas de Sidi Yousef. Alger. Mémoire de Master. Université de Khemis-Miliana. Algérie*
- Ageyi, G., Osei, J. B., & Adoko, A. C. (2018). Slope Stability Analysis of Nkran Pit at Asanko Gold Mine, Ghana. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 22(10), 1673-1677.
- Akgun, A., Dag, S., & Bulut, F. (2008). Landslide susceptibility mapping for a landslide-prone area (Findikli, NE of Turkey) by likelihood-frequency ratio and weighted linear combination models. *Environmental geology*, 54(6), 1127-1143
- Aleotti, P., & Chowdhury, R. (1999). Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives. *Bulletin of Engineering Geology and the environment*, 58(1), 21-44.
- ANDI (2013). Wilaya de Ain Defla. Invest in Algeria, 20 p.  
<http://www.andi.dz/PDF/monographies/Ain-defla.pdf>
- Arab, R., Durand, R., Benhouhou, M., Mamouni, R., & Foura, M. (2015, January). Glissements de terrains et apport des géosynthétiques. Colloque-ASAG.
- Autran, A., Fonteilles, M., Goguel, J., & Guitard, G. (1975). Sur le mécanisme de la schistosité. *Annales de la Société géologique de Belgique*
- Awawdeh, M. M., ElMughrabi, M. A., & Atallah, M. Y. (2018). Landslide susceptibility mapping using GIS and weighted overlay method: a case study from North Jordan. *Environmental Earth Sciences*, 77(21), 732
- Ayenew, T., & Barbieri, G. (2005). Inventory of landslides and susceptibility mapping in the Dessie area, northern Ethiopia. *Engineering Geology*, 77(1-2), 1-15.

## Références bibliographiques

---

- Azzeddine, M., Manoiu, V. M., Khelifa, A., & Bryant, C. Quelles mesures d'adaptation aux changements climatiques prisent dans le secteur agricole par les agriculteurs et les pouvoirs publics dans la région d'Ain Defla (Algérie)?.
- Azzouz, O., El Fellah, B., & Chalouan, A. (2002). Processus de glissement dans le Massif de Bokoya (Rif interne, Maroc): exemple de Cala Bonita. *Bulletin de l'Institut scientifique, Rabat, section Sciences de la Terre*, 24, 33-40.
- BALEGH, B. (2018). *Analyse analytique et numérique d'un rideau de palplanches* (Doctoral dissertation).
- BENGOURAIN, A., & TOUNSI, M. *ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LES SOLS A PROBLEMES EN GEOTECHNIQUE* (Doctoral dissertation).
- Besson, L., Durville, J. L., Garry, G., Graszak, E., Hubert, T., & Toulemont, M. (1999). Plans de prévention des risques naturels (PPR) –Risques de mouvements de terrain. *Guide méthodologique. La Documentation Française, Paris*.
- Bourdim, S., Chekroun, L. H., Benanane, A., & Bourdim, A. (2018). Traitement d'un glissement de terrain par l'utilisation des pieux, cas pathologique en Algérie. *Academic Journal of Civil Engineering*, 36(1), 146-149.
- Bruno, C. (2019) *La paroi ancrée- Le guide de la Maçonnerie*. Available at: <https://maconnerie.bilp.fr/guide-mur-soutenement/types/paroi-ancree>.
- Bunduki, K., Mushayuma, N., Tambala, T., Materanya, C., & Matembera, B. (2015). Cartographie des sites sinistrés par les glissements de terrain du 17 au 26/01/2014 dans le bassin du Lac Kivu à Bukavu, Sud-Kivu, RD Congo [Cartography of damaged area by landslides from 17 to 26/01/2014 in Lake Kivu basin in Bukavu, South-Kivu, RD Congo].
- Cazzuffi, D., Cardile, G., & Gioffrè, D. (2014). Geosynthetic engineering and vegetation growth in soil reinforcement applications. *Transportation Infrastructure Geotechnology*, 1(3-4), 262-300.
- Chanut, M. A., Kasperski, J., Dubois, L., Dauphin, S., & Duranthon, J. P. (2017). Quantification des déplacements 3D par la méthode PLaS– application au glissement du Chambon (Isère). *Revue Française de Géotechnique*, (150), 4.
- CHELGHOU, C., & GHOUTI, L. (2019). Etude des changements apportés par la présence de composés chimiques sur les propriétés géotechniques des sols argileux stabilisés à la chaux.
- Cruden, D. M., & Varnes, D. J. (1996). Landslides: investigation and mitigation. Chapter 3- Landslide types and processes. *Transportation research board special report*, (247).

## Références bibliographiques

---

- Dahal, R. K., & Hasegawa, S. (2008). Representative rainfall thresholds for landslides in the Nepal Himalaya. *Geomorphology*, 100(3-4), 429-443.
- Dahal, R. K., Hasegawa, S., Nonomura, A., Yamanaka, M., Masuda, T., & Nishino, K. (2008). GIS-based weights-of-evidence modelling of rainfall-induced landslides in small catchments for landslide susceptibility mapping. *Environmental Geology*, 54(2), 311-324.
- Dai, K., Li, Z., Tomás, R., Liu, G., Yu, B., Wang, X., ... & Stockamp, J. (2016). Monitoring activity at the Daguangbao mega-landslide (China) using Sentinel-1 TOPS time series interferometry. *Remote Sensing of Environment*, 186, 501-513.
- David, G. (2004). *Espaces tropicaux et risques: du local au global*. IRD Editions.
- Demers, D., Robitaille, D., Potvin, J., Bilodeau, C., & Dupuis, C. (2008, May). La gestion des risques de glissements de terrain dans les sols argileux au Québec. In *Proceedings of the 4th Canadian Conference on Geohazards*, (eds) J. Locat, D. Perret, D. Turmel, D. Demers and S. Leroueil (pp. 519-526).
- Denis, A. (2012). Initiation à Arc GIS-Travaux pratiques sur les Systèmes d'Information Géographique-SIG.
- Dubois, L., Dauphin, S., & Rul, G. (2016). Le glissement du Chambon: évolution du phénomène et gestion de crise.
- Eddine, A. D., & Zakarya, B. R. L. (2016). STABILITE DES TALUS RENFORCES PAR GEOGRILLE ENCAPSULE AVEC DE MINCES COUCHES DE FRAISAT DE BETON BITUMINEUX
- Fan, C. C., & Lai, Y. F. (2014). Influence of the spatial layout of vegetation on the stability of slopes. *Plant and soil*, 377(1-2), 83-95.
- Ghanavati, E. A. Y. E. (2016). Landslide hazard zonation by using AHP (analytical hierarchy process) model in GIS (geographic information system) environment (case study: Kordan watershed). *Int J Sci High Technol*, 2, 24-39.
- Greenway, D. R. (1987). Vegetation and slope stability. *Slope stability*, 187-230
- Habert, E. (2000). Qu'est-ce qu'un système d'information géographique. *Laboratoire de cartographie appliquée, IRD*.
- Haoues, N., & Loucif, S. (2017). Etude de stabilité d'une Talus. Cas réel: Cité Ciloc-Constantine.
- Hemmati, S., & Modaressi, A. (2013). Étude de la stabilité des pentes non saturées sous les effets de l'infiltration prenant en compte la végétation. In *International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering* (pp. 1117-1120).

## Références bibliographiques

---

- Highland, L., & Bobrowsky, P. T. (2008). The landslide handbook: a guide to understanding landslides (p. 129). Reston: US Geological Survey.
- Intrarawichian, N., & Dasananda, S. (2010). ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS FOR LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY MAPPING IN LOWER MAE CHAEM WATERSHED, NORTHERN THAILAND. *Suranaree Journal of Science & Technology*, 17(3).
- INTERREG, I. (2006). Risques hydro-géologiques en montagne: parades et surveillance, RiskYdrogeo: guide pratique. *Projet*, (179), 461.
- Keller France (2018). *Inclusions rigides INSER®* Available at: <https://www.keller-france.com/expertise/techniques/inclusions-rigides-inser>.
- Khalilnejad, A., Ali, F. H., & Osman, N. (2012). Contribution of the root to slope stability. *Geotechnical and geological engineering*, 30(2), 277-288
- KHAOUANI, E., & OTMANI, S. (2019). *STABILISATION DES SOLS PAR L'UTILISATION DES GEOSYNTHETIQUES* (Doctoral dissertation).
- Khemissa, M. (2006). Méthodes d'analyse de la stabilité et techniques de stabilisation des pentes. *Actes des JNGG*.
- Krishna, A. M., & Katsumi, T. (Eds.). (2020). *Geotechnics for Natural Disaster Mitigation and Management*. Springer Singapore.
- Kumar, S. V., & Bhagavanulu, D. V. S. (2008). Effect of deforestation on landslides in Nilgiris district—A case study. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 36(1), 105.
- Lateltin, O. (1997). Prise en compte des dangers dus aux mouvements de terrain dans le cadre des activités de l'aménagement du territoire. *Recommandations, OFEFP*, 42.
- Ledig, J. (2003). *Opportunité, évaluation économique et méthodologie de mise en oeuvre et de développement d'un système d'information géographique dans les collectivités territoriales* (Doctoral dissertation).
- Magagnosc, J. S. (1984). Observations géomorphologiques dans la zone épiscopale du séisme d'Ech Chélif (ex El Asnam, Algérie) et leurs implications dans la planification de l'aménagement. *Méditerranée*, 51(1), 33-41.
- MENASRIA, R. (2016). Synthèses sur les techniques de soutènements des terres instables. cas particulier les murs en béton armé.
- Mezhoud, L. (2006). La vulnérabilité aux glissements de terrain et les enjeux dans la partie Ouest et Sud Ouest de la ville de Constantine.

## Références bibliographiques

---

- NADA, B., MERYEM, B., & KHAOULA, N. (2019). Amélioration d'un sol argileux par le laitier de haut fourneau activé par la poudre de dolomie.
- Omar, B., & Abderrahmane, B. (2018). Etudes Géotechnique De Glissements De Terrain a Mascara.
- Pomel, M. A., & Pouyanne, J. (1898). *Carte géologique de l'Algérie*. Imprimerie de l'ass. ouvrière P. Fontana..
- Pomerol, C., & Renard, M. (1997). Eléments de géologie 11ème édition, Masson, paris.
- Reed, C. (2001). NEWS AND VIEWS-GEOPHENOMENA-Landslides: Risky Business-The earthquake that hit El Salvador Jan. 13 set off inevitable landslides. *Geotimes*, 46(3), 28-29.
- Reichenbach, P., Mondini, A. C., & Rossi, M. (2014). The influence of land use change on landslide susceptibility zonation: the Briga catchment test site (Messina, Italy). *Environmental management*, 54(6), 1372-1384.
- Règles Parasismiques Algériennes. (2003). RPA 99/Version 2003. Ministère de l'habitat et de l'urbanisme. Centre national de recherche appliquée en génie-parasismique. Document technique règlementaire D.T.R.-B.C. 2.46
- Reuter, G. R. (2001, December). Use of geofoam for landslide stabilization-CTH "A", Bayfield County, Wisconsin. In *3rd international conference on geofoam blocks in construction applications, Salt Lake City, USA* (pp. 10-12).
- Samir, B. E. D. R. (2008). MODÉLISATION ET INTERACTION RENFORCEMENT SOL POUR LES TALUS INSTABLES.
- Sarkar, S., & Kanungo, D. P. (2004). An integrated approach for landslide susceptibility mapping using remote sensing and GIS. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 70(5), 617-625.
- Skempton, A. W., & Hutchinson, J. (1969). Stability of natural slopes and embankment foundations. In *Soil Mech & Fdn Eng Conf Proc/Mexico/*.
- Slimi, A., & Larue, J. P. (2010). Risques de glissement et aménagements: l'exemple du glissement d'un remblai autoroutier à l'ouest de Bouira (Grande Kabylie, Algérie). *Physio-Géo. Géographie physique et environnement*, (Volume 4), 87-106.
- Souad, D., & Ghania, B. T. (2019). *ETUDE COMPARATIVE DES METHODES DE TRAITEMENT DES SOL AFFAISSABLES* (Doctoral dissertation, UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF-M'SILA).
- Spiker, E. C., & Gori, P. (2003). *National landslide hazards mitigation strategy, a framework for loss reduction* (No. 1244). US Geological Survey.

## Références bibliographiques

---

- Steiniger, S., Weibel, R., & Warf, B. (2010). GIS software: a description in 1000 words.
- Stieltjes, L. (2004) – Evaluation du risque mouvements de terrain – Etat de l’art sur l’aléa mouvements de terrain – Analyse du risque mouvement de terrain.
- Thiery, Y., Malet, J. P., Sterlacchini, S., Puissant, A., & Maquaire, O. (2005). Analyse spatiale de la susceptibilité des versants aux glissements de terrain.
- TIMA, Z. A., ROUAI, M., & DEKAYIR, A. (2018). Etude géologique, cartographique et géotechnique du glissement de terrain du Jbel Outka (Rif central, Maroc). *Geo-Eco-Trop*, 42(1), 57-74.
- Varnes, D. J. (1978). Slope movement types and processes. Special report, 176, 11-33.
- Wieczorek, G. F. (1999). Landslide Triggering Mechanisms, Landslides: Investigation and Mitigation, Special Report 247. *Transportation Research Board, National Research Council*, 129-177.
- Xu, G., Han, J., Ding, B., Nie, P., Pan, J., Dou, H., ... & Zhang, X. (2015). Biomass-derived porous carbon materials with sulfur and nitrogen dual-doping for energy storage. *Green chemistry*, 17(3), 1668-1674.
- Yelles-Chaouche, A., Boudiaf, A., Djellit, H., & Bracene, R. (2006). La tectonique active de la région nord-algérienne. *Comptes Rendus Geoscience*, 338(1-2), 126-139.
- Zardari, N. H., Ahmed, K., Shirazi, S. M., & Yusop, Z. B. (2015). *Weighting methods and their effects on multi-criteria decision making model outcomes in water resources management*. Springer.
- Zhang, M., Nie, L., Xu, Y., & Dai, S. (2015). A thrust load-caused landslide triggered by excavation of the slope toe: a case study of the Chaancun Landslide in Dalian City, China. *Arabian Journal of Geosciences*, 8(9), 6555-6565.

### Sites d'internet:

<http://www.constantine-hier-aujourd'hui.fr/LaVille/glissemmentsterrain.htm#12>

<https://www.hurriyetdailynews.com/landslide-destroys-15-houses-in-black-sea-province-of-ordu-143480>

[https://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:Algeria\\_relief\\_location\\_map.svg](https://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:Algeria_relief_location_map.svg)

<https://resources.arcgis.com>

<http://www.wilaya-aindefla.dz/>

<https://earth.google.com/web/>