

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد الصديق بن يحيى جيجل

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie  
Département : Sciences de la Terre et de  
l'Univers



كلية علوم الطبيعة و الحياة  
قسم : علوم الارض و الكون

## Mémoire de Fin d'Etudes

En vue de l'obtention du diplôme : Master Académique  
en Sciences de la Terre et de l'Univers

Filière : Géologie

Option : Géologie de l'Ingénieur et Géotechnique

Thème

**Analyse spatiale, Evaluation et cartographie de risque  
glissement de terrain (cas de commune Grarem Gouga  
wilaya de Mila ) Nord –est Algérie**

### Membres de Jury

Président : Bouazi Rekia  
Examineur : Ramoum Karim  
Encadrant : Hamadou Nouredinne

### Présenté par

Bouchair Djamel  
Benarab Youssouf

Année Universitaire 2021-2022

Numéro d'ordre (bibliothèque) : .....

# *Remerciements*

*Louange à Allah, le miséricordieux, sans lui rien de tout cela n'aurait pu être, je remercie le bon Dieu qui nous a orienté au chemin de savoir et les portes de la science.*

*Nous tenons à adresse nos plus vifs Remerciements à :  
Monsieur Mr : Hamadou Nourddine. Pour nous avoir encadré, guidé et prodigué tout l'aide nécessaire pour la réalisation de notre travail.*

*Nous Remerciements vont aussi aux membres de jury de nous avoir fait l'honneur de bien vouloir participer au jury de ce mémoire et pour toute l'attention qu'ils vont prêté à l'valuation de notre travail.*

*Nous tenons remercier aussi tout les enseignants du département du Sciences de la Terre et de l'Univers de Mohamed Seddik Benyahia - Jijel.*

*Et enfin, Nous tenons à remercier toute personne qui nous a aidé ou encouragé de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.*

# ***Dédicace***

*Au nom d'Allah, le Tout Miséricordieux, le Très  
Miséricordieux Tout d'abord je tiens à remercier le tout  
puissant de m'avoir donné  
le courage et la patience pour arriver à ce stade afin de réaliser ce  
travail que je dédie :*

*A ma très chère mère **Fatima**, qui n'a jamais cessé de  
prier pour moi A mon très cher père **Rabah**, pour ses  
encouragements son soutien, surtout pour son amour et son  
sacrifice afin que rien n'entrave le déroulement de mes  
études.*

*À mes chers frères **Morad**, **Saïde** et **Hichame**  
Mes chers frères, présents à chaque instant, je teste  
avec leur soutien moral et leurs surprises agréables. Je  
vous souhaite un avenir plein de joie, de bonheur, de  
réussite et de sérénité. Mes soeurs: **Fatiha**, **Hasina**  
**Salima**, **Samia** et **Rahma**.*

*Et à tous les membres de ma famille, jeunes et vieux. A tous ceux  
que j'ai connus, et qui reconnaitrons. A tous  
ceux que j'aime et ceux qui m'aiment.*

**DJAMEL**

# ***Dédicace***

*Je dédie ce moodete travail à :  
mon très cher père **Benarab Mahmoud**(Que dieu lui  
fasse miséricorde et le place dans ses paradis)*

*La lumière de mes yeux :  
Ma très chère mère , **Zakia**, ma premier Enseignant ,  
qui m'a soutenu toujours par son  
amour sa*

*compréhension et son encouragement , qu'elle  
trouve ici l'expression de ma vive reconnaissance  
mes très chères sœurs : Samia ,Nadia et Saida mes  
très chères frères :**Badis** et **Hamza***

*tous les membres de la famille petits et grands  
a mes meilleurs amis surtout **BOUADJEL AHCENE**  
l'ensemble des étudiants de la promotion M2 de  
l'année*

*2021/2022*

*tous ceux que j'aime et que m'aiment*

**YOUSOUF**

## **Résumé**

Le phénomène de glissement de terrain est considéré comme dangers naturel permanents rencontrés dans tous les pays du monde car l'importance des effets de glissement pouvant engendrer des dégâts humains et matériels pouvant se chiffrer en plusieurs millions de Dollars dont les gouvernements doivent prêter beaucoup d'attention. Pour cela, il faut compte tenu de ces phénomènes et de leurs dangers, et de prendre les précautions convenables pour détecter les zones instables afin de trouver les meilleures solutions de protections ou de traitements.

L'évaluation des risques de glissement de terrain a reçu toute l'attention de la communauté scientifique internationale durant la dernière décennie. Le présent travail s'inscrit dans un projet d'évaluer et cartographie le glissement de terrain dans la commune de Grarem, Gouga (Nord-Est Algérien), utilisant l'analyse spatiale et la technologie SIG de glissement de terrain. Trois facteurs ont été pris en considération dans cette évaluation à savoir : la pente, la lithologie, et la végétation. Pour établir une carte de risque de glissement de terrain de cette commune classée en quatre classes de susceptibilité : faible, moyen, fort et très fort.

## **Mots clés**

Glissement de terrain, Grarem, Gouga, Système d'information géographique (SIG), Cartographie, Vulnérabilité.

## **Abstract**

The phenomenon of landslide is considered as permanent natural dangers encountered in all countries of the world because the importance of the effects of landslides which can cause human and material damage which can amount to several million Dollars whose governments must lend a lot of Warning. For this, it is necessary to take into account these phenomena and their dangers, and to take the appropriate precautions to detect unstable areas in order to find the best protection or treatment solutions.

Landslide risk assessment has received much attention from the international scientific community over the past decade. The present work is part of a project to assess and map the landslide in the commune of Grarem, Gouga (North-East Algeria), using spatial analysis and landslide GIS technology. Three factors were considered in this assessment, such as: slope, lithology, and vegetation. To establish a landslide risk map of this municipality classified into four classes of susceptibility: low, medium, high and very high.

## **Key words**

Landslide, Grarem, Gouga, Geographic Information System (GIS), Mapping, Vulnerability.

## ملخص

تعتبر ظاهرة الانهيارات الأرضية من الأخطار الطبيعية الدائمة التي تواجهها جميع دول العالم وذلك لكونها تسبب أضرار بشرية ومادية يمكن أن تصل إلى عدة ملايين من الدولارات لذلك يجب على الحكومات أن توليها الكثير من الاهتمام. و من الضروري مراعاة هذه الظواهر ومخاطرها، واتخاذ الاحتياطات المناسبة لتحديد المناطق غير المستقرة من أجل إيجاد أفضل حلول الحماية أو العلاج.

حظي تقييم مخاطر الانهيارات الأرضية باهتمام كبير من المجتمع العلمي الدولي خلال العقد الماضي. هذه الدراسة هي جزء من مشروع تقييم ورسم خريطة الانهيار الأرضي في بلدية القرام قوقة (شمال شرق الجزائر) ، باستخدام التحليل المكاني وتكنولوجيا نظم المعلومات الجغرافية للانهيار الأرضي . تم أخذ ثلاثة عوامل بعين الاعتبار في هذا التقييم، وهي: المنحدر، نوعية التربة، والغطاء النباتي. لإنشاء خريطة خطر الانهيارات الأرضية لهذه البلدية وقد صنفنا إلى أربع فئات من القابلية للتأثر: منخفضة ومتوسطة وعالية وعالية جداً.

## الكلمات الدالة

القرام قوقة ، الانزلاق الأرضي ، نظام المعلومات الجغرافية (GIS) ، رسم الخرائط ، القابلية للتأثر.

# Table des matières

Remerciement	
Dédicace	
Résumé .....	i
Abstract .....	ii
ملخص .....	iii
Liste des figures .....	iv
Liste des tableaux .....	vi
Introduction générale.....	1

## Chapitre I : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

I.1.Présentation de la région .....	3
I.2. Site et situation géographique de la commune de Grarem, Gouga.....	3
I.3. Relief et pente .....	4
I.3.1. Relief.....	4
I.3.2. Pente.....	4
I.4. La végétation.....	6
I.5. Réseaux hydrographiques .....	6
I.6. Cadre socio-économique.....	7
I.7.Conclusion .....	8

## Chapitre II : DESCRIPTIONS GEOLOGIQUES ET LITHOLOGIQUES

II.1.1. Introduction .....	9
II.2. Caractéristiques géologiques du bassin de Mila.....	9
II.3. Géologie locale .....	9
II.3.1. Classification lithologique de la zone étudiée .....	10
II.4. Sismicité .....	12

## Chapitre III : Caractéristiques hydro-climatologiques



III.1. Introduction .....	14
III.2. Etude climatologique.....	14
III.2.1. Précipitations .....	14
III.2. 2. Températures .....	16
III.2. 3. Diagramme Ombro-thermique .....	17
III.2.4. Bilan hydrologique .....	19
III.2.4.1. Calcul de l'évapotranspiration.....	19
III.2.4.2. Calcul de l'évapotranspiration réelle (ETR) .....	20
III.2.4.3. Estimation du ruissellement et de l'infiltration .....	21

### **Chapitre IV : Notion sur les glissements de terrain**

IV.1. Introduction .....	24
IV.2. Qu'est-ce qu'un mouvement de terrains ? .....	24
IV.3. Morphologie des glissements de terrain.....	25
IV.4. Quels sont les types de glissement de terrain ? .....	26
IV.5. Principales causes des glissements de terrain .....	28
IV.6. Classification des glissements de terrain .....	29
IV.6.1. Selon la profondeur de la rupture.....	29
IV.6.2. Selon la vitesse moyenne .....	30
IV.7. Différentes phases de l'activité d'un glissement de terrain.....	30

### **Chapitre V : Méthodologie et outil d'analyse et de géotraitement**

V.1. Introduction .....	32
V.2. Le Système d'Information Géographique (SIG).....	32
V.3. Les composants d'un SIG .....	32
V.4. L'information géographique.....	33

V.5. Modes de représentation de l'Information géographique dans un SIG .....	34
V.6. Moyenne et méthodes.....	35
V.7. Méthode d'analyse spatiale .....	35
V.8. Organigramme adoptée dans cette étude.....	35
V.9. Les paramètres aléas glissement de terrain .....	37
V.9.1. Facteur pente .....	37
V.9.2. Facteur lithologie.....	38
V.9.3. Facteur occupation de sol .....	40
V.10. Spatialisation de degré du risque glissement de terrain.....	41
V.10.1. Règle de décision d'analyse spatiale et géotraitement .....	41
V.10. 1. Combinaison pente, lithologie.....	43
V.10.2.2. Combinaison pente, lithologie et végétation .....	44
V.10.2.3. Carte du risque de la commune de Grarem, Gouga.....	46
Conclusion.....	52
 <b>Chapitre VI : Validations et confirmation Des résultats obtenus sur le Risque GT</b> 	
VI.1. Introduction.....	53
VI.2. Validation des GT traités dans la zone en question .....	53
VI.3. Les critères utilisés pour la confirmation des zones de vulnérabilité GT (Les indices d'instabilité) .....	54
VI.4. Calcule de stabilité et confortement.....	57
VI.4.1. Calcul de stabilité.....	57
VI.4.2. Méthodes de calcul.....	57
VI.4.2.1. Méthode des tranches de Fellenius (suédoise).....	57
VI.5. Traitement sur le Géoslope .....	60
VI.6. Les valeurs des FS des autres méthodes .....	61
VI.7. Confortement et remèdes .....	63
VI.7. 1. Les différents travaux de confortement .....	63

VI.7.1.1. Les techniques de drainage .....	63
VI.7.1.2. Reprofilage (Talutage) .....	66
VI.7.1.3. Butée du pied .....	66
VI.7.1.4. Le reboisement .....	66
VI.7.1.5. Elimination de surcharge Système de gabionnage.....	67
VI.8. Conclusion .....	67
Conclusion générale .....	68
Références Bibliographiques .....	69
Resume	

Liste des Figures

Figure .I.1. Carte de localisation commune de Grarem, Gouga.....	3
Figure.I.2.Carte des reliefs de la commune de Grarem, Gouga : model numérique ((MNT).....	4
Figure I.3. Carte des pentes commune de Grarem, Gouga .....	5
Figure I.4. Carte de végétations : commune de Grarem, Gouga .....	6
Figure I.5. Carte de réseau hydrographique de la commune de Grarem, Gouga, model numérique ((MNT).....	7
Figure I.6. Carte d'infrastructure de la commune de Grarem, Gouga .....	8
Figure II.1. Carte lithologique de la commune de Grarem Gouga.....	10
Figure II.2. Classe de dureté des roches lithologique de la commune de Grarem Gouga. ....	11
Figure II.3. Coupe géologique (SW- NE) de la commune de Grarem Gouga, en collaboration avec Mr Y. Rouikha. ....	12
Figure II.4. Carte sismique de l'Algérie .....	13
Figure III.1Distribution des précipitations moyennes mensuelles en mm, station de Hamala (1980-2019).....	15
Figure III.2. Répartition (pourcentage) des précipitations moyennes saisonnières, station de Hamala (1980-2019) .....	16
Figure III.3Distribution des températures moyennes mensuelles en °C, station de Hamala (1980-2019).....	17
Figure III.4. Diagramme ombro-thermique (station de Hamala ,1980-2019).....	18
Figure III.5Représentation graphique du bilan hydrologique (Station de Hamala ,1980-2019)	21
Figure IV.1. Glissement de terrains. ....	24
Figure IV.2. Éléments géomorphologiques d'un glissement de terrain.....	26
Figure IV.3. Glissement plan (Durville,J.Gilles,S. 2000).....	27
Figure IV.4. Glissement rotationnel (Durville,J.Gilles,S. 2000).....	27
Figure IV.5. Différentes phases de l'activité d'un glissement de terrain (Aissa, M.2011) .....	31
Figure V.1.Les composants d'un SIG.....	33
Figure V.2.Modes de représentation de l'Information géographique dans un SIG .....	34
Figure V.3.Organigramme utilisé pour le géotraitement .....	36
Figure V.4 Carte de susceptibilité –Pente de la commune de Grarem, Gouga .....	37
Figure V.5. Carte susceptibilité lithologie de la commune de Grarem, Gouga .....	39

Figure V.6. Carte susceptibilité occupation des sols de la commune de Grarem, Gouga.....	41
Figure V.7. Carte susceptibilité GT combinaison (pente-lithologie) de la commune de Grarem, Gouga .....	43
Figure V.8. Carte susceptibilité GT combinaison Pente, lithologie et occupations des sols de la commune de Grarem, Gouga. ....	45
Figure V.9. Carte de risque glissement terrain commune de Grarem, Gouga .....	46
Figure V.10. Présentation du cadre bâtis exposé au risque GT sur Arc gis10.2.2, commune de Grarem, Gouga .....	47
Figure V.11. Présentation de RN 27 exposé au risque GT sur Arc gis10.2.2, commune de Grarem, Gouga .....	48
Figure V.12. Présentation de RW exposé au risque GT sur Arc gis10.2.2, commune de Grarem, Gouga .....	49
Fig. V.13. Présentation des routes revêtues exposés au risque GT sur Arc gis10.2.2, commune de Grarem, Gouga .....	50
Fig. V.14. Présentation des routes piste exposés au risque GT sur Arc gis10.2.2, commune de Grarem, Gouga .....	51
Fig.VI.1. Localisation des glissements de terrain sur la carte de risque glissement terrain (le long de RN 27) .....	53
Fig.VI.2. Localisation les indices d’instabilité sur la carte de risque glissement terrain, commune de Grarem Gouga .....	54
Fig.VI.3. Schéma illustrant le découpage en tranches d’un talus .....	57
Fig.VI.4. Forces agissant sur la tranche n .....	58
Fig.VI.5. Cercle critique obtenu selon le profile défavorable (absence de nappe). ....	61
Fig.VI.6. Positionnement de GT étudié sur la carte de risque.....	62
Fig.VI.7. Profil défavorable de GT sur MNT.....	62
Fig.VI.8. Exemple d’un drain subhorizontal.....	66

**Liste des photos**

Photo VI.1. Fissurations et rupture de sol et sur les constructions.....	55
--------------------------------------------------------------------------	----

Photo.VI.2. l'inclinaison des poteaux électricité et maison menacée par le glissement de terrain ..... 55

Photo.VI.3. Gabionnage endommagé ..... 56

Photo VI.4. L'inclinaison des arbres. .... 56

**Liste des Tableaux**

Tableau.I.1. Classes des pentes de la commune de Grarem Gouga .....	5
Tableau. I.2. Répartition de la population et la densité de la zone d'étude.....	7
Tableau. I.3. Répartition des infrastructures de la commune de Grarem, Gouga .....	8
Tableau. II.1. Classification et répartition spatiale des différentes formations lithologique de la commune de Grarem Gouga. ....	11
Tableau III.1. Localisation géographique de la station de Hamala.....	14
Tableau. III.2. Précipitations moyennes mensuelles et saisonnières (station de Hamala-Grarem, pour la période de 1980-2019). ....	15
Tableau. III.3. Répartition des températures moyennes mensuelles et saisonnière (Station Hamala, 1980-2019). ....	17
Tableau. III.4. Données moyennes mensuelles des précipitations et des températures, station de Hamala (1980-2019). ....	18
Tableau. III .5. Bilan hydrologique selon la méthode Thornthwaite .....	20
Tableau. IV.1. Classification suivant la profondeur du glissement (D'après l'office fédéral de l'environnement- division Prévention des dangers, 2009). ....	29
Tableau. IV.2. Classification suivant Classification selon la vitesse moyenne de glissement à long terme.....	30
Tableau. V.1. Répartition surfacique des pentes dans la zone étude.....	38
Tableau.V.2. Classe des pentes et indices attribués. ....	38
Tableau.V.3. Classes des formations lithologiques en fonction de leurs sensibilités au GT de la commune de Grarem, Gouga.....	39
Tableau.V.4. Répartition surfacique, codification et vulnérabilité occupation des sols de la commune de Grarem, Gouga. ....	40
Tableau.V.5. Règle de décision d'analyse spatiale et géotraitement .....	43
Tableau. V.6. Répartition surfacique des classes d'aléa GT (union pente –lithologie) de la commune de Grarem, Gouga.....	44
Tableau.V.7. Règle de décision du risque glissement Union (pente, lithologie et végétation).....	44

Tableau.V.8. Répartition surfacique de la contrainte union (pente -lithologie - végétation) de la commune de Grarem, Gouga.....	45
Tableau.V.9. Cadre bâtis exposé aux risques GT de la commune de Grarem, Gouga. ....	47
Tableau.V.10. Chemin RN 27 exposé aux risques GT, commune de Grarem, Gouga. ....	48
Tableau.V.11. Routes wilaya exposé aux risques GT, commune de Grarem, Gouga. ....	49
Tableau.V.12. Route revêtue exposé aux risques GT .....	50
Tableau V.13. Route piste exposé aux risques GT.....	51
Tableau.VI.1. Valeurs de coefficient de sécurité FS données en fonction l'importance de l'ouvrage.....	60
Tableau.VI.2. Caractéristiques géotechniques des formations lithologiques.....	61
Tableau.VI.3. Les valeurs de FS des autres méthodes. ....	62



# ***INTRODUCTION GÉNÉRALE***

## **Introduction Générale**

Les glissements de terrain sont l'un des risques géologiques les plus courants dans de nombreuses régions du monde. Ils représentent un danger important pour l'homme et leurs activités, entraînant souvent des pertes économiques, des dommages matériels et des victimes.

Un glissement de terrain correspond à un : « déplacement d'une masse de terrains meuble ou rocheuse le long d'une surface de rupture par cisaillement qui correspond souvent à une discontinuité préexistante. Le mouvement est engendré par l'action de la gravité, de forces extérieures (hydrauliques ou sismiques) ou d'une modification des conditions aux limites ».

La wilaya de Mila vu ses caractéristiques climatiques, géologiques, géomorphologiques et anthropiques sont autant de facteurs favorables à divers mouvements de terrain de diverses ampleurs. Il est donc nécessaire de réduire ce phénomène, de prendre toutes les précautions et d'apporter les solutions appropriées.

Il est essentiel de développer une bonne compréhension de l'interaction entre les facteurs de prédisposition et de déclenchement qui conduisent à l'apparition de glissements de terrain dans cette zone.

Le développement des systèmes d'information géographique (S.I.G) a été particulièrement important dans le domaine de l'aménagement du territoire cette dernière décennie. L'utilisation de l'espace nécessite une étude pluridisciplinaire, c'est-à-dire un modèle des enjeux, des aléas, de la vulnérabilité, et enfin de la mesure du risque, tant que la société est fragile : elle manque de souplesse dans ses structures qui ne sont pas adaptées à l'imprévu, elle n'a pas de solutions techniques pour se protéger de tous les effets dommageables, et elle ne sait pas vraiment maîtriser l'occupation et l'exploitation de son espace.

### **Problématique et objectif d'étude**

Les glissements de terrain sont des risques naturels majeurs qui très répandus au Nord-Est Algérien. Ils entraînent non seulement des pertes en vies humaines, mais ont également des impacts socioéconomiques, environnemental.

Ce travail est une étude des glissements de terrain à l'aide des SIG dans la commune de Grarem, Gouga. Pour l'évaluation de la contribution des différents facteurs de prédisposition des

glissements de terrain qui menacent la région afin de prendre les mesures nécessaires et d'éviter son danger.

L'objectif principal de cette étude est de cartographier la susceptibilité aux glissements de terrain de la commune de Grarem, Gouga basée sur le système d'information géographique (SIG), afin d'établir une carte de risque glissement de terrain et mettre en évidence la géomorphologie des glissements de terrain et le degré de risque de glissement de terrain dans la zone d'étude.

Pour mener à bien notre travail, nous avons subdivisé notre manuscrit en deux parties présentés comme suit :

- La première partie : Analyse du milieu physique, comprenant :
  - ✓ Chapitre I : Présentation de la zone d'étude.
  - ✓ Chapitre II : Descriptions géologiques et lithologiques.
  - ✓ Chapitre III : Caractéristiques hydro-climatologiques.
  - ✓ Chapitre IV : Notion sur les glissements de terrain.
- La deuxième partie : Evaluation du risque glissement de terrain par l'application des systèmes d'informations géographiques, comprenant :
  - ✓ Chapitre V : Méthodologie et outil d'analyse et de géotraitement.
  - ✓ Chapitre VI : Validations et confirmation des résultats obtenus sur le risque glissement de terrain.

***1ER PARTIE :***  
***L'ANALYSE DE MILIEU***  
***PHYSIQUE***

**CHAPITRE I :**  
***PRÉSENTATION DE LA ZONE  
D'ÉTUDE***

## I.1.Présentation de la région

La commune de Grarem Gouga (Fig.I.1) fait partie de wilaya de Mila. La wilaya de Mila se situe au Nord-Est Algérien, elle se trouve à environ 391 Km d'Alger au Nord-Est d'Alger, et à environ 80 Km au Sud de Jijel elle est limitée : au Nord par les wilayas de Jijel et de Skikda ; à l'Est par la wilaya de Constantine; à L'Ouest par wilaya de Sétif; et au Sud par les wilayas de Batna et d'Oum-El-Bouaghi. Elle occupe une superficie de 3 481 km<sup>2</sup>. Dont la population est estimée à 766 886 habitants en 2008.

## I.2. Site et situation géographique de la commune de Grarem, Gouga

Grarem Gouga est une commune de la wilaya de Mila situé à 20 Km au Nord- Est du chef lieude la Wilaya de Mila, et à 40 km au Nord-Ouest de Constantine, sur la route national (RN27) vers Jijel. Avec une superficie de 130.78 km<sup>2</sup>et une population de 42 062 habitants (estimation 2008). Elle est limitée par les communes suivantes :

- au Nord par la commune Hamala, et Ghebala (wilaya de Jijel).
- à l'Est par la commune Beni Hamiden (wilaya de Constantine).
- à l'Ouest par la commue Chigara, et Sidi Merouane.
- au Sud par la commune Mila, et Messaoud Boudjriou (wilaya de constantine).

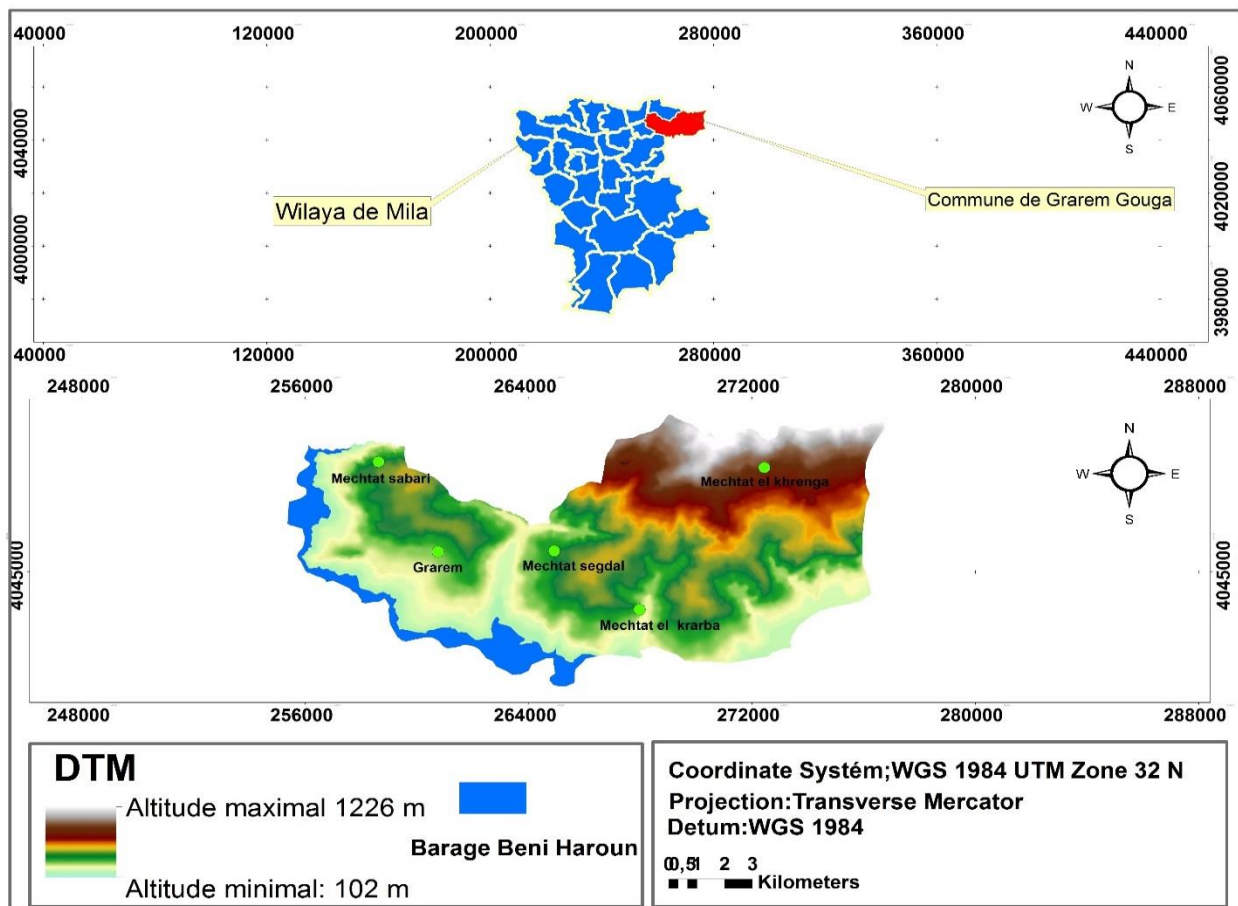
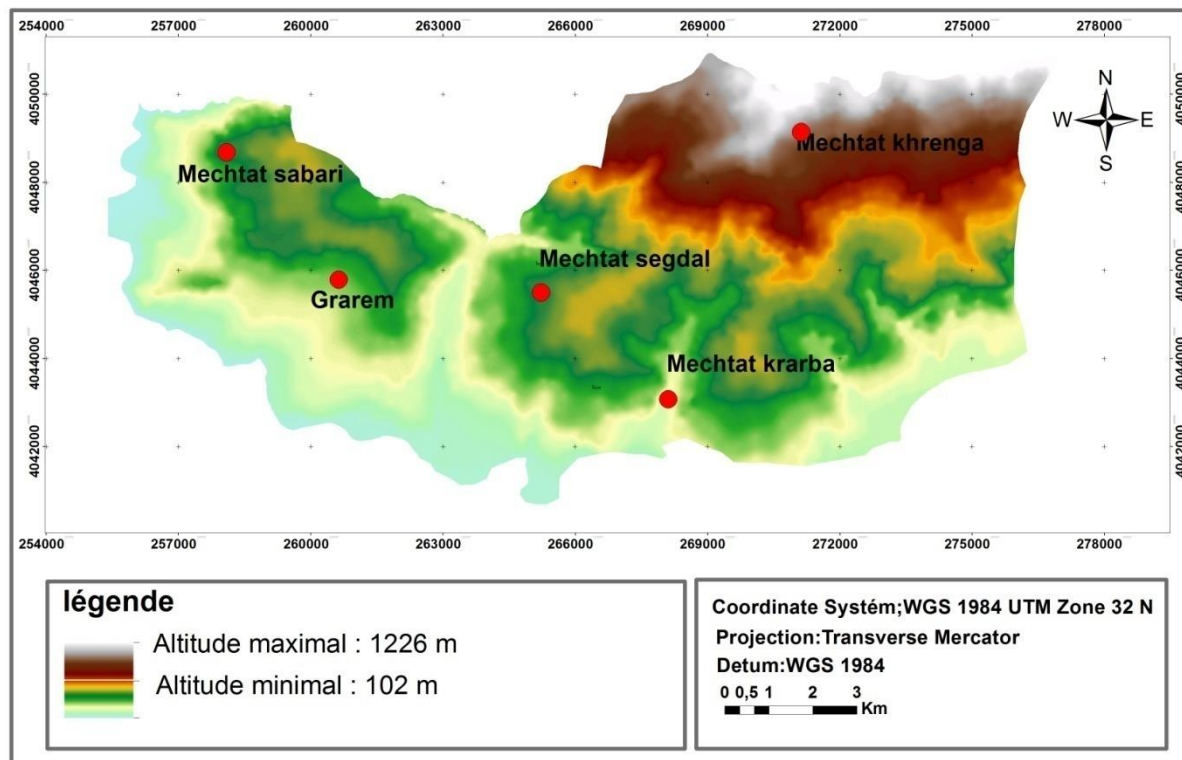


Fig. I.1.Carte de localisation de la commune de Grarem Gouga.

### I.3. Relief et pente

#### I.3.1. Relief

La commune de Grarem Gouga présente une hypsométrie importante comprise entre 102 m et 1226 m (Fig. I.2).

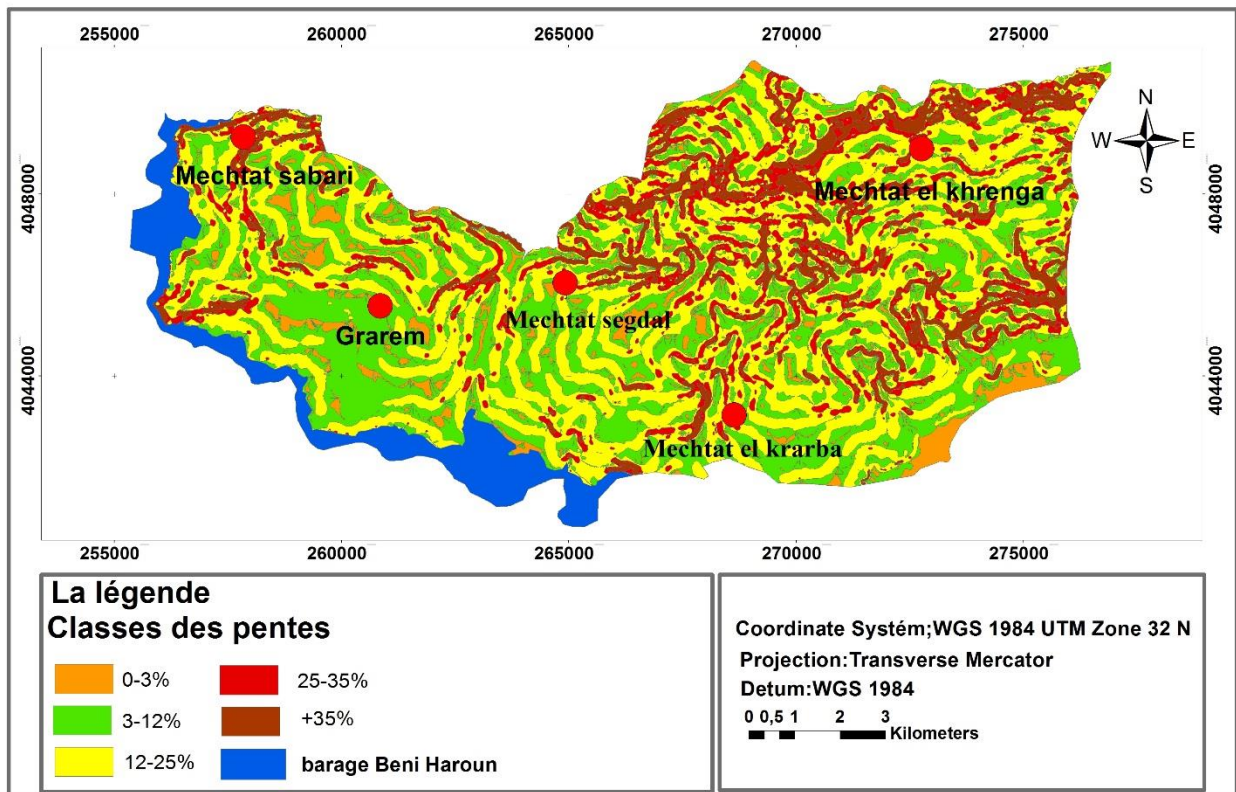


*Fig. I.2. Carte des reliefs de la commune de Grarem, Gouga.*

#### I.3.2. Pente

Les pentes représentent un élément important pour caractériser les aspects du relief. Elles sont aussi liées à la dynamique du milieu car, elles entrent en action comme facteurs jouant un rôle fondamental dans l'analyse morphodynamique et l'explication de certaines formes de l'érosion et les mouvements de masse notamment les glissements de terrain.

Selon la carte des pentes (fig.I.3) la zone d'étude est caractérisée par des classes des pentes variant de 0 à plus de 35%.



*Fig.I.3. Carte des pentes commune de Grarem Gouga, model numérique de terrain (MNT).*

*Tab. I.1. Classes des pentes de la commune de Grarem Gouga.*

Classe des pentes	Surface (Km <sup>2</sup> )	Surface (%)
0 -3%	7,09	5,42
3-12%	41,16	31,47
12 – 25%	53,81	41,15
25-35%	18,46	14,12
>35 %	10,26	7,84
<b>Total</b>	<b>130, 78</b>	<b>100</b>

Selon le Tableau. I.1. La classe des pentes (12-25%) est la classe la plus dominante dans l'aire d'étude, occupe un pourcentage de 41,14 % de la surface totale.

L'un des principaux facteurs de l'instabilité est la pente ; c'est l'une des paramètres utilisés pour calculer le coefficient de sécurité. Pour cette raison, de nombreux travaux traitant de la dynamique de versants comportent une carte des pentes.

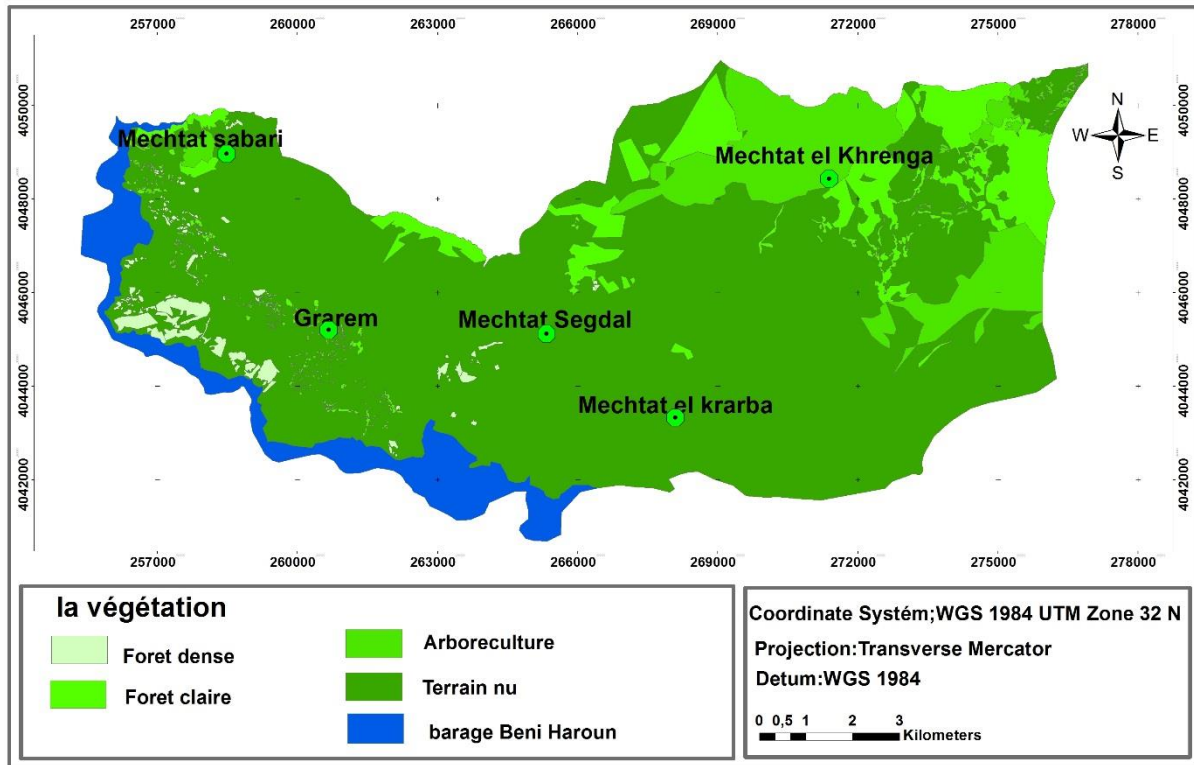


La détermination des classes de pente varie d'un auteur à un autre. Le choix dépend d'abord des types de mouvements de masse.

#### I.4. La végétation

La végétation, est un facteur important qui favorise l'infiltration et par la suite diminue le volume ruisselé et les pertes des sols.

La région d'étude est caractérisée par une couverture végétale très réduite, est représentée par des arboricultures et des forêts (fig.I.4).

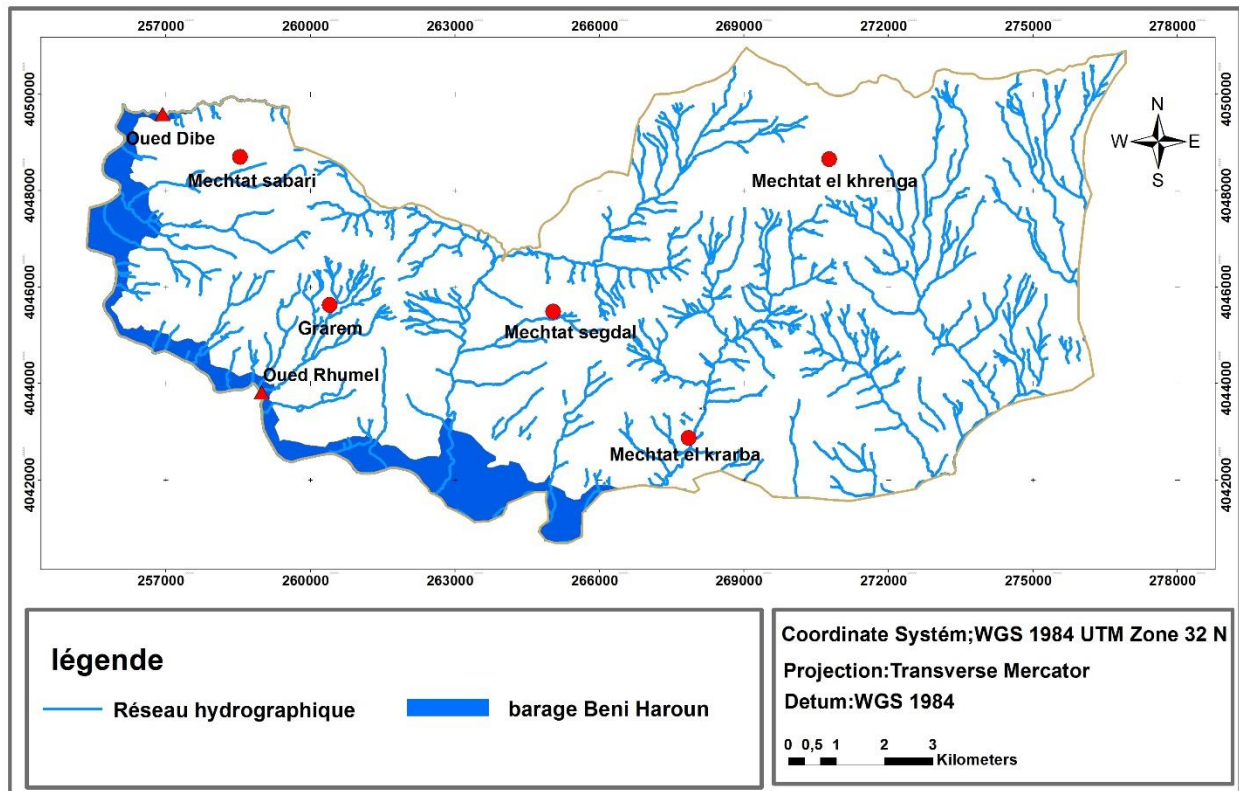


*Fig.I.4. Carte des végétations de la commune de Grarem Gouga (Image satellitaire 2022).*

#### I.5. Réseaux hydrographiques

L'hydrographie de Grarem Gouga (Fig.I.5) est représentée par deux grands oueds, ou ces oueds sur la carte du réseau hydrographique :

- Oued Rhumel.
- Oued Dib.



*Fig.I.5. Carte de réseau hydrographique de la commune de Grarem Gouga*

## I.6. Cadre socio-économique

L'étude socio-économique a pour objet de déterminer les différents éléments démographiques, et les activités économiques et leurs impacts sur la dynamique de l'occupation des sols dans la zone étudiée.

### A. La population

La population dans la commune de Grarem, Gouga selon le RGPH-ONS 2008 et la population en 2019 sont données dans le tableau I. 2. D'après les renseignements fournis par le Plan Directeur d'Aménagement et de l'Urbanisme (le PDAU) de la wilaya de MILA, le taux d'accroissement démographique de la zone d'étude est de 1,5 %.

*Tab.I.2. Répartition de la population et la densité de la zone d'étude (Benhamimed et Birouk) 2019).*

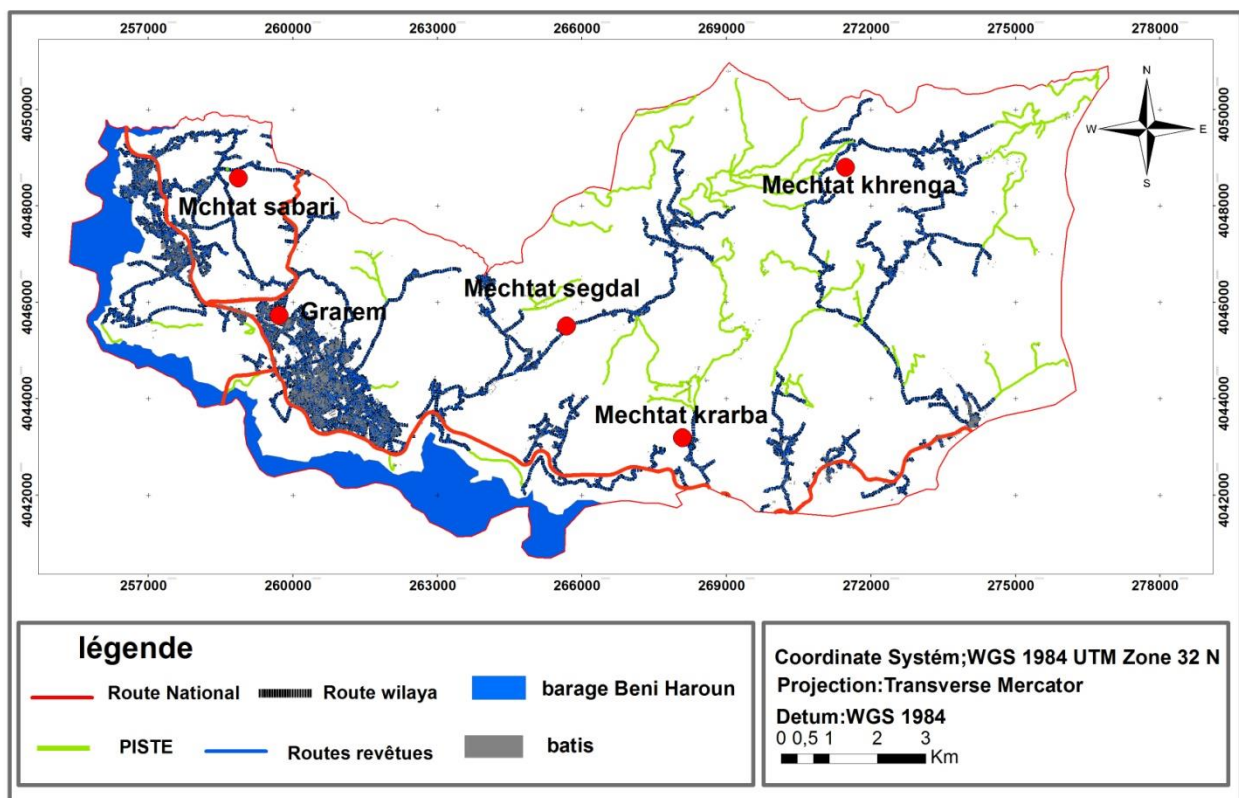
Commune	Population (2008)	Taux d'accroissement moyen (%)	Population (2019)	Superficie km <sup>2</sup>	Densité Hab/km <sup>2</sup> 2008	Densité Hab/km <sup>2</sup> 2019
Grarem Gouga	42062	1,5	49547	130,78	321,62	378,86

### B. Les infrastructures de base

Ils se représenté sur le (Tab.I.3) et (Fig.I.6) par tous les constructions urbaniques et les réseaux des route qui se trouve dans la commune de Grarem,Gouga

**Tab.I.3.** Répartition des infrastructures de la commune de Grarem Gouga (Image satellitaire 2022).

<i>Infrastructure</i>	<i>Unité</i>	<i>Longueur / surface</i>
Bâtis	km <sup>2</sup>	1,38
Route national	Km	30,18
Route revêtus	km	281,69
Route piste	km	76,09



**Fig.I.6.** Carte d'infrastructure de la commune de Grarem, Gouga (Google Earth Pro 2022).

## I.7.Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté la commune de Grarem Gouga et ses caractéristiques naturelles : localisation, morphologie, reliefs, pentes, réseaux hydrographiques, couvert végétal et cadre socio-économique. L'analyse de ces différents paramètres physiques permet de conclut les facteurs interviennent et concourent dans l'instabilité de la zone d'étude.

***CHAPITRE II :***  
***DESCRIPTIONS GEOLOGIQUES ET***  
***LITHOLOGIQUES***

## II.1. Introduction

L'aire d'étude appartient au domaine tellien, segment oriental de la chaîne des maghrébides, qui représente la chaîne alpine d'Afrique du Nord (M. Durand Delga, 1969).

Cette chaîne constituée de nappes à vergence Sud. Elle est issue de trois domaines paléogéographiques différents qui sont du Nord au Sud :

- Le domaine interne.
- Le domaine des flysch.
- Le domaine externe.

## II.2. Caractéristiques géologiques du bassin de Mila

Le bassin de Mila constitue la partie occidentale du grand bassin néogène constantinois (P.E. Coiffait, 1992), il est limité au Nord par l'arête montagneuse du M'Cid Aicha et du Sidi Driss, au Sud par le djebel Ossmane et djebel Grouz, à l'Est par les massifs du djebel Akhal, Chettaba et Kheneg et à l'Ouest par les djebels Boucherf et Oukissène.

Tous ces massifs représentent le substratum du bassin de Mila, qui proviennent de domaines paléogéographiques différents.

## II.3. Géologie locale

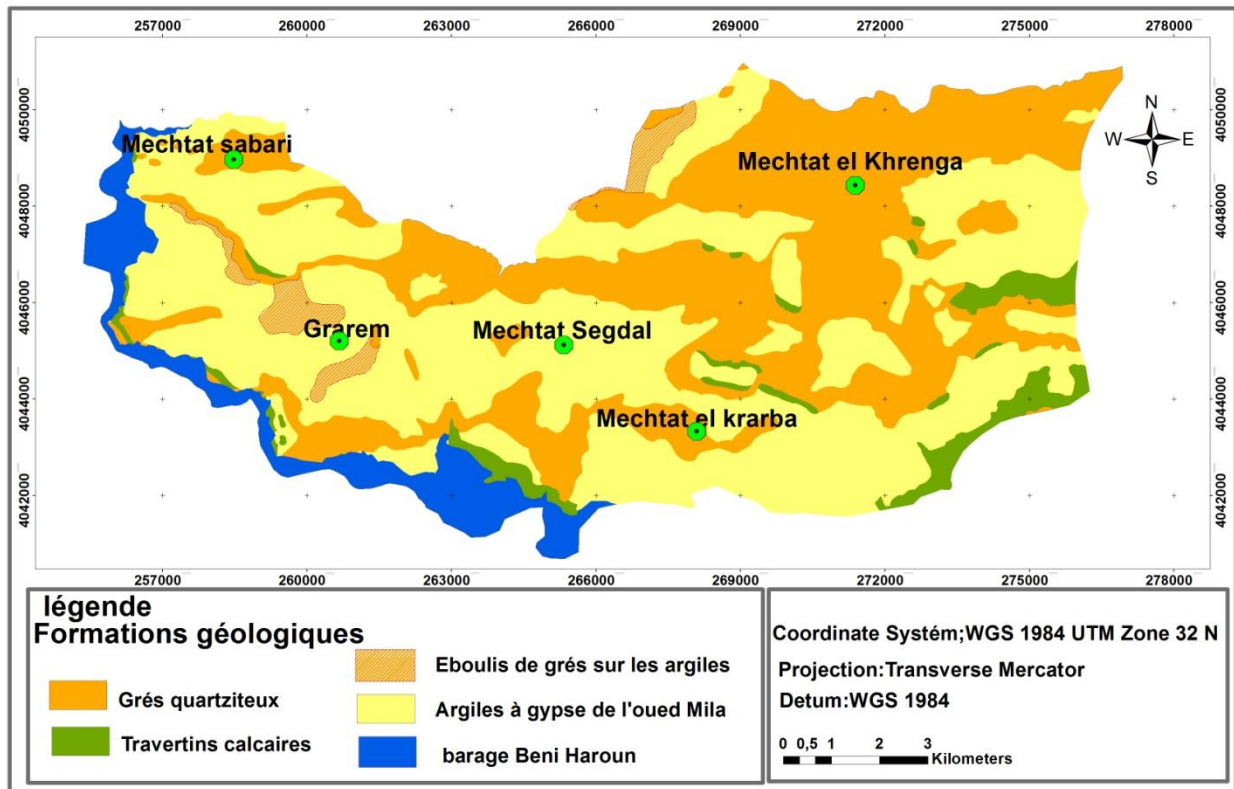
La région de Grarem Gouga fait partie de la chaîne Alpine de l'Algérie nord orientale. Cette dernière constitue un tronçon des chaînes plissées d'Afrique du Nord, les Maghrébines. D'après la carte de Joleaud (1910) les formations géologiques qui affleurent dans la région de Grarem, Gouga sont principalement représentées par les formations telliennes (Fig. II.3), qui sont :

- **Eboulis de grés** : Surmontant les argiles du Smendou, entre Siliana et Dar el Fouini.

De couleur jaune ou rouge, ils renferment des cailloux roulés, principalement au pied de la chaîne numique.

- **Argiles à gypses de l'oued Mila** : argiles grises à gypse, qui se relie, vers le Sud, aux argiles à Hélices dentées (*Leucochroa Semperi* Crosse, *Helix subsenilis* Crosse) et *Biliminus Jobae* Crosse, de la feuille de Constantine ; plusieurs bancs de conglomérats gris s'intercalent dans des argiles de même facies au Sud de Gravelotte.

- **Grés quartziteux** : grés rougeâtres, composé de grains de quartz solidement agglomérés par une pâte très homogène ; de distance en distance s'y intercalent des zones argileuses noirâtres.
- **Travertines calcaires** et calcaires concrétionnés couronnant les poudingues rouges dans le douar Guettara , particulièrement au dessus de Dar el Fouini.



*Fig. II.1. Carte lithologique de la commune de Grarem Gouga (d'après la carte géologique au 1/50000 de Sidi Dris et la carte géologique au 1/50000 de Sidi Merouane). A refaire, formation géologique d'après la cart géologique au 1/50000 de Sidi Dris M.L.Joleaud 1910*

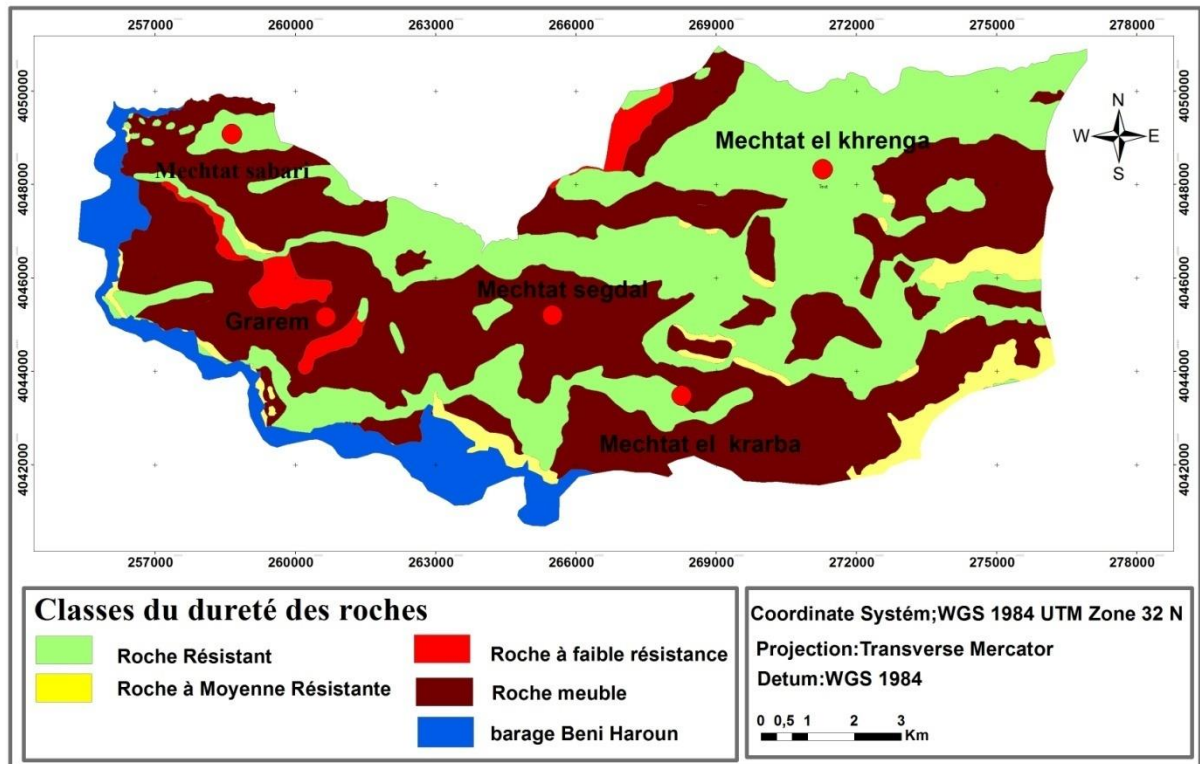
### II.3.1. Classification lithologique de la zone étudiée

Les formations géologiques de la commune de Grarem Gouga se classer selon leur Susceptibilité et selon leur dureté sur la carte présente dans la figure II.2.

- Grés quartziteux** : sont des formations résistante sà une Susceptibilité faible, avec une superficie de 53,05km<sup>2</sup>, soit 40,57 % de la zone étudié.
- Travertines** : s'étale sur une superficie de 5,70 km<sup>2</sup>, soit 4,36 % de la zone étudié. Caractérisées une Susceptibilité moyenne et aussi une moyenne résistance.

c) **Eboulis de grés** : ces formations sont caractérisées une Susceptibilité forte et une résistance faible, avec une superficie de 3,30 km<sup>2</sup>, soit 2,52 % de la zone étudié.

d) **Argiles à gypses de l’oued Mila** : sont des formations meubles à une très forte Susceptibilité, avec une superficie de 68,73 km<sup>2</sup>, soit 52,56 % de la zone étudié.



**Fig. II.2.** Classe de dureté des roches lithologique de la commune de Grarem Gouga.

Les caractéristiques et la répartition surfaciques de chaque une de ces formations sera présenté sur le tableau II.1.

**Tableau. II.1.** Classification et répartition spatiale des différentes formations lithologique de la commune de Grarem Gouga.

Formation lithologique	Vulnérabilité	dureté	Sup (km2)	Sup (%)
Grés quartziteux	Faible	résistante	53,05	40,57
Travertines calcaires	Moyenne	résistance moyenne	5,70	4,36
Eboulis de grés sur les argiles	Forte	résistance faible	3,30	2,52
Argiles à gypses de l’oued Mila	Très forte	meuble	68,73	52,55

<b>Totale</b>	130,78	100
---------------	--------	-----

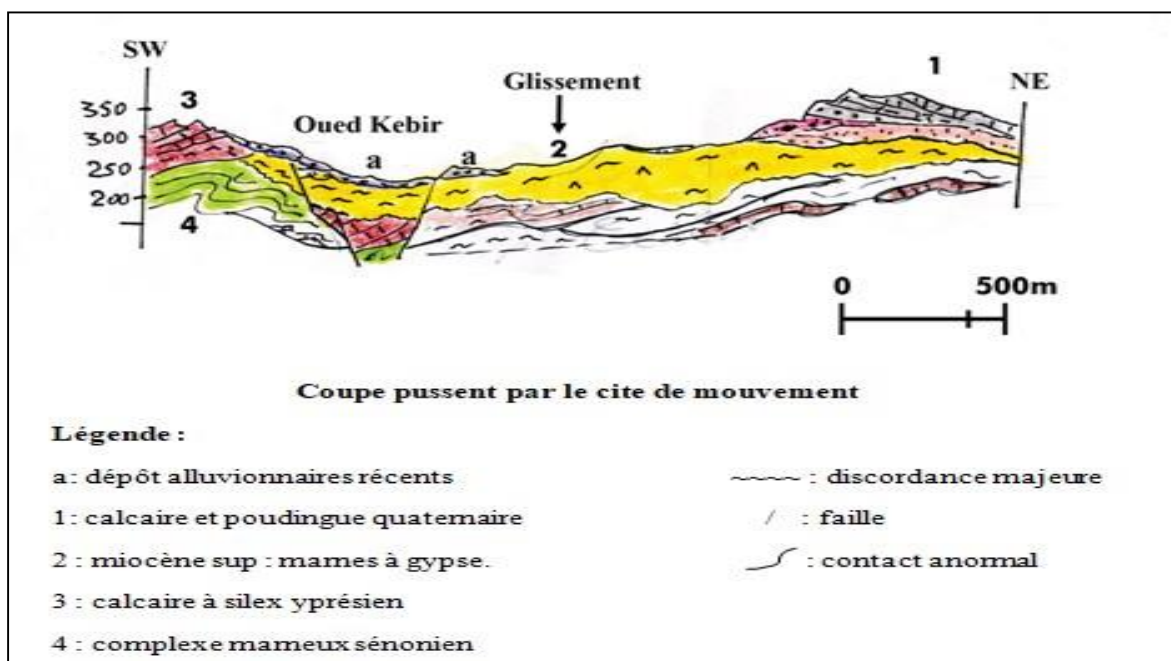
La coupe géologique exécutée selon l'orientation SW-NE (Fig.II.5) présente l'essentiel des structures et des formations lithologiques constituant l'assiette et les berges de l'oued Kebir.

Cette coupe montre la vallée d'Oued Kbir occupant un effondrement topographique issue de la structuration tectonique de la région.

En effet le domaine tellien a été pendant le tertiaire le siège de mouvement tectonique ayant en grande des chevauchements et charriages des nappes à vergence sud.

Durant le miocène supérieur une distension régionale a permis la mise en place de bassin d'effondrement au sein des nappes telliennes régionales. La vallée d'Oued Kbir fait partie du bassin Néogène de Mila. Le miocène marneux repose en discordance Sur substratum des nappes telliennes (sénonien et éocène) plissées.

Des dépôts plus récents occupant les zones hautes de la région constitués par des calcaires lacustres et des conglomérats rouges du quaternaire.



**Fig. II.3.** Coupe géologique (SW- NE) de la commune de Grarem Gouga, en collaboration avec Mr Y. Rouikha.

#### II.4.Sismicité

Le règlement parasismique Algérien, (version 2003), divise le territoire national (Figure II.6) en cinq zones de sismicité croissante définies comme suite :

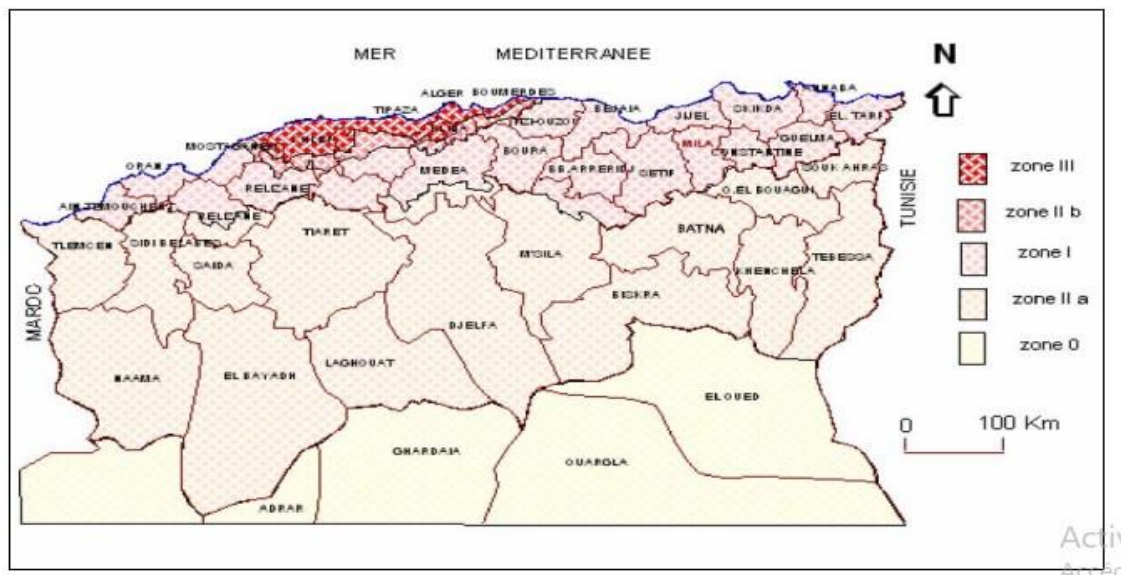


- Zone 0 : Sismicité négligeable.
- Zone I : Sismicité faible.
- Zone (II a, II b) : Sismicité moyenne.
- Zone III : Sismicité élevée.

La zone d'étude appartient à la zone II-a d'une sismicité moyenne comme la montre la carte des zones de sismicité de l'Algérie (Fig.II.5).

Le séisme le plus proche, montré dans le rapport HARZA (préparé au cours de l'étude du barrage de Bni Haroun), est celui du 04 Out 1908, de magnitude estimée à 5,2 (intensité Mercalli modifié : VIII), à une distance épacentrale de 29Km, Ainsi que les magnitudes enregistrées depuis 1970 variés de 4 et 5.

- Le séisme de 23/08/78 dans la zone de chevauchement de Sidi Merouane à une distance de 16 km du site du barrage de Beni Haroune avec une magnitude non déterminée mais probablement inférieure à 3.5 (Mm).
- Le séisme de 20/12/83 dans le massif de Sidi Driss à environ 27 km à l'Est du site avec une magnitude de 4.6 (Mm).
- Le séisme répertorié comme le plus important sur un rayon de 50 km autour de la ville de Mila est celui de 27/10/85 de magnitude 5.9 (Mm) et dont l'épicentre est situé au Nord-Est de Constantine (à Ibn Badis).



**Fig. II.4.** Carte sismique de l'Algérie (G.G.S, 2003).



***CHAPITRE III:***  
***CARACTERISTIQUE HYDRO***  
***CLIMATOLOGIQUE***

### III.1. Introduction

La plupart des risques liés aux phénomènes de glissements de terrain ont eu lieu durant les saisons de pluies (pluies torrentielles) et/ou, de la fonte des neiges et de glace selon le régime d'écoulement et que des facteurs plus subtils entrent en jeu. Ainsi, une période de sécheresse provoque des fissurations par retrait des sols argileux superficiels, ce qui facilite l'infiltration de l'eau dans ces fissures lors d'épisodes pluvieux et déstabilisants. (Hamadou, 2011). Ce rôle primordial nous mène à faire une étude hydro-climatique de la région d'étude.

Dans ce chapitre, on s'intéressera à l'étude des valeurs de précipitation et température pour mieux comprendre les mécanismes d'échange et de circulation des eaux (évapotranspiration, infiltration et ruissellement) afin d'établir le bilan hydrologique.

### III.2. Etude climatologique

Dans cette étude les données climatologiques utilisées appartiennent à la station la plus proche de la zone d'étude, représentées par la station de Hamala-Grarem, dont les coordonnées sont indiquées dans le Tableau III.1. Ces données allant de 1980 à 2019.

*Tab III.1. Localisation géographique de la station de Hamala.*

Station	Code ANRH	X	Y	Z	Période d'observation (années)
Hamala-Grarem	10-06-03	848,5	352,8	460,569	1980-2019 (39 ans)

#### III.2.1. Précipitations

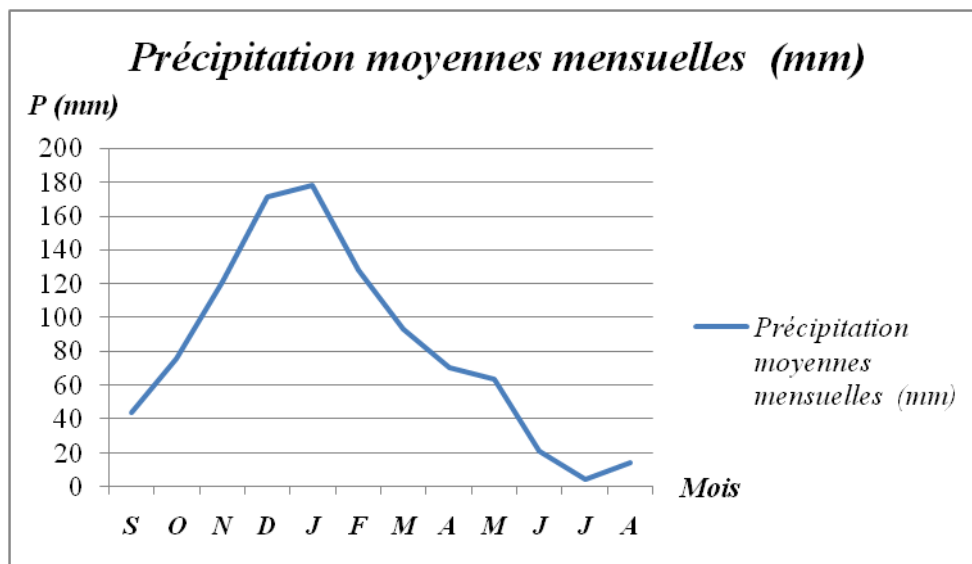
Lors des précipitations, notamment les premières averses importantes l'eau pénètre facilement à travers la surface déchirée du sol et l'imbibe. Ces eaux provoquent des changements brusques du comportement plastique du sol. Elle augmente la pression interstitielle et diminue, par conséquent, les paramètres de sa résistance au cisaillement. Autres facteur tels que de la topographie, la géologie, la durés, l'intensité et les caractéristiques de l'averse influence la stabilité des versants.

Le tableau.III.2. donne les précipitations moyennes mensuelles et saisonnières, enregistrées au niveau de la station de Hamala-Grarem, pour la période de 1980-2019.

**Tab. III.2.** Précipitations moyennes mensuelles et saisonnières (station de Hamala-Grarem, pour la période de 1980-2019).

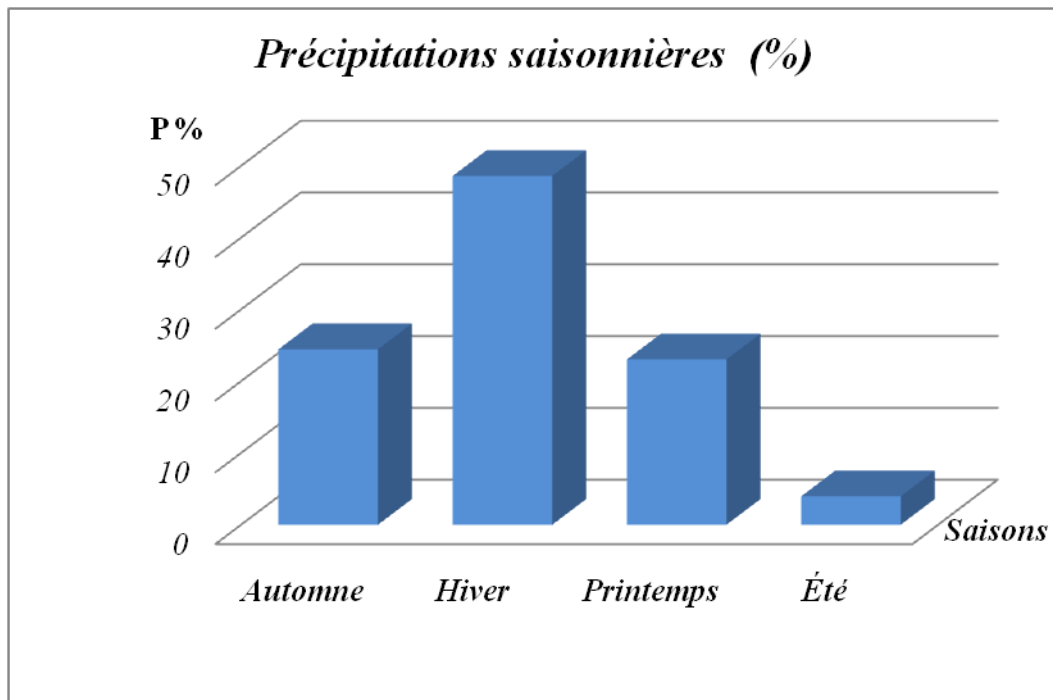
Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total
<b>Précipitation moyennes mensuelles (mm)</b>	43,4	75,5	121	171	178	128	93,2	69,7	63,2	20,98	3,9	13,85	981,73
<b>Saison</b>	<i>Automne</i>			<i>Hiver</i>			<i>Printemps</i>			<i>Été</i>			/
<b>Précipitation saisonnière (mm), (%)</b>	239,9			477			226,1			38,73			981,73
	24,44			48,59			23,03			3,95			100%

La représentation graphique des données de précipitations moyennes mensuelles enregistrées au niveau de la station de Hamala, est donnée sur la figure III.1.



**Fig.III.1.** Distribution des précipitations moyennes mensuelles en mm, station de Hamala (1980-2019).

La représentation graphique des données de précipitations saisonnières enregistrées au niveau de la station de Hamala, est donnée sur la figure III.2.



**Fig.III.2.** Répartition (pourcentage) des précipitations moyennes saisonnières, station de Hamala (1980-2019).

L'analyse de tableau.III.2 et des histogrammes des figures III.1- III.2 permettent de constater que :

- le maximum des précipitations est enregistré au mois de Janvier (178 mm), et le minimum pluviométrique est enregistré au mois de Juillet (3,90 mm).
- La saison la plus pluvieuse est l'hiver avec des précipitations de l'ordre de 477 mm soit 48,59% des précipitations totales.
- La saison la plus sèche est l'Été avec des précipitations de l'ordre de 38,73 mm soit 3,95% des précipitations totales.

### III.2. 2. Températures

La température constitue un facteur très important qui intervient dans le calcul de l'évapotranspiration. C'est bien évident que les contrastes importants de température (écart considérable de température) entre le jour et la nuit à un effet négatif sur le comportement des sols et des roches. En effet, les contrastes importants de température entraînent la désagrégation mécanique des roches.

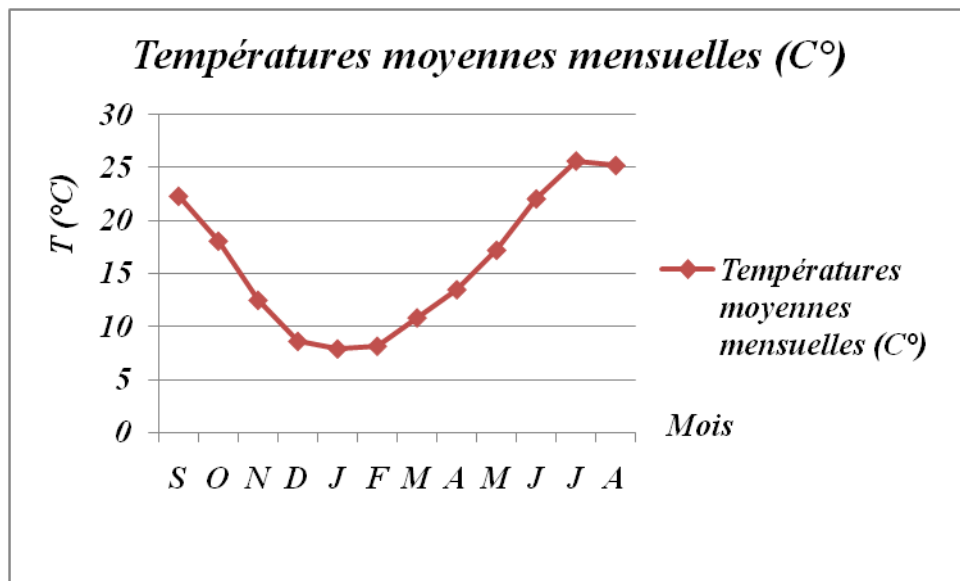
Le tableau III.3 présente la répartition des températures moyennes mensuelles et saisonnières enregistrées au niveau de la station de Hamala-Grarem, pour la période de 1980-2019.

**Tab. III.3.** Répartition des températures moyennes mensuelles et saisonnière (Station Hamala, 1980-2019)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moyenne
Températures moyennes mensuelles (°C)	22,28	18,06	12,5	8,64	7,93	8,19	10,85	13,5	17,2	22,03	25,59	25,17	16,00
Saison	Automne			Hiver			Printemps			Eté			
Températures moyennes saisonnières (°C)	17,61			8,25			13,85			24,26			

Le tableau permet de donner les constatations suivantes :

- la température moyenne est de l'ordre de 16 °C avec un maximum au mois de juillet (25,59°C), et un minimum au mois de janvier (7,93°C).
- la saison la plus froide correspond à l'Hiver avec une moyenne de 8,25°C, par contre la saison la plus chaude correspond à l'Été avec une moyenne de 24,26°C.



**Fig.III.3.** Distribution des températures moyennes mensuelles en °C, station de Hamala (1980-2019).

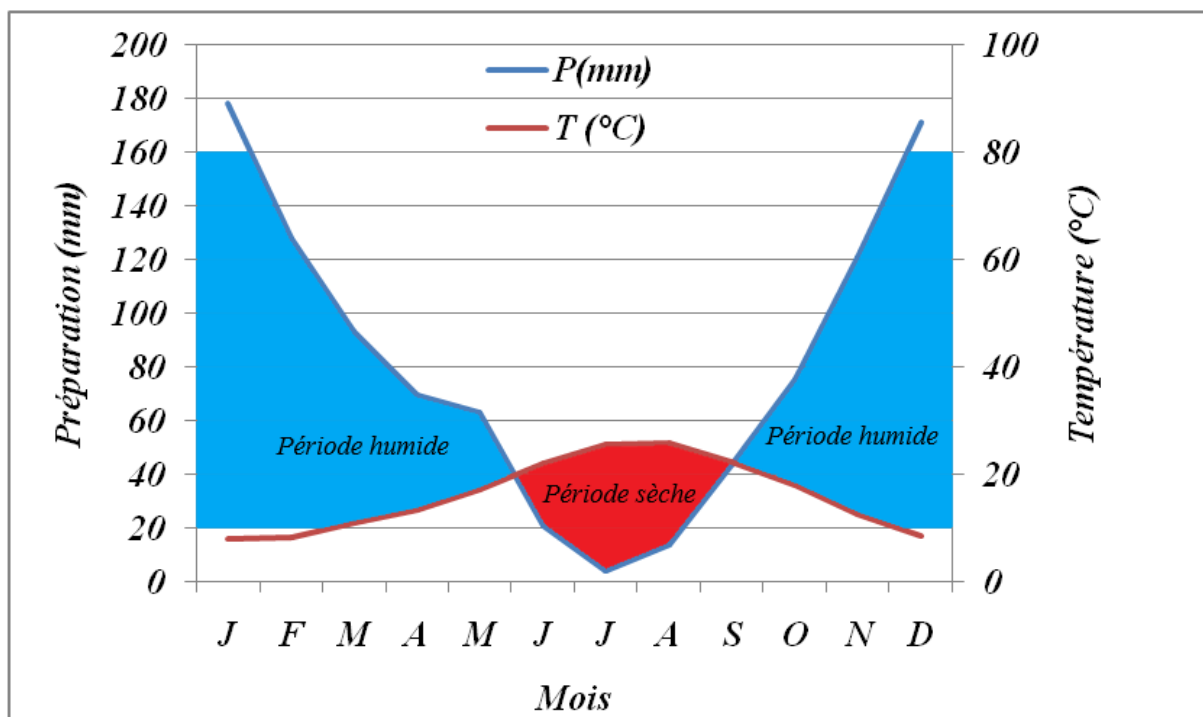
### III.2. 3. Diagramme Ombro-thermique

Un diagramme ombro-thermique est un type particulier de diagramme climatique représentant les variations mensuelles sur une année des températures et des précipitations selon des gradations standardisées : une gradation de l'échelle des précipitations correspond à deux gradations de l'échelle des températures ( $P = 2T$ ). Il a été développé par H. Gaussen et F.

Bagnouls, botanistes célèbres, pour mettre en évidence les périodes de sécheresses définies par une courbe des précipitations se situant en dessous de la courbe des températures.

**Tab. III.4.** Données moyennes mensuelles des précipitations et des températures, station de Hamala (1980-2019).

mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
<b>P (mm)</b>	178	128	93,2	69,7	63,2	20,98	3,9	13,85	43,4	75,5	121	171
<b>T (°C)</b>	7,93	8,19	10,85	13,5	17,2	22,03	25,59	25,71	22,28	18,06	12,5	8,64
<b>P/2T</b>	11,22	7,81	4,29	2,58	1,84	0,48	0,08	0,27	0,97	2,09	4,84	9,90



**Fig.III.4.** Diagramme ombro-thermique (station de Hamala ,1980-2019).

#### ▪ Interprétation sur le diagramme ombro-thermique

Le diagramme ombro-thermique représenté sur la figure III.4, permet de déduire que :

- la période hivernale (humide) s'étale entre le début du mois de septembre jusqu' au mois de mai.
- La période déficitaire (sèche) s'étale entre le début du mois de mai et va jusqu'au début du mois de septembre.



### III.2.4. Bilan hydrologique

L'établissement du bilan hydrologique selon Thornthwaite est primordial pour l'évaluation des réserves d'eau transmises ou emmagasinées dans une région. Ce bilan s'effectue sur une année hydrologique, période d'environ 12 mois choisie pour que les variations des réserves soient minimales. Il est exprimé par la formule suivante :

$$P = ETR + R + I + Wa$$

Avec :

**P** : Précipitations moyennes annuelles en mm.

**ETR** : Evapotranspiration réelle en mm.

**R** : Ruissellement en mm.

**I** : Infiltration moyenne en mm.

**Wa** : Variation des réserves (terme souvent négligeable).

#### III.2.4.1. Calcul de l'évapotranspiration

L'évapotranspiration est le processus biophysique de transfert d'une quantité d'eau vers l'atmosphère, par l'évaporation au niveau du sol et par la transpiration des plantes. Elle a pour but de quantifier les pertes en eau par retour à l'atmosphère sous forme de vapeur d'eau.

##### A- Calcul de l'évapotranspiration potentielle (ETP)

L'évapotranspiration potentielle (ETP) correspond à l'évapotranspiration d'une surface qui serait suffisamment approvisionnée en eau pour évaporer la quantité d'eau maximale permise par les conditions climatiques.

A cet effet, Thornthwaite a établi une corrélation entre la température moyenne mensuelle et l'évapotranspiration potentielle mensuelle. La formule utilisée pour le calcul d'ETP selon Thornthwaite est donnée comme suit :

$$ETP (mm) = 16 \left( \frac{10T}{I} \right)^a$$

$$ETP_C = ETP \cdot K$$

Avec :

**ETP<sub>C</sub>** : Evapotranspiration potentielle mensuelle corrigée en mm.

**K** : Coefficient de correction.

**ETP** : Evapotranspiration potentielle en mm.

**T** : Température moyenne mensuelle du mois considéré exprimé en °C.

**I** : Indice thermique annuel égal à la somme des indices mensuels des 12 mois, avec :

$$I = \sum i$$

$i$  : Indice thermique mensuelle d'où :  $i = \left(\frac{T}{5}\right)^{1,514}$

$a$  : Exposant climatique d'où :  $a = 0,016 \cdot I + 0,5$

D'après les données de la station de Hamala ,1980-2019 on a trouvé :

$$I = 74,44 \quad \text{et}$$

$$a = 1,69$$

### III.2.4.2. Calcul de l'évapotranspiration réelle (ETR)

L'évapotranspiration réelle (ETR) est la quantité d'eau évaporée ou transpirée selon les conditions climatiques réelles l'ETR est une fonction de l'ETR et de la quantité d'eau présente dans le sol.

L'évapotranspiration réelle désigne la quantité d'eau réellement perdue sous forme de vapeur d'eau par le couvert végétal. Alors, L'ETR traduit l'ensemble des interactions : sol, plante, climat. L'ETR peut calculer selon la méthode de Thornthwaite comme suit :

- Si les précipitations du mois (P) sont supérieures à l'évapotranspiration potentielle : ETR=ETP. La quantité d'eau qui reste (P-ETR) va alimenter la RFU jusqu'à son maximum (100 mm) et si elle dépasse cette valeur il y aura un excès qui va partir soit sous forme d'infiltration efficace vers la nappe, soit sous la forme de ruissellement.
- Si les précipitations du mois (P) sont inférieures à l'évapotranspiration potentielle, la valeur de ETR = P + RFU, jusqu'à égalisation avec ETP. Si la RFU est nulle, il va se produire un déficit agricole  $Da = ETP - ETR$ , ce dernier paramètre représente alors le besoin des cultures à l'irrigation.

**Tab. III .5. Bilan hydrologique selon la méthode Thornthwaite**

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	Total
<b>P (mm)</b>	43,40	75,50	121	171	178	128	93,20	69,70	63,20	20,98	3,90	13,85	<b>981,73</b>
<b>T (°C)</b>	22,28	18,06	12,50	8,64	7,93	8,19	10,85	13,50	17,20	22,03	25,95	25,71	/
<b>i</b>	9,61	6,98	4	2,29	2,01	2,11	3,23	4,50	6,49	9,44	11,85	11,93	<b>74,44</b>
<b>K</b>	1,03	0,97	0,86	0,84	0,87	0,85	1,03	1,1	1,21	1,22	1,24	1,16	/
<b>ETP</b>	102,03	71,55	38,41	20,57	17,80	18,8	23,24	43,76	65,89	100,10	128,92	129,91	/
<b>ETPc</b>	105,09	69,40	33,03	17,28	15,49	15,98	31,15	48,14	79,73	122,12	159,86	150,70	<b>848,04</b>
<b>P-ETPc</b>	-61,69	6,1	87,97	153,72	162,51	112,02	62,05	21,56	-16,53	-101,12	-155,96	-136,85	/
<b>RFU</b>	0	0	53,1	100	100	100	100	100	66,76	0	0	0	/
<b>DA</b>	61,69	0	0	0	0	0	0	0	0	17,67	155,96	136,92	<b>372,24</b>
<b>EX</b>	0	0	0	147,79	162,51	112,02	62,05	21,56	0	0	0	0	<b>505,93</b>
<b>ETR</b>	43,40	69,40	33,03	17,28	15,49	15,98	31,15	48,14	79,73	104,45	3,90	13,85	<b>475,8</b>

La représentation graphique du bilan hydrologique de la région est donnée sur la figure III.5.

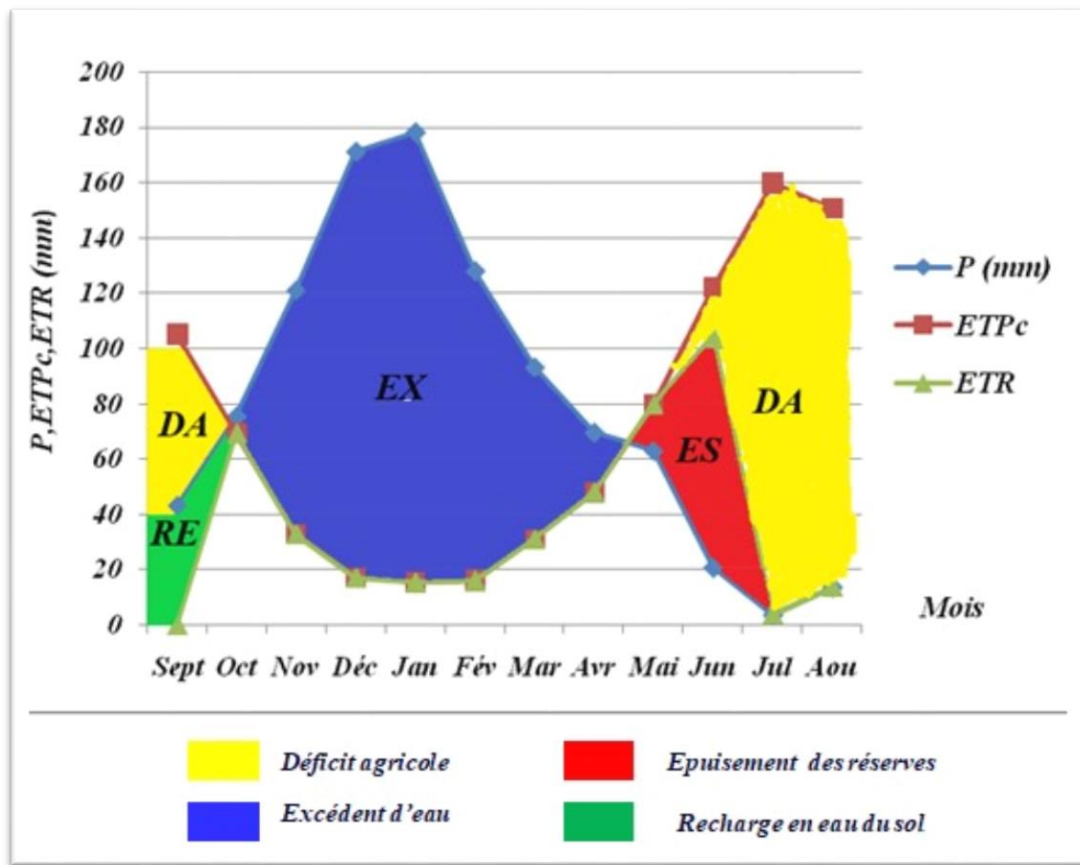


Fig.III.5.Représentation graphique du bilan hydrologique (Station de Hamala ,1980-2019).

### III.2.4.3. Estimation du ruissellement et de l'infiltration

#### A- Le ruissellement

Puisque la précipitation est supérieure à 600 mm, la formule de Romantchouk, (1974) a été utilisée.

$$R = \frac{P^3}{3}$$

Avec :

**R** : Ruissellement en (mm).

**P** : Précipitations moyennes annuelles (mm).

$$R = (981,73)^3 / 3$$

$$R = 0,31539 \text{ m} \Rightarrow R = 315,39 \text{ mm}$$

$$R (\%) = (R \cdot 100) / P \Rightarrow R (\%) = 32,13\%$$

- La valeur du ruissellement (R) obtenue est de 315,39 mm, correspondant 32,13% des précipitations.

### B- l'infiltration

Elle est estimée à partir du bilan hydrologique par la formule :

$$P = ETR + R + I + Wa$$

Où :

**Wa** : variation des réserves souvent négligeables.

Alors : L'infiltration est exprimée par :

$$I = P - (ETR + R) = EX - R$$

$$I = 981,73 - (475,8 + 315,39)$$

$$I = 190,54 \text{ mm}$$

$$I\% = I \cdot 100 / P \Rightarrow I (\%) = 19,41\%$$

- Donc l'infiltration représente **19,41%** des précipitations.

#### ❖ Interprétation du bilan hydrologique

A partir des résultats obtenus (tableau III .5 et figure III.5) pour cette station nous constatons que :

- La région d'étude reçoit des précipitations moyennes annuelles de l'ordre de 981.73mm et une température moyenne annuelle de 16°C.
- L'évapotranspiration potentielle (ETP) atteint son minimum au mois de janvier (17,80 mm).
- L'évapotranspiration potentielle (ETP) atteint son maximum (129,91mm) au cours de la période sèche au mois d'août.
- L'excédent d'eau est rédigé du mois de décembre au mois d'avril. L'accroissement du volume d'eau durant cette période (saturation du sol) dont le rapport de ruissèlement au niveau du station des Hamala est de l'ordre de 32, 13%, ainsi que l'infiltration et de l'ordre de 19,41% rend l'instabilité du versant important.
- Le déficit agricole s'étale sur la durée sèche de l'année, du mois de juin au mois de septembre.
- Les précipitations deviennent supérieures à l'ETP à partir du mois de Novembre jusqu'à le mois d'Avril. Ça se signifie qu'il y a une reconstitution des réserves du sol jusqu'à la saturation, le surplus va représenter l'écoulement superficiel.
- La reconstitution des réserves facilement utilisables du sol (RFU), commence par le mois d'octobre et finit au mois de mai, ces réserves atteignent leurs maximum (100mm) au mois de Décembre jusqu'au mois d'Avril. Cette saturation permet de former un excédent de l'ordre de 505,93 mm, allant du mois de Décembre jusqu'au le mois d'Avril.

- L'épuisement de la réserve facilement utilisable avec l'agrandissement d'évapotranspiration et la diminution des précipitations, donne l'occasion à un déficit agricole de l'ordre de 372.24 mm à apparaître. Ce dernier, commence du mois de Juin jusqu'au mois de Septembre.
- L'évapotranspiration réelle (ETR) total est de 475.8 mm.

***2EME PARTIE :EVALUATION DU  
RISQUE GT PAR  
L'APPLICATION DES SYSTEMES  
D'INFORMATIONS  
GEOGRAPHIQUES***

**CHAPITRE IV :**  
***NOTION SUR LES GLISSEMENTS***  
***DE TERRAINS***

## IV.1. Introduction

Un glissement de terrain correspond au déplacement d'une masse de matériaux cohérents le long d'une surface de rupture sous l'effet de la gravité (Varnes, 1978). Phénomènes multiples (rotationnels, translationnels, mixtes) et complexes, associant un secteur de rupture en amont et un secteur d'accumulation en aval, ils peuvent être ponctuels, superficiels, lents, limités dans l'espace et dans le temps mais également rapides, et de grande ampleur affectant dans ce cas des versants entiers.

## IV.2. Qu'est-ce qu'un mouvement de terrains ?

Le glissement de terrain est un phénomène géologique qui correspond au déplacement de terrains meubles ou rocheux le long d'une surface de rupture (Fig.IV.1). Des glissements de terrain peuvent être à l'origine de catastrophes naturelles engendrant des morts. Ils se produisent généralement dans des matériaux faiblement cohérents (marnes, argiles).

Un glissement de terrain se produit lorsque les contraintes de cisaillement, dues aux forces motrices telles que le poids excède la résistance du sol le long de la surface de rupture.



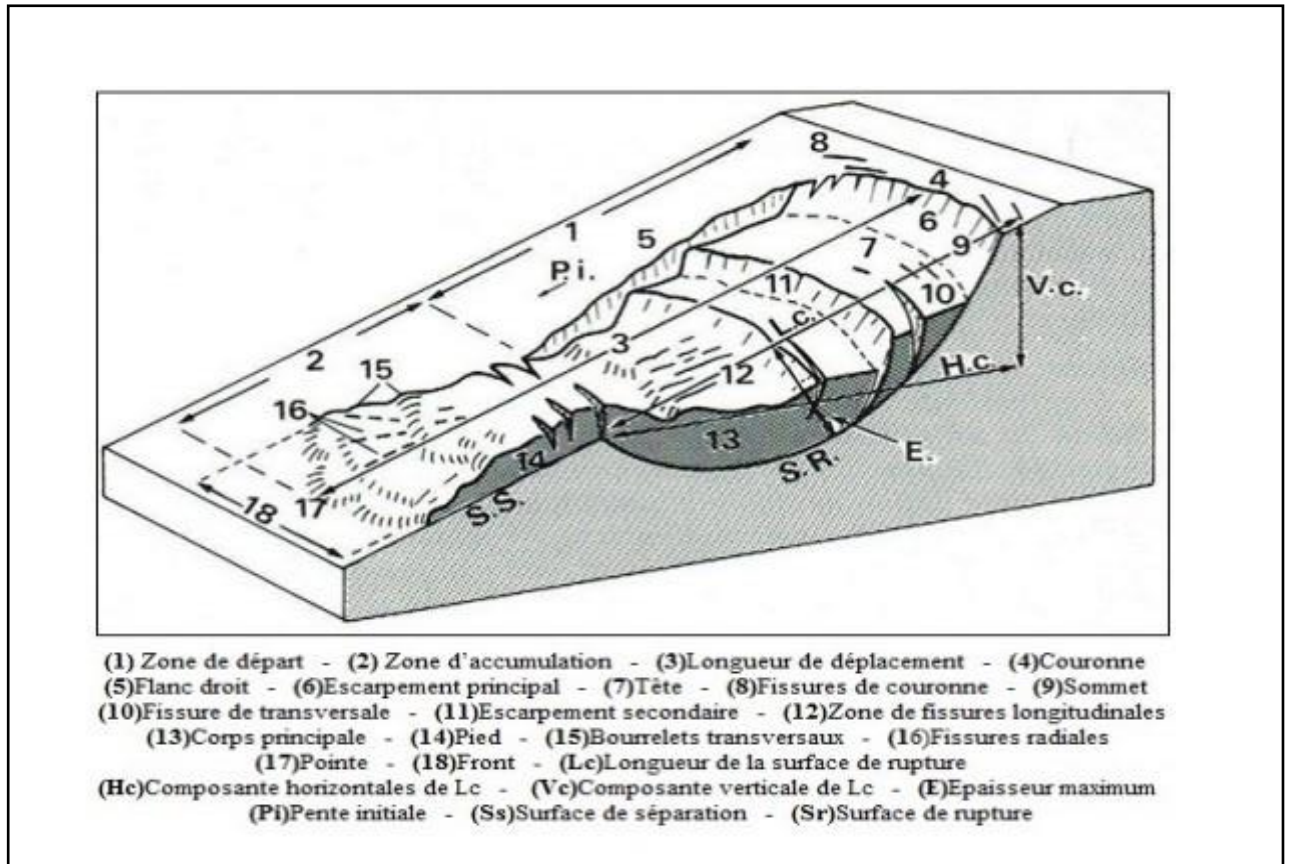
*Fig.IV.1. Glissement de terrains.*



### IV.3. Morphologie des glissements de terrain

La commission internationale sur les glissements de terrain a défini l'ensemble des éléments morphométriques et morphologiques composant un glissement de terrain comme suit (Fig.IV.2) :

1. **Couronne** : Zone située au-dessus de l'escarpement principal, souvent peu affectée par les désordres. Seules quelques fissures ou crevasses témoignent de la mise en traction des terrains dans cette zone.
2. **Escarpement principal** : Surface inclinée ou verticale souvent concave, limitant le glissement à son extrémité supérieure.
3. **Sommet** : Limite amont du glissement, point le plus élevé où le matériau glissé se trouve en contact avec l'escarpement principal.
4. **Tête** : Partie amont de la masse glissée sur l'escarpement principal.
5. **Escarpement secondaire** : Cicatrice semblable à l'escarpement principal mais visible dans la masse glissée.
6. **Corps** : Partie du matériau glissée au-dessus de la surface de glissement en amont du pied de la surface de glissement.
7. **Pied** : Partie de la masse glissée en aval du pied de la surface de glissement.
8. **Front** : Partie la plus aval du matériau glissé, en général de forme convexe.
9. **Surface de glissement** : Prolongation en profondeur de l'escarpement principal au-dessous de la masse glissée.



*Fig.IV.2. Éléments géomorphologiques d'un glissement de terrain.*

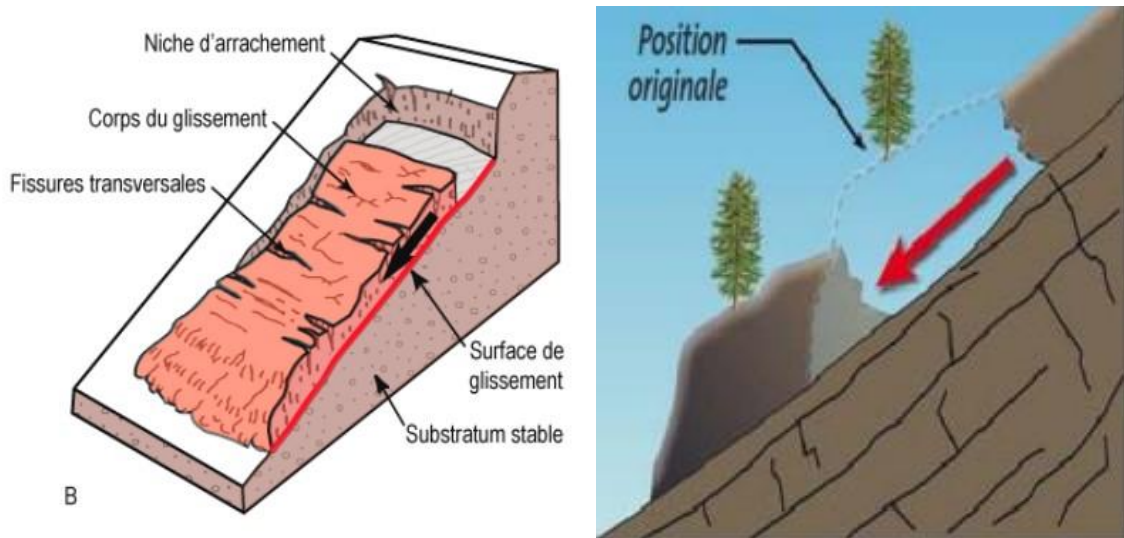
#### IV.4. Quels sont les types de glissement de terrain ?

Selon la géométrie de la surface de rupture, on distingue trois types de glissements :

- Glissement plan.
- Glissement rotationnel ou circulaire.
- Glissement complexes.

##### 1. Glissement plan ou translationnel

Ils se manifestent lorsqu'il existe une surface topographique pouvant guider une rupture plane: telle qu'une couche mince de caractéristiques médiocres sur un substratum (Fig.IV.3), Les volumes des masses en mouvement varient de quelques mètres cubes à plusieurs dizaines de millions de mètres cubes (Philippe, R. 1988).

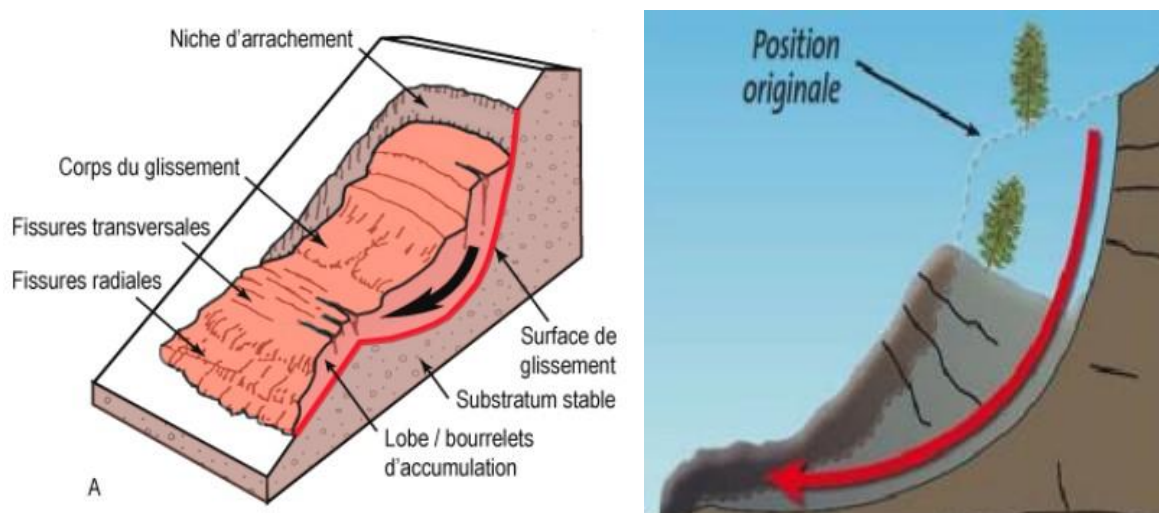


**Fig.IV.3.** Glissement plan (Durville, J. Gilles, S. 2000).

Les zones de flysch (dépôt sédimentaire détritique), les schistes marno-calcaires ou les schistes métamorphiques sont les formations les plus sujettes à ce genre de glissement.

## 2. Glissement rotationnel ou circulaire

Ils sont caractérisés par un basculement de la masse glissée le long d'une "surface de rupture" dont la forme est parfois assimilable à un cylindre à directrice circulaire (Fig.IV.4), c'est le cas en particulier des ruptures de remblai sur sols mous et de déblai en sols homogènes. Les volumes des masses en mouvement varient de quelques mètres cubes à plusieurs dizaines de millions de mètres.



**Fig.IV.4.** Glissement rotationnel (Durville, J. Gilles, S. 2000).

Ils se produisent principalement dans des terrains meubles homogènes surtout argileux et silteux.

### 3. Glissements complexe

Lorsque le sol est hétérogène ou anisotrope il peut y avoir formation de glissements "complexes" dont certaines parties correspondent à des mouvements rotationnels et d'autres à des mouvements plans. C'est le cas, en particulier, des remblais sur versants.

Les volumes des masses en mouvement varient de quelques mètres cubes à plusieurs dizaines de millions de mètres cubes (Philippe, R. 1988).

#### IV.5. Principales causes des glissements de terrain

Le processus d'instabilité d'une pente dépend de :

##### A. La nature du terrain

La nature de terrain dépend de la :

###### ➤ Géométrie de terrain

La pente de la surface du terrain constitue le premier facteur de stabilité ou d'instabilité.

La pente critique dépend de la nature des sols ou des roches (caractéristiques de résistance au cisaillement) et de la présence d'eau dans le massif.

###### ➤ Résistance au cisaillement des sols ou des roches

Parmi les facteurs qui régissent la stabilité d'une pente, la résistance mécanique des sols et des roches constitue un élément essentiel. Le mécanisme de rupture mis en œuvre dans les phénomènes d'instabilité fait intervenir la résistance au cisaillement. Cette résistance, en un point donné, dépend de la nature du matériau, de son histoire et de l'état de contraintes qui règne au point considéré. L'état de contraintes est fonction des diverses sollicitations appliquées au massif (chargement, déchargement, fluctuation de la nappe phréatique...).

##### B. Les actions extérieures qui agissent sur le sol

###### ➤ Actions hydrauliques

La compréhension du régime hydraulique du site est un élément essentiel pour l'analyse d'une instabilité. Ceci conduit à s'intéresser à une zone nettement plus grande que celle qui est en mouvement : en effet, les conditions d'alimentation peuvent être complexes et dépendre de couches de terrains situées bien en amont. La connaissance des conditions hydrauliques les plus défavorables nécessite une longue durée d'observations sur le terrain. Par exemple, on peut choisir de prendre en compte les régimes hydrauliques mesurés durant une année dont la pluviométrie est décennale.

### ➤ Les actions climatiques et anthropiques

Les facteurs climatiques prépondérants sont constitués par les apports d'eau. Les autres actions externes, susceptibles de modifier l'état d'équilibre d'un versant, résultent principalement de modifications de géométrie, de chargements et de déchargements.

### ➤ Pluie, neige, évapotranspiration

Les nappes sont alimentées principalement par les pluies et la fonte des neiges. D'autres phénomènes peuvent se rajouter, comme des infiltrations à partir de fossés, de bassins de rétention et d'adduction d'eau ou de réseaux d'assainissement.

### ➤ Séismes

Les sollicitations sismiques peuvent être la cause de glissements de terrain, deux phénomènes entrent en jeu dans ce cas sont La liquéfaction des limons et sables fins saturés, susceptible de provoquer le glissement des formations sus-jacentes la force inertielle déstabilisatrice due au séisme lui-même.

## IV.6. Classification des glissements de terrain

### IV.6.1. Selon la profondeur de la rupture

Les glissements de terrain peuvent être classés selon la profondeur de la rupture par rapport à la surface du sol, nous pouvons déterminer quatre (04) classes différentes représentées dans le tableau. IV.1:

**Tab.IV.1** : Classification suivant la profondeur du glissement (D'après l'office fédéral de l'environnement- division Prévention des dangers, 2009).

<i>Glissement</i>	<i>Profondeur</i>
Superficiel	0-2 m
Semi - profond	2-10 m
Profond	10-30 m
Très profond	> 30 m

#### IV.6.2. Selon la vitesse moyenne

Comme nous pouvons classer les glissements d'après la vitesse moyenne à long terme des mouvements en trois (3) classes (tableau. IV.2) :

**Tab.IV.2:** Classification suivant Classification selon la vitesse moyenne de glissement à long terme.

<i>Glissement</i>	<i>Vitesse de glissement en cm/an</i>
Substabilité, très lent	0-2 cm/an
Peu actif, lent	2-10 cm/an
Actif (lent avec phase rapides)	>10 cm/an

#### IV.7. Différentes phases de l'activité d'un glissement de terrain

Les glissements de terrain se caractérisent par des phases d'activité variables : des périodes de Glissements de terrains actifs vitesse de glissement plus élevée avec des phases de calme apparent (Fig.IV.5).

##### ➤ Glissements de terrains actifs

Un glissement de terrain est considéré comme actif si un mouvement peut être constaté. Le déplacement peut être minime, les déformations de moins d'un millimètre étant toutefois difficilement détectables.

Les glissements actifs comprennent les glissements présentant des vitesses plus ou moins constantes à long terme tout comme les glissements avec des phases successives d'accélération. (Aissa, M. 2011).

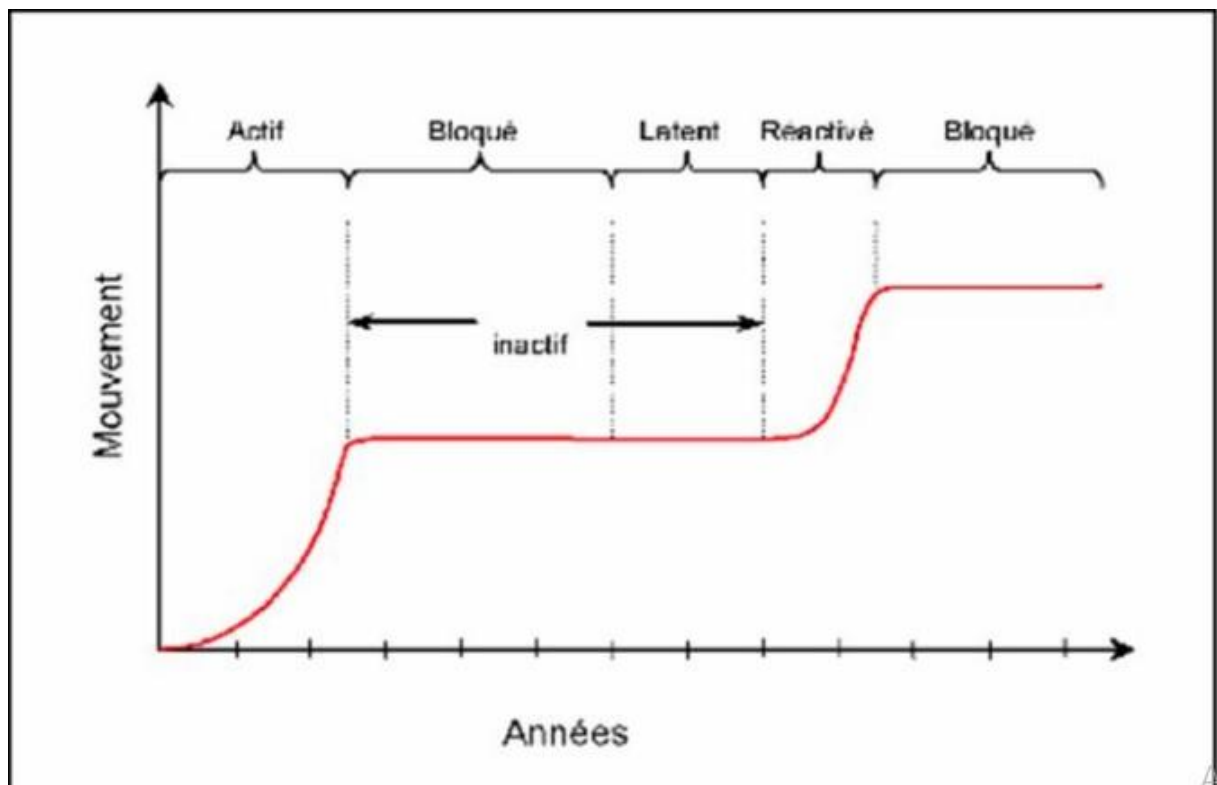
##### ➤ Glissements de terrains réactivés

Désignent les glissements de terrain qui quittent une phase inactive pour entrer dans une phase active. Habituellement, les glissements de terrain réactivés se déplacent le long d'une surface de glissement existante (Aissa, M. 2011).

➤ **Glissements de terrains inactifs**

Désignent les glissements de terrain restés immobiles pendant plusieurs années. Ceux-ci se subdivisent en quatre catégories :

- Glissements bloqués.
- Glissements latents.
- Glissements abandonnés.
- Glissements stabilisés. (Aissa,M. 2011).



*Fig.IV.5. Différentes phases de l'activité d'un glissement de terrain (Aissa, M.2011).*

***CHAPITRE V :***  
***METHODOLOGIE ET OUTILS***  
***D'ANALYSE ET DE***  
***GEOTRAITEMENT***



### V.1. Introduction

L'utilisation de techniques d'analyse spatiale et de la technologie SIG permet d'évaluer et de cartographier le risque de « glissement de terrain ». Le processus de création d'un modèle cartographique de la zone d'étude à l'aide d'un SIG consiste à localiser l'aléa et les zones présentant le plus grand potentiel de glissement de terrain. La thématique permet aussi de présenter des outils d'analyses pour la géo localisation de l'aléa glissement de terrain à l'échelle locale.

### V.2. Le Système d'Information Géographique (SIG)

Un système d'Information Géographique est un outil informatique permettant de représenter et d'analyser toutes les choses qui existent sur terre ainsi que tous les événements qui s'y produisent.

Les SIG offrent toutes les possibilités des bases de données (telles que requêtes et analyses statistiques) et ce, au travers d'une visualisation unique et d'analyse géographique propres aux cartes. Ces capacités spécifiques font du SIG un outil unique, accessible à un public très large et s'adressant à une très grande variété d'applications.

Les enjeux majeurs auxquels nous avons à faire face aujourd'hui (environnement, démographie, santé publique...) ont tous un lien étroit avec la géographie.

### V.3. Les composants d'un SIG

Le SIG est un système de gestion informatique capable de saisir, de stocker, d'analyser, de présenter sous forme de cartes ou de graphes des données localisées dans un espace géographique. Le SIG se définit comme des ensembles de données repérées dans l'espace et structurées de façon à pouvoir en extraire commodément des synthèses utiles.

Un Système d'Information Géographique est constitué de 5 composants majeurs (FigV.1):

- **Matériel** : Les SIG fonctionnent aujourd'hui sur une très large gamme d'ordinateurs des serveurs de données aux ordinateurs de bureaux connectés en réseau ou utilisés de façon autonome.
- **Logiciels** : Les logiciels de SIG offrent les outils et les fonctions pour stocker, analyser et afficher toutes les informations.

Principaux composants logiciel d'un SIG :

- Outils pour saisir et manipuler les informations géographiques.
- Système de gestion de base de données.
- Outils géographiques de requête, analyse et visualisation.

- Interface graphique utilisateur pour une utilisation facile.
- **Données** : Les données sont certainement les composantes les plus importantes des SIG. Les données géographiques et les données tabulaires associées peuvent, soit être constituées en interne, soit acquises auprès de producteurs de données.
- **Utilisateurs** : Un Système d'Information Géographique (SIG) étant avant tout un outil, c'est son utilisation qui permet d'en exploiter la quintessence.

Les SIG s'adressent à une très grande communauté d'utilisateurs depuis ceux qui créent et maintiennent les systèmes, jusqu'aux personnes utilisant dans leur travail quotidien la dimension géographique. Avec l'avènement des SIG sur Internet, la communauté des utilisateurs de SIG s'agrandit de façon importante chaque jour et il est raisonnable de penser qu'à brève échéance, nous serons tous à des niveaux différents des utilisateurs de SIG.

- **Méthodes** : La mise en œuvre et l'exploitation d'un SIG ne peut s'envisager sans le respect de certaines règles et procédures propres à chaque organisation.



*Fig V.1. Les composants d'un SIG.*

#### V.4. L'information géographique

L'information géographique comprend toutes les données localisables sur le territoire, sous forme de points, de cartes, de tableaux, d'images, etc. Elle renseigne sur :

- ✓ Le territoire ;
- ✓ La localisation et la répartition des ressources naturelles et environnementales;
- ✓ Les infrastructures (routes, immeubles, équipements, etc.);
- ✓ La population (caractéristiques socioéconomiques, sociodémographiques, etc.);
- ✓ Les domaines administratifs et juridiques.

L'information géographique est recueillie, par exemple, à partir de photos aériennes, puis cette information peut être consignée sur une carte. Mais, aujourd'hui, elle peut aussi être

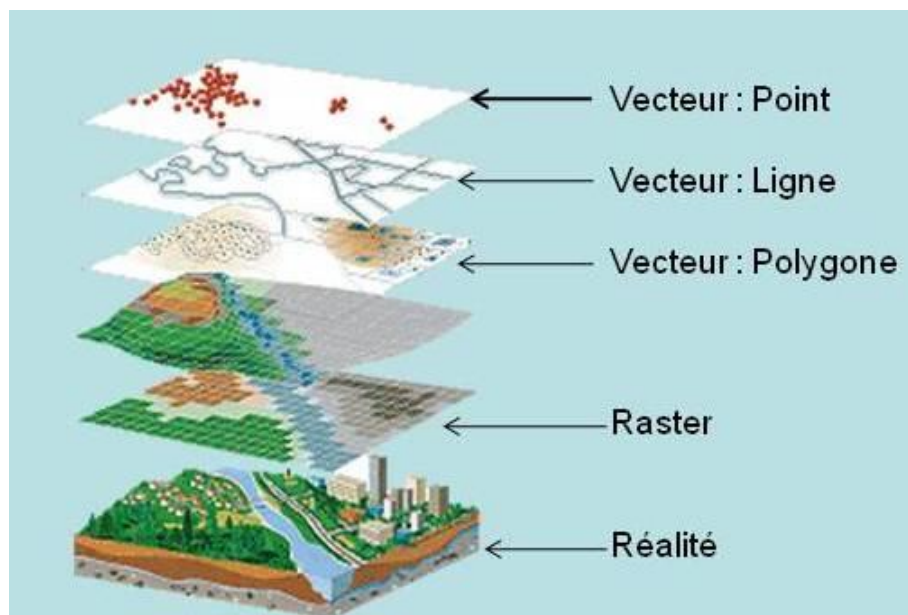
organisée, structurée et stockée dans des bases de données. Ces bases intègrent la localisation physique et la description des objets sur la surface de la Terre. L'information géographique devient alors utilisable dans un système d'information géographique par un très grand nombre d'utilisateurs.

### V.5. Modes de représentation de l'Information géographique dans un SIG

Un SIG contient généralement plusieurs sortes d'objets géographiques qui sont organisés en thèmes que l'on affiche souvent sous forme de couches. Chaque couche contient des objets de même type.

Deux modes de représentation

- Vectoriel : les objets sont représentés par des points, des lignes, des polygones ou des polygones à trous (Fig V.2) ;
- Matriciel (format raster) : il s'agit d'une image, d'un plan ou d'une photo numérisés et affichés dans le SIG en tant qu'image (Fig V.2).



*Fig V.2. Modes de représentation de l'Information géographique dans un SIG.*

## V.6. Moyenne et méthodes

### ❖ Les données utilisées

- Image satellitaire (landsat).
- Carte topographique au 1 /25000 de Sidi Driss (1-2, 5-6 et 7-8).
- Carte géologique au 1/50000 de Sidi Dris.
- Carte géologique au 1/50000 de Sidi Merouane.
- Modèle Numériques de terrain avec une résolution de 1m.
- Travail de terrain, observation effectuées par GPS.

### ❖ Logiciels utilisés

Les logiciels utilisés sont :

- Arc GIS 10.2.2.
- Easy Google Maps Downloader.
- Geo-Slope

## V.7. Méthode d'analyse spatiale

La première étape de notre étude consiste à citer les facteurs les plus représentatifs intervenant dans les phénomènes de glissement de terrain, inclinaison de la pente, lithologie et occupation des sols exprimés par le couvert végétal.

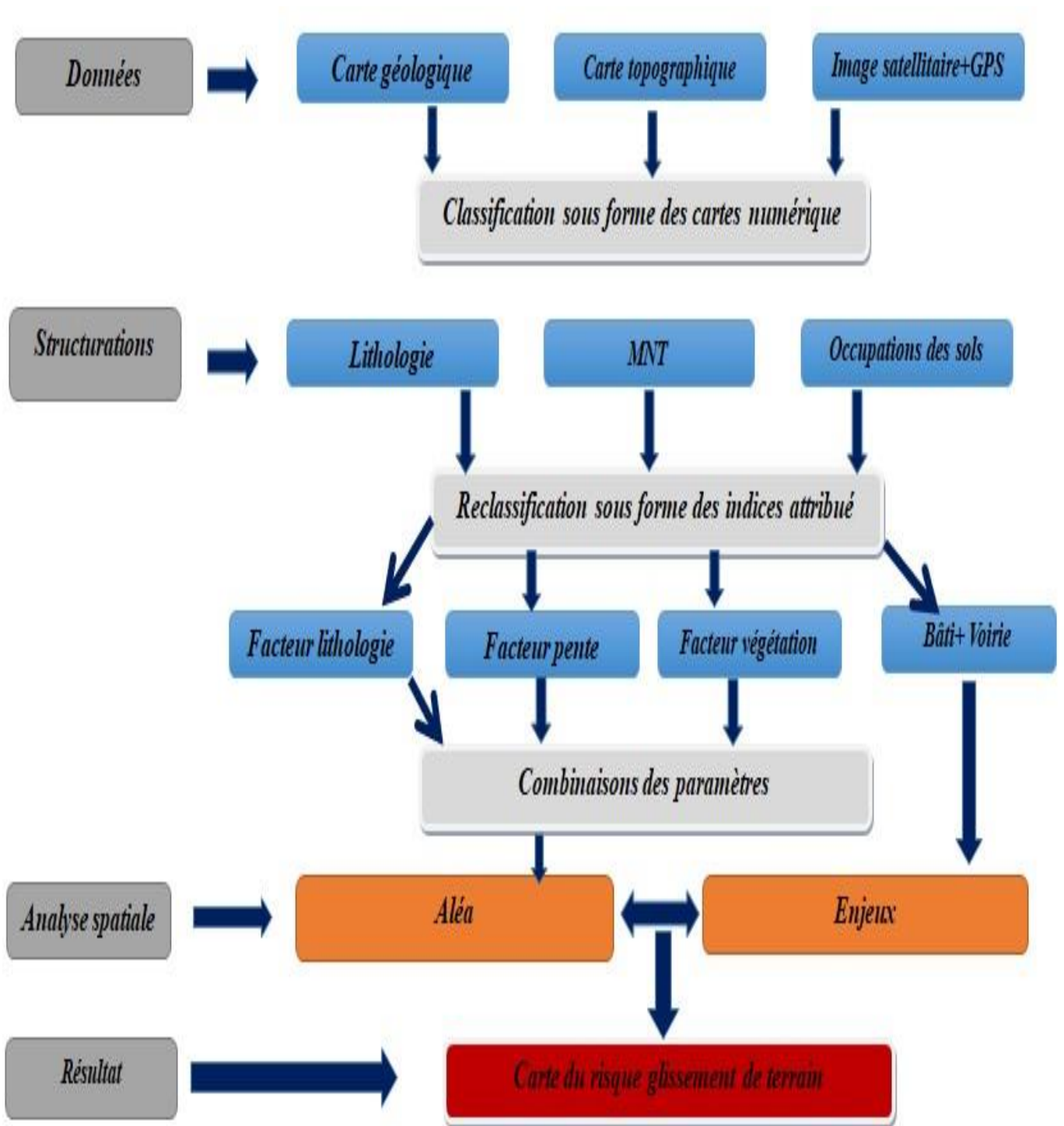
L'utilité de notre démarche réside et s'appuie sur l'apport des paramètres sous forme des données localisables par l'exploitation d'un SIG, permettant de spatialiser et caractériser le degré de vulnérabilité de glissement de terrain sur l'ensemble de la zone d'étude.

## V.8. Organigramme adoptée dans cette étude

D'après le schéma représenté en figure V.3. ci-dessous, la méthodologie utilisée est basée sur trois fondements principaux :

- Structuration des données dans un logiciel SIG
- Analyse des données
- Le géotraitement et production de l'information

La démarche prend en considération trois facteurs qui influents la stabilité des sols : pente, lithologie et végétation.



*FigV.3. Organigramme utilisé pour le géotraitement.*

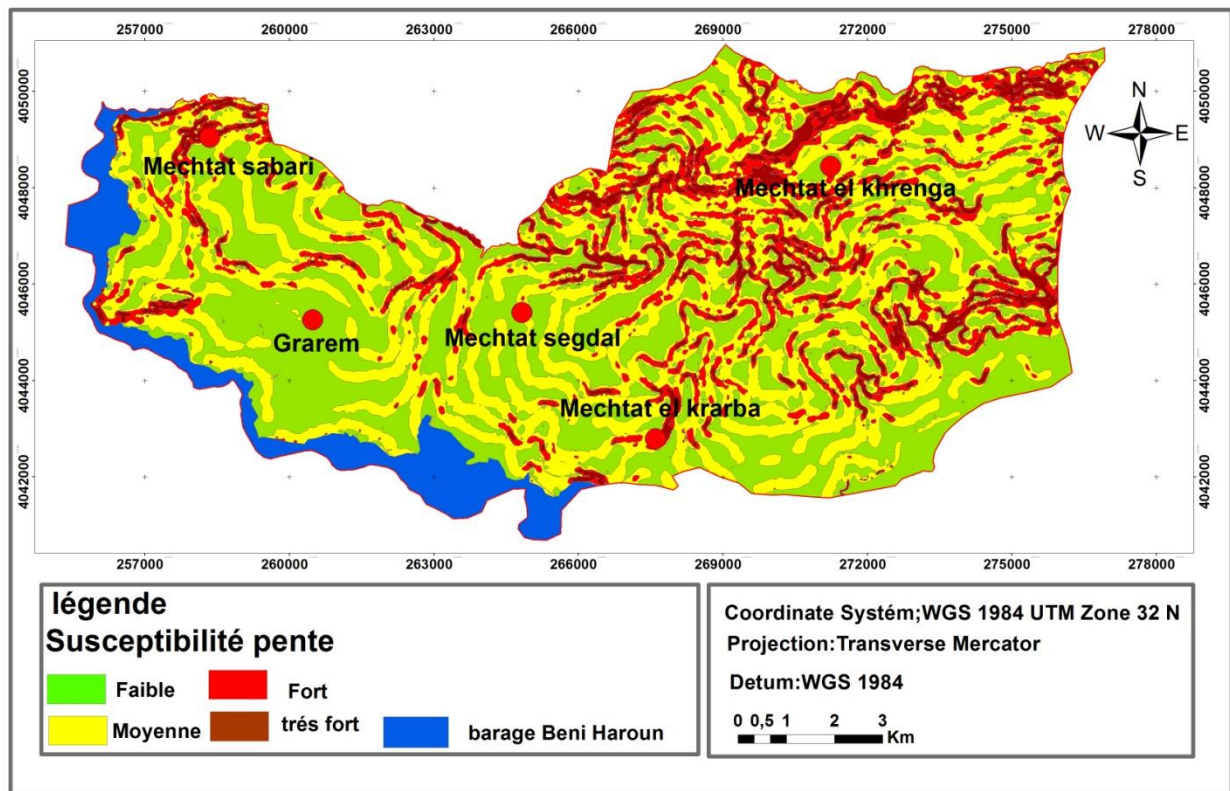
## V.9. Les paramètres aléas glissement de terrain

### V.9.1. Facteur pente

La pente a une grande influence sur la susceptibilité du sol aux glissements. Elle affecte directement la vitesse de ruissellement, accélérant le transit solide vers le bas et augmentant l'impact de l'ablation des matériaux détritiques.

En effet, la pente joue un rôle primordial dans l'occurrence des glissements de terrain et s'agit un facteur important dans l'étude de susceptibilité de glissement terrain.

La carte des pentes (Fig V.4) réalisée à partir du modèle numérique de terrain (MNT), nous a permis d'identifier quatre classes des pentes (tableau V.1). Selon la susceptibilité du glissement terrain.



*Fig V.4. Carte de Susceptibilité –Pente de la commune de Grarem, Gouga.*

L'examen de la carte des pentes (fig. V.4.) montre, que 41,14 % de la superficie de la zone d'étude présente une pente moyenne, celle-ci se trouve presque un tiers de la zone de la zone d'étude. La zone caractérisée par des classes des pentes faible (0 - 12) s'étale sur une superficie de 48,25 Km<sup>2</sup> soit 36,90 % de la zone d'étude, par contre 14,12 % Et 7,48 % représentent les classes des pentes fortes et très fortes (25-35), (>35) avec une superficie de 18,46 Km<sup>2</sup> et 10,26 Km<sup>2</sup> respectivement (Tab.V.1).

**Tab.V.1. Répartition surfacique des pentes dans la zone étude.**

Classe des pentes	Surface (Km <sup>2</sup> )	Surface (%)
0 - 12%	48,25	36,90
12 - 25 %	53,81	41,14
25 - 35 %	18,46	14,12
>35 %	10,26	7,84
<b>Total</b>	130,78	100

Les zones à susceptibilité faible et moyenne code (01) et (02) représentent une superficie de 36,90 Km<sup>2</sup> et 41,14 Km<sup>2</sup> respectivement, tandis que les zones marquées par des codes attribués 3 et 04 (fort et très fort) représentent 21,96 % de la zone d'étude (Tab.V.2). Le principe utilisé pour la spatialisation de degré d'alea de glissement terrain (selon le paramètre pente), les zones ayant la même classe des pentes exposent le même degré de susceptibilité (pente).

**Tab.V.2. Classe des pentes et indices attribués**

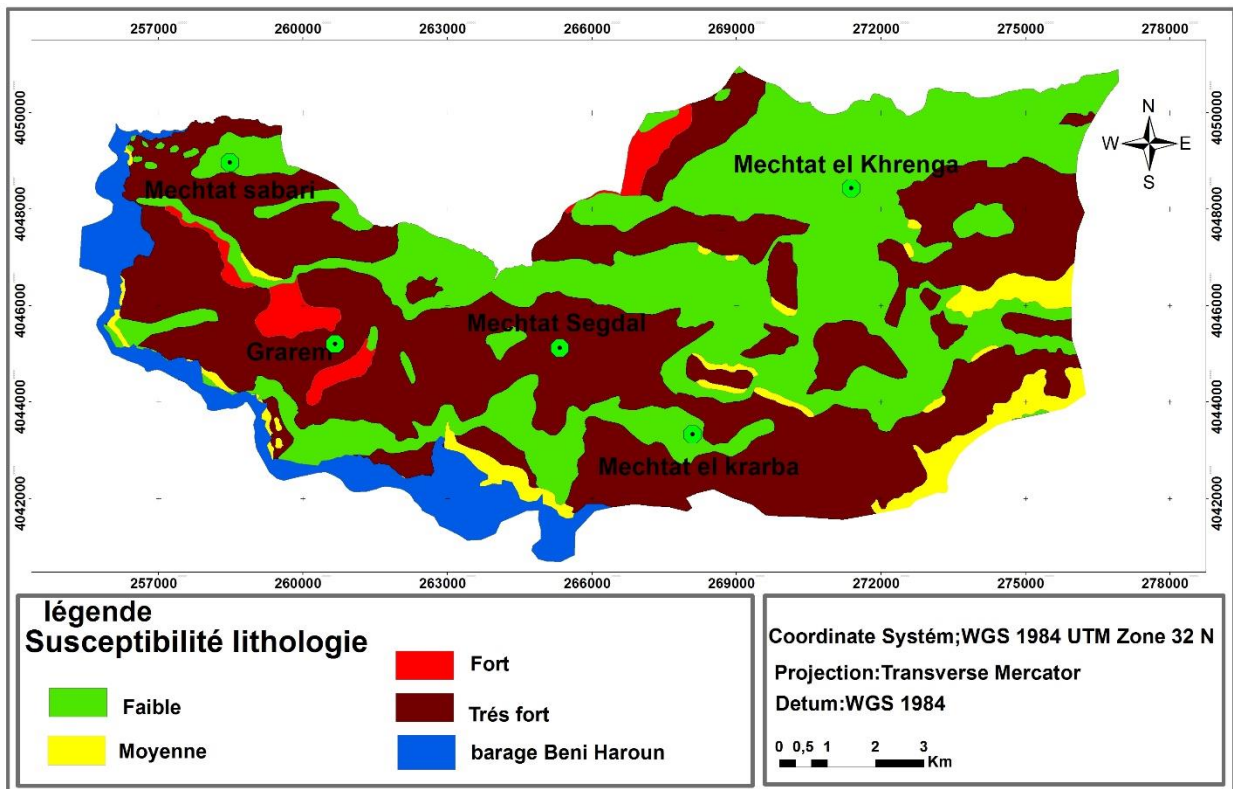
Classe des pentes	Susceptibilité	Indice attribué
0 - 12%	faible	1
12 - 25 %	Moyenne	2
25 - 35 %	Forte	3
>35 %	Très forte	4

### V.9.2. Facteur lithologie

La lithologie joue un rôle fondamental dans le développement et l'apparition des glissements de terrain. Elle est traduite par la carte lithologique simplifiée issue de la digitalisation des cartes géologiques et cartographie sur terrain. Celle-ci montre que les grés quartziteux couvrent 40,57 % du territoire, les travertins calcaires 52,56 %, les éboulis de grés 2,52 %, et les Argiles à gypses 4,35 % de la superficie totale (tableau.V.3).

**Tab.V.3.** Classes des formations lithologiques en fonction de leurs sensibilités au GT de la commune de Grarem, Gouga

Formation lithologique	susceptibilité	dureté	Indice attribué	Sup (km2)	Sup (%)
Grés quartziteux	Faible	résistante	1	53,05	40,57
Travertines calcaires	moyenne	résistance moyenne	2	5,70	4,36
Eboulis de grés sur les argiles	Forte	résistance faible	3	3,30	2,52
Argiles à gypses de l'oued Mila	Très forte	meuble	4	68,73	52,55
<b>Totale</b>				130,78	100



**Fig V.5.** Carte susceptibilité lithologie de la commune de Grarem Gouga.

Le principe utilisé pour la spatialisation de degré d'alea de glissement de terrain (selon le paramètre lithologie), les zones ayant la même classe des pentes exposent le même degré de susceptibilité (lithologie).



D'après les cartes (figureV.5) et le tableau (V.3) on constate que : Les zones à susceptibilité fort et très fort marqués par des codes (3) et (4), s'étalent sur une superficie de 3,30 Km<sup>2</sup>et 5,69 Km<sup>2</sup> respectivement, tandis que tandis que la zone marquée par un code attribué (1) et (2) représentent 93,13 % de la zone en question.

### V.9.3. Facteur occupation de sol

La végétation joue un rôle essentiel dans la protection du sol. Elle exerce une protection mécanique sur sur l'écoulement fluviale, en diminuant la force vive des eaux et en favorisant leur infiltration.

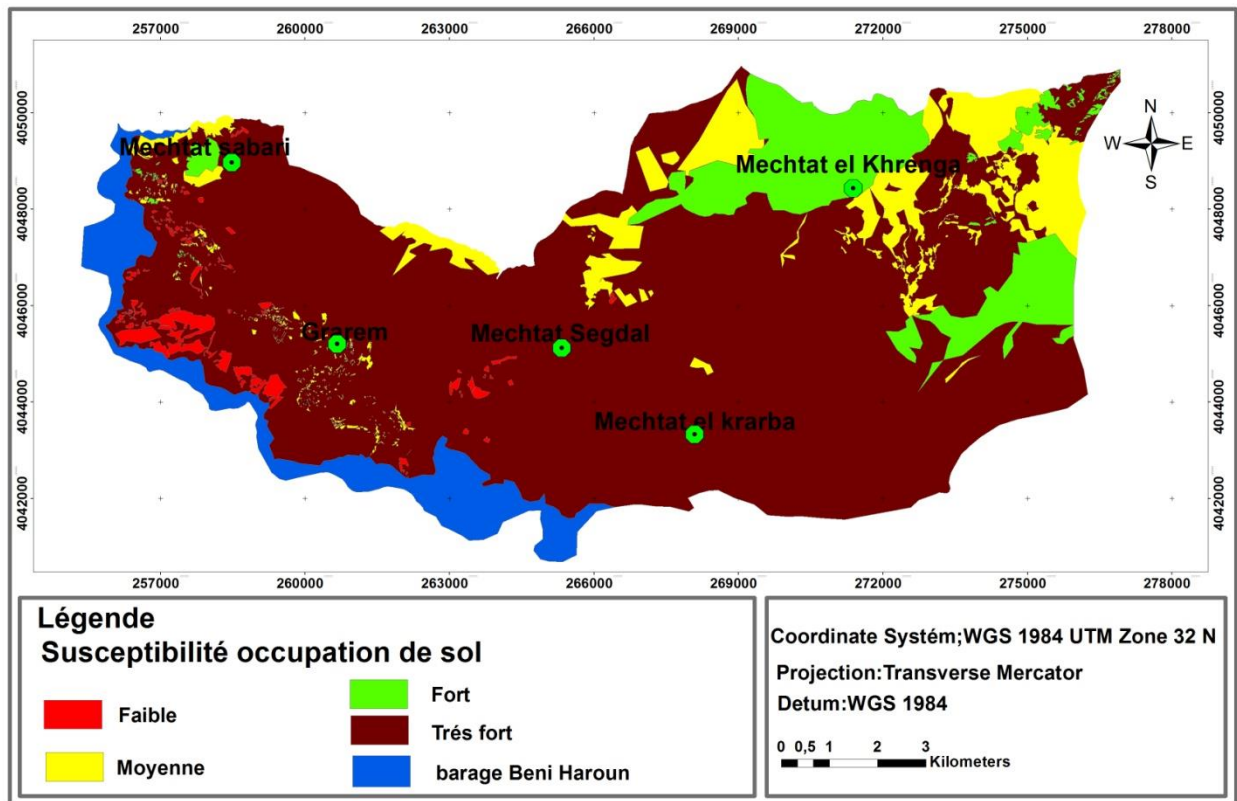
Le principe utilisé pour la spatialisation de degré d'aléa de glissement terrain (selon le paramètre occupation des sols), les zones ayant la même classe occupation des sols exposent le même degré de susceptibilité glissement de terrain.

Les zones à susceptibilité fortes et très fortes s'étalent sur une superficie de 13,7 Km<sup>2</sup>et 102,44 Km<sup>2</sup> respectivement, tandis que la zone (moyenne) représente 20.23% de la zone en question, alors que la zone faible occupe une surface 1 ,92 Km<sup>2</sup> soit 9.02 % de la zone étudiée (Tab.V.4).

**Tab.V.4.** Répartition surfacique, codification et susceptibilité occupation des sols de la commune de Grarem, Gouga.

Type d'occupations des sols	Classe occupations des sols	Indice attribué	Susceptibilité	Surface (Km <sup>2</sup> )	Surface (%)
<b>Terrain nu</b>	Terrain nu	4	Très fort	102,44	72,49
<b>Forêt dense</b>	Végétation dense	1	Faible	13,7	1.36
<b>Terrain claire</b>	Végétation moyenne	2	Moyenne	12,74	9.69
<b>Arboriculture</b>	Végétation faible	3	Fort	1,92	9.02
<b>Bâtis</b>	Hors classification	0	Bâtis	1,37	0,97
<b>Barrage Beni Haroun</b>	Hors classification	0	barrage	9,15	6,47
<b>Total</b>	–	–	–	141,32	100

Les résultats de cette étude seront compilés pour aboutir à la carte des susceptibilités de la zone d'étude (figure V.6).



*Fig V.6. Susceptibilité occupation des sols de la commune de Grarem, Gouga.*

## V.10. Spatialisation de degré du risque glissement de terrain

Notre étude s'attache à identifier les paramètres qui ont le plus d'influence sur le phénomène de glissement de terrain, tels que la pente, la lithologie et l'occupation du sol.

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

L'application de l'approche SIG multicritère nous a permis de combinés et d'analyser plusieurs facteurs tels que la pente, la lithologie et les occupations des sols.

La carte de risque déduite a ensuite été validée par comparaison avec les circonstances réelles sur le terrain.

### V.10. 1. Règle de décision d'analyse spatiale et géotraitement

L'approche systémique (multifactorielle) est une approche conceptuelle globale, formalisée ou non mathématiquement, décrivant plusieurs processus et leurs interactions. De ce fait les systèmes constituent souvent un outil de description et d'analyses entre jeux d'acteurs et de contraintes.

Donc l'approche systémique appliquée en géographie cherche à établir l'ensemble des interactions spatio-temporelles entre des contraintes (sociales, physiques, naturels...) d'un territoire donnée (Marchand, J.P ; 1996).

Dans cette étude, nous avons utilisé un modèle qualitatif (multifactoriel). Il est appliqué à l'aide d'un système d'information géographique (SIG) par la combinaison logique de différents facteurs pris dans l'ordre de leur importance vis-à-vis aux aléas mouvement de masse

Les facteurs spatiaux de glissement de terrain cités précédemment sont intégrés dans un logiciel SIG (Arc Gis) sous forme des couches thématiques. Les facteurs pris en compte sont: la pente, la lithologie, et l'occupation des sols.

La classification et la répartition spatiale des différentes classes et facteurs de sensibilité (pente, lithologie et occupation des sols) ont été formés par ordre croissant, faible, moyen, fort, et très fort, selon un ordre progressif de glissement de terrain. Chaque classe est désignée par un code reflétant leur degré et gravité face à l'aléas glissement de terrain : classe faible « code 1 », classe moyenne « code 2 », classe forte « code 3 » et finalement classe très forte « code 4 ».

La cartographie du degré du risque glissement de terrain a été effectuée sur le principe de la superposition (Intersect) des différentes cartes élaborées précédemment à l'aide d'un système d'information géographique.

Les conflits liés à l'utilisation de l'espace par la société sont nombreux. Les risques naturels et les catastrophes naturelles en font partie. La géographie se distingue par son objet qui est l'étude de l'espace terrestre et son organisation. S'intéressant à cet espace et à son organisation dans ses composantes culturelles et naturelles (Gumuchian, Marois, 2000), de situations conflictuelles la logique physique de l'espace et sa logique sociale apparaissent régulièrement et s'expriment par de multiples aléas

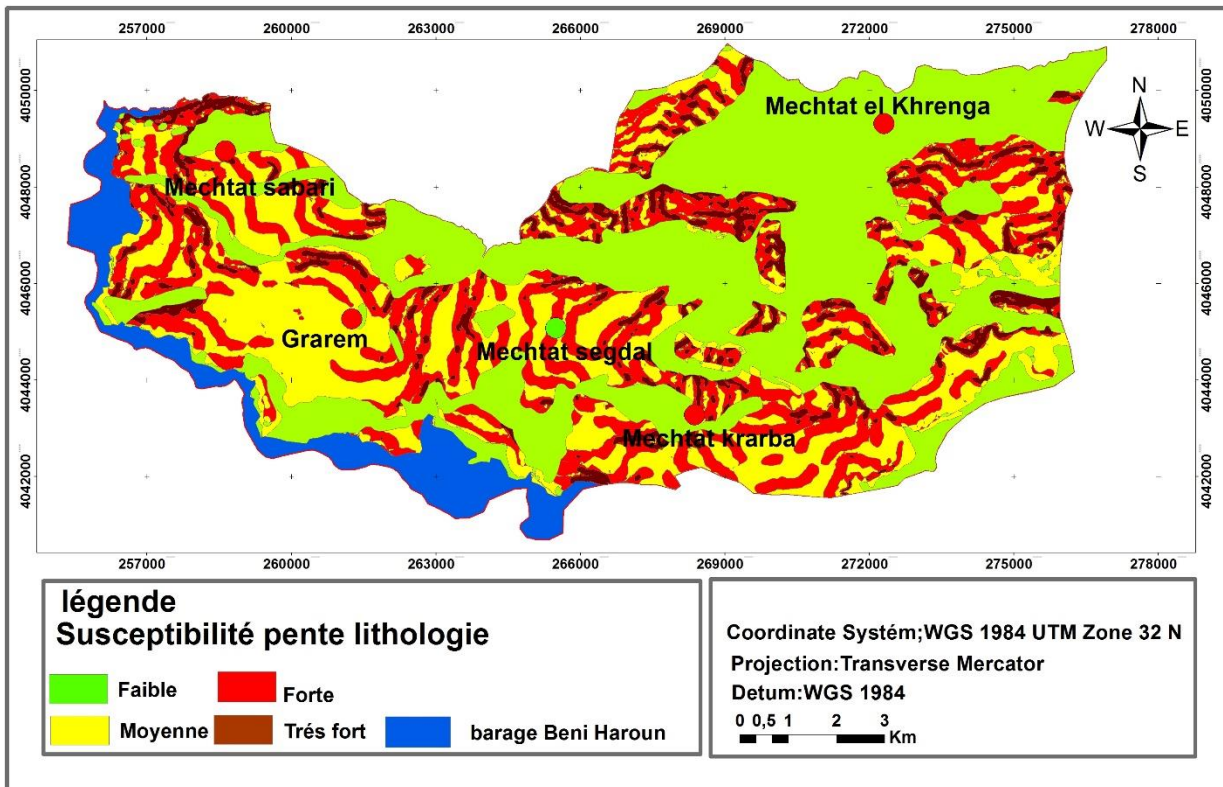
Le choix d'une recherche sur les risques naturels s'explique par le fait qu'ils sont appréhendés grâce à des modèles spatiaux. Un modèle compréhensible des risques naturels est généralement une composition de modèles (donc des représentations de la réalité), c'est à dire un modèle des enjeux, des aléas, de la susceptibilité, et enfin de la mesure du risque (Taylor et al. 1998), chacun s'inscrivant à l'intérieur du même espace.

L'intégration des données issues du SIG a permis de délimiter des zones homogènes par rapport aux principaux facteurs de risques naturels (Pente, Lithologie et Occupation des sols). L'hypothèse de travail repose sur le fait que, en principe, des zones ayant la même lithologie, la

même pente et la même couverture végétale devraient avoir le même type de risque. Merdaci.A ; 2011.

**V.10. 2.Combinaison pente, lithologie**

La carte de la susceptibilité au risque de glissement de terrain (susceptibilité glissement) a été élaborée par l'interaction entre les pentes et la lithologie à l'aide de la règle de décision présentée dans le (tableau V.5).



*Fig.V.7. Carte susceptibilité GT combinaison (pente-lithologie)de la commune de Grarem Gouga.*

*Tab. V.5. Règle de décision d'analyse spatiale et géotraitement*

Lithologie		Pente			
		0-12%	12-25%	25-35%	>35%
		1	2	3	4
Grés quartziteux	1	1	1	1	1
Travertines calcaires	2	1	2	2	2
Eboulis de grés	3	2	2	3	3
Argiles à gypses	4	2	3	4	4

**Tab. V.6.** Répartition surfacique des classes d'aléa GT (union pente –lithologie )de la commune de Grarem Gouga.

Susceptibilité	Code pente-lithologie	Superficie (Km <sup>2</sup> )	Superficie (%)
Faible	1	56,43	40,32
Moyenne	2	33,29	23,79
Fort	3	31,42	22,45
Très fort	4	9,66	6,90
Hors classification	0	9,15	6,54
Total	–	139,95	100

### V.10.3. Combinaison pente, lithologie et végétation

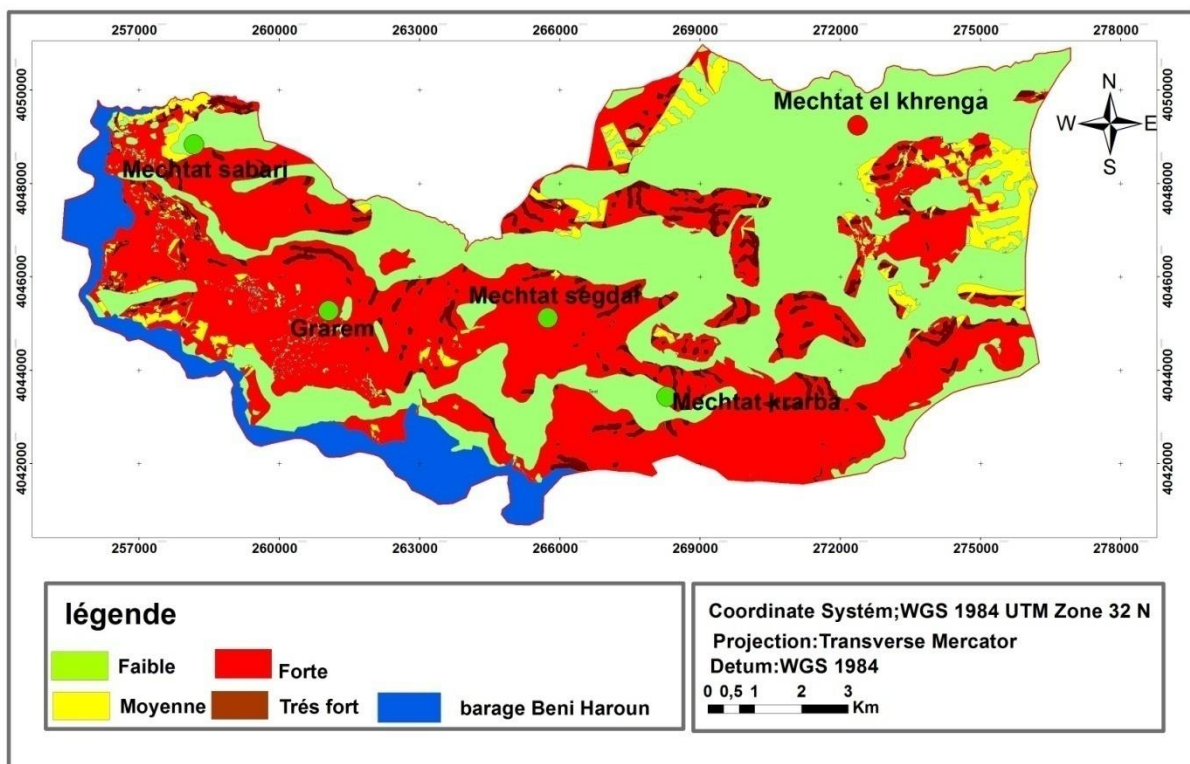
La carte de susceptibilité au risque de glissement de terrain (figure V.8) a été élaborée par l'interaction entre la carte susceptibilité union pente, lithologie et végétation, à l'aide de la règle de décision présentée dans le (tableauV.7)

**Tab.V.7.** Règle de décision du risque glissement Union (pente, lithologie et végétation)

Combinaisons (pente -lithologie)	Végétation			
	Arboriculture	Terrain claire	Forêt dense	Terrain nu
	Faible densité	Densité moyenne	Fort densité	Très faible densité
	1	2	3	4
1	1	1	2	2
2	1	2	2	3
3	2	2	3	3
4	3	3	4	4

**Tab.V.8.** Répartition surfacique de la contrainte union (pente -lithologie - végétation) de la commune de Grarem, Gouga.

Code attribué combinaisons Pente- lithologie-occupation des sols	Susceptibilité pente- lithologie-végétation	Superficie (Km <sup>2</sup> )	Superficie (%)
1	Faible	59,45	42,48
2	Moyenne	6,59	4,71
3	Fort	57,59	41,16
4	Très fort	7,15	5,11
<b>Barrage Beni Haroun</b>	–	9,15	6,54
<b>Total</b>	–	139,93	100



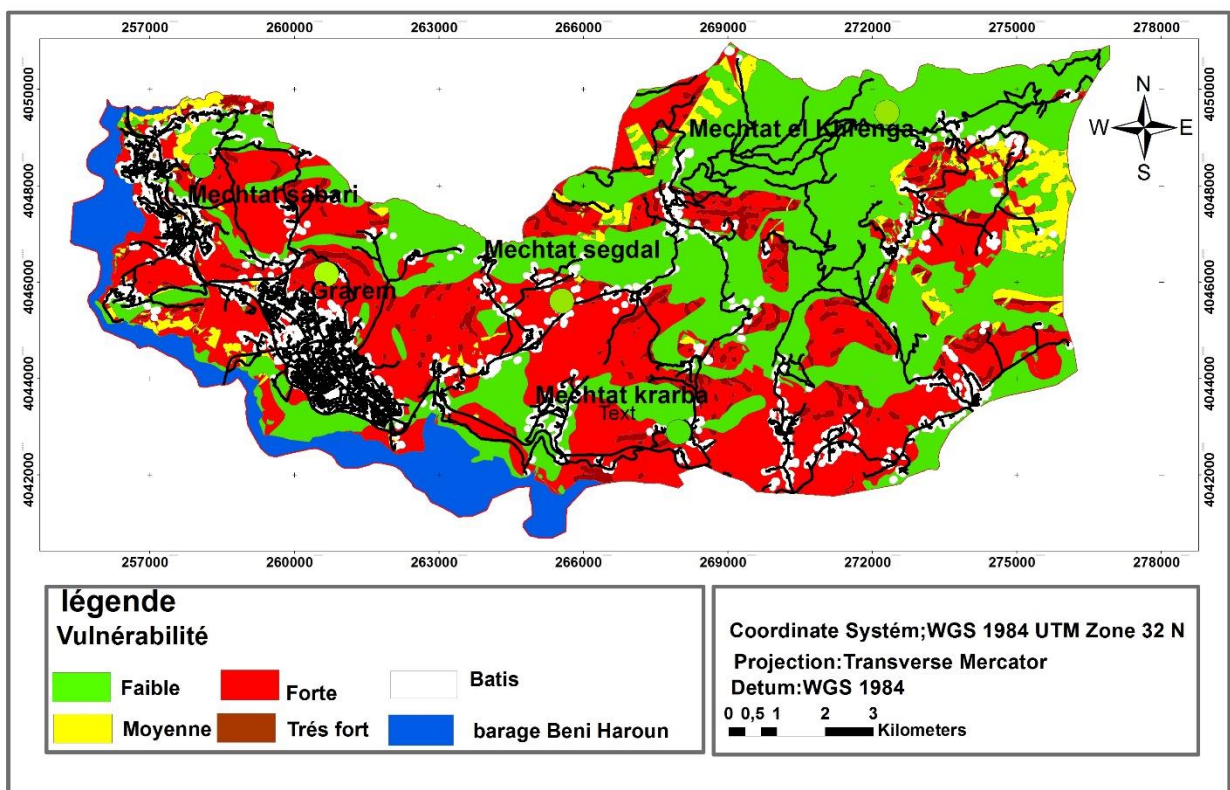
**Fig.V.8.** Carte susceptibilité GT combinaison Pente, lithologie et occupations des sols de la commune de Grarem, Gouga.

D'après la carte de susceptibilité glissement de terrain (figureV.8) la zone d'étude renferme 4 zones selon la susceptibilité au glissement de terrain :

- Zone à susceptibilité faible, occupe une superficie de 59,45 Km<sup>2</sup> soit 42,48 % de la zone d'étude.
- Zone à susceptibilité moyenne, occupe une superficie de l'ordre de 6,59 Km<sup>2</sup> soit 4,71% de la zone d'étude
- Zones de susceptibilité fort et très fort s'étalent sur une superficie de 16,3 Km<sup>2</sup>.

#### V.10.4. Carte du risque de la commune de Grarem, Gouga

La combinaison des cartes pente, lithologie, occupation de sol suivant la règle de décision mentionnée sur le tableau (V.8), a permis de produire une carte thématique appelée carte des risques glissement de terrain (Fig. V.9). Celle-ci comprend quatre classes faible, moyen, fort et très fort.



*Fig. V.9. Carte de risque glissement terrain commune de Grarem Gouga.*

L'application du SIG (Arc Gis) a permis d'établir une carte de risque général glissement de terrain de la commune de Grarem, Gouga. Cette carte montre les nombreuses zones vulnérables aux risques de glissement de terrain.

#### A. Le cadre bâties exposées au risque GT

D'après le (Tab.V.9) et la (Fig.V.10) et les différentes phases d'analyse de géotraitement sur (Arc Gis) nous ont permis de déduire les différentes zones du cadre bâti exposées aux risques glissement terrain:

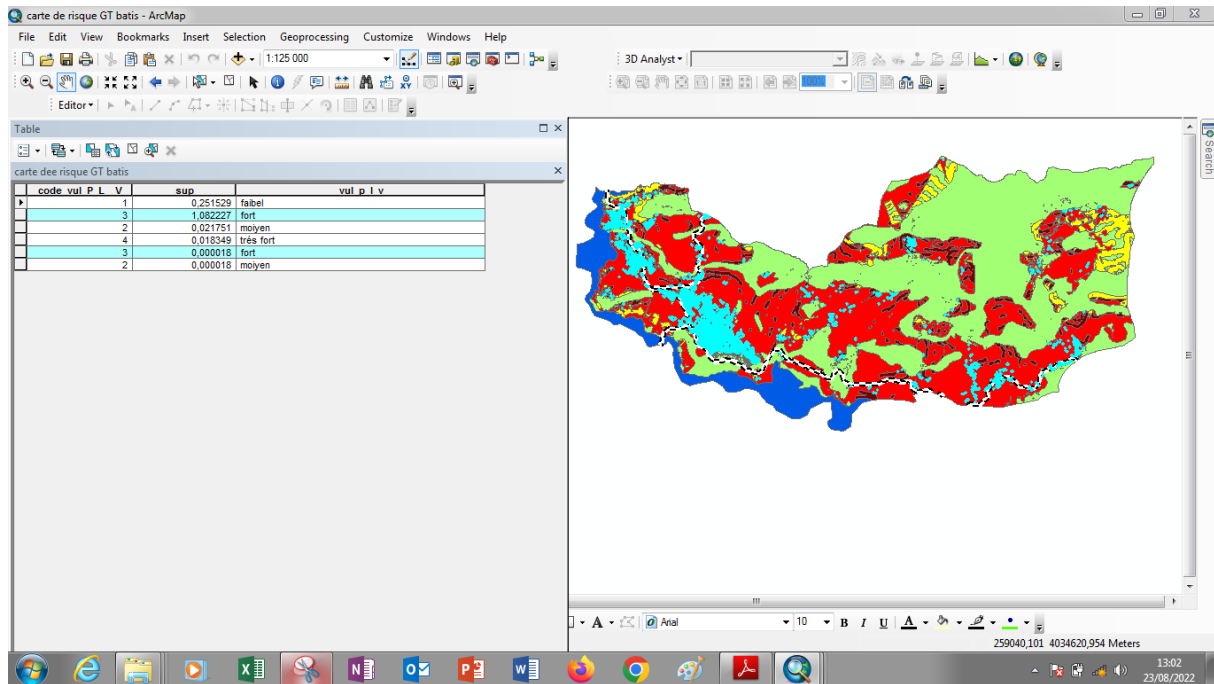


Fig. V.10. Présentation du cadre bâtis exposé au risque GT sur Arc gis10.2.2.

Tab.V.9.Cadre bâtis exposé aux risques GT de la commune de Grarem, Gouga.

Classe de Susceptibilité (km <sup>2</sup> )	Cadre bâtis expose aux GT	
	Superficie (km <sup>2</sup> )	Superficie (%)
<b>Faible</b>	0,25	18,25
<b>Moyenne</b>	0,02	1,46
<b>Fort</b>	1,08	78,83
<b>Très fort</b>	0,02	1,46
<b>Total</b>	1,38	100

Selon le tableau V.9 : le cadre bâti exposé à l'aléa glissement terrain forte et très forte, s'étale sur une surface de l'ordre de 1,1 Km<sup>2</sup> soit 80,29 % de la totalité de cadre bâti de la commune, Tandis que le cadre bâti exposé à aléa glissement a terrain moyenne et faible occupe une superficie de 0,25 km<sup>2</sup>, soit 18,25 % de la zone d'étude.

La totalité de cadre bâti présente une susceptibilité de glissement de terrain très forte, (critique)c'est-à-dire « zone rouge » représentant les constructions illicites couvrant une superficie 0,02 Km<sup>2</sup> soit 1,46 % de la totalité de la zone.

## B. Les routes exposées au risque GT

### 1. La Route National 27

L'analyse spatial et le géotraitement des données sur l'arc gis (Fig. V.11) indique que : le long de tronçon RN 27 exercice et expose aux GT classe fort et très fort sensibilités est de 22,25 km de longueur, soit 74,92 % de totalités de longueur de RN 27 (Tab.V.10).



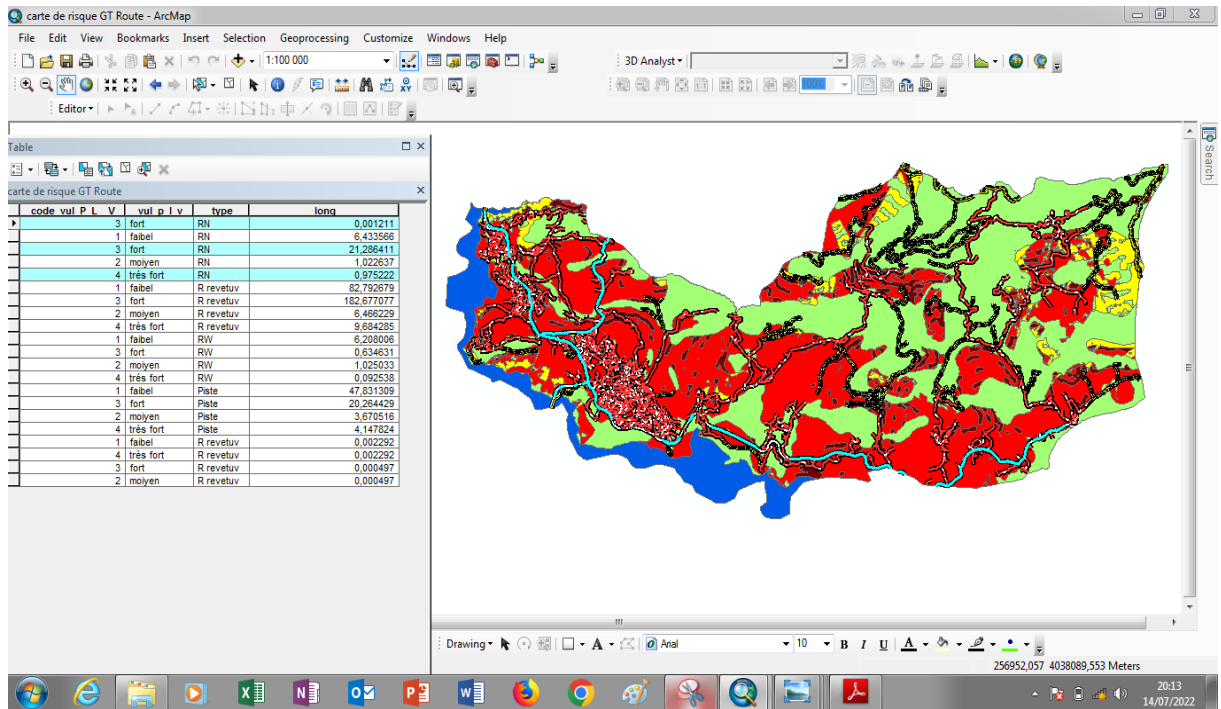


Fig. V.11. Présentation de RN 27 exposé au risque GT sur Arc gis10.2.2.

Tab.V.10. Chemin RN 27 exposé aux risques GT, commune de Grarem, Gouga.

Classe de susceptibilité risque GT	Longueur de RN 27 (Km) expose aux risques	Pourcentage (%)
<b>Faible</b>	6,43	21,65
<b>Moyenne</b>	1,02	3,43
<b>Fort</b>	21,28	71,65
<b>Très fort</b>	0,97	3,27
<b>Total</b>	29,70	100

## 2. Routes wilaya

Les routes wilaya expose une susceptibilité glissement terrain (classe forte et très forte) couvre une superficie de 1,11 km soit 13,96 % (Fig. V.12 et Tab.V.11).

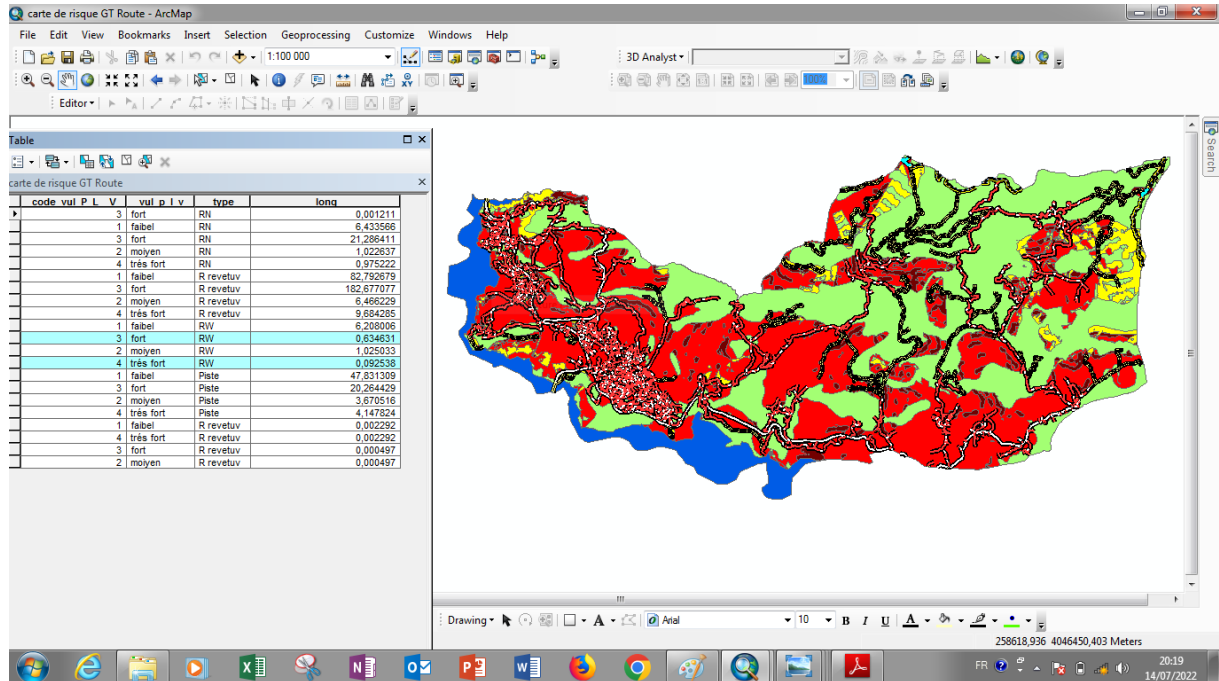


Fig. V.12. Présentation de RW exposé au risque GT sur Arc gis10.2.2, commune de Grarem, Gouga.

Tab.V.11. Routes wilaya exposé aux risques GT, commune de Grarem, Gouga.

Classe de susceptibilité risque GT	Longueur de RW (Km) expose aux risques	Pourcentage (%)
Faible	6,21	78,11
Moyenne	1,02	12,83
Fort	0,63	7,97
Très fort	0,09	1,13
<b>Total</b>	<b>7,95</b>	<b>100</b>

### 3. Routes revêtues

Les routes revêtues expose une susceptibilité glissement terrain (classe forte et très forte couvre une superficie de 9,68 km et 6,46 km soit 3,44 % et 2,29 % (Fig. V.13 et Tab.V.12).

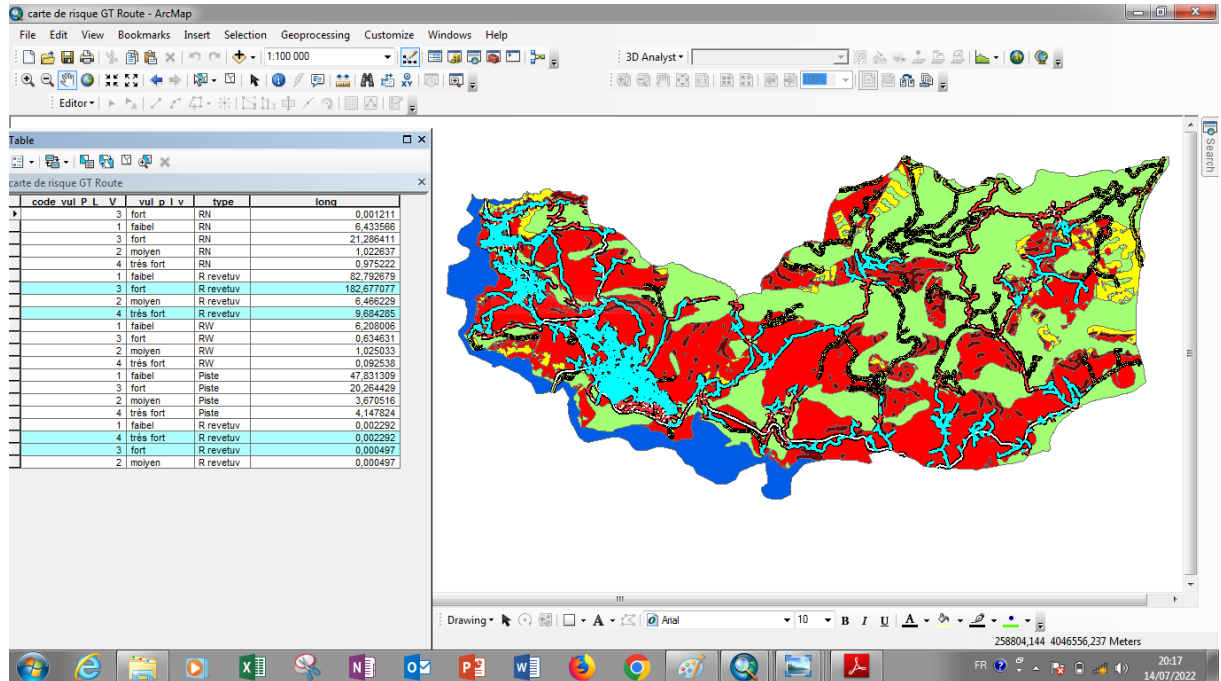


Fig. V.13. Présentation des routes revêtues exposés au risque GT sur Arc gis10.2.2.

Tab.V.12. Route revêtue exposé aux risques GT

Classe de susceptibilité risque GT	Route revêtus exposé aux risques GT	
	(Km)	Pourcentage (%)
<b>Faible</b>	82,79	29,40
<b>Moyenne</b>	6,46	2,29
<b>Fort</b>	182,67	64,87
<b>Très fort</b>	9,68	3,44
<b>Total</b>	281,6	100

### 4. Routes piste

Les routes piste expose une susceptibilité glissement terrain (classe forte et très forte couvre une superficie de 3,67 km et 4,14 km soit 4,84 % et 5,45 % (Fig. V.14 et Tab.V.13).

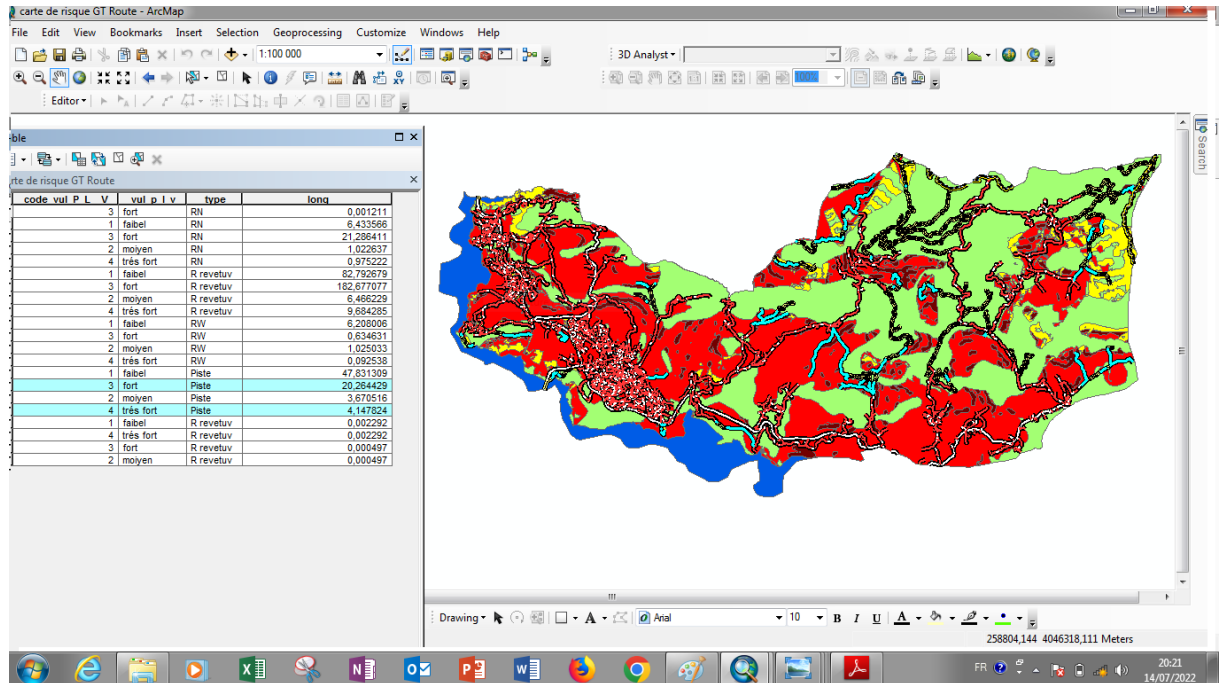


Fig. V.14. Présentation des routes piste exposés au risque GT sur Arc gis10.2.2.

Tab.V.13. Route piste exposé aux risques GT

Classe de susceptibilité risque GT	Route piste exposé aux risques GT	
	(Km)	Pourcentage (%)
Faible	47,83	63,02
Moyenne	3,67	4,84
Fort	20,26	26,69
Très fort	4,14	5,45
Total	75,9	100

**V.10.5. Conclusion**

La méthodologie suivie dans cette analyse de glissement de terrain pour la commune de Grarem Gouga. est une hiérarchisation des paramètres liés aux glissements de terrain permis d'établir une carte de risque de glissement de terrain classer selon leur degré de susceptibilité en quatre classes : faible, moyenne, forte et très forte.

Cette étude montre l'utilité importante de l'application des approches SIG en milieu urbain pour la détection des zones inconstructibles ou à risque élevé.

Ce travail peut constituer un document de base pour les travaux de recherche dans le domaine et une feuille de route pour les planifications des travaux d'aménagements et géo risques.

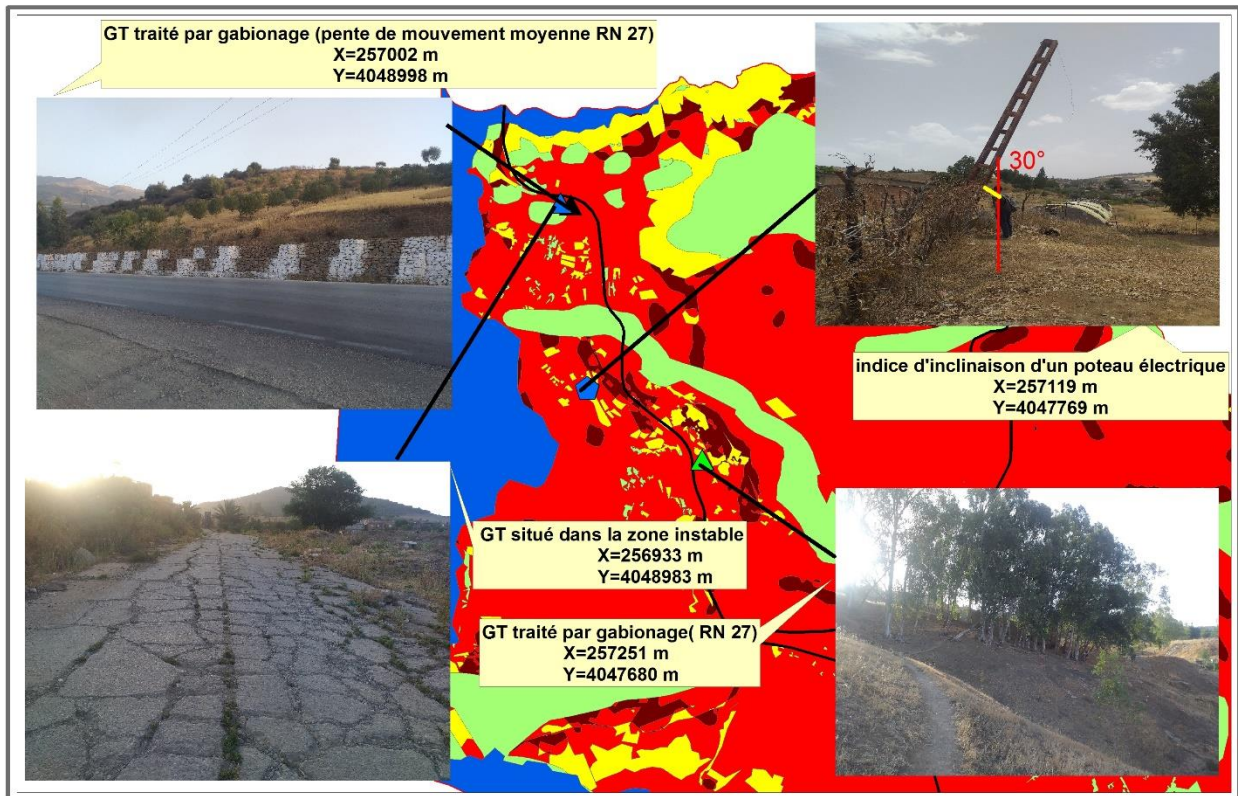
*Chapitre –VI*  
**VALIDATION**  
**ET CONFIRMATION**  
**DES RESULTATS OBTENUS**  
**SUR LE**  
**RISQUE GT**

## VI.1. Introduction

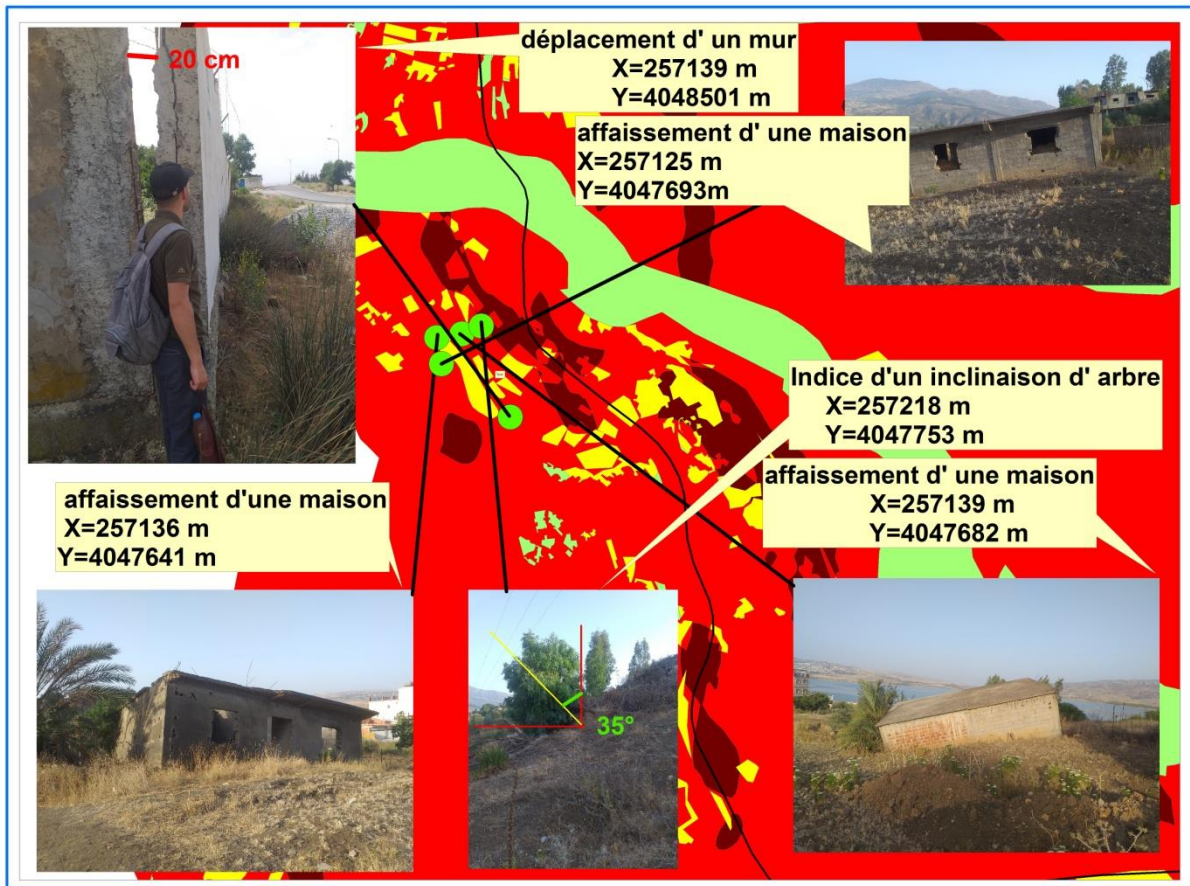
Pour compléter notre étude et démontrer ainsi de valider les résultats obtenus dans la carte des risques de la zone d'étude à l'aide le système information géographique, nous privilégions la vérification physique sur le terrain. Nous avons effectué une vérification physique sur place. Nous avons fait une sortie sur le terrain. Les points de localisation des glissements de terrain ont été collectés à l'aide de l'appareil (GPS) et de l'application de logiciel géoslope.

## VI.2. Validation des GT traités dans la zone en question

Pour valider les résultats obtenus dans la carte de susceptibilité de la zone d'étude, nous avons choisi quatre (4) glissements de terrain qui se trouvent le long de RN 27 et cinq (5) indices d'instabilités (Fig.VI.1). La vérification a été faite directement sur le terrain, et aussi comparé sur les cartes obtenues à l'aide du logiciel ArcGIS 10.2.



*Fig.VI.1. Localisation des glissements de terrain sur la carte de risque glissement terrain (le long de RN 27).*



*Fig.VI.2. Localisation les indices d'instabilité sur la carte de risque glissement terrain, commune de Grarem Gouga.*

### **VI.3. Les critères utilisés pour la confirmation des zones de vulnérabilité GT (Les indices d'instabilité)**

#### **A. Les indices géomorphologiques**

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

Les photos suivantes proposent des exemples montrant quelques glissements de terrain déjà localisés dans la commune de Grarem Gouga :





*Photos VI.1. Des fissurations et rupture de sol et sur les constructions.*



*Photos VI.2. L'inclinaison des poteaux électricité et maison menacée par le glissement de terrain.*



*Photo.VI.3. Gabionnage endommagé.*

### **B. Les témoignages de la végétation**

La végétation peut elle aussi, apporter des témoignages d'instabilité actuelle ou passée. Dans la zone d'étude l'indice végétation est également un bon critère d'activité de mouvement



*Photo VI.4. L'inclinaison des arbres.*

## VI.4. Calcul de stabilité et confortement

### VI.4.1. Calcul de stabilité

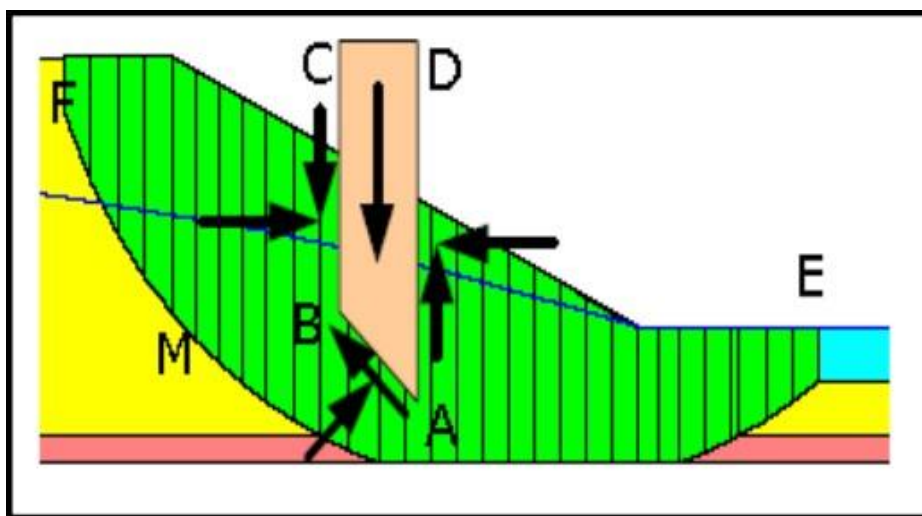
Les problèmes de stabilité de pentes se rencontrent fréquemment dans la construction des routes, des canaux, des digues et des barrages. En outre certaines pentes naturelles sont ou peuvent devenir instables. Une rupture d'un talus peut être catastrophique et provoquer des pertes en vies humaines ainsi que des dégâts naturels considérables (G.Sanglerat, J. Costet, 1983).

### VI.4.2. Méthodes de calcul

La méthode universellement utilisée pour le calcul de stabilité de pente est celle de l'équilibre limite. On considère l'aptitude au glissement d'un certain volume de sol au voisinage de la pente. On étudie la stabilité de cet élément de sol.

#### VI.4.2.1. Méthode des tranches de Fellenius (suédoise)

C'est la méthode la plus simple pour l'analyse de stabilité des talus. Fellenius suppose que le volume de glissement délimité par la surface de glissement et la topographie du talus est subdivisé en (n) tranches. Chaque tranche est considérée comme un solide indéformable, en équilibre sur la ligne de glissement. Considérons un talus recoupant un certain nombre de couches de sols de caractéristiques différentes :  $C_i$ ,  $\phi_i$ ,  $\gamma_i$ . La stabilité est étudiée en considérant le problème plan, c'est-à-dire en analysant l'équilibre d'une masse de sol d'épaisseur unité dans le sens perpendiculaire à la figure (Fig.VI.3).



**Fig.VI.3.** Schéma illustrant le découpage en tranches d'un talus (G. Philipponnat; et H. Bertrand ; 2003).

Soit un cercle quelconque de centre O et de rayon R pour lequel on vérifie la sécurité vis-à-vis du risque de glissement. La méthode consiste à découper le volume de sol concerné (compris dans l'arc EMF) en un certain nombre de tranches limitées par des plans verticaux. Etudions l'équilibre de l'une de ces tranches (Fig.VI.3), par exemple la tranche "ABCD".

Absence de la nappe Les forces qui agissent sur cette tranche (Fig.VI.4,) sont les suivantes :

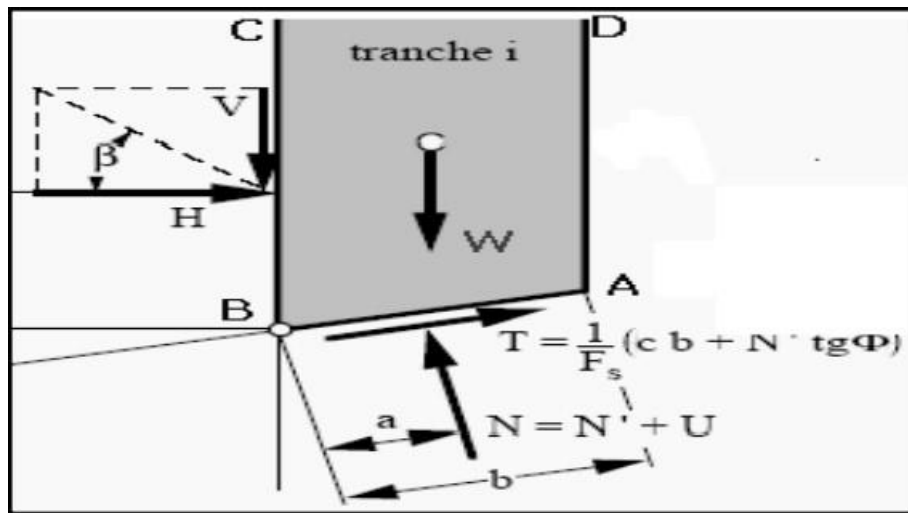


Fig.VI.4. Forces agissant sur la tranche n (G. Philipponnat; et H. Bertrand ; 2003), modifiée.

- **W** : poids de la tranche ABCD se décompose en une force normale "N" et une force tangentielle "T".
- **Rn (force résistante)** : la réaction du milieu sous-jacent sur l'arc AB; elle est aussi la résistance du sol due à sa cohésion et son angle de frottement interne.
- Les réactions sur les faces verticales BC et AD décomposées en réactions horizontales. H et en réactions verticales V. Il s'agit de forces internes au massif étudié.
- Les pressions hydrauliques.

Définissons par rapport au centre "O" :

- Les moments moteurs : comme celui du poids des terres W (et des surcharges éventuelles), qui tend à provoquer le glissement ;
- Les moments résistants : comme ceux des réactions s'opposant globalement au glissement de la tranche (G. Philipponnat; et H. Bertrand ; 2003).

La surface de rupture étant limitée par les points E et F, le coefficient de sécurité global FS est défini par l'équation:

$$FS = \frac{\sum \text{des moments résistants}}{\sum \text{des moments moteurs}} \dots\dots\dots (1), \text{ (G. Philipponnat; et H Bertrand ; 2003).}$$

Considérons la somme des moments pour l'arc EF, sachant que la somme des moments des forces est nulle. Fellenius a fait une hypothèse qui simplifie considérablement les calculs, à savoir que la seule force agissant sur l'arc AB est le poids W, à l'exception des forces internes. Dans ces conditions, le moment résistant maximal est fourni par la valeur maximale que peut prendre la composante tangentielle de  $R_n$ . (G. Philipponnat; et H. Bertrand ; 2003).

D'après la loi de Coulomb, elle s'écrit :

$$(R_n) t = C_i \cdot AB + N_n \cdot \tan \varphi_i \dots\dots\dots (2) \text{ (G. Philipponnat; et H. Bertrand ; 2003).}$$

La somme des moments résistants pour toutes les tranches sera :

$$\sum_{n=1}^{n=m} R_n \cdot (C_i \cdot AB + N_n \cdot \tan \varphi_i) \dots\dots\dots (3) \text{ (G. Philipponnat; et H. Bertrand ; 2003).}$$

Avec :

**m**: nombre total de tranches

**R** : rayon du cercle de glissement

**C<sub>i</sub>, φ<sub>i</sub>** : caractéristiques mécaniques de la couche dans laquelle est situé l'arc de la tranche AB.

Par ailleurs, le moment moteur est dû à  $T_n$  et égal à  $T_n \times R$ , d'où:

$$FS = \frac{\sum_{n=1}^{n=m} (C_i \cdot AB + N_n \cdot \tan \varphi_i)}{\sum_1^n T_n} \dots\dots\dots (4) \text{ (G. Philipponnat; et H. Bertrand ; 2003).}$$

Sachant que :  $N = W \cdot \cos \alpha$  et  $T = W \cdot \sin \alpha$  et  $L = ab = \frac{b}{\cos \alpha}$  La formule (4) devient :

$$FS = \frac{\sum_1^n (C_i \cdot \frac{b}{\cos \alpha} + W \cdot \cos \alpha \cdot \tan \varphi_i)}{\sum_1^n W \cdot \sin \alpha} \dots\dots\dots (5) \text{ (G. Philipponnat ; et H. Bertrand ; 2003).}$$

**Remarque :**

Les paramètres géométriques intervenant dans le calcul de  $F_s$  sont donc :

**b** : largeur de la tranche.

**L** : longueur développée de la surface de rupture.

**α** : l'angle orienté que fait le rayon du cercle passant par le lieu de la base de la tranche avec la verticale.

La hauteur de la tranche pour le calcul du poids W.

#### ❖ Choix de la valeur du coefficient de sécurité dans le calcul de stabilité

Le coefficient de sécurité ( $f_s$ ) défini par rapport au moment résistant par des essais successifs permettent de déterminer le cercle le plus défavorable.

**Tab.VI.1.** Valeurs de coefficient de sécurité FS données en fonction l'importance de l'ouvrage.

Fs	Etas de l'ouvrage
< 1	Danger
1,0 – 1,25	sécurité contestable
1,25 – 1,4	sécurité satisfaisante pour les ouvrages peu importants sécurité contestable pour les barrages, ou bien quand la rupture serait catastrophique.
> 1.4	satisfaisante pour les barrages

#### VI.5. Traitement sur le Géoslope

Dans nos calculs de stabilité, nous avons utilisé le logiciel Geo-Slope, ce dernier utilise la théorie de l'équilibre limite basée sur les méthodes des tranches de Fellenius, Bishop et Janbu.

Les données utilisées par ce logiciel de calcul sont :

- a-La géométrie : profil topographique, disposition géométrique de différentes couches.
- b- les caractéristiques géotechniques de terrain ( $c_i$ ,  $\phi_i$  et  $\gamma_i$ ).

Pour effectuer le calcul de la stabilité nous avons utilisé la méthode de Fellenius.

Nos visites et observations sur site, appuyées par les données de l'étude géologique nous ont permis de considérer que le versant concerné par l'instabilité présente la formations lithologique : Argile à gypse.

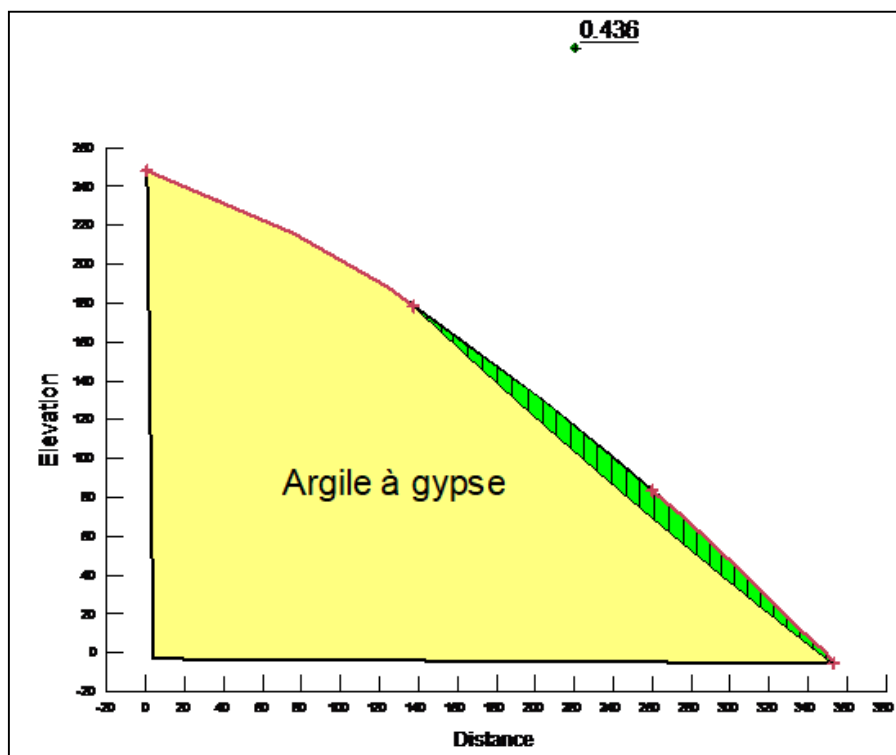
Dans ce cas précis seul le calcul de stabilité en absence de nappe a été réalisé les caractéristiques géotechniques des matériaux introduites dans le calcul par ce logiciel sont reportées dans le tableau. VI.2.

**Tab.VI.2** Caractéristiques géotechniques des formations lithologiques.

Matériaux	$\gamma_i$ (bars)	$\Phi_i$ (°)	$C_i$ (bars)
Argile à gypse	1,75 à 3,13	6° à 22°	0,27 à 1,36

❖ **Les résultats de calcul de stabilité par le logiciel Geo-Slope :**

Les résultats de calcul de stabilité obtenu pour notre zone d'étude par logiciel GéoSlope (Fig.VI.5).



**Fig.VI.5.** Cercle critique obtenu selon le profil défavorable (absence de nappe).

Le coefficient de sécurité minimal correspondant au cercle critique et de l'ordre de (0,436), cette valeur est inférieure au coefficient de sécurité admissible (1,5) ce qui confirme parfaitement l'instabilité du talus étudié.

### VI.6. Les valeurs des FS des autres méthodes

Le facteur de sécurité de terrains (Tab.VI.3) est toujours  $< 1,5$  en absence de nappe indique que le terrain est instable ou bien le terrain est contestable.

Tab.VI.3. Les valeurs de FS des autres méthodes.

méthode	absence de nappe
bishop	0,436
jambu	0,432
Ordinary	0,432

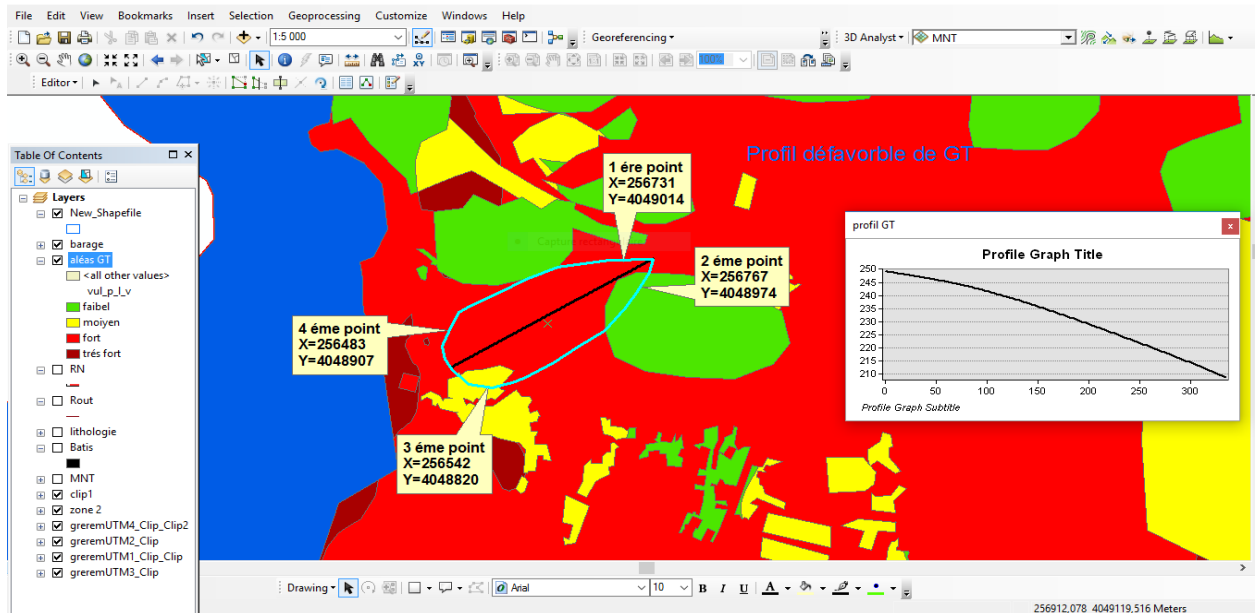


Fig.VI.6. Positionnement de GT étudiée sur la carte de risque.

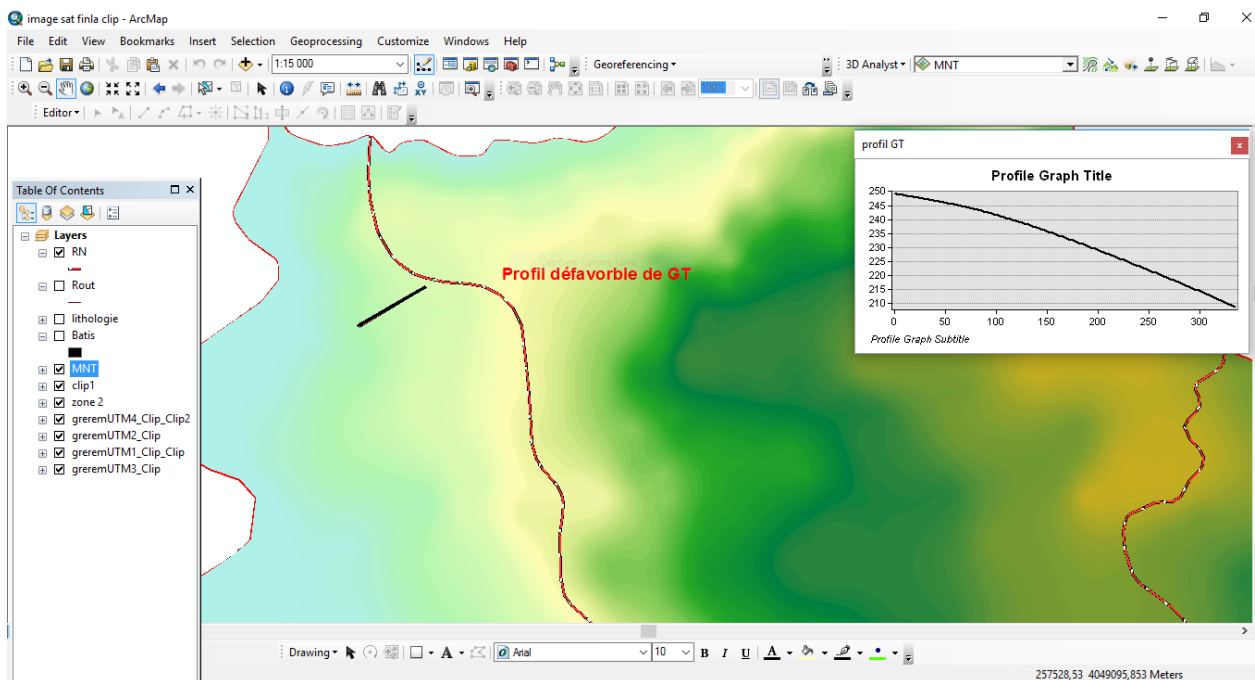


Fig.VI.7. Profil défavorable de GT sur MNT.



## VI.7. Confortement et remèdes

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

Les travaux de prévention dites « passives », c'est-à-dire qui ne réduisent pas l'ampleur du phénomène mais en limitent ses effets :

- Modification des enjeux.
- Surveillance et alerte.
- Arrêt ou déviation des matériaux, etc....

Les actions dites «actives »qui permet de stabiliser la zone de glissement. Ces actions peuvent être ponctuelles (soutènement, végétalisation, substitution de terrain par apport de matériaux grossiers de meilleures caractéristique mécanique et drainantes) ou plus étendues (drainage). Le drainage est particulièrement mise en œuvre, l'eau jouant en règle générale un rôle moteur déterminant.

Il est donc possible de classer les remèdes envisageables en deux grandes familles :

- **Les actions rhéologiques** : qui agissent sur le milieu lui-même et visent à accroître sa résistance à la rupture : amélioration des caractéristiques géotechniques par drainage, traitement, plantation.
- **Les actions mécaniques** : qui visent à créer des forces extérieures stabilisatrices : ouvrages de soutènement, terrassements, élimination de surcharges.

### VI.7. 1.Les différents travaux de confortement

#### VI.7.1.1. Les techniques de drainage

La lutte contre l'eau est une des actions les plus efficaces pour prévenir, stabiliser ou ralentir un glissement de terrain. La connaissance du mode d'alimentation de la nappe est indispensable pour intervenir efficacement. Le succès d'un drainage repose aussi sur son entretien pour éviter un risque de colmatage (fermer) par des dépôts sulfatés, calcaires ou ferrugineux, des arrivées de fines, etc.

Parmi les différentes techniques de drainage on distinguera :

**a- Les ouvrages de captage, collecte et évocation :** ont pour principe de capter et dériver les eaux de surface s'écoulant en direction de la zone sensible c'est-à-dire vers le glissement de terrain et, de collecter et évacuer les eaux loin de la zone sensible, en limitant les risques de ré infiltration.

Ces techniques ont pour avantages principaux leur cout modère, une mise en œuvre simple pouvant être réalisée par des entreprises locales, un entretien aisé pour les collecteurs a ciel ouvert et une bonne adaptation au traitement de zones étendues.

#### ❖ Exemples de techniques de drainage

##### ➤ Collecteurs à ciel ouvert

Leur but est de transporter l'eau captée par le système drainant hors de la zone en glissement en évitant le plus les réinfiltration.

Il existe une importante gamme de collecteur a ciel ouvert qui permettent de s'adapter a de nombreuses situation : aqueduc (canal) béton, canal en pierres sèches / maçonneries ou en bois, demi-buse métallique.

##### ➤ Les collecteurs fermés

Ce sont de simple canalisation identique à celle utilisées en adduction d'eau et assainissement, installées lorsqu'il n'est pas possible d'utiliser des collecteurs a ciel ouvert pour des raisons fonciers (ex : traversée de parcelles, exploitation agricole). Dans le cas de glissement très actif, seuls des tuyaux non enterrés en PEHD semblent acceptable.

#### **b- Elimination des infiltrations superficielles issues de la pluie et du ruissellement sauvage**

- Captage de toutes les sources et résurgences repérables et évacuation au moyen de tubes en plastiques
- Réalisation d'un réseau provisoire de rigoles
- Obturation (fermeture) de fissures superficielles
- Recherche et élimination des infiltrations anormales : réseau de drainage.
- Pose d'un revêtement étanche sur pente mise en place d'un masque drainant : sa mise en place a pour effet :
  - ✓ D'éliminer le ruissellement superficiel et donc l'érosion.
  - ✓ De réduire l'infiltration profonde par élimination de l'effet désorganisateur de l'alternance retrait/gonflement.

- ✓ De réduire l'effet de la pression de courant.
- ✓ De créer une surcharge en pied et donc un couple stabilisateur éventuellement de réduire la pente de versant.

### **c- Captage des filtrations profondes Drainage profond**

Sont utilisés en dernier recours, c'est-à-dire dans le cas où les techniques décrites précédemment n'auraient pas ou peu d'effet stabilisateur. Le drainage profond est le remède le plus efficace puisqu'il agit au niveau de la surface de glissement en captant un maximum d'eaux nuisible (fatal). Il concerne toutes les techniques drainantes utilisant des forages, soit les drains subhorizontaux, drains siphons, puits verticaux.

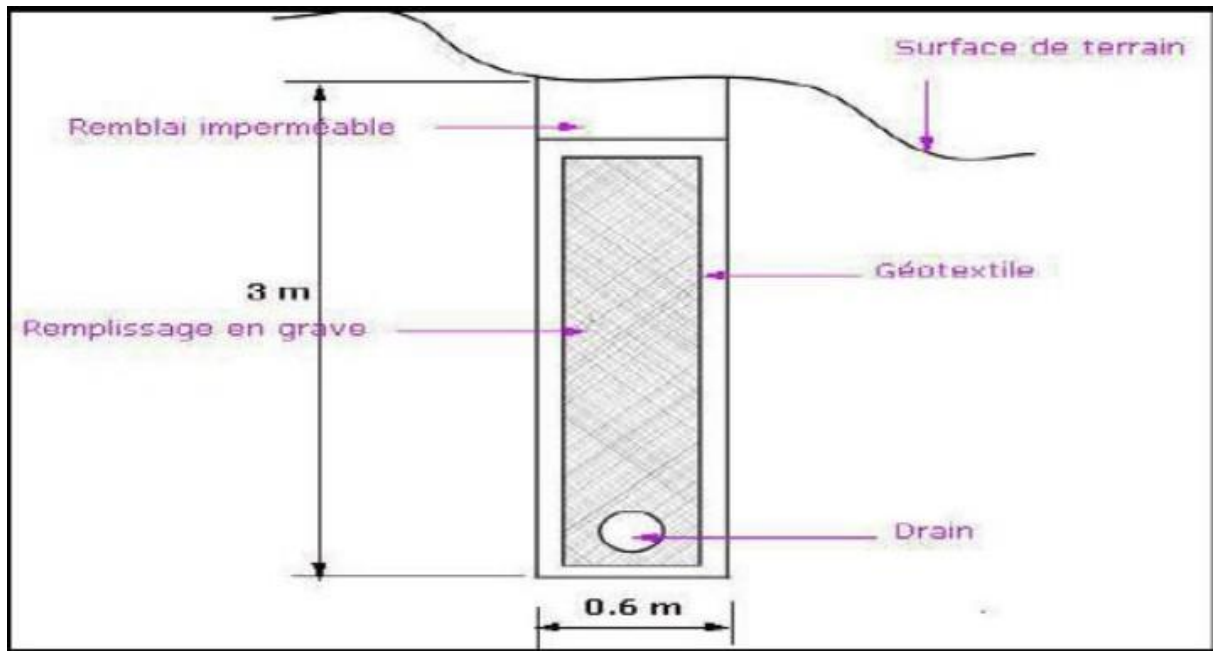
Le cout très élevé et les aléas du drainage profond réservent pratiquement de telles opérations aux problèmes urbains ou à la protection d'intérêts importants et de vies humaines. Ce sont des techniques complexes à concevoir et à mettre en œuvre .elles nécessitent systématiquement une étude préalable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

#### **\* Il s'agit d'intervenir :**

Sur les eaux superficielles qui s'infiltrent à l'amont immédiat du glissement et qui s'écoulent dans les terrains instables. Ces apports d'eau qui se font au sein même de la masse instable, sont les plus pernicious en même temps que les difficiles à repérer et à éliminer.

Les principaux dispositifs de drainage envisageable pour le traitement d'un versant :

- Les tranchées drainantes représentent le technique de drainage la plus ancienne.
- Les éperons drainants destinés à drainer mais aussi à armer le terrain
- Les drains subhorizontaux : elle se fait de deux façons soit par forage et introduction d'un tube Drainant et au moyen de tubes métalliques perforés poussés à force ou battus dans les versants (Fig.VI. 8).
- Les drains verticaux
- Les forages de rabattement
- Galeries horizontales et puits verticaux



*Fig. VI.8. Exemple d'un drain subhorizontal.*

#### **VI.7.1.2. Reprofilage (Talutage)**

Les conditions de stabilité d'un talus étant directement liées à sa pente, on peut assez simplement augmenter la sécurité par retalutage du terrain naturel. Dans ce sens, le procédé s'apparente à l'allègement en tête : il consiste en un adoucissement de la pente moyenne.

L'objet de ce reprofilage est d'enlever les zones instables en tête de glissement.

#### **VI.7.1.3. Butée du pied**

Le chargement en pied d'un glissement est une technique souvent utilisée et généralement efficace, elle permet de limiter les risques de reprise du glissement en amont ou en aval.

#### **VI.7.1.4. Le reboisement**

Le reboisement représente un moyen économique et souvent efficace. En effet, le rôle stabilisateur des arbres tient à plusieurs facteurs : D'une part, les racines jouent un rôle mécanique par augmentation de la résistance au cisaillement des sols (le rôle d'ancrage par les racines), d'autre part, la couverture végétale influe sur le bilan hydrique du versant en participant au drainage du terrain instable par évapotranspiration (J.C. Flageollet, 1989). En plus, la couverture végétale lutte contre l'érosion superficielle des sols.

#### **VI.7.1.5. Elimination de surcharge Système de gabionnage**

Le gabionnage est une technique qui consiste à empiler et lier des gabions remplis de pierres. L'objectif de gabionnage

- Fabriquer des gabionnages nécessaires à l'installation d'ouvrage divers notamment les micro-barrages, les barrages et les seuils.
- Ralentir la vitesse des eaux de pendant les crues
- Enrayer le phénomène d'érosion hydrique qui a des effets sur la croué superficie du sol
- Favoriser l'épandage et la sédimentation dans les vallées.

#### **VI.8. Conclusion**

Dans ce chapitre nous avons validé les résultats obtenus dans notre travail, et établi une confortation directe avec le terrain dans la commune de Grarem Gouga.

La localisation des zones instables sur la carte de risque, confirme largement les résultats obtenus par l'approche SIG.

Nous avons utilisé le logiciel Geo-Slope, ce dernier donne une valeur inférieure au coefficient de sécurité admissible (1,5) ce qui confirme parfaitement l'instabilité du talus étudié.

Finalement, nous avons proposé des solutions pour la stabilité de talus.

# ***CONCLUSION GÉNÉRALE***

## Conclusion générale

Les glissements de terrain sont des mouvements de masses compactes et/ou de terrain meuble glissant vers l'aval. Ils résultent d'une rupture par cisaillement et se produisent en général sur des talus ou des versants de pente modérée à raide.

L'intérêt de cette étude est la reconnaissance des zones à risque de glissements de terrain et la cartographie de la susceptibilité aux glissements de terrain dans la commune de Grarem Gouga.

Les caractéristiques géologique (52,55% des argiles), géomorphologique (altitude entre 102 m et 1226 m, pente variée 0-35%) fait la région de Grarem Gouga exposé aux glissements de terrain.

L'étude hydroclimatologique a permis de déterminer les caractéristiques climatiques de la région d'étude. Elle est soumise à un climat subhumide à une saison pluvieuse et relativement douce, allant d'Octobre à Mai et par un été sec et chaude allant de Juin à Septembre. Avec des précipitations durant la période (1980-2019) sont relativement très importantes et elles sont de l'ordre de 981,73 mm et une température moyenne de 16 °C.

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

L'application du système d'informations géographiques, a permis de mettre en évidence les zones les plus exposées aux risques glissement de terrain dans la commune Grarem Gouga.

La carte de risque présentée dans cette étude a été classée en quatre classes selon leur degré de susceptibilité : faible, moyen, fort et très fort.

Cette carte de risque est considérée comme un document de base pour de minimiser et éviter les dégâts et les pertes causées par les glissements de terrain ou éviter les zones très sensibles qui doit compléter par des cartes pareilles en ajoutant d'autres facteurs déclenchant les glissements tels que l'eau et l'effet sismique.

# *RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES*





## Référence bibliographiques

- Aissa, M. (2011).** Analyse et modélisation d'un glissement de terrain. Cas de Sidi Youcef (Béni Messous, Alger). Mémoire de Master. Centre universitaire Khemis Miliana .143p.
- Amira, S. Boudanouf, H (2017) .** Approche SIG et cartographie des zones à risques de glissement : cas de la commune de Taher – JIJEL, mém master .Univ Jijel,102p.
- Benhamimed I. et Birouk O., 2019.** Etude de la chaîne d'adduction des communes GRAREM GOUGA et HAMALA, Daïra de GRAREM GOUGA Wilaya de MILA à partir du barrage de BENI-HAROUN. mém master .Univ Abderrahmane MIRA de Bejaia,130 p.
- Bouillin, J.P. & Raoult, J.F. (1971).** Présence sur le socle Kabyle du constantinois d'un olistostrome lié au charriage des flyschs; le Numidien peut être un néoautochtone? Comte Rendu : Somm. Soc. Géol. France, 7 :117P.
- Bouillin, J.P., Raoult, J.F., 1973.** Présence sur le socle kabyle du Constantinois d'un olistostrome lié au charriage des flyschs; le Numidien peut-il être un néo-autochtone ? Bull, Soc. Géol. Fr., (7), XIII, p.338-362, 8 fig. Paris.
- Bouillin, J.P., (1977) .** Géologie alpine de la petite Kabylie dans la région de Collo et d'El Milia (Algérie). Thèse doctorat. Univ. P. et M. Curie, 511 p.
- Bourtal M. et Laaleme F., (2018).** Risque de glissement de terrain : cas de la commune El Amir Abdelkader wilaya de Jijel approche SIG, mém master .Univ Jijel,105p.
- Chadi M. (1991).** Géologie structurale des Monts d'Aïn M'Lila (Algérie orientale). Thèse de l'Univ. De Nancy I, 67 fig., 10 pl., 1 pl. h.t. p. 191.
- Chihab M. et Griou S., (2018).** Analyse de la stabilité de la pente en utilisant la modélisation numérique : application au glissement de terrain du centre hospitalier universitaire « ISAAD Hassani » Beni Messous-Alger. Université Djillali BOUNAAMA de Khemis Miliana ,101p.
- Coiffait, P.E., (1992) .** Un bassin post-nappe dans son cadre structural, exemple du bassin de Constantine (Algérie orientale). Thèse doctorat sc. Univ. Nancy, 502 p.
- Djerfaoui I., (2016).** Le risque glissement de terrain dans la commune de Mila, causes et effets : Cas de la cité des 185 logements, lotissement Boulmerka, Mila. Mémoire de Master, Université Mohamed Boudiaf M'sila, 100p.
- Durand Delga M. (1955).** Etude géologique de l'Ouest de la chaîne Numidique. Thèse d'Etat. Paris, Publ.serv.Carte géol. Algérie, PP.24, 53.
- Durand Delga, M., (1969).** Mise au point sur la structure du Nord-Est de la Berbérie. Bull. Serv. Carte géol. Algérie. 39, pp. 89-131.
- Durand Delga et Fontboté, (1980).** Le cadre structurale de la méditerranée occidentale 26° cong.geol.intern. Colloque C5, Mém.Bur.Rech. Géol.Min n°115 P67-85, Paris.

- Durville, J. Gilles, S. 2000.** Stabilité des pentes : Glissement en terrain meuble. Technique de l'ingénieur.254p.
- Gelard.J.P, (1969).** Le flysch à base schisto-gréseuse de la bordure méridionale et orientale du massif du chettabah : le flysch maurétanien (grande kabylie). Bull. Soc. géol. Fr. (7).Paris.
- Hamadou N (2011).** Risques liés aux mouvements de terrain dans le Tell Constantinois : Cas du glissement de Douar Souadek (Zighoud Yousef). Mém de magister.Univ.Batna,196p.
- Joleaud, L., (1912).** Etude géologique de la chaîne numidique et des Monts de Constantine. Thèse, 438p. Paris et Montpellier.
- Merdaci A.; (2011).** Évaluation et spatialisation des contraintes en milieu montagnard pour une gestion intégrée des risques majeurs par des techniques de la géomatique. Cas de la ville d'Arif .mémoire de magister, univ de Batna.
- Marchand, J., 1996.** Les contraintes naturelles est l'organisation de l'espace inGéopoint 96. « Espace et nature dans la géographie aujourd'hui ? ». Group Dupont, Avignon, PP. 9-15.
- Philippe, R. (1988).** Mécanique des sols avancée : Stabilité des pentes .Laboratoire Central des Ponts et Chaussées .80p.
- Philipponat, G. et Bertrand, H.** « Fondations et ouvrages en terre Éditions Eyrolles, 2003, 548P.
- Raoult.J.F, 1969.** Nouvelles données sur les flyschs du nord de kef Sidi Driss et dans la zone de col des oliviers (Nord du Constantinois, Algérie).
- Raoult, J.F. (1974).** Géologie du centre de la chaîne Numidique (Nord du Constantinois, Algérie). Mém. Soc. Géol. France, 163p.
- Varnes, D.J., (1978).** Landslides types and processes. Landslides and Engineering Practice. Highway Research Board Special Report 29, Nat. Acad. Sci., pp. 20-47.
- Vila, J.M., (1980).** La chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins algéro-tunisiens. Thèse Doct. Univ. P. et M. Curie. Paris. 3 Vol, 665 p.
- Wildi W. (1983).** La chaîne Tello-rifaine (Algérie, Maroc, Tunisie) : structure, stratigraphie,et évolution du Trias au Miocène REV. Géol. Dyn.Geographys ; 24.P201- 297.
- Zouaoui S., (2008).** ÉTUDE GÉOLOGIQUE ET GÉOTECHNIQUE DES GLISSEMENTS DE TERRAINS DANS LE BASSIN NÉOGÈNE DE MILA : GLISSEMENT DE SIBARI. Mém de magister.Univ.Batna, 172p.

## Résumé

Le phénomène de glissement de terrain est considéré comme dangers naturel permanents rencontrés dans tous les pays du monde car l'importance des effets de glissement pouvant engendrer des dégâts humains et matériels pouvant se chiffrer en plusieurs millions de Dollars dont les gouvernements doivent prêter beaucoup d'attention. Pour cela, il faut compte tenu de ces phénomènes et de leurs dangers, et de prendre les précautions convenables pour détecter les zones instables afin de trouver les meilleures solutions de protections ou de traitements.

L'évaluation des risques de glissement de terrain a reçu toute l'attention de la communauté scientifique internationale durant la dernière décennie. Le présent travail s'inscrit dans un projet d'évaluer et cartographie le glissement de terrain dans la commune de Grarem, Gouga (Nord-Est Algérien), utilisant l'analyse spatiale et la technologie SIG de glissement de terrain. Trois facteurs ont été pris en considération dans cette évaluation à savoir : la pente, la lithologie, et la végétation. Pour établir une carte de risque de glissement de terrain de cette commune classée en quatre classes de susceptibilité : faible, moyen, fort et très fort.

## Mots clés

Glissement de terrain, Grarem, Gouga, Système d'information géographique (SIG), Cartographie, Vulnérabilité.

## Abstract

The phenomenon of landslide is considered as permanent natural dangers encountered in all countries of the world because the importance of the effects of landslides which can cause human and material damage which can amount to several million Dollars whose governments must lend a lot of Warning. For this, it is necessary to take into account these phenomena and their dangers, and to take the appropriate precautions to detect unstable areas in order to find the best protection or treatment solutions.

Landslide risk assessment has received much attention from the international scientific community over the past decade. The present work is part of a project to assess and map the landslide in the commune of Grarem, Gouga (North-East Algeria), using spatial analysis and landslide GIS technology. Three factors were considered in this assessment, such as: slope, lithology, and vegetation. To establish a landslide risk map of this municipality classified into four classes of susceptibility: low, medium, high and very high.

## Key words

Landslide, Grarem, Gouga, Geographic Information System (GIS), Mapping, Vulnerability.

## ملخص

تعتبر ظاهرة الانهيارات الأرضية من الأخطار الطبيعية الدائمة التي تواجهها جميع دول العالم وذلك لكونها تسبب أضرار بشرية ومادية يمكن أن تصل إلى عدة ملايين من الدولارات لذلك يجب على الحكومات أن توليها الكثير من الاهتمام. و من الضروري مراعاة هذه الظواهر ومخاطرها، واتخاذ الاحتياطات المناسبة لتحديد المناطق غير المستقرة من أجل إيجاد أفضل حلول الحماية أو العلاج.

حظي تقييم مخاطر الانهيارات الأرضية باهتمام كبير من المجتمع العلمي الدولي خلال العقد الماضي. هذه الدراسة هي جزء من مشروع تقييم ورسم خريطة الانهيار الأرضي في بلدية القرارم قوقة (شمال شرق الجزائر) ، باستخدام التحليل المكاني وتكنولوجيا نظم المعلومات الجغرافية للانهيار الأرضي . تم أخذ ثلاثة عوامل بعين الاعتبار في هذا التقييم، وهي: المنحدر، نوعية التربة، والغطاء النباتي. لإنشاء خريطة خطر الانهيارات الأرضية لهذه البلدية وقد صنفت إلى أربع فئات من القابلية للتأثر: منخفضة ومتوسطة وعالية وعالية جداً.

## الكلمات الدالة

القرارم قوقة ، الانزلاق الأرضي ، نظام المعلومات الجغرافية (GIS) ، رسم الخرائط ، القابلية للتأثر.