

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 -

Université Mohammed Seddik Benyahia - Jijel

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



كلية علوم الطبيعة و الحياة  
قسم : علوم الأرض و الكون

## Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme : Master Académique en Géologie

Option : Géologie de l'Ingénieur et Géotechnique

Thème

**Scénarios de rupture de quelques massifs rocheux sur la  
route nationale N°43, Wilaya de Jijel  
(Nord Est Algérien)**

**Membres de Jury :**

**Président : Dr tekkouk mostapha**

**Examineur: Mme Tebib Houria**

**Encadrant : Mme Yellas Chahra**

**Prof Benzaid Riad**

**Présenté par:**

**Bouchaal Rania**

**Rimouche Touria**

**Année Universitaire 2019-2020**

**Numéro d'ordre (bibliothèque) : .....**

## ***Remerciements***

*Tout d'abord merci au bon dieu le tout puissant et miséricordieux, de nous avoir donné la force, la patience et le courage tout le long de nos années d'étude.*

*Nous tenons aussi à remercier MADAME YELLAS CHAHRA et MONSIEUR BENZAID RIAD pour leurs encadrements et leurs constantes orientations de notre recherche en y accordant une méticuleuse attention, ainsi que pour les conseils et leur extrême amabilité malgré la grande charge de travail.*

*Nos remerciements s'adressent aux membres de jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre travail en acceptant de l'examiner et de l'enrichir par leurs propositions.*

*On remercie l'ensemble des enseignants du département des sciences de la terre et de l'univers.*

*Enfin, Nous adressons aussi nos remerciements à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à l'aboutissement de ce travail.*

## *Dédicaces*

*Avant tout, je tiens à remercier le bon dieu de m'avoir donné le courage et la volonté nécessaires pour que j'arrive à achever mes années d'études.*

*Je dédie ce modeste travail à mes chers parents, pour leurs soutiens, amour, patience et leurs encouragements.*

*A mes chers frères.*

*Ainsi à toutes les personnes qui m'ont encouragé et aidé le long de mes études.*

*Bouchaal Rania*

# Dédicaces

En première lieu, je remercie mon dieu de m'avoir donné la volonté, pour terminer ce travail dans les meilleures conditions.

Je tenais à remercier très sincèrement avec ma profonde gratitude à ma promotrice Mme CH. YELLAS .

Je tenais à remercier tous les enseignants de département géologie qui ont contribué à ma formation.

Je dédie ce modeste travail à celle qui m'a donné la vie, le symbole de tendresse, qui s'est sacrifiée pour mon bonheur et ma réussite, à ma mère CHAHERAZED .

À mon père KHIREDDINE , école de mon enfance, qui a été mon ombre durant toutes les années d'études, et qui a veillé tout au long de ma vie à m'encourager, à me donner l'aide et à me protéger.

À mes chers frères MOUHAMED , IDRIS , FAIK

À ma chère sœur ROUKIA

À ma chère cousine MANEL

À ma collègue BOUCHAAL RANIA

À mes amies KHADIDJA , SAWSEN, RAYENE , INES , SIHEM , RAFIKA, YASMINE , AMIRA

Un grand Merci à tous mes amis et mes collègues de géologie et géotechnique

TOURIA

## *Liste de figure*

### **Chapitre I**

|  |    |
|--|----|
| Figure 1.1. Localisation géographique du tronçon d'étude sur la carte topographique BOUGIE(NJ 31-16) au 1/200 000 (arcgis10.4) ..... | 03 |
| Figure I.2.Situation géographique du tronçon d'étude sur l'image spatiale (Google earth,).....                                       | 03 |
| Figure I.3.Réseau hydrographique de la wilaya de Jijel (A.N.R.H, 2012).....  | 05 |
| Figure I.4.Carte montrant les différents reliefs de la région Ouest Jijel (Globe mapper) .....                                       | 06 |
| Figure 1.5 Carte de pente de la région ouest de la wilaya de jijel (arcgis10.4).....   | 07 |
| Figure I.6. Carte de zonage sismique du territoire national (D'après le RPA 99 version 2008).....                                    | 08 |
| Figure I.7. Isoséistes de la secousse du 17 /02/1949 d'après J.P ROTHE(Tekkouk,2005).....  | 09 |

### **Chapitre II**

|   |    |
|---|----|
| Figure II.1.Carte et coupe structurale schématique de la chaîne maghrébid montrant la disposition des zones internes et externes (M. Durand Delga et Fontboté ; 1980) ..... | 10 |
| Figure. II.1.Unités et sous-unités des bords orientaux (D.Obert,1981) (légèrement modifié) .....  | 12 |
| Figure II.2. Esquisse géologique de l'unité Brek-Gouraya (Bords orientaux) d'après la carte géologique de D. Obert (1981)(légèrement modifié)(yellas, 2018) .....           | 13 |
| Figure II.4. Coupe géologique le long de la RN 43 Jijel- Bejaia montrant la complexité structurale de la région PETITE KABYLIE –ALGERIE (Yellas, 2018) .....                | 17 |
| Figure .II. 5.Carte du tronçon d'étude.....   | 18 |
| Figure II.6.Roche magmatique caractérisant la zone d'El Aouana.....   | 20 |
| Figure II.7.Calcaires de la région d'Aftis.....   | 20 |
| Figure II.8. Masse carbonatée en bancs métriques verticalisés (Grottes Merveilleuses).....  | 22 |

### **Chapitre III**

|  |    |
|--|----|
| Figure III.1.Carte pluviométrique de la wilaya de Jijel (ANRH, 1996).....                                    | 24 |
| Figure III.2.Graphedesrépartitions des précipitations moyennes mensuelles(2002-2018, station EL-Agrem) ..... | 25 |
| Figure III.3.Graphedesvariations des températures moyennes mensuelles (2002-2015, station EL-Agrem).....     | 26 |
| Figure III.4. Diagramme Ombrothermique durant la période (2002-2015)Station El-Agrem...                      | 27 |
| Figure III.5. Diagramme du bilan hydrique station EL-Agrem (2002-2015).....                                  | 31 |

### **Chapitre IV**

|  |    |
|--|----|
| Figure IV.1.Différents types de glissements .....                      | 36 |
| Figure IV.2 Schéma de principe de chutes de blocs et éboulements ..... | 37 |

|   |    |
|---|----|
| Figure IV.3.Exemple d'éboulement au niveau de la RN 43, janvier 2019(El Aouana .....                            | 37 |
| Figure IV.4.Classification des mouvements de terrain, Varnes, 1996.....   | 40 |
| Figure IV.5.les indices de la végétation .....  | 43 |
| Figure IV.6.Repérage du profil de calcul Station El Aouana.....   | 48 |
| Figure IV.7.Etude de la propagation d'un bloc rocheux station d'El Aouana Profil<br>trajectographique 2D .....  |    |
| (a) : Le profil avec une rugosité 0 .....   | 49 |
| (b): Le profil avec une rugosité 2 .....  | 50 |
| Figure IV.8.représente la répartition de la hauteur de rebond.....  | 50 |
| Figure IV.9.représente les énergies cinétiques maximales calculée .....   | 51 |
| Figure IV.10. Repérage du profil de calcul Station les aftis .....  | 51 |
| Figure IV.11. Etude de la propagation d'un bloc rocheux station des AFTIS Profil<br>trajectographique 2D .....  |    |
| (a): Le profil avec une rugosité 0 .....  | 52 |
| (b) : Le profil avec une rugosité 2 .....   | 53 |
| Figure IV.12.représente la répartition de la hauteur de rebond.....   | 53 |
| Figure VI.13.représente les énergies cinétiques maximales calculées.....  | 54 |
| Figure IV.14. Repérage du profil de calcul Station des grottes .....  | 55 |
| Figure IV.15.Etude de la propagation d'un bloc rocheux station des grottes Profil<br>trajectographique 2D ..... |    |
| (a): Le profil avec une rugosité 0 .....  | 56 |
| (b) : Le profil avec une rugosité 2 .....   | 56 |
| Figure IV.16.représente la répartition de la hauteur de rebond.....   | 57 |
| Figure IV.17.représente les énergies cinétiques maximales calculées.....  | 57 |
| Figure IV.18.Profil après confortement de la station d'El Aouana.....   | 58 |
| Figure IV.19.Profil après confortement de la station des aftis.....   | 59 |
| Figure IV.20. Profil après confortement de la station des Grottes .....   | 59 |
| FigureIV.2 .Reprofilage de la pente naturelle d'un massif instable.....   | 61 |
| Figure IV.22.exemple de merlon protection en remblais renforcées.....   | 62 |
| Figure IV.23.Grillage comme barrière fixe.....  | 63 |
| FigureIV.24.action des chutes des blocs sur les galeries de protection .....                                    | 64 |
| FigureIV.25.Stabilisation de paroi par plaquage de filets de grillage .....                                     | 65 |
| Figure IV.26.Type d'intervention de confortement .....  | 66 |

## *Liste des tableaux*

### **Chapitre III**

|   |    |
|---|----|
| Tableau III.1 .Précipitations mensuelles durant la période 2002-2018 Station EL-Agrem .....                                     | 25 |
| Tableau III.2.Température moyennes mensuelles durant la période (2002-2015) Station EL-Agrem .....                              | 26 |
| Tableau III.3Valeurs du coefficient d'ajustement mensuel « K » .....  | 29 |
| Tableau III.4 Calcul de l'évapotranspiration potentielle selon Thornthwaite durant la période (2002-2015) Station El-Agrem..... | 29 |
| Tableau III.5 Bilan hydrique à la station EL-Agrem (2002-2015).....   | 31 |

### **Chapitre IV**

|  |    |
|--|----|
| Tableau IV.1. Classement des éboulements en fonction de leurs volumes..... | 38 |
| Tableau IV.2.Différents propriétés des matériaux utilisés. ....            | 48 |
| Tableau IV.3. Différents propriétés des matériaux utilisés.....            | 52 |
| Tableau IV.4. Différents propriétés des matériaux utilisé.....             | 55 |

## SOMMAIRE

|                            |    |
|----------------------------|----|
| Remerciements              |    |
| Liste des figures          |    |
| Liste des tableaux         |    |
| Introduction Générale..... | 01 |

### CHAPITRE I : Généralité

|                                   |    |
|-----------------------------------|----|
| I.1.Introduction.....             | 02 |
| I.2. situation géographique ..... | 02 |
| I.3. climat.....                  | 04 |
| I.4. végétation.....              | 04 |
| I.5.Réseau hydrographique.....    | 04 |
| I.6.Orographie .....              | 05 |
| I.7. Sismicité.....               | 07 |
| I.8.Conclusion .....              | 09 |

### CHAPITRE II : Cadre géologique

|  |    |
|--|----|
| II.1. Introduction .....   | 10 |
| II.2.Cadre géologique local .....  | 10 |
| II.3.Présentation géologique de l'unité de Brek .....                          | 12 |
| II.3 .1 Principale caractéristique de l'unité du Brek.....                     | 13 |
| II. 3.1.1. Stratigraphie .....   | 14 |
| II.3.1.1.1.Le trias .....  | 14 |
| II.3.1.1.2. Le jurassique.....   | 14 |
| II.3.1.1.3.Le créacé.....  | 14 |
| II.3.1.1.4.Le cénozoïque.....  | 15 |
| II.3.1.2. Tectonique .....   | 15 |
| II.3.1.2.1. Les plis.....  | 15 |
| II.3.1.2.2.Failles et décrochement .....                                       | 15 |
| II.3.1.2.3.Magmatisme et métamorphisme.....                                    | 16 |
| II.3.1.3. Compartimentage tectonique.....                                      | 17 |
| II.4.Géologie du site d'étude .....  | 17 |
| II.4.1.Introduction .....  | 17 |
| II.4.2.Les formations géologiques qui affleurent le long du Site d'étude ..... | 18 |
| II.4.2.1. Les zones magmatiques .....  | 18 |



|  |    |
|--|----|
| II.4.2.2. Les zones à faciès carbonatés.....             | 19 |
| II.4.2.2.1. Description lithologique des carbonates..... | 20 |
| II.4.2.3. Phénomène de dolomitisation.....               | 21 |
| II.4.2.4. Phénomène karstique.....                       | 21 |
| II.5. Conclusion.....                                    | 22 |

### **CHAPITRE III : hydro-Climatologie**

|   |    |
|---|----|
| III.1. Introduction.....  | 23 |
| III.2. hydro-climatologie.....  | 23 |
| III.2.1. Aperçu climatique.....   | 23 |
| III.2.1.1. Aperçu climatique de la région de Jijel.....                       | 23 |
| III.2.2. Analyse des paramètres climatiques.....                              | 24 |
| III.2.2.1. Précipitations.....  | 24 |
| III.2.2.2. Température de l'air.....  | 25 |
| III.2.2.3. Diagramme ombre- thermique de GAUSSEN et BAGNOULS.....             | 26 |
| III.2.3. Bilan hydrologique.....  | 27 |
| III.2.3.1. Définition.....  | 27 |
| III.2.3.2. Évapotranspiration.....  | 28 |
| III.2.3.3. Concept et estimation de l'ETP et l'ETR.....                       | 28 |
| III.2.3.4. Calcul de l'évapotranspiration par la formule de Thornthwaite..... | 28 |
| A. L'évapotranspiration potentielle (ETP).....                                | 28 |
| B. L'évapotranspiration réelle (ETR).....                                     | 29 |
| C. Calcul du déficit agricole (Da).....                                       | 30 |
| III.2.3.5. Interprétation du bilan hydrique de Thornthwaite.....              | 31 |
| III.2.3.6. Estimation du ruissellement et de l'infiltration.....              | 32 |
| III.3. Conclusion.....  | 33 |

### **CHAPITRE IV : Mécanisme d'instabilité des massifs rocheux**

|  |    |
|--|----|
| IV.1. Introduction.....                                    | 34 |
| IV.2. Classification des mouvements de terrain.....        | 34 |
| IV.2.1. Les glissements de terrain.....                    | 35 |
| IV.2.1.1. Les glissements plans.....                       | 35 |
| IV.2.1.2. Les glissements circulaires ou rotationnels..... | 36 |
| IV.2.2. Les coulées boueuses.....                          | 36 |
| IV.2.3. Les chutes de pierre et éboulements.....           | 36 |

|   |    |
|---|----|
| IV.2.3.1classification des blocs gravitaire rocheux .....                   | 37 |
| IV.2.4.Les affaissements et les effondrements de cavités.....               | 38 |
| IV.2.5.Le retrait-gonflement des sols argileux.....                         | 38 |
| IV.3. Les cause d'éboulement.....   | 41 |
| IV.3.1.Facteurs permanents.....   | 41 |
| IV.3.1.1.La pesanteur .....   | 41 |
| IV.3.1.2.L'eau .....  | 41 |
| IV.3.1.2.1.Action mécanique.....  | 41 |
| IV.3.1.2.2.Action chimique.....   | 41 |
| IV.3.1.3. La nature et les caractéristiques mécaniques des terrains.....    | 41 |
| IV.3.1.4.La structure des terrains .....                                    | 42 |
| IV.3.1.5. La morphologie .....  | 42 |
| IV.3.1.6.Le couvert végétal.....  | 42 |
| IV.3.2.Facteurs variables dans le temps.....                                | 43 |
| IV.3.2.1.Les précipitations .....   | 43 |
| IV.3.2.2. La température .....  | 44 |
| IV.3.2.3. Le Gel et dégel .....   | 44 |
| IV.3.2.4.Le séisme et le volcanisme.....                                    | 44 |
| IV.3.2.5. L'action de l'homme.....  | 45 |
| IV.4. Présentation de logiciel Roc fall .....                               | 45 |
| .IV.5. Détermination des paramètres d'entrée pour une analyse RocFall ..... | 46 |
| IV.6.Utilisation de modèles trajectographiques .....                        | 47 |
| IV.6.1. Station EL_Aouana.....  | 47 |
| IV.6.1.1. description géologique .....                                      | 47 |
| IV.6.1.2.Données d'entrées du logiciel .....                                | 48 |
| IV.6.1.3.Résultants .....   | 49 |
| IV.6.2.Station des Aftis.....   | 51 |
| IV.6.2.1. description géologique .....                                      | 51 |
| IV.6.2.2.Données d'entrées du logiciel .....                                | 52 |
| IV.6.2.3.Résultants .....   | 52 |
| IV.6.3.Station des GrottesMerveilleuses.....                                | 54 |
| IV.6.3.1.description géologique .....                                       | 54 |
| IV.6.3.2.Données d'entrées du logiciel .....                                | 55 |
| IV.6.3.3.Résultants .....   | 56 |
| IV.7.Interprétation .....   | 57 |

|  |    |
|--|----|
| IV.8.Confortement des l'éboulement rocheux .....         | 60 |
| IV.8.1.Méthode de confortement des massifs rocheux ..... | 60 |
| IV.8.2.Systèmes de confortement complémentaire.....      | 65 |
| IV.9.conclusion .....                                    | 66 |
| Conclusion générale.....                                 | 67 |



**INTRODUCTION**

On se rend compte, aujourd'hui, que les risques naturels sont un obstacle au développement économique et social pour les pays. Malheureusement, nous ne pouvons pas, le plus souvent, nous opposer de front aux excès de la nature, qu'ils soient d'origine atmosphérique ou tellurique, mais il est possible de déceler et de localiser les principaux secteurs où ces phénomènes ont le plus de chances de survenir. A partir de là on peut, dans le meilleur des cas, chercher à les éviter ou à s'en protéger, et dans tous les cas, faire en sorte que leurs effets soient les moins dommageables possibles.

Les éboulements rocheux qui sont une sous-catégorie des mouvements de pente constituent l'objet de ce travail. Ils représentent une source de danger, en particulier pour les zones côtières et montagneuses où ils sont susceptibles de se produire le plus.

Les dangers naturels liés à la stabilité du massif rocheux sont dus à l'intensité de la fracturation des roches surplombant la chaussée routière.

La plupart des itinéraires dans les zones montagneuses présentent des risques de chutes de pierres, de roulis et de rebonds. Il existe de nombreux programmes informatiques permettant de simuler le problème des chutes de pierres, éboulements... et, s'ils ont le même objectif, ils diffèrent cependant dans les données d'entrée nécessaires pour simuler le problème, et ils diffèrent également dans la manière de traiter et le type de sortie.

Cette étude consiste à utiliser la modélisation des chutes de blocs par le logiciel RocFall pour simuler quelques modèles de pentes sur la route nationale 43 des zones d'El Aouana, les Aftis et les Grottes Merveilleuses. Afin de définir la trajectoire des massifs rocheux ainsi que les différentes méthodes de confortement pour essayer de remédier à ces mouvements de terrain.

La méthodologie de ce travail s'articule autour des points suivants :

- une documentation sur l'historique géologique de la région d'étude ;
- une consultation des travaux et études déjà effectués dans la région ;
- une consultation des documents relatifs à l'hydrologie de la région ;
- la récolte des données géotechniques nécessaires ;
- les sorties de terrain sur le site d'étude.

Le manuscrit est organisé en quatre chapitres de la manière suivante :

- Introduction générale
- Chapitre I : Généralité
- Chapitre II : Cadre géologique
- Chapitre III : Hydro-climatologie
- Chapitre IV : Mécanisme d'instabilité dans les massifs rocheux
- Conclusion générale



CHAPITRE I

**I.1 .Introduction**

Le tronçon routier qui fait l'objet de cette étude, situé au Nord –Est Algérien sur la route national RN43 qui traverse la wilaya de jijel de l'Est jusqu'au Ouest, à partir de la commune souk l'Tenine(Wilaya de bejaia) jusqu'à la commune de d'El Hadaiek (wilaya de Skikda).

Dans ce chapitre nous présentons une synthèse bibliographique sur les données naturelles essentielles dans la zone d'étude.

**I.2.la situation géographique**

La wilaya de Jijel est située le long de la côte Est du pays, à un peu plus de 350 km à l'Est de la capitale Alger et environ de 120 km au Nord – Ouest de la Wilaya de Constantine. Elle est affiliée au littoral méditerranéen, limitée au Nord par la mer Méditerranée, à l'Ouest par la Wilaya de Bejaïa, à l'Est par la Wilaya de Skikda, au Sud-Ouest par la wilaya de Sétif, au Sud par la Wilaya de Mila et enfin au Sud-Est par la Wilaya de Constantine.

Le tronçon routier concerné par notre étude fait partie de la route national N°43 (**FigureI.1**), il est délimité :

- A l'Ouest par le méridien desFalaises,
- A l'Est par le méridien d'El Aouana,
- Au Nord par le littoral méditerranéen.

Le tronçon routier concerné par cette étude est compris entre le méridien d'El Aouana à l'Est de Ziamamansourial'ouest , caractérisé par plusieurs points d'instabilité ont été repérés le long de ce tronçon

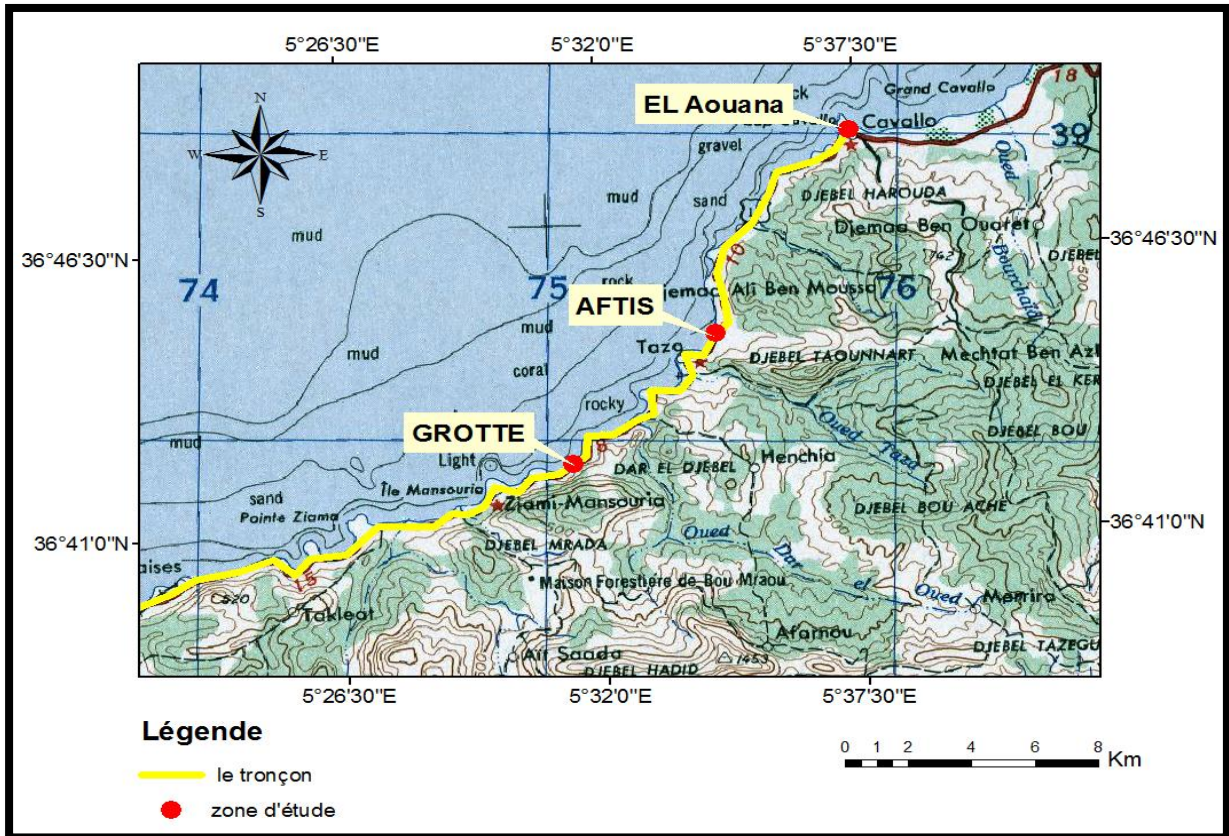


Figure 1.1. Localisation géographique du tronçon d'étude sur la carte topographique BOUGIE(NJ 31-16) au 1/200 000(arcgis 10.4)



Figure I.2. Situation géographique du tronçon d'étude sur l'image spatiale (Google earth).



### **I.3. Climat**

La région d'étude est caractérisée par un climat méditerranéen .il est caractérisé par un ensoleillement important de fréquents vents violents, des étés chauds et secs en moyenne température 26°C et des hivers doux de température 12 °C et humide.

Les saisons intermédiaires qui sont pluvieuses (le Printemps et l'Automne), les pluies tombent généralement sous forme d'orages.

Durant la période de 2010-2018, il à été observé que la valeur maximal de précipitation pendant la saison d'hiver est de198.5 mm(décembre) tandisque la valeur minimal 0.0mm en saison d'été (juillet) et la moyenne annuelle de précipitation 1161.4 mm.

### **I.4 .végétation**

En Afrique du Nord, comme d'ailleurs dans tous les pays à climat sec et chaud, la foret exerce une influence incontestable et régulatrice sur le climat, cette action est beaucoup plus marquée que dans les pays d'Europe à climat plus régulier, on a pu constater dans les stations météorologiques forestières que la température moyenne était plus basse en forêt, que l'humidité était plus élevée, que la présence d'un massif forestier important tendait à accroître la pluviosité moyenne de 80 % sans toutefois que le nombre de jours de pluie fut augmenté (**Boudy. 1952**).

L'importance de la région a favorisé le développement d'un couvert végétal assez important caractérisé par une couverte large de foret importantabondant.

### **I.5. Réseau hydrographique**

Selon la codification de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) ,jjjelcaractérisée par un réseau hydrographique assez important en relation surtout avec la lame d'eau précipite durant les dernier années , la région d'ElAouana limités par deux grandes Oueds ,Ouedkissir à l'Est et Oued Taza au Sud-Est(**Figure 1.3**).

Les principaux des cours d'eau qui se jettent sur la coté méditerranéenne dans la wilaya,d'Ouest en Est par les Oueds : Kissir, El Kantara, Mencha, DjenDjen et Nil.

Les régions d'El Milia, El Ancer et l'ensemble des régions montagneuses situées au Sud-Est de la Wilaya font partie du bassin versant Kebir-Rhumel.

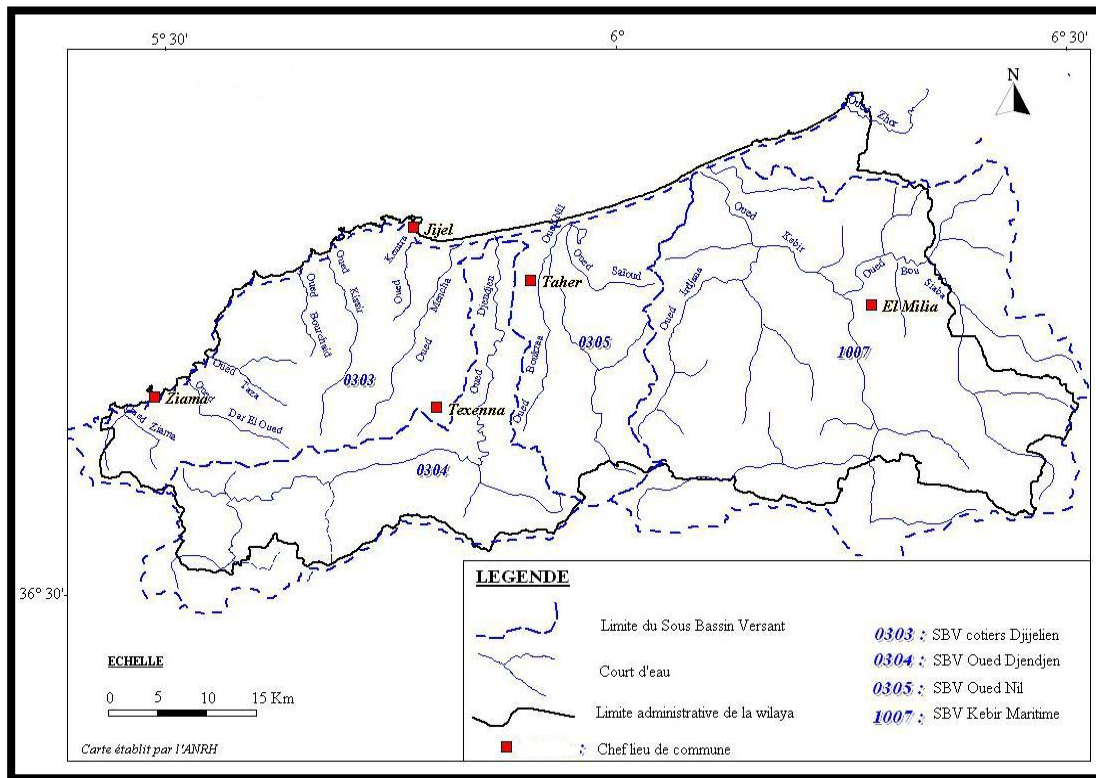
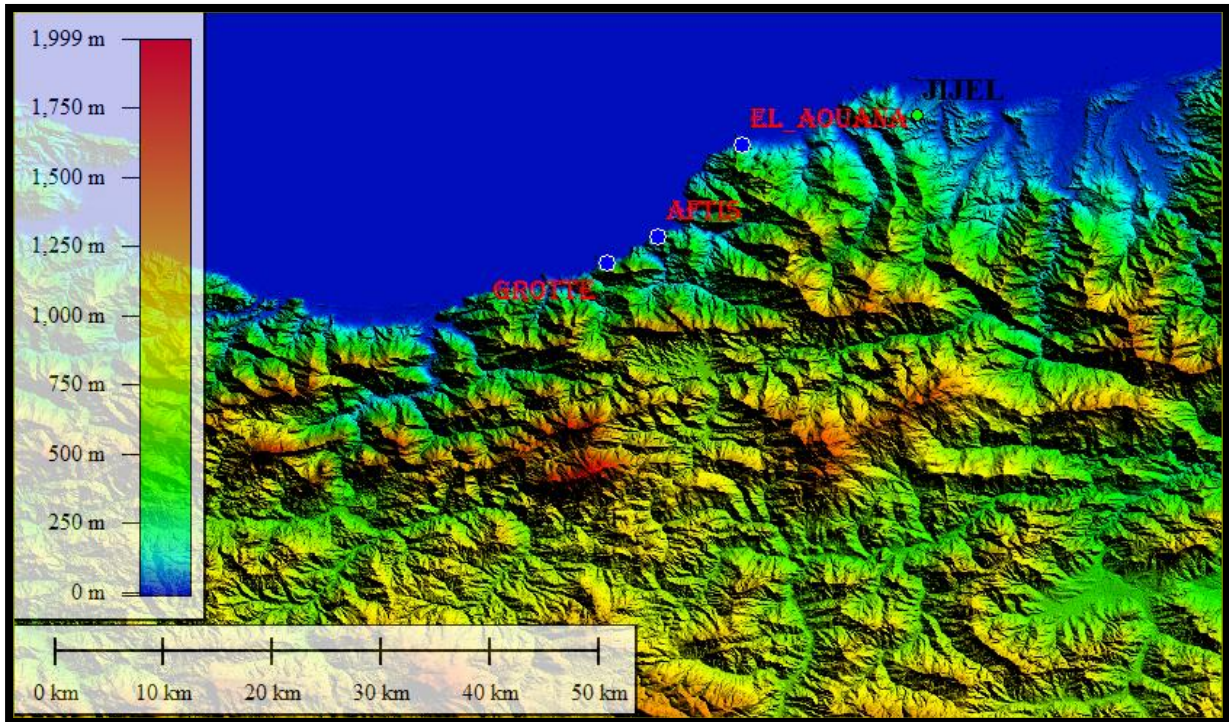


Figure I.3. Réseau hydrographique de la wilaya de Jijel (A.N.R.H, 2012)

### I.6. Orographie

La région de Jijel est essentiellement montagneuse. Son système orographique occupe 82% de sa superficie totale en plusieurs sommets dépassent les 1 500m d'altitude (Figure. I.4). Ils ont d'Ouest en Est M'Sid Echetta 1543 m, Tamesguida 1625 m et M'Sis Driss Aissa 1426 et plus de 65% des terres de la wilaya ont une pente topographique raides supérieure à 25%. (figure I.5)



**Figure.I.4.** Carte montrant les différents reliefs de la région Ouest Jijel  
(Globe mapper)

La carte des pentes de la région d'étude montre cinq zones dont la pente varie de 0% à plus de  $\geq 40\%$ . Notre tronçon routier objet de cette étude traverse des zones de moyenne à forte pente estimées supérieures à  $20^\circ$ .

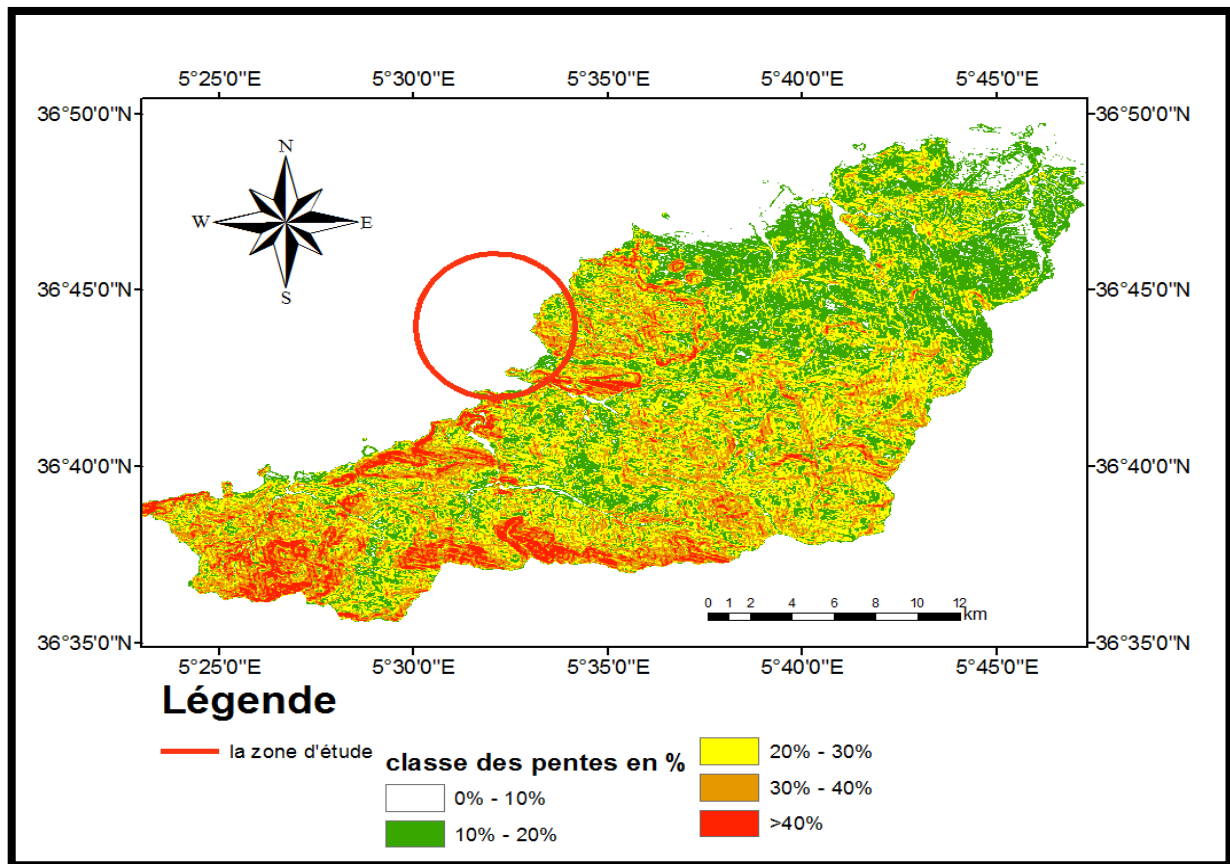


Figure 1.5 Carte de pente de la région ouest de la wilaya de Jijel (arcgis10.4)

### I.7.Sismicité

En Algérie, la tectonique active est localisée dans la région nord du pays, essentiellement dans le Tell. Dans cette région, frontière entre les plaques Africaine et Eurasiatique, la déformation tectonique est l'expression de la convergence actuelle de ces deux plaques et se traduit par la fermeture progressive des bassins néogènes et par la poursuite de l'édification de la chaîne. (Yelles-Chaouche et al. 2006).

Les Règles Parasismiques Algériennes (RPA 99/version 2008), divisent le territoire national en quatre 04 zones de sismicité croissante comme le montre la Figure I.5 ;

Zone 0 : sismicité négligeable

Zone I : sismicité faible

Zone II a : sismicité moyenne

Zone II b : sismicité élevée

Zone III : sismicité très élevée

Le tronçon étudié est situé dans la zone sismique **IIa** (sismicité moyenne). Il est classé comme une région qui pourrait subir des secousses supérieures à l'intensité **4** sur l'échelle de Richter (Bockel, 1999)

Généralement, le site entre la région de bibans et la région de babors le plus fort activé des structures actives en Nord-Est d’Algérie pour exister un ensemble des structures tectoniques, sur la région de Babors , il contient deux accident majeur la faille inverse de kherratta orientée Nord-Sud perpendiculaire à la contrainte maximale et la structure décrochante transversale Nord-Sud de Kherrata parallèle à la contrainte maximal (Abacha.I,2015) (figure I.7)

Le pli-faille de Kherrata orienté N070E, l'une des failles de chevauchement les plus importantes de la région de Babors, connue pour son activité lors du séisme du 17 Février 1949 (Meghraoui, 1988)(Figure I.6).

Les données historiques relatives à la sismicité de la région font état d’un évènement majeur survenu le **21 Août 1856** de la ville Djedjelli de magnitude de 5.7 sur échelle Richter qui se produit en mer et qui à accompagne un tsunami .

Le séisme le plus récent qui a frappé la région de El Aouana s’est déroulé le 24 janvier 2020 à magnitude de 4.9 sur l’échelle Richter accompagner de plusieurs secousse , il n’à pas causé une perte majeur dans la région sauf quelque chute de bloc et des dégradations sur la route N43 .

Ces événements sismiques qui ont généré une région instable qui a conduit à des glissements de terrain, des blocs tombés se sont effondrés dans la falaise, des tassements dans les régions du Karst (région de ziama), des glissements de terrain, etc.

Ainsi les effets catastrophiques ont montré une faiblesse à laquelle notre pays est confronté dans le risque de tremblement de terre.

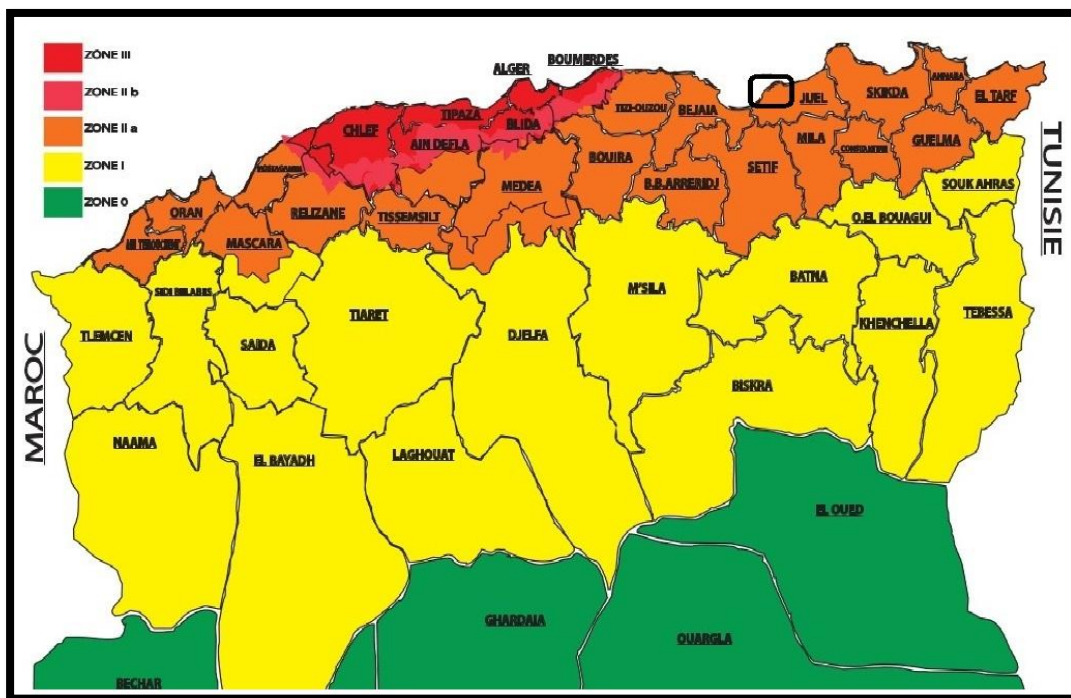


Figure I.6. Carte de zonage sismique du territoire national (D’après le RPA 99 version 2008)

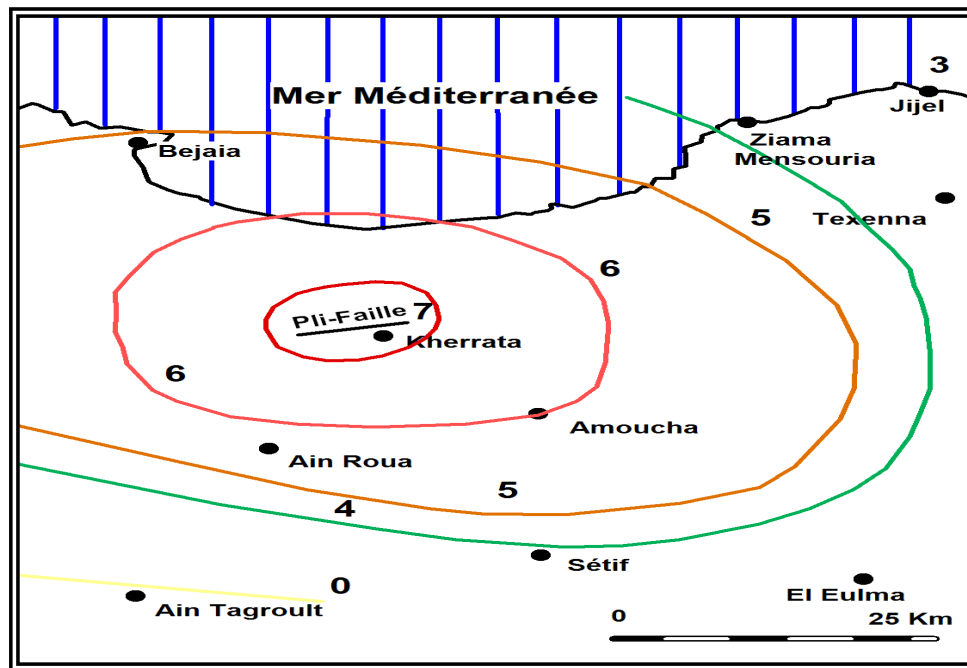


Figure I.7. Isoséistes de la secousse du 17 /02/1949 d'après J.P ROTHE(Tekkouk,2005)

### I.8. CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons traité les principales composantes physiques et mécaniques de la région de Jijel, notamment en ce qui concerne les données climatiques qui affectent directement sur la stabilité des massifs rocheux.



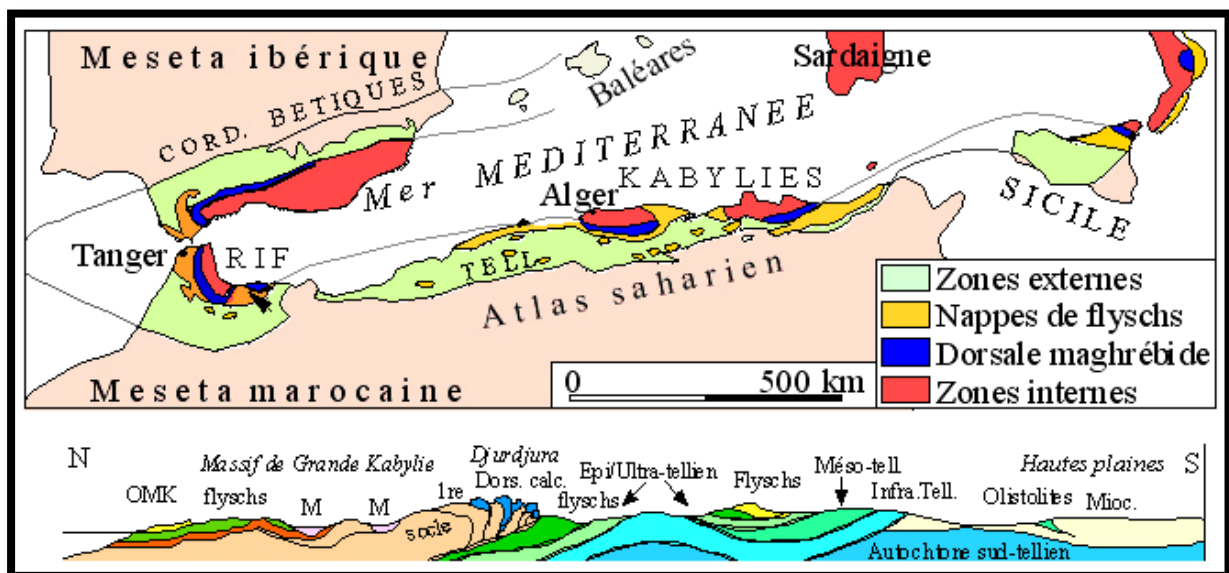
**CHAPITRE II**

**II.1.Introduction**

La région de Jijel fait partie de la petite Kabylie, entité géographique des chaînes côtières de l’Est algérien. Ces chaînes appartiennent à la chaîne alpine d’Afrique du Nord. La chaîne alpine d’Afrique du Nord ou chaîne des Maghrébides fait partie de l’orogène alpin péri-méditerranéen(Durand-Delga, 1969) d’âge Tertiaire qui s’étend de l’Ouest à l’Est sur 2 000 km depuis l’Espagne du Sud à l’arc calabro-sicilien(FigureII.1).

Le domaine de la chaîne des maghrébides a connu des phases de déformations méso-cénozoïques aboutissant à la mise en place de nappes de charriage. C’est le domaine des nappes ou domaine allochtone. (Durand-Delga,1969) .

Dans ce domaine en forme d’anneau très aplati, on distingue classiquement les zones internes, situées à l’intérieur de l’anneau et représentées aujourd’hui par différents massifs, dispersés le long de la côte méditerranéenne et les zones externes situées à sa périphérie.



**Figure II.1.** Carte et coupe structurale schématique de la chaîne maghrébide montrant la disposition des zones internes et externes (M. Durand Delga et Fontboté ; 1980)

**II.2. Cadre géologique local**

Le site étudié appartient au domaine tellien, il se situe dans le Nord oriental de l’Algérie. Les Babors font partie de la tranche sud de la chaîne alpine qui s’étend sur environ 2000 km entre le détroit de Gibraltar à l’ouest, la Sicile et Calabre à l’Est.

Les Babors orientaux font partie du domaine tellien interne. Il s’agit de l’entité géographique s’étendant d’Ouest en Est et du Nord au Sud de la méditerranée au Dj Babors(D. Obert, 1981).



**-Les unités à matériel éocène**

Ces unités sont bien exprimées dans la partie sud du front des Babors. Elles sont considérées comme diversification de série de provenance plus septentrionale que la nappe de Djmila. Elles se différencient de leur substratum par leur position structurale et par la réduction de leur colonne stratigraphique dont la base ne descend pas au-delà du Maestrichtien, mais dont le sommet atteint le Lutétien. **(D.Obert ,1981)**

**- Les unités septentrionales**

Elles constituent un ensemble allochtone qui s'étend dans la direction nord-ouest, sud-est et présente une évolution stratigraphique continue des séries jurassique et créacé **(D. Obert, 1981)**. Les sous-unités sont en partant de l'extérieur (Sud) du domaine des Babors ;

**A. Unité des Bâbors**

Elle a été morcelée en sous unités : Kherrata, Dj Bâbord et Adrar ou Mellal. Ces sous unités présentent des caractères stratigraphique communs et une évolution métamorphique identique. **(D. Obert, 1981) (Figure II.2)**

**B. Unité de Draa el Arba – Erragène**

Cette unité comporte les sous unités : l'Ahzerouftis, Bni – Felkai – Tababor, Dj.Boukouna au Dj. Pachachit. Elle est constituée de terrains allant du Trias au Paléocène, apparait comme une série appartenant à un milieu le plus individualisée. **(D. Obert, 1981)**

**C. Unité de Brek**

Elle est formée essentiellement d'une masse de calcaires dolomitiques d'âge Jurassique, Englobant la zone de Ziama et s'étend du Djebel Taounert à Tludène au Sud.

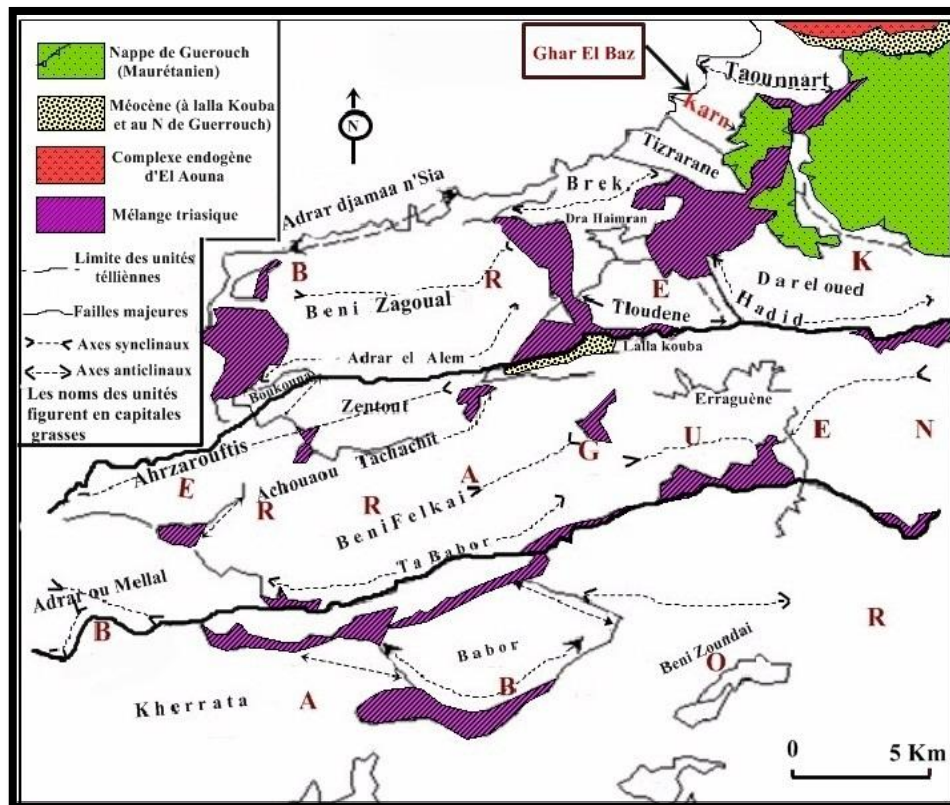


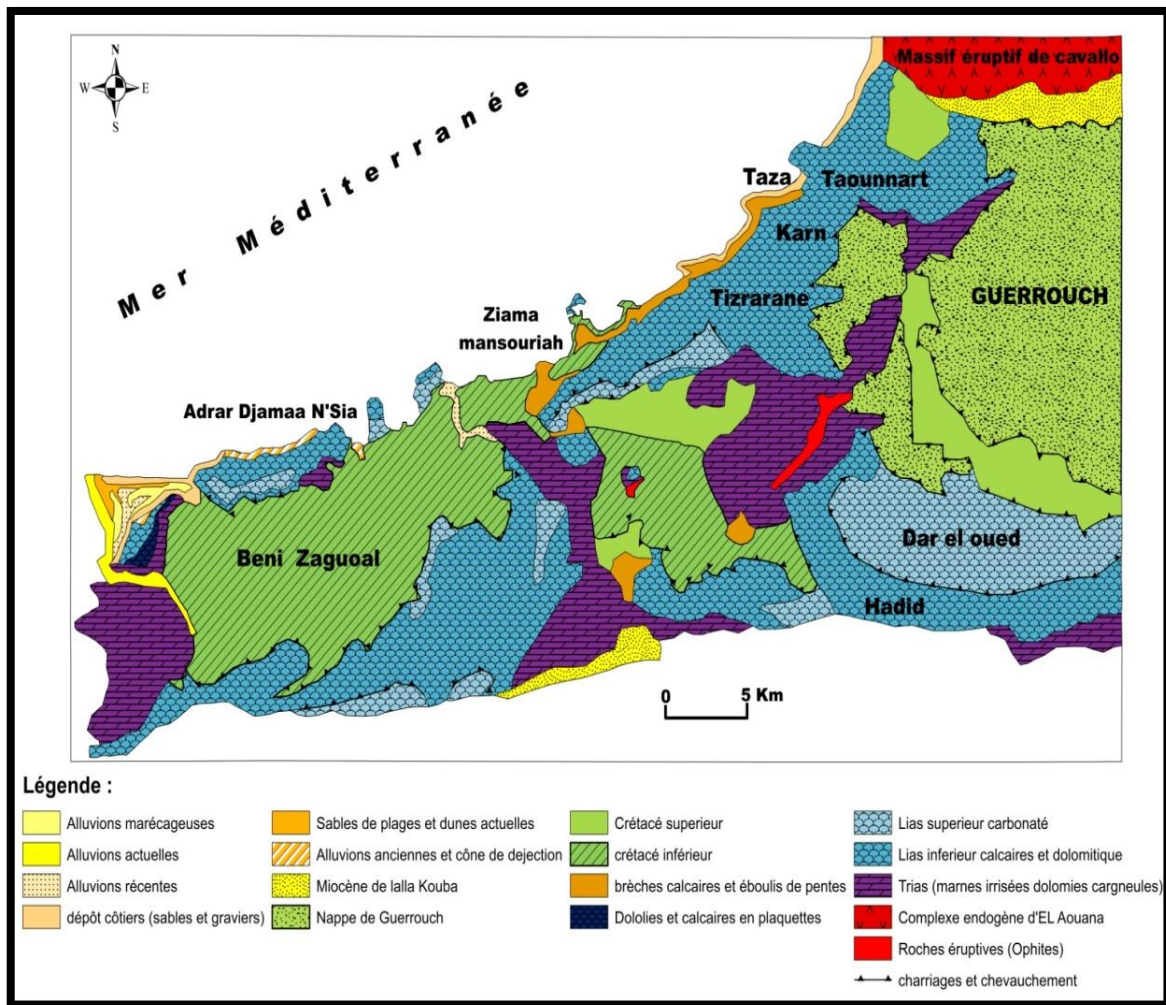
Figure. II.2. Unités et sous-unités des babors orientaux (D.Obert, 1981) (légèrement modifié)

### II.3. Présentation géologique de l'unité de Brek

Géographiquement, l'unité de Brek présente du Sud vers le Nord une longue échine calcaire s'allongeant de l'Adrar el Alem au Dj. Tazeguezaout. Cette échine calcaire est interrompue en son milieu par un bassin occidental celui des Beni Zegoual et un bassin oriental drainé par l'Oued Dar El Oued et séparé par une ligne de hauteurs joignant l'échine méridionale aux chaînes côtières (Obert, 1981) (Figure II.3)

Cette unité comporte quatre ensembles structuraux bien distincts (D.Obert, 1981) :

- Les Beni Zegoual à l'Ouest, regroupant les sous-unités de l'Adrar El Alem, des Beni-Zegoual proprement dit et du chaînon côtier de l'Adrar Djeman N'Sia .
- La chaîne des Dj. Tloundéne et Hadid au SE .
- Le massif du Dj. Brek, prolongé vers le Nord par la région de Tizrarane et Dar El Oued .
- Enfin le Dj Taounnart, bordé au Nord par le massif éruptif de Cavallo (El Aouana) et disparaissant à l'Est sous la nappe du flysch de Guerrouch.



**Figure II.3.** Esquisse géologique de l'unité Brek-Gouraya (Babors orientaux) d'après la carte géologique de **D. Obert (1981)**(légèrement modifié)(yellas.C, 2018)

### II.3.1. Principales caractéristiques de l'unité du Berk

Cette unité correspond en partie à la zone sous-Kabyle décrite par Durand Delga (1955), et à l'intérieur de cette unité à la sous-zone des massifs jurassiques comprenant la partie orientale des babors. (D.Obert, 1981) une partie de cette unité est baptisée « Zone de Ziama » A.Caire. CoutelleetD.Obert (1968), Ces derniers supposent l'existence d'un contact anormal entre le sénonien et le Dj.Brek.Cependant,Leikine (1971), regroupe les Dj. Arbalou et Gouraya en une même zone. Par la suite on l'a nommé « l'unité de Brek-Gouraya » parce qu'on a regroupé cet ensemble et l'unité du Brek dans cette même unité(D. Obert,Bellier JP, 1975)(Yellas.C ,2008).

### **II.3.1.1. Stratigraphie**

Les différents ensembles stratigraphiques de cette unité peuvent être résumé comme suit :

#### **II.3.1.1.1. Le Trias**

Connu et daté au Dj. Brek sous forme de grés micacés et de schistes lilacés ou verdâtres (D.Obert, 1981).

#### **II.3.1.1.2. Le Jurassique**

Il est représenté par des dolomies sombres, massives ou Bréchifiées, et de gros blocs de calcaires

- **Lias inférieur** : Il est représenté par des dolomies sombres, verdâtre ou lilacées, massives, rubanées ou bréchiques.
- **Lias moyen** : Caractérisé par des calcaires massifs à Algues, des niveaux supérieurs, plus sombres contiennent des silex qui sont Partiellement ou totalement (Hadid-Tloundène) dolomitiques.
- **Lias supérieur** : représenté par des calcaires gris, pyriteux, ces calcaires contiennent des silex inégalement répartis, des Radiolaires, des spicules de Spongiaires, des filaments dans les niveaux élevés.
- **Dogger** : Il est représenté par des marnes et marno-calcaire, des niveaux détritiques au Dj. Brek et des calcaires oolitiques au Dj. Tloundène.
- **Malm** : Il est représenté par des dolomies sombres, massives ou Bréchifiées des calcaires massifs du Lias inférieur et moyen et des calcaires gris à silex du Lias supérieur. Calcaires oolitiques, Calcaires argileux et des schistes rouges, ainsi que des conglomérats à l'E du Dj. Brek.
- **Jurassique supérieur** : Fortement attaquée par l'érosion (anté) néocomienne, cette formation n'est connue au Dj. Taounart qu'à l'état de galets. Faciès variés : calcaires oolitiques à lits et bourgeons siliceux au Dj. Brek où ils s'associent à des calcaires détritiques clairs et à des schistes vari colores à lits radiolaritiques.

#### **II.3.1.1.3. Le Crétacé**

Caractérisé par des Calcaires pélitiques gris, ou brun jaune, à fossiles pyriteux, des Conglomérats ou galets épars leur sont associés.

- **Crétacé inférieur** : il est représenté par des formations de conglomérats, des calcaires argileux et des schistes pélitiques gris.
- **Crétacé supérieur** : il est représenté par marnes et des calcaires marneux de couleur grise à vert au sud du Dj. Brek (D.Obert, 1981).

#### II.3.1.1.4. Le Cénozoïque

Caractérisé par des formations réduites et rares d'âge pliocènes et éocènes, et montrent une similitude de faciès avec les formations paléocènes du Dj. Taounart, le Miocène représenté par des formations à dominance détritique (**D. Obert, 1981**).

#### II.3.1. 2. tectonique

##### II.3.1.2.1. Les plis

Au Sud, la bordure méridionale domine l'unité d'Erraguène, et déformée en plis déversés vers V Nord (Ad. Djemaa M'Sia, N du Dj. Hadid) parfois déracinés (Dj. Mrada, Draa Haimran). La partie intermédiaire de cette zone est déformée en plis droits et partiellement coiffée de sa couverture crétacée (**Obert, 1981**).

La zone septentrionale ne s'individualise qu'à partir du Dj. Messaia et présente le même type d'organisation que l'unité méridionale : plis déversés au Sud sur sa bordure méridionale (Dj. Kessaia, Dj. Brek, Dar el Oued), déversés ou couchés vers le Nord sur la bordure septentrionale (Dj. El Haouita, Dj. Taounart), plis droits au centre.

On déduit alors que l'ensemble de l'unité peut schématiquement être divisé en deux zones comportant des plis à déversements opposés donnant l'illusion de plis conjugués. (**D. Obert, 1981**).

##### II.3.1.2.2. Failles et décrochements

L'écaillage du Jurassique du Dj. Brek est découpé par une série de failles inverses, témoin de l'écrasement intense de la partie du chaînon calcaire.

Un grand Nombre de miroirs de failles portent des stries horizontales ou peu inclinées, le sens de déplacement relatif y parfois perceptible.

Les plus importants failles décelées par **D. Obert** dans la région de notre étude sont :

- Failles N-S à rejet sénestre (cluse de Dj Brek, Tizarane, dar el oued)
- Failles W-E ou WSW-ENE à rejet décrochant (de Djebel messaia et Djebel Brek jusqu'au Djebel Dar el oued).
- La faille de Taounart, à faible rejet et semelle Marno-gypseuse. (**D. Obert, 1981**).

##### II.3.1.2.3. Magmatisme et métamorphisme

Les roches magmatiques rencontrées dans le domaine des Babors, peuvent être devisées en deux groupes distincts :

- ✓ Les roches d'âge tertiaire (miocène) formant les massifs d'Amizour et d'El Aouana (Cavallo). (**D. Obert, 1981**).
- ✓ Les roches antérieures au Cénozoïque, contenu généralement en lambeaux dans les mélanges triasique

Le métamorphisme est réparti de façon très disparate dans cette unité. On y distingue,

De bas en haut de l'édifice :

- ✓ des écaillés épi métamorphiques en lambeaux sous la masse principale de l'unité charriée et dont le contenu stratigraphique se limite au Jurassique et à la base du Crétacé inférieur. (**D. Obert, 1981**).
- ✓ la série jurassique-éocrétacée de l'unité dont le métamorphisme n'atteint le degré "épi" que le long de la bordure méridionale et à proximité de la diorite de Bou Zazen. L'ensemble apparaît relativement moins métamorphisé que dans l'unité d'Erraguène.
- ✓ la série sénonienne où un très léger métamorphisme se manifeste provoquant le glissement des inters stratifiés illite-montmorillonite vers le pôle illitique. L'évolution est ici plus nette que dans l'unité d'Erraguène. (**D. Obert, 1981**).

La présence du facteur thermique peut être liée à la montée magmatique (diorite quartzique) leur influence se prolonge jusque dans le céno-manien et aussi le facteur dynamique revêt deux aspects : les contraintes tectoniques causent l'apparition d'une schistosité de flux, la pression des fluides développée sous la couverture albienne imperméable. (**D. Obert, 1981**).

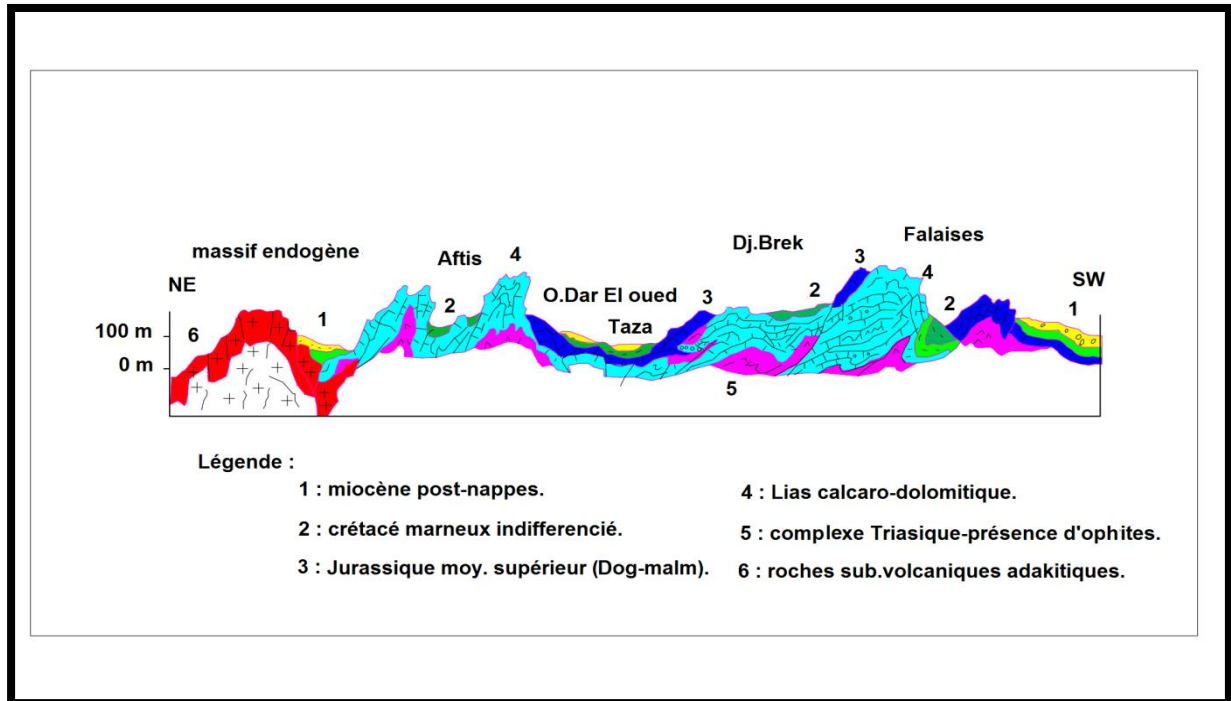
Le gradient du métamorphisme a été mis en évidence par l'étude statistique des cristallinités de l'illite de diverses unités ainsi que par la réalisation d'une carte d'iso cristallinité, le gradient est N-S dans les Babors, la zone de métamorphisme maximum se situe sur le bord septentrional de la zone bibanique. Au-delà de ce gradient s'inverse et le métamorphisme décroît vers le sud. (**D. Obert, 1981**).

### **II.3.1.3. Compartimentage tectonique**

La petite Kabylie occidentale fait partie intégrante de la chaîne de maghrébides et recèle des structures tectoniques remarquables pour la compréhension de l'histoire géologique.

On distingue deux compartiments :

- Au nord le compartiment structural supérieur constitué des nappes gravitaires.
- Au sud le compartiment structural inférieur constitué des nappes du socle kabyle ; du C.V.S du flysch massylien ; et du tellien marneux.



**Figure II.4.** Coupe géologique le long de la RN 43 Jijel- Bejaia montrant la complexité structurale de la région PETITE KABYLIE –ALGERIE (Yellas.C, 2018).

## II.4. Géologie du site d'étude

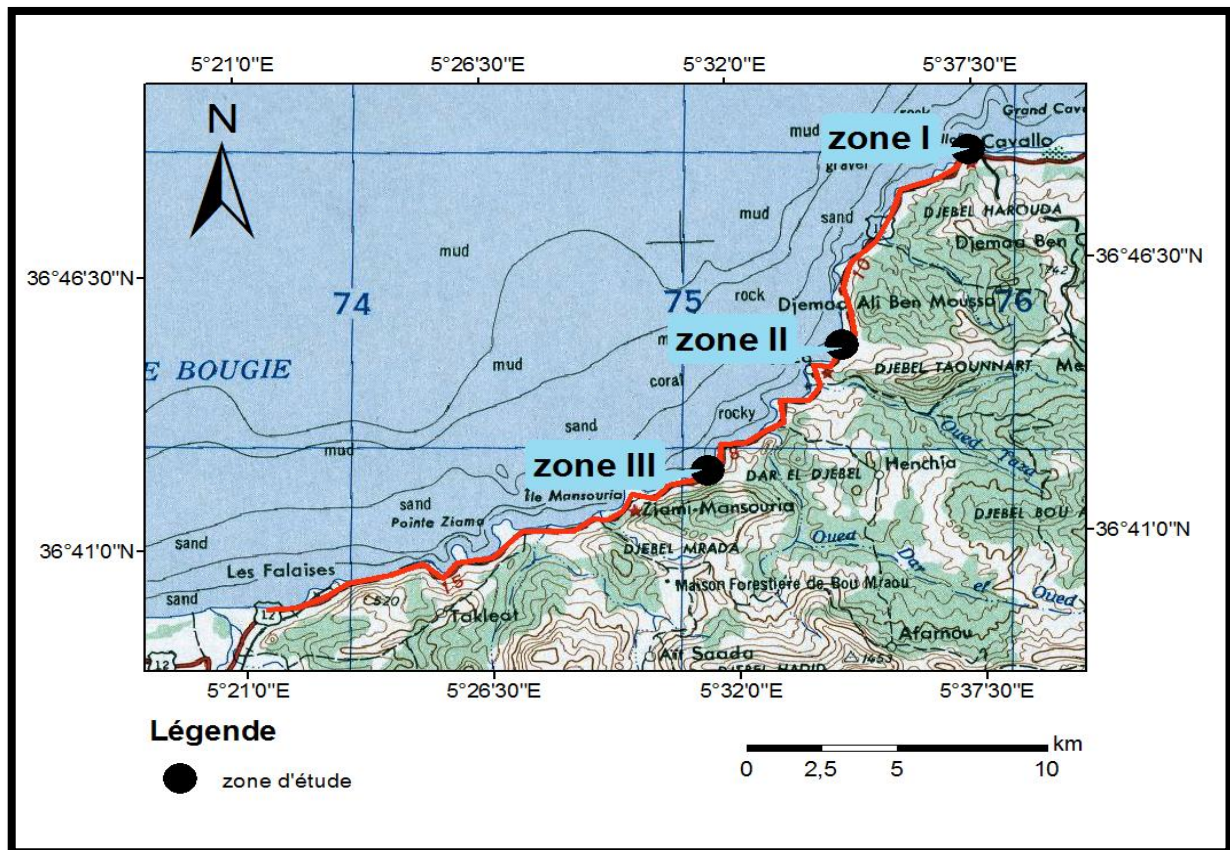
### II.4.1. Introduction

La région d'étude est située le long du tronçon de la RN43, une région montagneuse par excellence formant la corniche Jijelienne. Notre étude est consacrée principalement sur 3 zones de la RN43 qui sont :

Zone1 : EL Aouana

Zone 2 : Les Aftis

Zone 3 : Les grottes Merveilleuses



**Figure. II. 5.** Localisation géographique des zones étudiées sur la carte topographique Bougie 1/25000

## II.4.2. Les formations géologiques qui affleurent le long du site d'étude

### II.4.2.1. Les zones magmatiques

Elle s'étend sur 10 Km environ d'El Aouana aux Aftis. Cette zone comporte plusieurs faciès de roches magmatiques basiques dans l'ensemble, elle présente une morphologie différentielle selon le type d'altération et le degré de fracturation (**Figure. II. 5**) On y trouve :

A) Les micros granodiorites très riches en plagioclase (amphibole de couleur noir) et quartz, ayant une texture micro grenu porphyrique.

B) Les andésites comportant un faciès rosâtre dû au pourcentage élevé du potassium et un autre verdâtre liée à l'altération de la roche, et une texture micro lithique, elles se présentent sous forme prismatique allongée .

C) Les formations superficielles : elles résultent de la dégradation mécanique et physico-chimique des roches sus-indiquées et parmi lesquelles on peut citer :

-Des colluvions (brèches de pentes) plus ou moins cimentées avec localement, des passées conglomératiques (galets), des méga-brèches à blocs calcaires dépassant le  $1\text{m}^3$  et des passées d'argiles de néo formation, de couleur jaunâtre à rouille (**Yellas, 2018**).



- Des épanchements de matrices limoneuses dans lesquelles sont emboîtés des blocs métrique a décimétrique de microdiorite qui s'étend sur environ 400 m de largeur, ainsi que des produits argileux de néo formation dans lesquelles sont emballés les éboulis de pentes s'étendent sur 150 m de largeur.

-Des brèches volcaniques qui sont très abondantes sur la plupart des falaises (Yellas,2019).



**Figure II.6.** Roche magmatique caractérisant la zone d'El Aouana (Yellas,2018)

#### **II.4.2.2. les zone à faciès carbonatés**

Elles font partie des zones telliennes des baborseptentrionaux, elles sont constituées d'écailles calcaro-dolomitique verticalisé par la tectonique et intensément fracturées. Ces calcaires forment les fameuses falaises de la corniche Jijelienne et abritent de nombreuses grottes karstiques.

##### **II.4.2.2.1. Description lithologique des carbonates**

Une grande masse carbonatée (**Figures II.7 et II.8**) qui montre plusieurs affleurements et aspects :



**Figure II.7.** Calcaires de la région d'Aftis (Yellas, 2019)



**Figure II.8.** Masse carbonatée en bancs métriques verticalisés (Grottes Merveilleuses)  
(Yellas, 2019)

A) Des gros bancs de calcaires d'épaisseur d'ordre métrique appartient à l'unité de Brek-Gouraya et formé essentiellement par des calcaires dolomitique d'âge Jurassique.

B) Brèche dolomitique dans une matrice argileuse à grains fins, avec des fractures remplies d'oxydes de Fer.

C) Des masses calcaires avec des passages de dolomies grises à grains fins à grossiers, très fracturées, leur stratification originale est difficilement observable, elle n'est repérable que par des lits minces d'argile. L'ensemble de la masse carbonatée est affectée par une intense fracturation, ces fractures sont remplies par des fentes de calcite et d'oxyde de fer.

#### **II.4.2.3. Phénomène de dolomitisation**

Le phénomène de dolomitisation est un processus de transformation du calcaire en dolomie, remplacement de la calcite ( $\text{CaCO}_3$ ) par la dolomie ( $\text{Ca Mg}(\text{CO}_3)_2$ ), aboutissant à la formation d'une roche calcaire dolomitisée ou d'une dolomie dite secondaire.

Cette dolomie se forme par remplacement du calcaire (substitution du Ca par le Mg). Ce remplacement est induit par la percolation des calcaires par des solutions hydrothermales saturées en Mg circulant le long de fractures ou par une interaction de solution saturées en Mg au cours de la diagenèse.

Ce processus de substitution laisse apparaître dans la texture de la roche des vides dû à la différenciation du magma atomique ( $\text{Ca} > \text{Mg}$ ). Ces vides permettent la création des canaux infiniment petits que la circulation des eaux chargées en  $\text{CO}_2$  élargit au fur et à mesure pour donner naissance à une dolomie secondaire vacuolaire suivi d'un réseau karstique.

#### **II.4.2.4. Phénomène karstique**

Le mot « karst » (du slave *kras*) désigne un relief particulier associé aux plateaux calcaires. Karst est une région du nord-ouest de la péninsule balkanique, caractéristique de ce type de modelé. La formation des reliefs karstiques est due surtout à l'action corrosive et érosive de l'eau, qui dissout le carbonate de calcium. La plupart des karsts actuels résultent de l'évolution des plateaux calcaires (en Croatie, en Grèce, en Italie, etc.) sous le climat tropical de l'ère tertiaire.

L'essentiel des eaux circule par des réseaux complexes, installés par l'intermédiaire de faille, sous les plateaux calcaires. Elles réapparaissent par des résurgences qui se signalent par des débits intermittents. Les eaux qui surgissent sont souvent chargées de calcaire qui précipite à son arrivée à la surface (travertins, sources pétifiantes).



**Figure II.9.** une cavité karstique

### **II.5 .Conclusion**

La géologie des Babors orientaux est l'une des plus complexes de la région de Petite Kabylie. Ainsi sur le plan litho-stratigraphique un nombre très important de discontinuités et lacunes tronquent les séries sédimentaires de bas en haut de la série mésozoïque.

Cette complexité tectonique nécessite une bonne reconnaissance géotechnique pour mieux appréhender les problèmes liés aux risques engendrés par cette complexité géologique.



**CHAPITRE III**

**III.1.Introduction**

La climatologie est la science du climat. Elle s'appuie sur l'analyse de la distribution statistique de variables météorologiques, principalement la température et les précipitations, d'une région donnée sur une période donnée . Cette approche statistique du climat permet de s'affranchir des variations interannuelles parfois considérables. Elle diffère ainsi de la météorologie, qui s'intéresse à l'état d'une variable atmosphérique à de très courtes échelles de temps (heures, journées). Pour cette raison, un événement météorologique comme une canicule ou une tempête ne pourra pas s'interpréter simplement comme un changement du climat.

Ces cinquante dernières années s'est développée la climatologie physique, branche récente de la climatologie qui a pour but de prédire le climat et son évolution à partir de « lois physiques ». Le développement des ordinateurs a contribué à l'essor de la modélisation climatique dès les années 1960 .

**III.2.hydro-climatologie****III.2.1. Aperçu climatique**

Le caractère important du climat algérien est sans aucun doute la grande variation de la répartition des précipitations et des températures. Cette variation est fonction des influences méditerranéennes et sahariennes et des irrégularités topographiques, principalement l'altitude et l'orientation des chaînes montagneuses de l'Atlas Tellien et Saharien. Ces derniers protègent les hautes plaines sétifiennes et jouent le rôle de barrières en face des vents désertiques du Sud, et ceux chargés d'humidité venant du Nord.

**III.2.1.2 .Aperçu climatique de la région de Jijel**

Le climat de la wilaya de Jijel est de type méditerranéen, il comporte des étés secs et tempérés et des hivers doux et humides, les températures varient entre 20 et 35°C en été, et 5 à 15°C en Hiver. La saison des pluies dure 6 mois environ et les précipitations sont de l'ordre de 1200 mm/an (**Figure III.1.**)

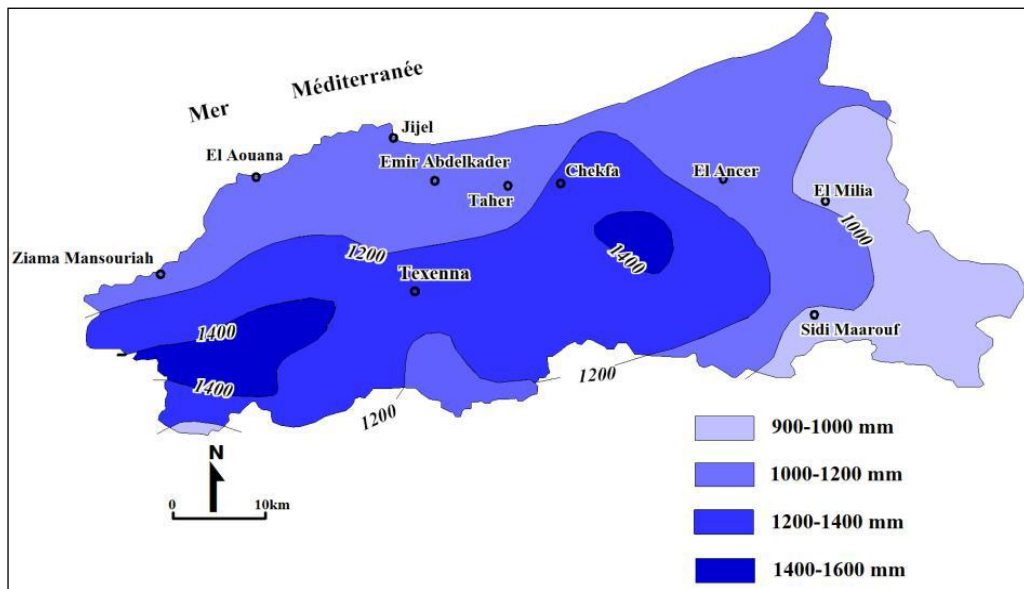


Figure III.1. Carte pluviométrique de la wilaya de Jijel (ANRH, 1996)

### III.2.2. Analyse des paramètres climatiques

Les conditions climatiques jouent un rôle principal dans la détermination de la chimie des eaux (superficielle et souterraine).

Parmi les facteurs hydro-climatologiques, nous étudions la pluviométrie et la température de l'air à partir des données des périodes récentes qui s'étendent de 2002 à 2015 pour la température et de 2010 à 2018 pour la pluviométrie dans la station EL-Agrem.

#### III.2.2.1. Précipitations

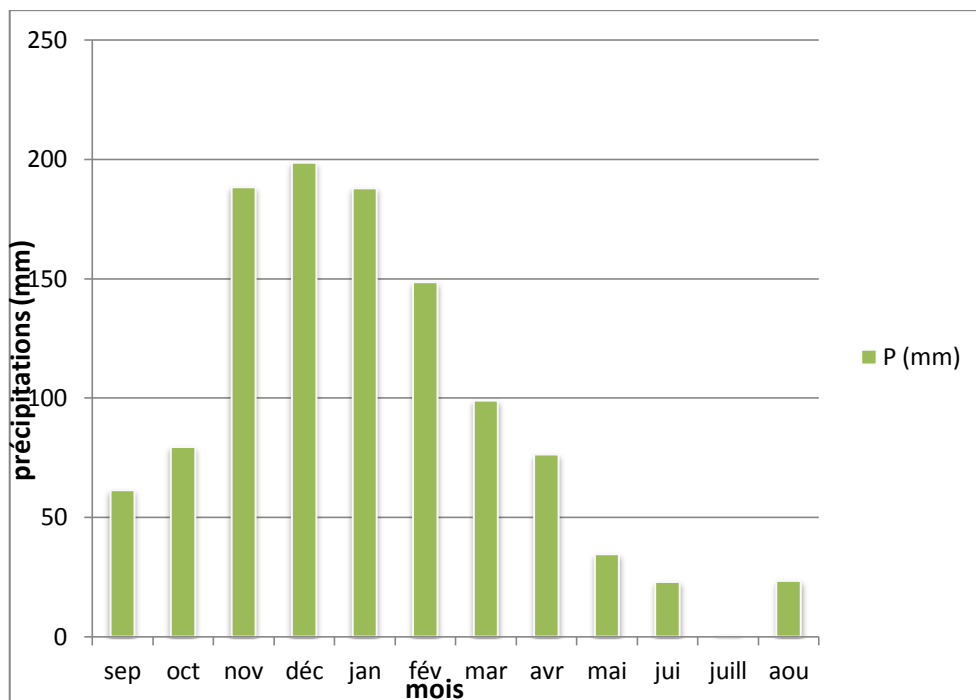
Les précipitations désignent les gouttes d'eau ou les cristaux de glace qui, formés après condensation et agglomération dans les nuages, deviennent trop lourds pour se maintenir en suspension dans l'air et tombent au sol ou s'évaporent avant de l'atteindre (virga). Ces précipitations sont de plusieurs natures : la pluie, la neige et la grêle comptent parmi les plus fréquentes.

Dans cette étude on s'intéresse uniquement aux précipitations liquides (pluies), qui constituent le facteur primordial dans le comportement hydrologique de la région.

| saison | Automne |       |         | hiver  |        |         | printemps |        |       | Été    |       |       | Total  |
|--------|---------|-------|---------|--------|--------|---------|-----------|--------|-------|--------|-------|-------|--------|
| Mois   | sep     | oct   | nov     | déc    | jan    | fév     | mar       | avr    | mai   | jui    | juill | aout  |        |
| P(mm)  | 61,29   | 79,49 | 188,245 | 198,53 | 187,78 | 148,385 | 98,915    | 76,345 | 34,63 | 22,995 | 0,5   | 23,39 | 1120,5 |
|        | 109,67  |       |         | 178,23 |        |         | 69,96     |        |       | 15,62  |       |       |        |

**Tableau III.1.** Précipitations mensuelles durant la période 2002-2018 Station EL-Agrem

Le **tableau (III.1)** indique que La valeur maximale des précipitations est observée pendant la période d’hiver avec 178.23mm, tandisque la valeur minimale est de 15.62mm en été. (**FigureIII.2**)



**FigureIII.2.** Graphedesrépartitions desprécipitations moyennes mensuelles (2002-2018, station EL-Agrem)

**III.2.2.2. Température de l’aire :**

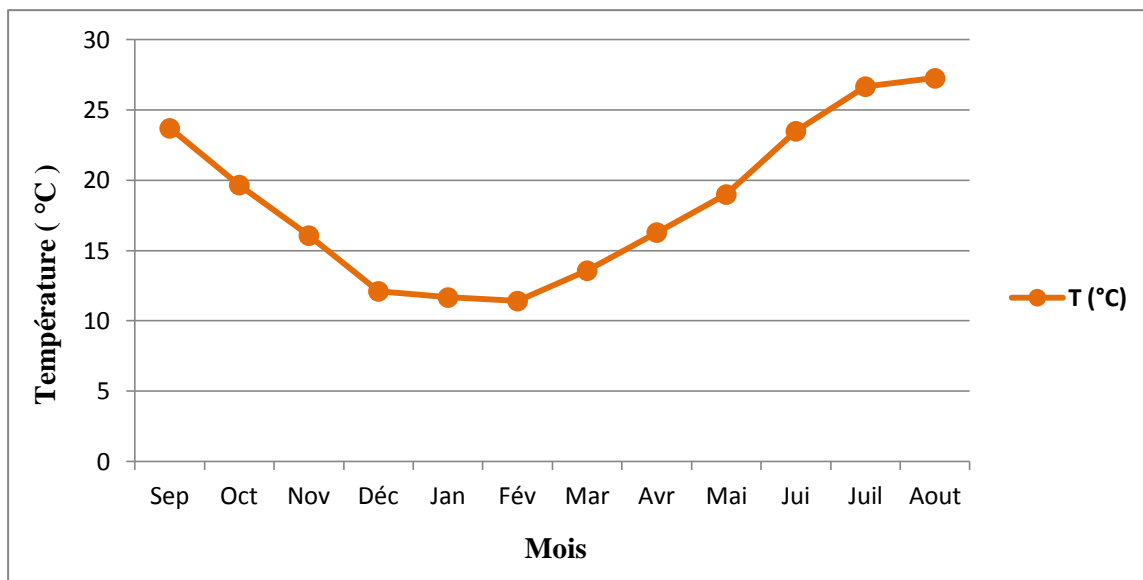
La température de l’aire est un facteur qui a une grande influence sur le bilan hydrologique du fait de son impact sur le déficit d’écoulement (évapotranspiration). Le tableau ci-dessous résume les données concernant ce paramètre, mesurées à la station d’EL-Agrem.



| Saison | Automne |      |      | Hiver |      |      | Printemps |     |     | Été  |      |      | Moyenne Annuelle |
|--------|---------|------|------|-------|------|------|-----------|-----|-----|------|------|------|------------------|
| Mois   | Sep     | Oct  | Nov  | Déc   | Jan  | Fév  | Mar       | Avr | Mai | Jui  | Juil | Aou  | 18,4             |
| T (°C) | 23,7    | 19,7 | 16,1 | 12,1  | 11,7 | 11,4 | 13,6      | 16  | 19  | 23,5 | 26,7 | 27,3 |                  |
|        | 19,8    |      |      | 11,7  |      |      | 16,3      |     |     | 25,8 |      |      |                  |

**Tableau III.2.** Température moyennes mensuelles durant la période (2002-2015) Station EL-Agrem

Le **tableau (III.2)** indique que l’hiver est la saison la plus froide avec une température de 11,7°C, par contre l’été est la saison la plus chaude avec une température de l’ordre de 25,8°C.(**Figure III.3**)



**Figure III.3.** Graphe des variations des températures moyennes mensuelles (2002-2015, station EL-Agrem)

**III.2.2.3 .Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN et BAGNOULS**

Ce diagramme(**Figure III.4**) est d’une importance capital, il permet de déterminer les mois les plus secs correspond selon la définition de Gausсен et Bagnouls aux mois où le total des précipitations est égal ou inférieur aux double de la température moyenne mensuelle du même mois, soit  $P \text{ (mm)} \leq 2T^{\circ}\text{c}$ . Il résulte de la combinaison des deux paramètres climatiques principaux (précipitation et température), Une relation qui permet d’établir un graphique Ombrothermique sur lequel les températures sont portées à l’échelle double de précipitation. Lorsque la courbe représentative des précipitations passe au-dessus de celle des températures, la période correspondante est excédentaire. Par contre, si la courbe représentative des températures passe au-dessus de celle des précipitations, la période correspondante sera déficitaire.

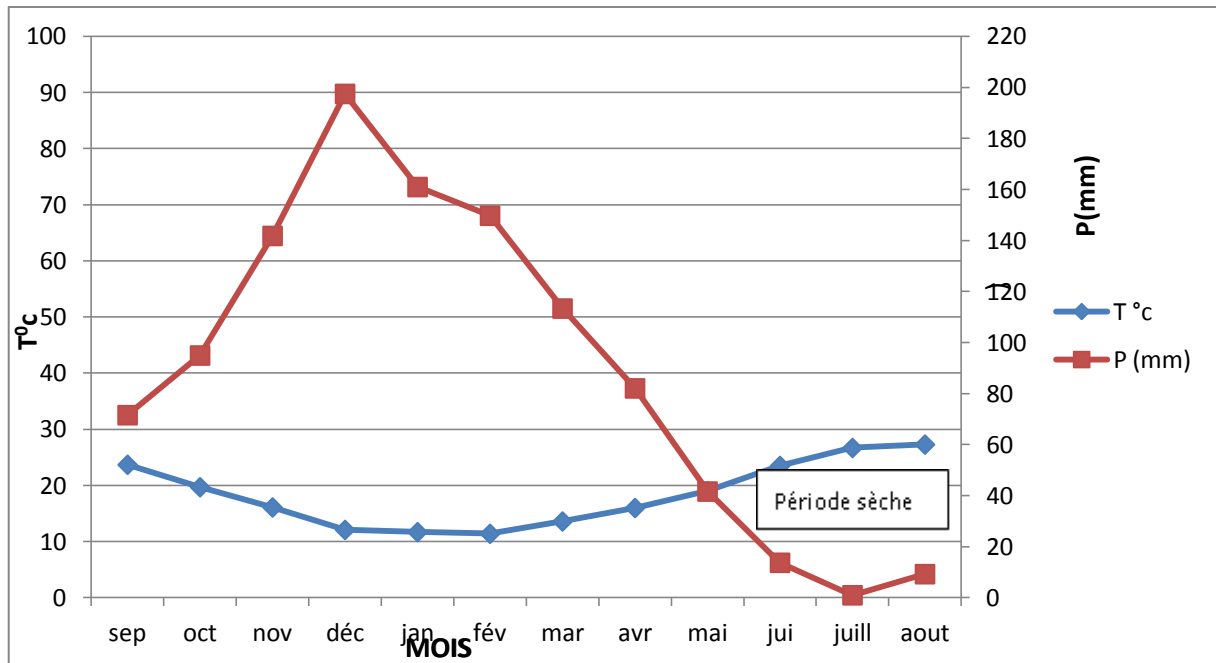


Figure III.4. Diagramme Ombrothermique durant la période (2002-2015)

Station El-Agrem

Le diagramme permet de déduire que la période hivernale s'étale du mois de septembre au mois de Mai. Durant cette période le potentiel de risque d'instabilité augmente considérablement.

### III.2.3. Bilan hydrologique

#### III.2.3.1. Définition

bilans hydrologiques ou hydrique : c'est l'étude comparée de la lame d'eau tombée à la surface d'un territoire ou d'un bassin versant et des différentes formes de transfert de cette eau soit par évapotranspiration, écoulement, infiltration et alimentation des nappes souterraines.

Dans tous les cas c'est l'aspect comptable du terme bilan qui prévaut en hydrologie, que ce soit au niveau des bilans hydriques ou hydrologiques. Trop souvent confondus, ces deux termes sont bien replacés dans leurs domaines respectifs : le bilan hydrologique se situe à l'échelle du bassin versant et concerne une démarche hydrologique, le bilan hydrique se situe à l'échelle de la plante et participe d'une démarche agronomique.

L'élaboration d'un bilan hydrique, est d'une grande nécessité, a fin d'évaluer les réserves d'eau transmises ou emmagasinées dans une région.

Ce bilan se présente par la formule suivante :

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

Avec:

P : Précipitation moyenne annuelle en mm,

ETR : Evapotranspiration réelle en mm

R : Ruissellement en mm,

I : Infiltration en mm,

Wa : Variation des réserves (négligeable).

### III.2.3.2. évapotranspiration

L'évapotranspiration est la somme de la transpiration du couvert végétal (à travers les stomates des plantes) et de l'évaporation des sols et des surfaces d'eau libre. On désigne comme évapotranspiration réelle (ETR) la valeur de ce flux à un instant donné ou de sa moyenne sur une période donnée, pour une station donnée. Lorsque la disponibilité en eau n'est pas limitative, ce flux tend vers une limite appelée évapotranspiration potentielle (ETP). Ce dernier concept, essentiellement théorique, caractérise une certaine demande en eau exercée par le milieu.

Bien que le terme d'évapotranspiration réelle soit toujours très important dans le bilan en eau, il est souvent traité cavalièrement, sans doute en raison des difficultés liées à son estimation. Il n'est en effet pas possible de le mesurer directement.

### III.2.3.3. Concept et estimation de l'ETP et de l'ETR

L'ETP : est une notion dégagée dans les années cinquante par **Thornthwaite**. elle exprime la quantité d'eau qui s'évaporerait du sol et serait transpirée par la végétation si aucun problème d'alimentation en eau ne posait .

Elle est donc indépendante de la disponibilité réelle du sol en eau et n'est fonction que de la capacité du milieu atmosphérique ambiant à provoquer l'évapotranspiration et fait donc surtout intervenir des facteurs énergétiques.

L'ETR : exprime la quantité d'eau réellement évapotranspirée et dépend donc de l'ETP ( la demande) et de l'état de la réserve d'eau du sol (l'offre).l'eau est dans ce cas un facteur limitant.

### III.2.3.4. Calcul de l'évapotranspiration par la formule de Thornthwaite

La méthode de THORNTHWAITE a été choisie pour deux raisons bien qu'elle sous-estime l'ETP, surtout en été :

- pour sa facilité d'emploi (une fois la formule informatisée) car fondée sur deux paramètres simples : température moyenne et insolation théorique (par le biais d'un coefficient fonction de la saison et de la latitude ;
- parce qu'en aval existe une méthode aisée à mettre en œuvre pour calculer l'ETR.

#### A- L'évapotranspiration potentielle (ETP)

L'ETP au niveau de cette formule sera calculé en fonction de la température à condition de considérer des surfaces suffisamment étendues et des pas de temps assez longs. **(tableau III.4)**

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

ETP : évapotranspiration potentielle, mensuelle en cm pour 1 mois avec durée d'ensoleillement de 12 heures.

T : température moyenne mensuelle en C° pour le mois considéré.

I : indice thermique annuel obtenue en sommant  $i = \left(\frac{T}{5}\right)^{1,514}$ .

a : indice calculé à partir de la formule suivante :

$$a = 0,016 (I) + 0,5$$

Pour la région étudiée :  $I = 89,278$

$$a = 1,92$$

L'évapotranspiration potentielle mensuelle corrigée est obtenue à partir de la formule suivante :

$$ETP \text{ corrigée} = ETP \cdot K$$

**K** : Coefficient de correction qui dépend du mois et de l'altitude du lieu.

| Mois | S    | O    | N    | D    | J    | F    | M    | A   | M    | J    | J    | A    |
|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|
| K    | 1.03 | 0.97 | 0.86 | 0.84 | 0.87 | 0.85 | 1.03 | 1.1 | 1.21 | 1.22 | 1.24 | 1.16 |

**Tableau .III.3.** Valeurs du coefficient d'ajousteument mensuel « K »

Les résultats de l'ETP mensuelle sont reportés dans le tableau suivant :

| Mois     | sep    | oct   | nov    | déc    | jan    | fév    | mar    | avr   | mai   | ju      | juill  | aout   | Année   |
|----------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|---------|--------|--------|---------|
| P(mm)    | 72     | 94.98 | 141.84 | 197.51 | 161.01 | 149.77 | 113.38 | 82.09 | 41.66 | 13.74   | 1      | 9.28   | 1078.26 |
| T (°c)   | 23.7   | 19.7  | 16.1   | 12.1   | 11.7   | 11.4   | 13.6   | 16    | 19    | 23.5    | 26.7   | 27.3   | 220.8   |
| I        | 10.54  | 7.972 | 5.873  | 3.811  | 3.622  | 3.482  | 4.549  | 5.819 | 7.547 | 10.412  | 12.632 | 13.065 | 89.324  |
| ETP (mm) | 105.11 | 73.57 | 49.85  | 28.73  | 26.92  | 25.61  | 35.99  | 49.25 | 68.61 | 103..39 | 132.26 | 138.05 | 748.19  |
| K        | 1.03   | 0.97  | 0.86   | 0.84   | 0.87   | 0.85   | 1.03   | 1.1   | 1.21  | 1.22    | 1.24   | 1.16   | /       |
| ETPc(mm) | 108.26 | 71.36 | 42.87  | 24.13  | 23.42  | 21.76  | 37.06  | 54.17 | 83.01 | 126.13  | 164    | 160.13 | 812.89  |

**Tableau III.4.** Calcul de l'évapotranspiration potentielle selon Thornthwaite durant la période (2002-2015) Station El-Agrem

### B- L'évapotranspiration réelle (ETR)

Pour calculer L'ETR on utilise la méthode de Thornthwaite :

- 1) Si les précipitations (P) du mois sont supérieures à l'évapotranspiration potentielle (ETP)

L'évapotranspiration réelle est égale à l'évapotranspiration potentielle.

$$ETR = ETP$$

- 2) Si les précipitations (P) du mois sont inférieures à l'évapotranspiration potentielle (ETP), dans ce cas, Thornthwaite admet l'utilisation d'une réserve facilement utilisable (RFU) :

$ETR = \sum p_i + RFU$  ; celle-ci est supposée mobilisée comme suit :

- a) Si la RFU antérieure est assez forte pour combler l'insuffisance des précipitations :

$$ETR = ETP$$

- b) Si la RFU est insuffisante pour satisfaire l'évapotranspiration potentielle, l'ETR reste inférieure à celle-ci est égale à la somme des précipitations du mois et des RFU, il existe un déficit agricole  $D_a$

### C- Calcul du déficit agricole ( $D_a$ ) :

Le déficit d'eau que l'on appelle parfois le déficit agricole égale à la différence entre l'évapotranspiration potentielle et l'évapotranspiration réelle.

$$D_a = ETP - ETR$$

Il représente la quantité d'eau supplémentaire qui aurait pu être utilisée par les plantes (et les sols) si les disponibilités en eau avaient pu être artificiellement complétées par un système d'irrigation.

Le tableau suivant représente les résultats du bilan hydrique calculé avec la méthode de Thornthwaite:

| Mois               | Sep    | Oct   | Nov    | Déc    | Jan    | Fév    | Mar    | Avr   | Mai   | Jui    | Juill | Aou    | Année   |
|--------------------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|-------|--------|---------|
| <b>P (mm)</b>      | 72     | 94.98 | 141.84 | 197.51 | 161.01 | 149.77 | 113.38 | 82.09 | 41.66 | 13.74  | 1     | 9.28   | 1078.26 |
| <b>ETPc (mm)</b>   | 108.26 | 71.36 | 42.87  | 24.13  | 23.42  | 21.76  | 37.06  | 54.17 | 83.01 | 126.13 | 164   | 160.13 | 812.89  |
| <b>P-ETPc (mm)</b> | -36.26 | 23.62 | 98.97  | 173.38 | 137.59 | 128.01 | 76.31  | 27.92 | -41.3 | -112.3 | -163  | -150.8 | /       |
| <b>ETR(mm)</b>     | 72     | 71.36 | 42.87  | 24.13  | 23.42  | 21.76  | 37.06  | 54.17 | 41.66 | 13.74  | 1     | 9.28   | 412.45  |
| <b>DA(mm)</b>      | 36.26  | 0     | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0     | 41.35 | 112.39 | 163   | 150.85 | 516.85  |
| <b>Ws(mm)</b>      | 0      | 23.62 | 98.97  | 173.38 | 137.59 | 128.01 | 76.32  | 27.92 | 0     | 0      | 0     | 0      | 665.81  |
| <b>RFU(mm)</b>     | 0      | 100   | 100    | 100    | 100    | 100    | 100    | 100   | 0     | 0      | 0     | 0      | /       |

Tableau III.5. Bilan hydrique à la station EL-Agrem (2002-2015)

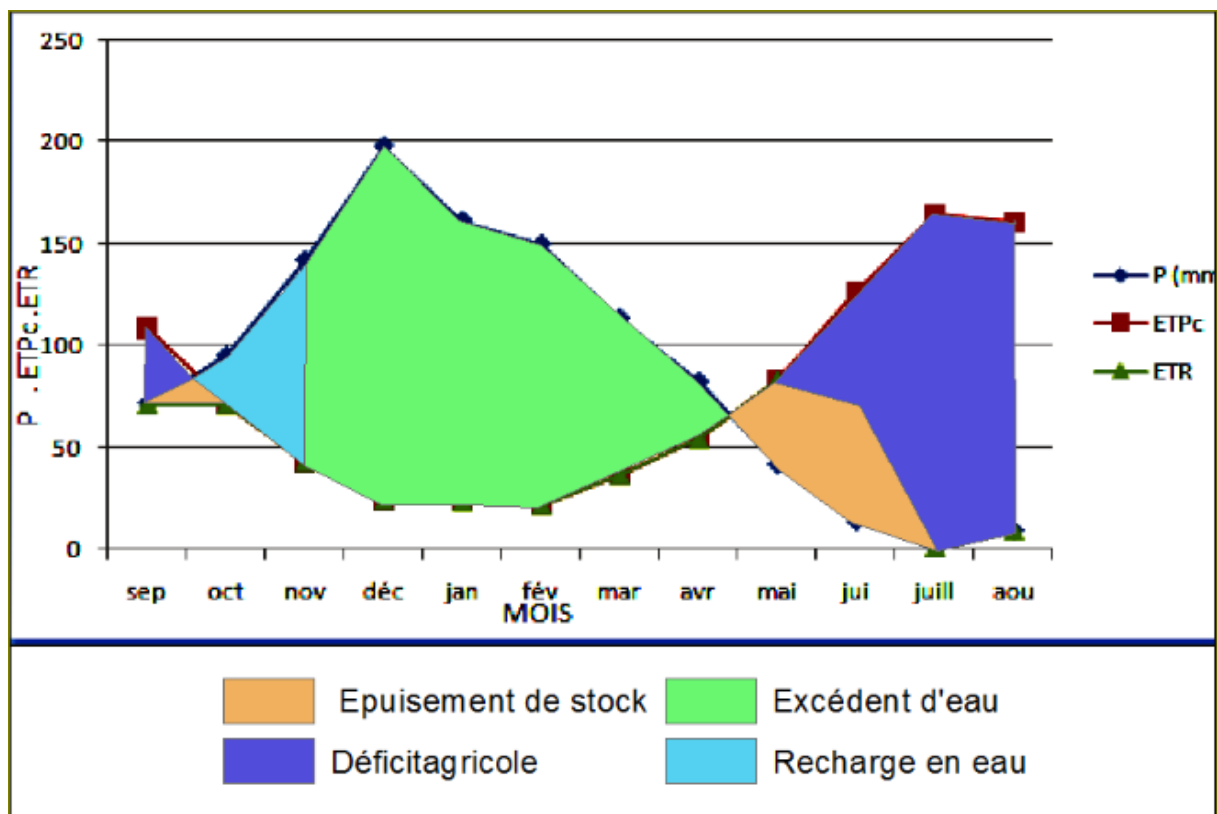


Figure III.5. Diagramme du bilan hydrique station EL-Agrem (2002-2015)

### III.2.3.5. Interprétation du bilan hydrique de Thornthwaite :

D'après le bilan hydrique de Thornthwaite, représenté par le tableau (III.4) et schématisé par la figure (III.4), on constate qu'à partir du mois d'octobre les précipitations deviennent supérieures à l'ETP. De ce fait, il existe une reconstitution d'une partie des réserves du sol. Ces dernières atteignent leurs maximums à 100 mm au mois de novembre, décembre, janvier, février, mars et avril, alors il est enregistré un excédent pour ces six mois d'une valeur annuelle de 665.81 mm.

L'ETR est d'une valeur annuelle de 412.45mm et le déficit agricole est de 516.85 mm avec un maximum constaté au mois de juillet de 163mm.

La période déficitaire en eau commence à partir du mois de juin jusqu'au mois de septembre.

Cela permet de prévoir les besoins annuels en eau d'irrigation.

La figure (III.4), schématise bien les différentes composantes du bilan hydrique.

### III.2.3.6. Estimation du ruissellement et de l'infiltration

Pour le calcul des ruissellements et des infiltrations on utilise :

Evapotranspiration potentielle : ETP = 812.89mm

Précipitations totales annuelles : P = 1078.26 mm

Lame évapotranspirée : ETR = 412.45mm

#### ➤ Ruissellement (R)

Les formules que nous donnons ci-après permettent d'évaluer le ruissellement comme suit :

Pour  $R < 600$  mm, on admet la formule de **Tixeront-Berkaloff, 1956** :

$$R = \frac{P^3}{3(ETP^2)}$$

Pour  $R > 600$  mm, ce qui est notre cas on admet la formule de **Romantchouk, 1974** :

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

$$R = \frac{(1,07785)^3}{3} = 0,4174 \text{ m} \rightarrow R = 417,4 \text{ mm}$$

#### ➤ Infiltration (I)

L'infiltration représente la quantité d'eau qui pénètre dans le sol et le sous-sol, elle alimente les eaux souterraines, eau rétention, écoulement hypodermique, écoulement souterrain et la reconstitution des réserves aquifères.

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

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

Avec:

$$ETR = 412.45 \text{ mm}$$

$$R = 417.4 \text{ mm}$$

$$P = 1078 \text{ mm}$$

Considérons  $Wa = 0$

L'application numérique de la formule donne :

$$1078 = 412.45 + (417,4 + I)$$

$$I = 1078 - 829,85 \rightarrow I = 248,15 \text{ mm}$$

Soit  $I = 23,01\%$  des précipitations.

### III.3.Conclusion

L'étude hydro-climatique permet de conclure que le climat de la région de Jijel est tempéré due à la localisation géographique de la région vu qu'elle soit une ville côtière elle se trouve dans le nord-est de l'Algérie influencer par le climat de la méditerranéenne, caractérise par des précipitations de l'ordre de 1079mm/an et des températures moyennes annuelles de l'ordre de 18,4°C.

L'évapotranspiration réelle calculée est de 511,71 mm, ce qui représente 47,48% des précipitations.

Le ruissellement et l'infiltration sont de 417.4mm /248.15mm et représentent 51% des précipitations et la lame d'eau infiltrée est de 248,785 mm soit 23,01% des précipitations.

Le déficit des précipitations pour satisfaire l'évapotranspiration réelle serait de 412.45 mm (36.7% des précipitations) réparti du mois de juin jusqu'au mois de septembre.





**CHAPITRE IV**

### **IV.1.Introduction**

La gestion rationnelle des territoires exposés aux divers risques naturels exige une quantification de ces risques, qui sont le produit des conséquences d'un phénomène (aléa) par sa probabilité d'occurrence pour le délai considéré. Dans le cas du risque induit par les éboulements, l'aléa se divise en deux parties indépendantes : le déclenchement de l'éboulement par rupture du compartiment rocheux instable et la propagation dans le versant sous-jacent de la masse rocheuse libérée, éventuellement fragmentée. L'étude de la propagation des blocs en mode indépendant est aujourd'hui bien développée et de nombreux codes de calcul sont couramment utilisés par les bureaux d'études. Le cas des avalanches rocheuses fait encore l'objet de recherches.

En revanche, le phénomène initial de déclenchement de l'éboulement est beaucoup moins bien quantifié. Les seuls cas où un haut niveau de prédictibilité a pu être atteint sont ceux de sites comme la route du littoral affectés de chutes de pierres très répétitives et de certains sites surveillés, où les mesures de déplacement ont permis de réaliser des prévisions à court terme du comportement. Dans la majorité des cas, concernant des masses rocheuses potentiellement instables non surveillées (appelées par la suite « instabilités potentielles »), la quantification de la probabilité de rupture en fonction du temps est extrêmement difficile et peu codifiée.

### **IV.2 .Classification des mouvements de terrain**

Les mouvements de terrain sont des déplacements de masses rocheuses compactes ou désagrégées, et/ou de terrain meuble (c'est-à-dire ce qu'il y a sous les roches, le sol compris) ainsi que de l'eau. C'est un ensemble de déplacements plus ou moins brutaux d'origine naturelle ou anthropique.

Par la diversité des facteurs responsables des mouvements de terrain, il existe de nombreuses classifications qui ont été proposées par des géologues, des mécaniciens de sol ou des géotechniciens. Ces classifications nous permettent de dénommer les principaux types de mouvement de pentes, de telle façon qu'elles évoquent certaines de leurs caractéristiques essentielles ou permettent de les retrouver.

En 1925 K. TERZAGHI fait intervenir la mécanique des sols pour le classement des mouvements de terrains. Il distingue d'une part les mouvements se produisant à sec, et d'autre part, les mouvements impliquant des formations plastiques. Mais cette classification ne mentionne pas les mouvements liés à la solifluxion. **(Gannani.A)**

En 1968 J.P. BOMBARD propose quatre critères qui peuvent être à la base d'une classification des mouvements de terrain :

- Le mode de mouvement ;
- Le type du matériau ;

- Les dimensions du mouvement ;
- La vitesse du mouvement.

L'inconvénient de cette classification, reste que la vitesse du mouvement est difficile à mesurer avec précision, elle est très variable dans l'espace et dans le temps, du fait qu'il y a des phases d'accélération et de ralentissement dans la cinétique du mouvement.

Et Pour des classifications plus récentes, on peut citer à titre d'exemple, CRUDEN et VARNES (1996) qui se sont basés d'une part sur la nature des matériaux en cause (rocher, sol ou débris) et d'autre part sur le type de mécanisme de déformation et de rupture (chutes de matériaux, basculements, glissements plans ou rotationnels, etc.).(Gannani.A)

Parmi ces différentes classifications on distingue plusieurs mouvements de terrain qui sont les suivants :

**IV.2.1.Glislements de terrain** : 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.

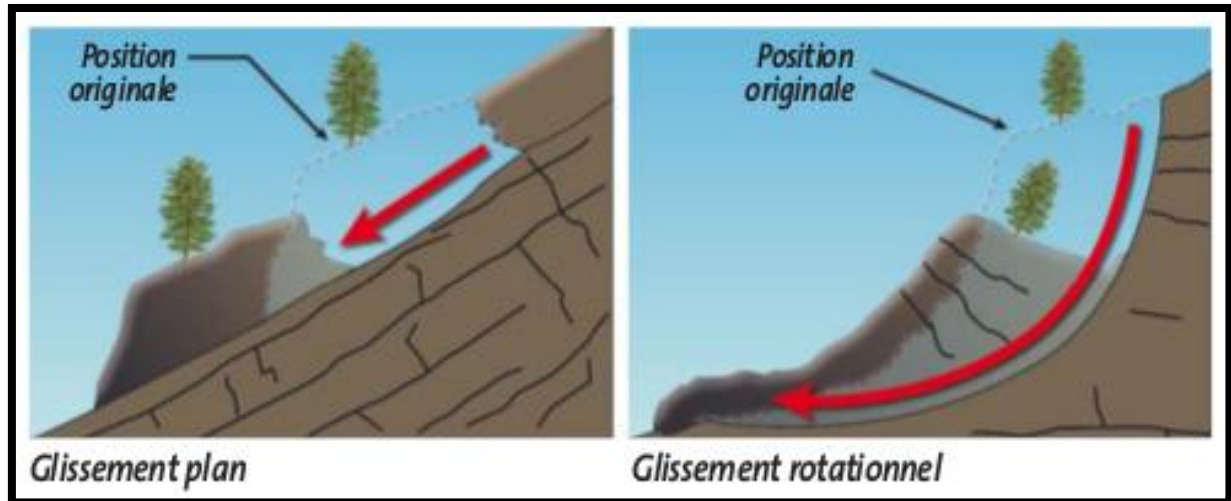
Les instabilités naturelles de ce genre sont extrêmement courantes et apparaissent sous de nombreuses formes, étonnamment diversifiées.

La plupart du temps, l'eau joue un rôle important dans les glissements de terrain, par l'action des pressions interstitielles, des écoulements souterrains ou par les pressions dues au gonflement des minéraux argileux.(Bruno M)

En fonction de la géométrie de la surface de rupture on distingue(FigureIV.1) :

**IV.2.1.1.Glislements plans**: Mouvement au long d'une surface de rupture sensiblement plane pouvant être un joint stratigraphique, un plan de faille, une surface de schistosité ou de foliation, une interface entre formation de pente.(Bruno M)

**IV.2.1.2. Glissements circulaires ou rotationnels:** Surface de glissement plus ou moins circulaire ; mouvement caractérisé en général par l'existence d'une zone de départ nette et par un bourrelet frontal plus ou moins marqué. Ils se produisent en particulier en terrains assez homogènes, à dominante argileuse et silteux ou marneuse. **(Bruno M)**



**Figure IV.1** Différents types de glissements

**IV.2.2. Coulées boueuses :** sont des phénomènes très rapides affectant des masses de matériaux remaniés, soumis à de forte concentration en eau, sur de faibles épaisseurs généralement (0-5 m). Ce type de phénomène est caractérisé par un fort remaniement des masses déplacées, une cinématique rapide et une propagation importante. La coulée de boue est le plus rapide (jusqu'à 90 km/h) et le plus fluide des différents types de mouvements de terrain. Son comportement est intermédiaire entre celui d'un solide et d'un liquide, et régi par les lois des domaines à la fois de l'hydraulique et de la mécanique des solides, ce qui en fait un phénomène particulier dans la famille des mouvements de terrain.

**IV.2.3. Chutes de pierre et éboulements :** Ce sont des mouvements rapides, discontinus et brutaux résultant de l'action de la pesanteur et affectant des matériaux rigides et fracturés tels que calcaires, grès, roches cristallines, etc. Ces chutes sont caractérisées par une zone de départ, une zone de propagation [glossaire] et une zone d'épandage. Les blocs décrochés suivent généralement la ligne de plus grande pente. Les distances parcourues sont fonction de la position de la zone de départ dans le versant, de la pente du versant, de la taille, de la forme et du volume des blocs éboulés, de la nature de la couverture superficielle, de la végétation... **(Figure IV.2)** **(Figure IV.3).**

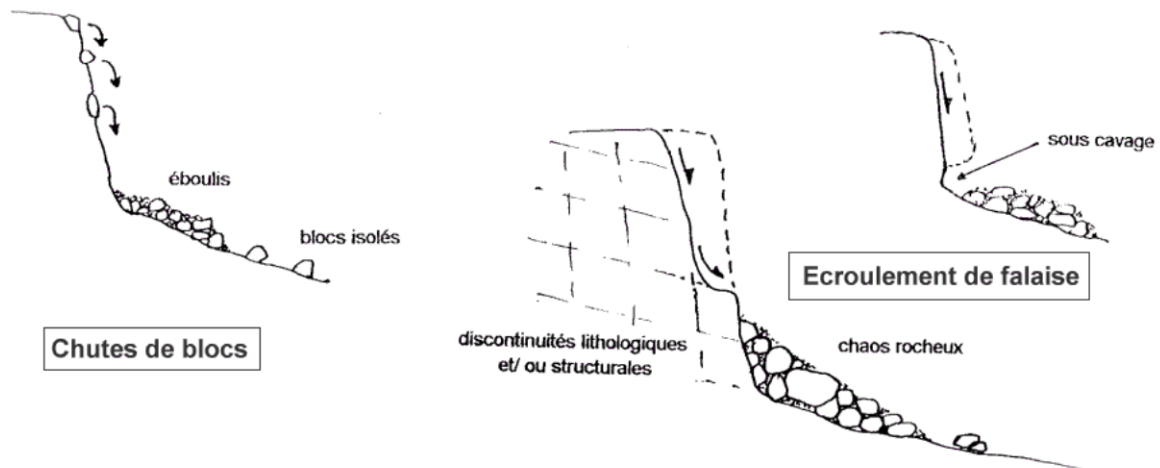


Figure IV.2 Schéma de principe de chutes de blocs et éboulements



Figure IV.3. Exemple d'éboulement au niveau de la RN 43, janvier 2019 (El Aouana)

#### IV.2.3 .Classification des blocs gravitaire rocheux

Les risques gravitaires rocheux peuvent être classifiés suivant leur volume en trois catégories : chute de blocs, l'éboulement rocheux et les avalanches rocheux (**Keaton, 2012**)

La chute de blocs que l'on appelle dans le milieu anglophone « Fragmental rockfalls » (Evans and Hungr, 1993), se caractérise par le détachement d'une masse rocheuse dont les éléments, en nombre limité, interagissent lors de la phase de propagation principalement avec le relief (pas d'interaction entre blocs).

Les éboulements rocheux sont présentés comme des mouvements gravitaires de taille intermédiaire (< 10 000 m<sup>3</sup>) mais extrêmement rapides (vitesses > 5 m/s) où un comportement en masse – inter granulaire – est clairement identifié (Bourrier, 2008) et dont l'origine et le

mouvement résultent de surfaces de discontinuité facilement identifiables. En général, ces phénomènes sont peu étudiés dans la littérature comparativement à ceux de type

« Fragmentalrockfalls ».

Enfin, les avalanches rocheuses consistent en des mouvements gravitaires de très gros volumes (>10 000 m<sup>3</sup>) dont le comportement peut être assimilé à celui d'un fluide, de la même manière que les avalanches de sol ou de neige. Pour ces phénomènes, de nombreux modèles d'analyse ont été proposés ces dernières années et appliqués à des cas réels (Scavia et al., 2010; Pirulli, 2005; Mckinnon et al., 2008). On y reviendra plus en détail dans la session « modèles numériques continus ».

| Phénomène d'instabilité     | Volume en m <sup>3</sup> |
|-----------------------------|--------------------------|
| Chute de pierres            | $\leq 10^{-3}$           |
| Chute de blocs rocheux      | $10^{-3} - 10^2$         |
| Eboulements                 | $10^2 - 10^5$            |
| Eboulements majeurs         | $10^5 - 10^7$            |
| Eboulements catastrophiques | $\geq 10^7$              |

**Tableau IV.1.** Classement des éboulements en fonction de leurs volumes

#### IV.2.4. Les affaissements et les effondrements de cavités

Les affaissements, sont des dépressions topographiques en forme de cuvette plus ou moins profonde dues au fléchissement lent et progressif des terrains de couverture, avec ou sans fractures ouvertes, consécutif à l'évolution d'une cavité souterraine. Il n'y a pas de rupture en surface. Des efforts de flexion, de traction et de cisaillement, et des tassements différentiels peuvent se manifester dans les zones de bordure. Dans certains cas, les affaissements peuvent être le signe annonciateur d'effondrements.

Les effondrements se produisent de façon brutale. Ils résultent de la rupture des appuis ou du toit d'une cavité souterraine, rupture qui se propage jusqu'en surface de manière plus ou moins brutale, et qui détermine l'ouverture d'une excavation grossièrement cylindrique. Les dimensions de cette excavation dépendent des conditions géologiques, de la taille et de la profondeur de la cavité ainsi que du mode de rupture. Le phénomène peut être ponctuel (fontis, diamètre inférieur à 50m, occasionnellement 100m) ou généralisé (plusieurs hectares).

**IV.2.5. Retrait-gonflement des sols argileux :** Le retrait-gonflement des argiles est lié aux variations de teneur en eau des terrains argileux : ils gonflent avec l'humidité et se rétractent avec la sécheresse. Ces variations de volume induisent des tassements plus ou moins uniformes

et dont l'amplitude varie suivant la configuration et l'ampleur du phénomène. Sous une habitation, le sol est protégé de l'évapotranspiration, et sa teneur en eau varie peu dans l'année. De fortes différences de teneur en eau vont donc apparaître dans le sol au droit des façades.

| Material      |   | ROCK   | DEBRIS   | EARTH  |
|---------------|---|--|--|--|
| Movement type |   |  |  |  |
| FALLS         |   | <p>Scar<br/>Rock fall<br/>Rock Fall Debris</p>             | <p>Scar<br/>Debris fall<br/>Scree<br/>Debris cone</p>  | <p>Fine soil<br/>Rock<br/>Scar<br/>Colluvium<br/>Debris cone</p> |
|               |   | <p>Rock topple</p>   | <p>Debris topple<br/>Debris cone</p>   | <p>Cracks<br/>Debris cone<br/>Earth topple</p>                   |
| SLIDES        | Rotational  | <p>Single rotational slide (slump)<br/>Failure surface</p> | <p>Crown Scarp<br/>Head<br/>Minor Scarp<br/>Failure surface<br/>Toe<br/>Multiple rotational slide</p>    | <p>Successive rotational slides</p>                              |
|               | Translational (Planar)  | <p>Rock slide</p>  | <p>Debris slide</p>  | <p>Earth slide</p>   |
| SPREADS       | <p>Cap rock<br/>Normal sub-horizontal structure<br/>Gully<br/>Camber slope<br/>Dip and fault structure<br/>Valley bulge (planed off by erosion)<br/>Thinning of beds<br/>Plane of décollement<br/>Competent substratum</p> <p>e.g. cambering and valley bulging</p> |  |  | <p>Earth spread</p>  |
| FLOWS         | <p>Solifluction flows (Periglacial debris flows)</p>  | <p>Debris flow</p>   | <p>Earth flow (mud flow)</p>   |  |
| COMPLEX       | <p>e.g. Slump-earthflow with rockfall debris</p>  |  | <p>e.g. composite, non-circular part rotational/part translational slide grading to earthflow at toe</p> |  |

BGS © NERC

Figure IV.4 Classification des mouvements de terrain, Varnes, 1996



### **IV.3 .Causes des éboulements**

Les mouvements de pente sont des manifestations naturelles de l'évolution du relief, en action, à la surface terrestre depuis des millions d'années. Les observations et les études effectuées à partir d'événements passés ont permis de mettre en évidence certaines conditions de site favorables à l'apparition de tel ou tel phénomène d'instabilité. **(Ghannani.A)**

#### **IV.3.1.Facteurs permanents**

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

##### **IV.3.1.1. La pesanteur**

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

##### **IV.3.1.2.L'eau**

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

###### **IV.3.1.2.1.Action mécanique**

Les pressions interstitielles élevées dans les sols constituent un élément défavorable à la stabilité d'une pente. Ces zones humides sont caractérisées par une nappe affleurant en quasi-permanence et par une végétation hygrophile particulière. Elles indiquent dans la plus part des cas une forte probabilité d'avoir une instabilité dans une pente.

L'érosion des berges de cours d'eau ou des côtes marines est aussi la cause des instabilités de masse. L'action des vagues qui s'exerce au pied des falaises côtières contribue au recul des côtes par éboulements successifs.

###### **IV.3.1.2.2 .Action chimique**

On peut citer en particulier l'hydrolyse, qui est un processus lent et qui conduit à la transformation chimique de certains minéraux silicatés, comme par exemple les feldspaths, dont l'altération entraîne la formation d'argiles.

L'hydratation de certains minéraux (anhydrite, par exemple) accompagnée de gonflement, peut contribuer à désorganiser un massif.

##### **IV.3.1.3 .La nature et les caractéristiques mécaniques des terrains**

Les caractéristiques mécaniques des terrains représentent les données de base imposées par la nature et l'histoire du terrain.

Les schistes argileux, les argiles, les marnes, les micaschistes s'altèrent facilement en surface et donnent lieu à des glissements ou à des coulées boueuses.

Les formations superficielles récentes, généralement non consolidées, tapissant les versants à forte pente, sont vulnérables et instables.

Les formations anisotropes (formations stratifiées) présentent souvent des alternances de niveaux durs et tendres (marno-calcaires, comme exemple) qui ont un comportement mécanique et hydraulique particulier, souvent défavorable à la stabilité.

Les terrains affectés par de grands glissements anciens, dits fossiles, sont cependant fragilisés et donc sensibles à une perturbation d'origine naturelle ou humaine.

La variation importante lithologique, dans une même formation géologique peut être à l'origine d'une répartition des mouvements de terrain.

#### **IV.3.1.4. La structure des terrains**

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

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

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

#### **IV.3.1.5. La morphologie**

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

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

#### **IV.3.1.6. Le couvert végétal**

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

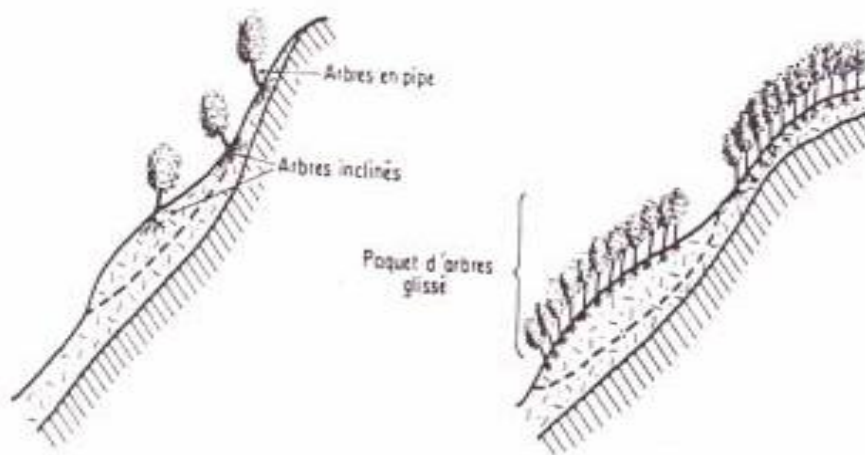
- L'ancrage par les racines : Le terrain du versant se trouve emprisonné dans un radiculaire dense et donc il est stable.
- Le drainage par l'évapotranspiration : Les arbres prélèvent dans le terrain une quantité d'eau considérable par l'évapotranspiration.
- La rétention des eaux de pluie : La couverture végétale permet la rétention des eaux pluviales qu'elles ne viennent pas imbiber la masse de terrain.

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

A l'inverse, l'action de la végétation peut être déstabilisante en :

- Chargeant le versant
- Favorisant l'infiltration
- Interceptant l'énergie éolienne et induction des forces de traction dans le sol
- Créant une structure étagée : roche mère, roche altérée et sol compacté par la structure des racines
- L'élargissement des fissures dans un massif fissuré et leur progression en profondeur par le développement des racines et par suite augmentation des forces motrices à l'écoulement.

Sur le terrain, la végétation peut être indicatrice des glissements, il est possible de localiser et de délimiter les différentes parties d'un glissement à partir de la tenue des arbres ; arbres en pipe, arbres inclinés, paquets d'arbres isolés. (**Figure IV.5**)



**Figure IV.5.** les indices de la végétation

### IV.3.2 .Facteurs variables dans le temps

Ce sont eux qui déclenchent l'instabilité ou qui provoquent une accélération marquée du mouvement conduisant à la rupture.

#### IV.3.2.1. Les précipitations

Les mouvements de terrain apparaissent souvent au moment hydrologique le plus défavorable, c'est-à-dire lors de périodes pluvieuses prolongées, lors de fonte de neige ou après une longue période humide, selon des mécanismes tels que :

- L'augmentation de la pression interstitielle dans les sols saturés, due à un épisode pluvieux exceptionnel ou à une fonte de neiges, qui entraîne une diminution de la résistance au cisaillement du sol.

La saturation des sols par descente d'un front d'infiltration influe aussi et fait augmenter le poids moteur.

- Une réduction de la consistance d'une argile causée par l'augmentation de la teneur en eau, lorsque celle-ci se rapproche de la limite de liquidité ( $w_l$ ), le milieu passe de l'état plastique à l'état liquide et la résistance au cisaillement diminue.
- L'érosion provoquant des changements de géométrie du versant, et par suite une modification de la pente qui implique une diminution du coefficient de sécurité.
- Des écoulements souterrains qui ont des actions défavorables sur la stabilité de la pente telle que la pression de courant et érosion souterraine.

#### **IV.3.2.2 .La température**

Les variations de températures sont un facteur déclenchant de chutes de pierres ou de blocs, en raison des dilatations différentielles qui se manifestent.

#### **IV.3.2.3. Le Gel et dégel**

Dans les principaux sols limoneux, la congélation et la décongélation peuvent donner des pressions interstitielles excessives et par suite, elles influent sur les mouvements de surface (solifluxion).

Le gel s'accompagne d'une augmentation de volume de 9% environ, et tend à écraser les particules des sols en créant et élargissant des fissures. Ce phénomène est à l'origine de certaines chutes de blocs ou de glissement de terrain.

Le dégel s'accompagne de libération de grandes quantités d'eau et donne lieu à des glissements-coulées ou à des chutes de blocs et éboulements.

#### **IV.3.2.4 .Le séisme et le volcanisme**

Les vibrations provoquées par les séismes sont responsables du déclenchement de mouvements de pente très variés tels que glissements, chutes de blocs ou écroulements, soit par action mécanique directe, soit par la modification des pressions interstitielles.

Des phénomènes plus spécifiques se produisent également, comme des glissements à morphologie particulière, survenant dans des sites sujets à la liquéfaction de couches sableuses ou soumis à une forte amplification des vibrations.

L'explosion d'un volcan est souvent accompagnée d'une activité sismique qui favorise l'instabilité des versants.

L'action de surpression de gaz et de vapeur d'eau peut en outre favoriser le déclenchement de mouvement de pentes sur les flancs du volcan.

#### **IV.3.2.5 .L'action de l'homme**

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

- Les modifications de l'équilibre naturel des pentes :
  - talutage en pied de versant
  - remblaiement en tête de versant
- Les modifications des conditions hydrologiques du milieu naturel :
  - rejets d'eau dans une pente (fluide de canalisation, par exemple)
  - pompage excessif d'eau qui favorise la dissolution des roches solubles, etc.

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

Il existe des autres facteurs détachement et d'évolution des mouvements de pente appelés auparavant facteurs variables dans le temps, ont regroupé en trois familles principales :

- Modification du moment moteur
- Modification des conditions hydrauliques
- Modification des caractéristiques géotechniques et rhéologiques des terrains.

D'une façon générale, il y a une seule cause globale de tous les mouvements de pente, c'est la modification de l'équilibre du massif considérée. Cette cause a été décomposée en plusieurs causes de différentes origines dont la première approche qualitative a été donnée en 1950 par TERZAGUI.(**Ghannani.A**).

#### **IV.4. Présentation du logiciel ROC FALL**

ROCFALL est un programme d'analyse statistique conçu pour aider à l'évaluation des risques des pentes à risque de chutes de pierres.

Enveloppes d'énergie, de vitesse et de "hauteur de rebond" pour toute la pente est déterminée par le programme, tout comme emplacement des extrémités des roches.

ROCFALL peut également aider à déterminer les mesures correctives mesures: les propriétés des matériaux de chaque segment de pente peut être modifié et l'analyse réexécutée, en comparant les résultats. Informations sur l'énergie cinétique et l'emplacement de l'impact sur une barrière peut aider à déterminer la capacité, taille et emplacement des barrières.

ROCFALL propose différentes manières d'interagir avec d'autres Programmes Windows. Toutes les données d'entrée et de sortie (formatées sous forme de tableau) et des captures d'écran, peuvent être «collées» dans un traitement de texte pour rédiger rapidement des rapports.

ROCFALL permet également des données "brutes" (par exemple, l'emplacement de l'impact sur une barrière) à coller dans une feuille de calcul pour analyse détaillée.

#### **IV.5. Détermination des paramètres d'entrée pour une analyse RocFall**

Ces paramètres expliquent l'analyse et fournit un résumé pour choisir les valeurs appropriées.

Les paramètres d'entrée traités dans ce document se trouvent dans les boîtes de dialogue Paramètres du projet et Editeur de matériaux de RocFall. Les paramètres suivants sont traités:

- ❖ Vitesse angulaire
- ❖ Coefficient d'échelle de restitution normale
- ❖ Rugosité de la pente
- ❖ Angle de frottement
- ❖ Coefficients de restitution tangentiel

- ❖ Vitesse angulaire

En général, il est recommandé que la case à cocher Tenir compte de la vitesse angulaire dans la boîte de dialogue Paramètres du projet soit activée, car elle fournit une simulation plus réaliste du mouvement. La vitesse angulaire initiale est spécifiée dans la boîte de dialogue Définir les conditions initiales pour les semoirs de roche. À moins qu'il n'y ait une raison de faire autrement, la vitesse angulaire initiale des roches est souvent nulle.

- ❖ Coefficient d'échelle de restitution normale

Le concept derrière la mise à l'échelle du coefficient normal de restitution par la vitesse est l'idée que RN n'est pas indépendante de la vitesse.

- Pour les simulations avec des roches à vitesse plus élevée, une approche typique consiste à activer la mise à l'échelle par vitesse, à utiliser la valeur par défaut et à ajuster les coefficients de restitution et la rugosité de la pente pour obtenir des trajectoires rocheuses réalistes.

- Pour les simulations avec des roches à faible vitesse, expérimentez avec le paramètre coché et non coché, pour voir quel paramètre donne des chemins de roches plus réalistes.

❖ Rugosité des pentes

Les valeurs typiques de la rugosité des pentes des utilisateurs de RocFall, sont généralement assez petites. Les valeurs courantes pour l'écart type de la rugosité de la pente sont 0, 2, 3 ou 5 degrés.

❖ Angle de frottement

L'angle de frottement est choisi en fonction de la forme des particules et du mode de mouvement. La valeur que vous devez entrer pour l'angle de frottement est l'inclinaison du segment de telle sorte qu'une roche lancée sur ce segment continue à se déplacer vers le bas. En général, les valeurs inférieures sont plus prudentes (c'est-à-dire que les roches auront tendance à se déplacer davantage vers le bas et fourniront le scénario du «pire cas»).

❖ Coefficients de restitution

Le choix des coefficients de restitution appropriés est important, car le résultat est souvent assez sensible à la valeur utilisée. En cas de doute sur les valeurs à utiliser, commencez par le matériau du tableau des coefficients de restitution qui correspond le plus à votre site, puis ajustez les coefficients jusqu'à ce que les chemins - énergies - vitesses - extrémités des roches soient aussi proches que possible de vos observations des événements passés de rocfall

## **IV.6. Utilisation de modèles trajectographiques**

Cette étude a pour but d'évaluer ou de préciser l'extension des zones menacées par la propagation de blocs (sans interaction entre eux) et de fournir des éléments nécessaires à la détermination d'éventuelles parades, à l'aide d'outils de calculs informatiques. Les propriétés et la complexité des versants étant prépondérantes dans de nombreux cas.

L'utilisation du logiciel trajectographique RocFall pour l'étude de la propagation d'un bloc rocheux avec définition de l'aléa en fonction du pourcentage des blocs passants (**Lorentz, 2012**).

### **IV.6.1. Station EL Aouana**

#### **IV.6.1.1 .description géologique**

Cette zone comporte plusieurs faciès de roches magmatique, elle présente une morphologie différentielle selon le type d'altération et le degré de fracturation.



Figure IV.6. Représente repérage du profil de calcul Station El Aouana

**IV.6.1.2. Données d'entrées du logiciel**

Nous allons définir les différents propriétés des matériaux utilisés, comme décrit ci-dessous (Tableau V.2) (Données disponibles appartient au travail de Mme Yellas):

| Type de formation    | Coefficient de restitution normal (Rn) | Coefficient de restitution tangentiel (Rt) | Angle friction Phi en° | Rugosité de pente (variation pente en° par rapport au segment) |
|----------------------|--|--|------------------------|--|
| Affleurement         | 0.32                                   | 0.8  | 35                     | 0-2  |
| Formation de versant | 0.487                                  | 0.91                                       | 35                     | 0-2  |
| Pied de versant      | 0.487                                  | 0.91                                       | 35                     | 0-2  |

Tableau IV.2. Différentes propriétés des matériaux utilisés

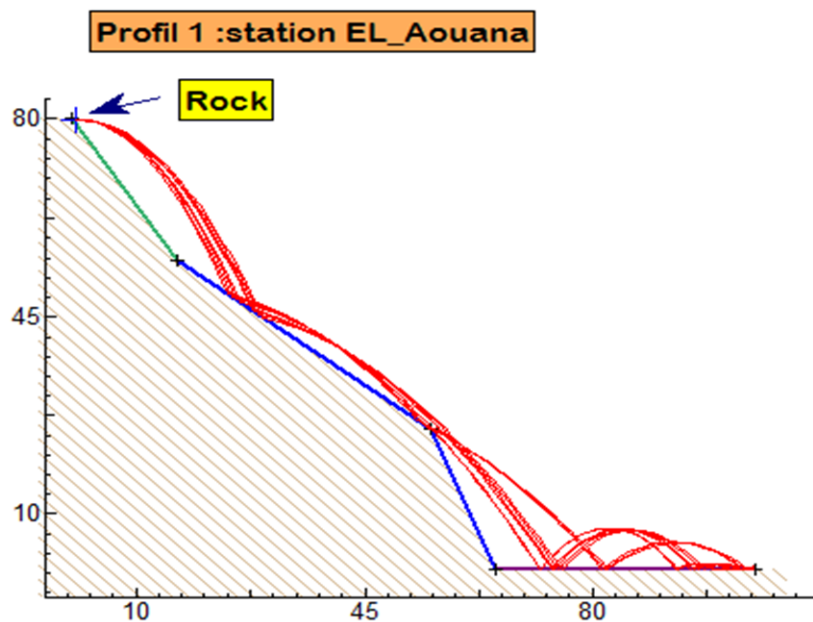


### IV.6.1.3. Résultats

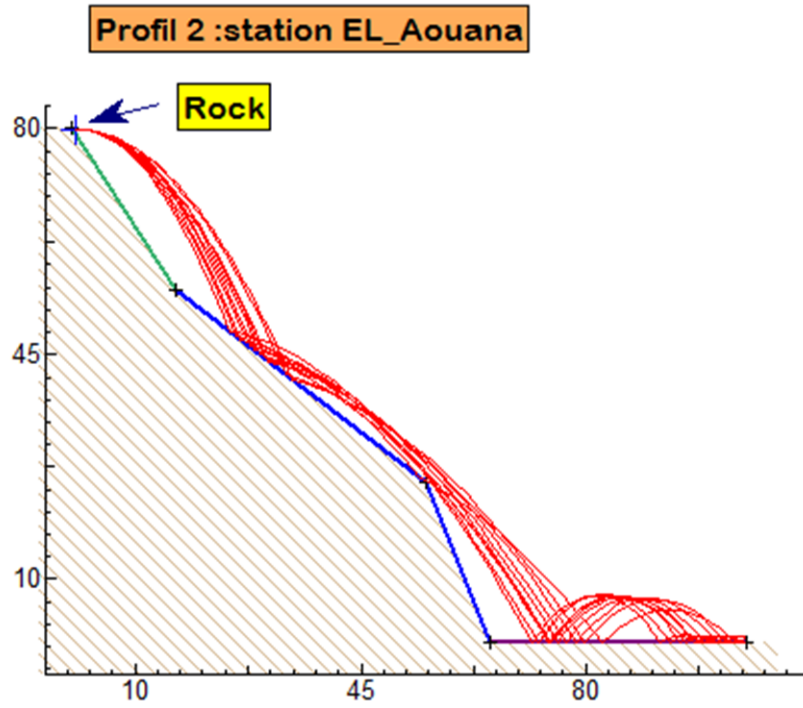
Les méthodes trajectographiques ont également un rôle assez important dans la réalisation de ces profils notamment grâce à leur approche stochastique qui leur permet de faire des estimations probabilistes des hauteurs de passage des blocs rocheux en différents points du site (**Figure IV.7, Figure IV.11** et **Figure (IV.15)**). Dans les cas d'éboulements en masse, la définition du risque reste plus problématique car comme présenté par (**Bourrier et al.2013**), le risque peut être une conséquence du mouvement de masse lui-même ou de l'action de blocs isolés.

La méthodologie du danger de chute de pierres appliquée sur le tronçon d'étude était basée sur des simulations réalisées à l'aide de logiciels 2D RocFall.

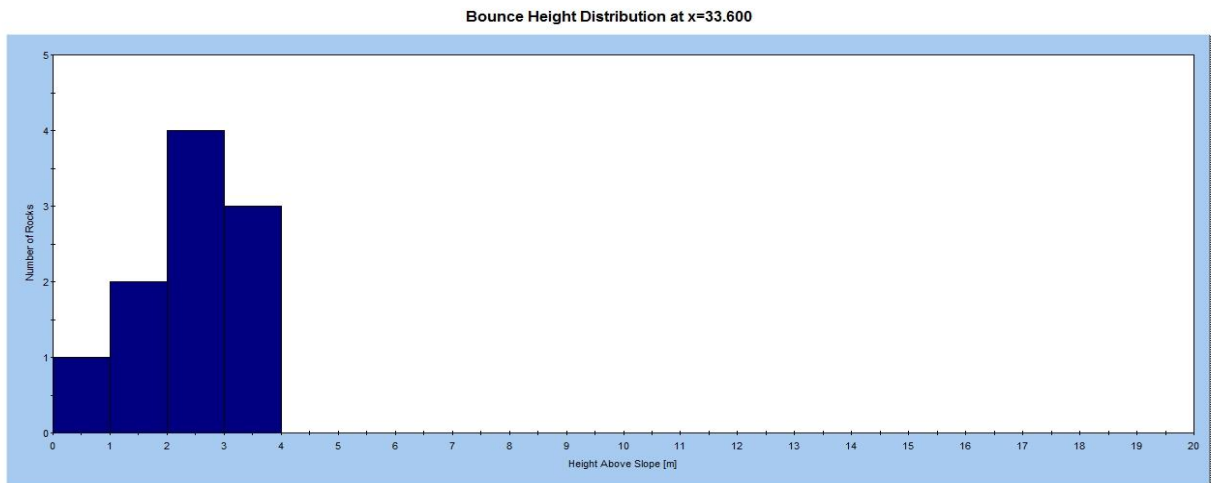
Les résultats du modèle de la trajectoire de la station d'El Aouana sont représentés ci-dessous :



(a.) Profil avec une rugosité de 0



(b). Profil avec une rugosité de 2  
**Figure IV.7.** Etude de la propagation d'un bloc rocheux station d'El Aouana  
 Profil trajectographique 2D



**Figure IV.8.** Répartition de la hauteur de rebond

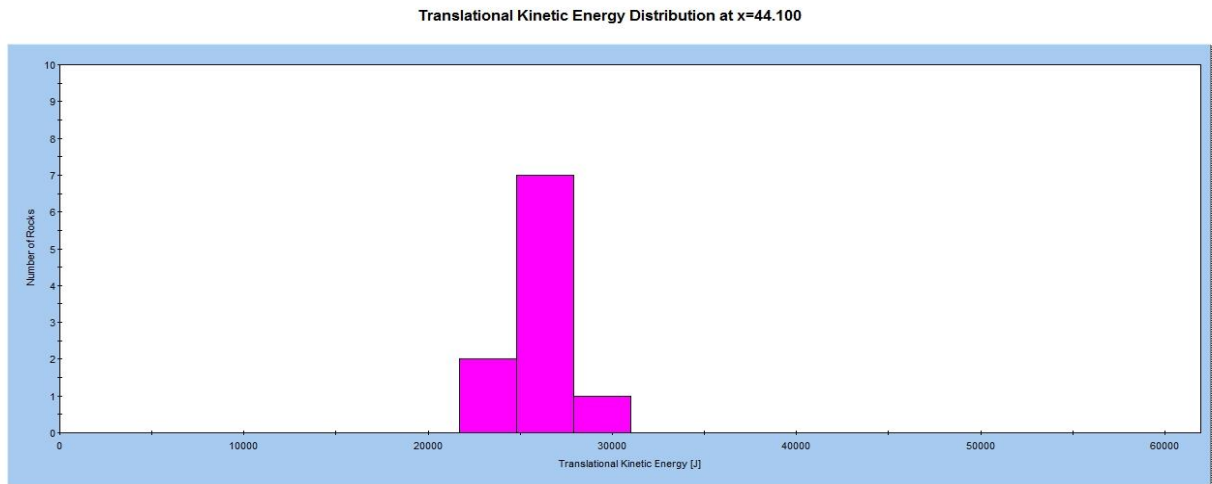


Figure IV.9. Energies cinétiques maximales calculée

### IV.6.2. Station des Aftis

#### IV.6.2.1 .Description géologique

Le site des Aftis caractérise par un faciès totalement carbonaté dominé par les calcaires dolomitiques du lias fortement fissurés.



Figure IV.10. Représente repérage du profil de calcul Station des Aftis (Yellas, 2019)

**IV.6.2.2.les données d'entrées du logiciel**

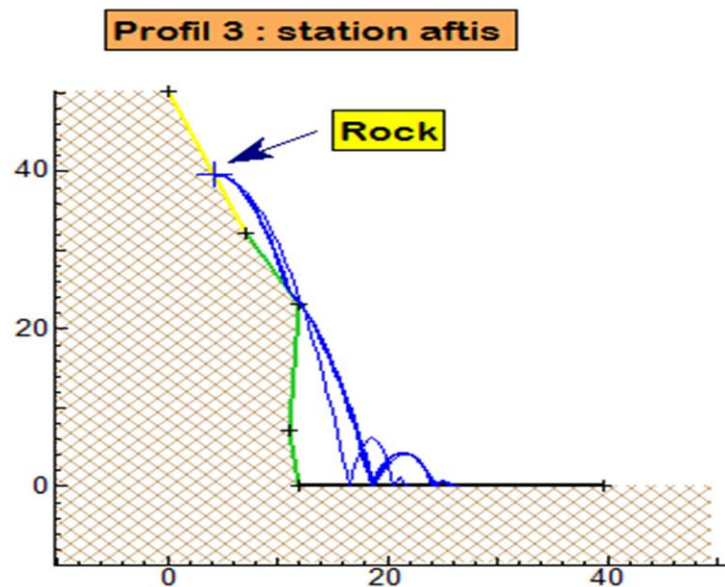
Nous allons définir les différents propriétés des matériaux utilisés, comme décrit ci-dessous (Tableau V.3) :

| Type de formation    | Coefficient de restitution normal (Rn ) | Coefficient de restitution tangentiel (Rt) | Angle friction Phi en ° | Rugosité de pente (variation pente en ° par rapport au segment) |
|----------------------|---|--|-------------------------|---|
| Affleurement         | 0.25-0.29                               | 0.489-0.141                                | 59.9                    | 0-2   |
| Formation de versant | 0.2                                     | 0.53                                       | 59.9                    | 0-2   |
| Pied de versant      | 0.2                                     | 0.53                                       | 59.9                    | 0-2   |

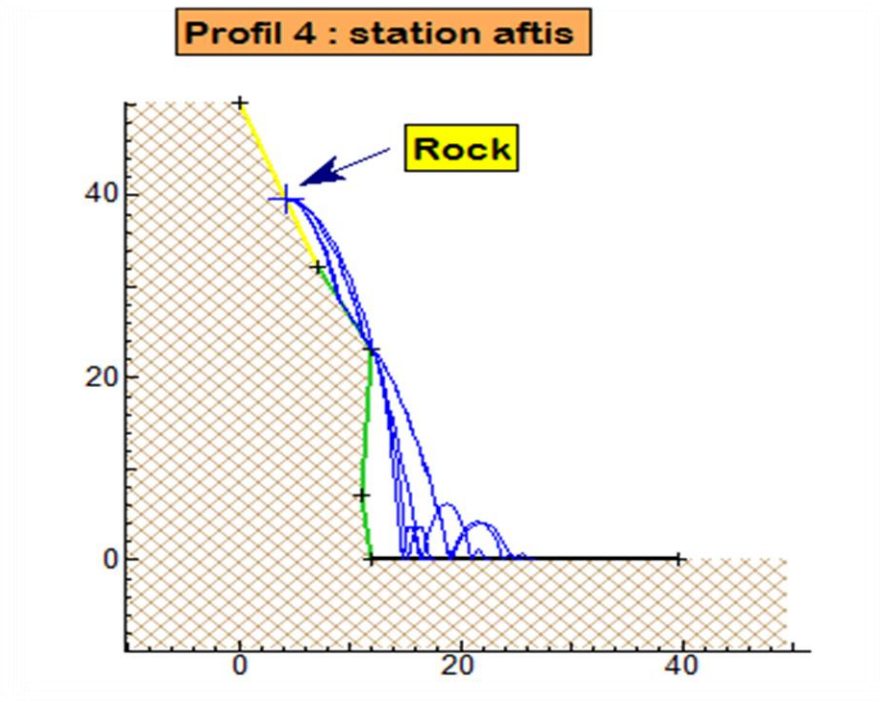
**Tableau IV.3.** Différentes propriétés des matériaux utilisée

**IV.6.2.3. Résultats**

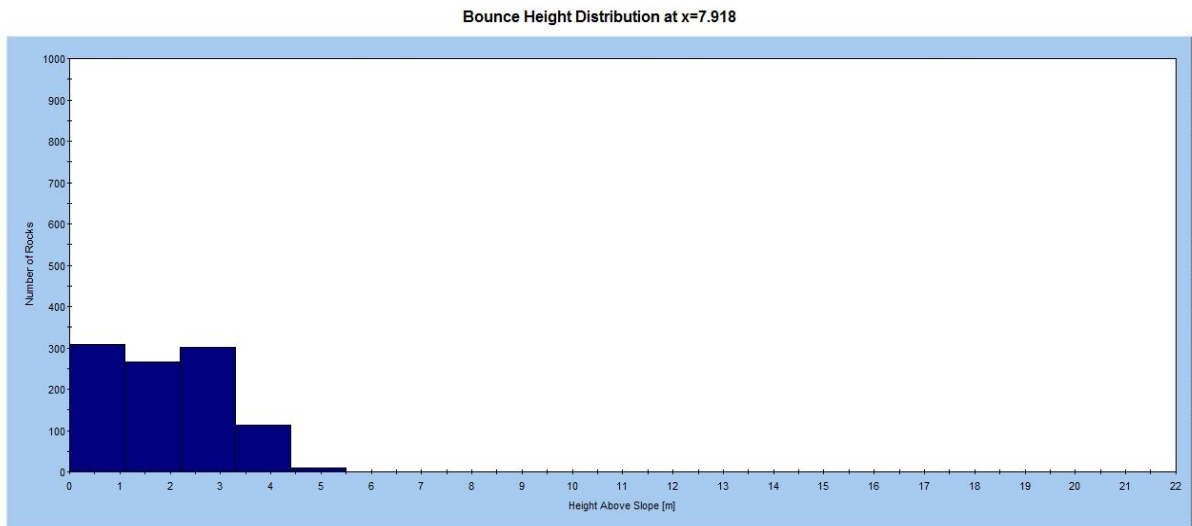
Les résultats du modèle de la trajectoire de la station des aftis sont représentés ci-dessous :



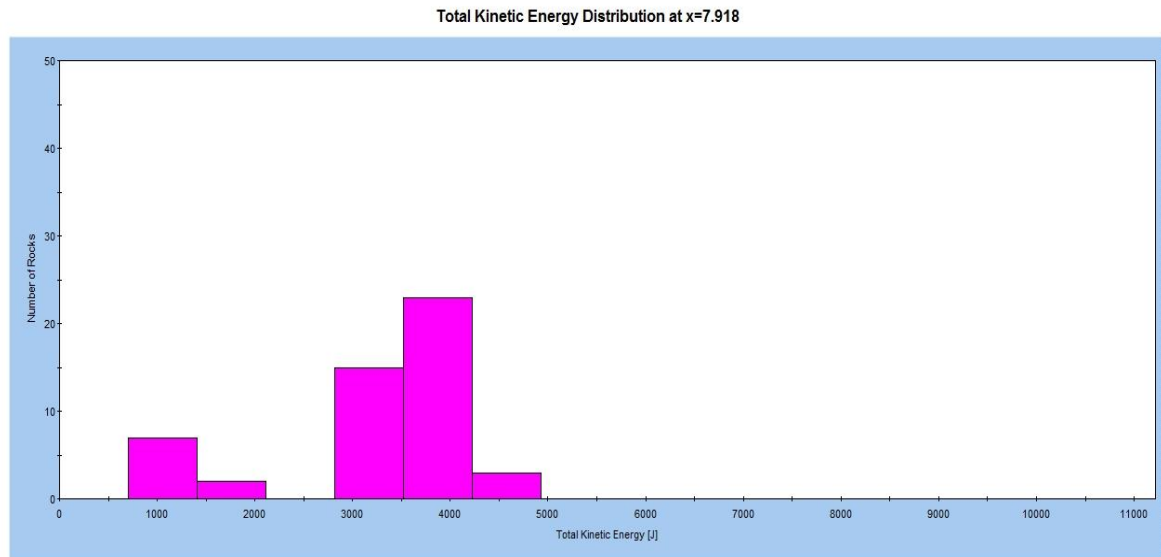
(a).Profil avec une rugosité de 0



(b).Profil avec une rugosité de 2  
**Figure IV.11.** Etude de la propagation d'un bloc rocheux station des AFTIS  
 Profil trajectographique 2 D



**Figure IV.12.** Répartition de la hauteur de rebond



**Figure IV.13.** Energies cinétiques maximales calculée

### IV.6.3. Station des Grottes Merveilleuses

#### IV.6.3.1. Description géologique

Ils sont représentés par une masse carbonatée qui montre plusieurs affleurements et aspects :

- Des gros bancs de calcaires d'épaisseur d'ordre métrique appartenant à l'unité de Brek-Gouraya, et formés essentiellement par des calcaires dolomitiques d'âge Jurassique.
- Des brèches dolomitiques dans une matrice argileuse à grains fins, avec des fractures remplies d'oxydes de Fer.
- Des masses calcareuses avec des passées de dolomies grises à grains fins a grossiers, très fracturées, leur stratification originale est difficilement observable, elle n'est repérable que par des lits minces d'argile. L'ensemble de la masse carbonatée est affectée par une intense fracturation entrainant sa bréchification. Ces fractures sont remplies par des produits calcitiques et d'oxyde de fer.



Figure IV.14. repérage du profil de calcul Station des grottes

**IV.6.3.2 .Données d'entrées du logiciel**

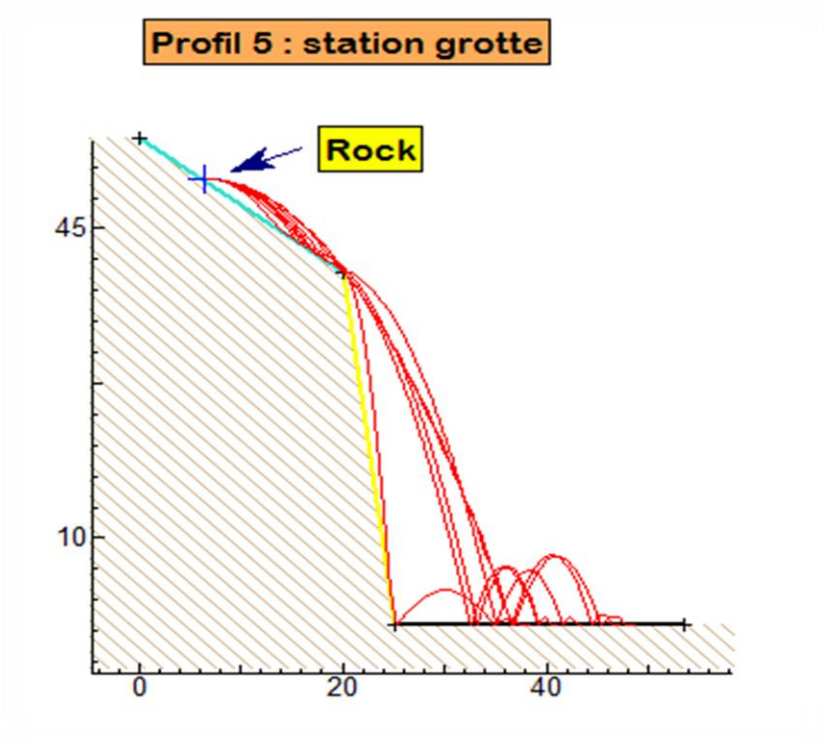
Nous allons définir les différents propriétés des matériaux utilisés, comme décrit ci-dessous

(Tableau IV.3) :

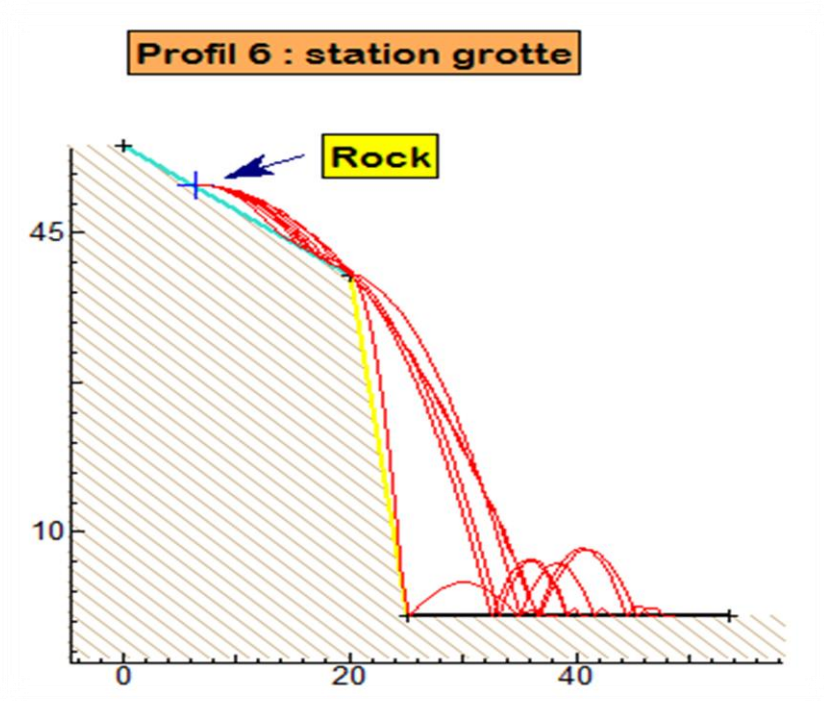
| Type de formation    | Coefficient de restitution normal (Rn ) | Coefficient de restitution tangentiel (Rt) | Angle friction Phi en ° | Rugosité de pente (variation pente en ° par rapport au segment) |
|----------------------|---|--|-------------------------|---|
| Affleurement         | 0.25-0.29                               | 0.489-0.141                                | 38.99                   | 0-2   |
| Formation de versant | 0.315-0.064                             | 0.712-0.116                                | 38.99                   | 0-2   |
| Pied de versant      | 0.315-0.064                             | 0.712-0.116                                | 38.99                   | 0-2   |

Tableau IV.4. Différentes propriétés des matériaux utilisés

IV.6.3.3 .Résultats



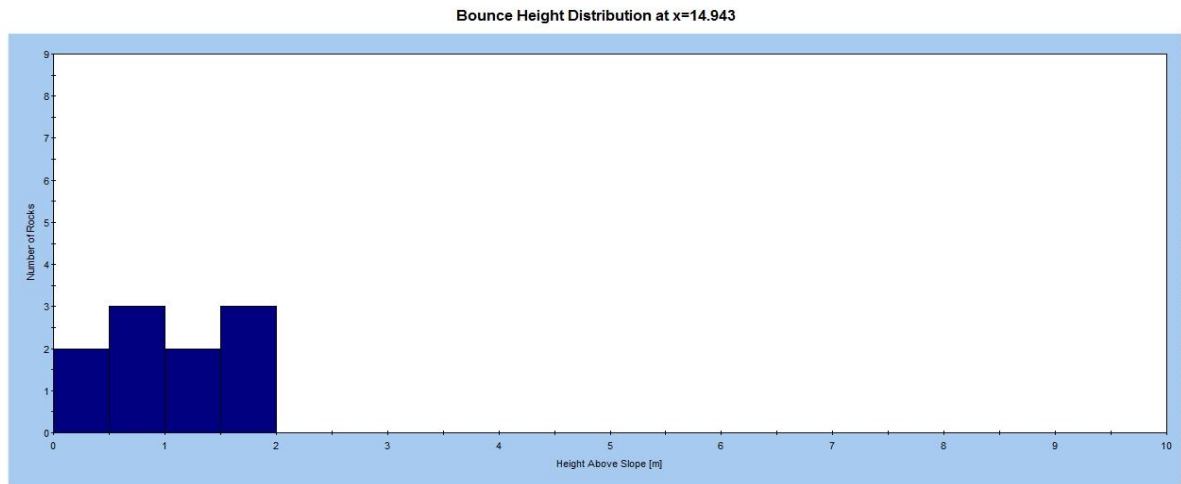
(a). Profil avec une rugosité de 0



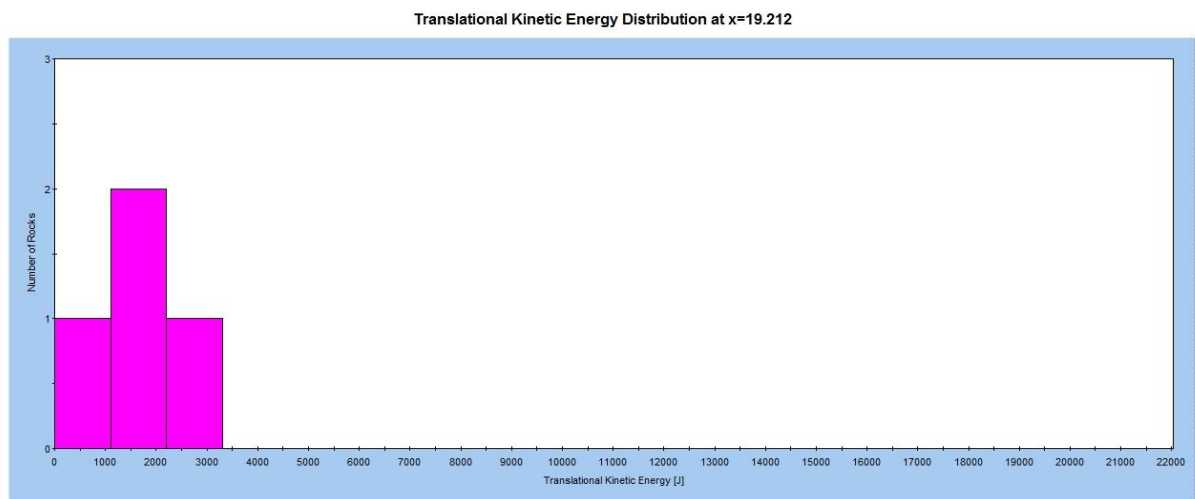
(b). Profil avec une rugosité de 2

**Figure IV.15.** Etude de la propagation d'un bloc rocheux station des grottes Profil trajectographique 2D





**Figure IV.16.**répartition de la hauteur de rebond



**Figure IV.17.**Energies cinétiques maximales calculée

#### IV.7 .Interprétation des profils des trois stations

Pour réaliser des simulations 2D, il est nécessaire de choisir et paramétrer des profils caractéristiques de la zone d'étude passant par les objets menacés ,des couloirs préférentiels de chute de blocs ou des ouvrages de protections existants ou planifiés. En fonction des objectifs de l'étude, on peut être amené à effectuer plusieurs simulations sur un même profil, avec différentes tailles de blocs et différentes zones de départ.

**Les figures IV.7, IV.11et IV.15**montre la trajectoire avec plusieurs emplacements de roches pendant qu'elle se déplace le long de la pente.

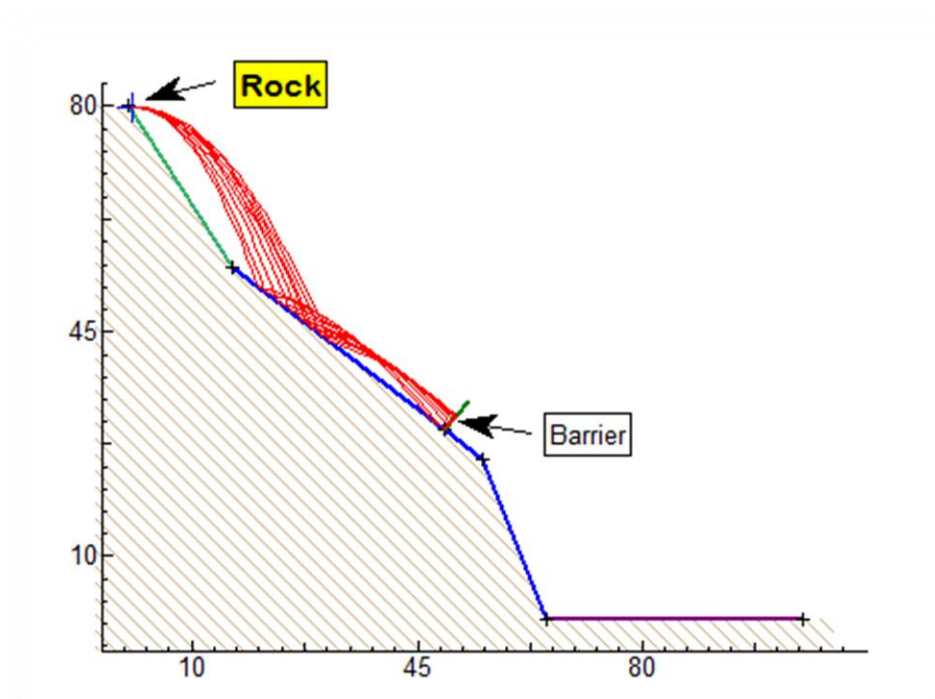
Les analyses trajectographiques montrent que l'énergie des blocs varie dans une large gamme de valeurs Conditionné par la masse de la roche, la vitesse initiale et l'emplacement de la roche le long du versant, pour différentes sections de contrôle d'un même profil ou de plusieurs profils différents,

Dans le logiciel RocFall, la rugosité des unités géomorphologiques est uniquement déterminée par la taille des matériaux présents en surface et dans le sol : de l'affleurement au bloc rocheux. Les valeurs d'énergie cinétique des différentes stations qui sont représentées dans les figures IV.9 ,IV.13 et IV.17 ne suivent pas nécessairement la même loi de distribution statistique et ils ne sont pas proportionnelle à la vitesse initial du bloc peut importe sa localisation comme le montre les différents histogrammes et dans notre cas l'énergie cinétique ne dépasse pas les 50000J .

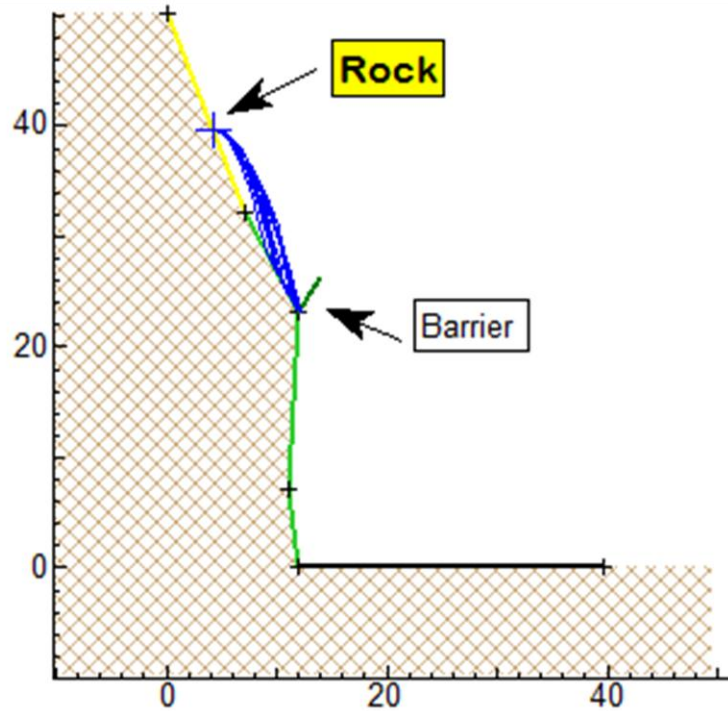
La collecte des résultats de la hauteur maximale des rebonds a été réalisée au niveau de différentes position sur le long des profils prévue d'implantation des éventuels ouvrages de protection.

Le confortement proposé par le logiciel RocFall pour les trois profils des différentes stations en utilisant la solution Barrière :

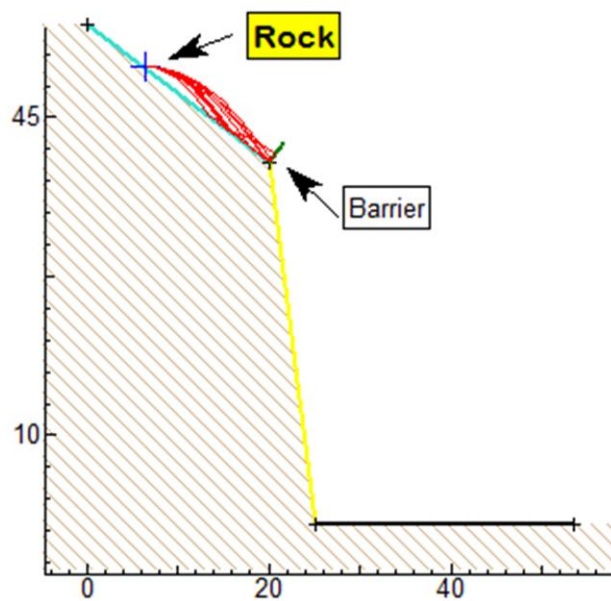
Dans le cas de la pente de la station d'El Aouana on n 'a effectué une barrière de 5.5 m (Figure IV.18).



**Figure IV.18.** Profil après confortement de la station d'El Aouan  
Dans le cas de la pente des Aftis on 'a effectué une barrière 3m (Figure IV.19).



**Figure IV.19.** Profil après confortement de la station des aftis  
 Dans le cas de la pente des Grottes on'a effectué une barrière de 3m (**Figure VI.20**).



**Figure IV.20.** Profil après confortement de la station des Grottes

L'avantage du programme RocFall est qu'il fournit des informations sur les roches à n'importe quel point de la surface de la pente, et ses caractéristiques de barrières fournissent une aide supplémentaire pour trouver des solutions aux données sur les chutes de pierres et déterminer l'emplacement optimal pour placer des barrières le long de la pente.

La fonction Barrières est disponible dans le Rocfall qui aide les utilisateurs à évaluer leur efficacité sur le Rocfall. Les barrières sont utilisées comme solution aux problèmes d'éboulement en forçant la roche à s'arrêter ou à diminuer sa vitesse et son énergie cinétique à l'emplacement de la barrière.

#### **IV.8 .Confortement des éboulements rocheux**

Le phénomène de rupture des blocs rocheux se rencontrent sur une grande partie du territoire national, affectée de façon plus ou moins diffuse. cette problématique est particulièrement marquée au sein des massifs montagneux, ont été observés sur une grande partie du littoral Est algérien (falaises de jijel , corniche de béjaia.).

Le confortement des talus rocheux sont l'ensemble des méthodes qui servent a stabiliser la masse de terrain instable. Le choix de la méthode de confortement varie d'une part avec les caractéristiques et l'état de chaque site comme le type des sols,et d'autre part avec le cout économique,Les conditions de sécurité vis- a vis l environnement et notamment les risques de désordre en phase de travaux,

##### **IV.8.1. Méthode de confortement des massifs rocheux**

Ce sont des ouvrages de protection construits ou creusés qui s'opposent à la propagation des éboulis. Parfois, ces ouvrages sont combinés ensemble pour une plus grande efficacité.

Dans ces méthodes de confortement on distingue deux catégories : les parades actives et les parades passives.

Les parades actives consistent à éviter que le phénomène se manifeste en supprimant les masses rocheuses, en les fixant ou en évitant leur altération.

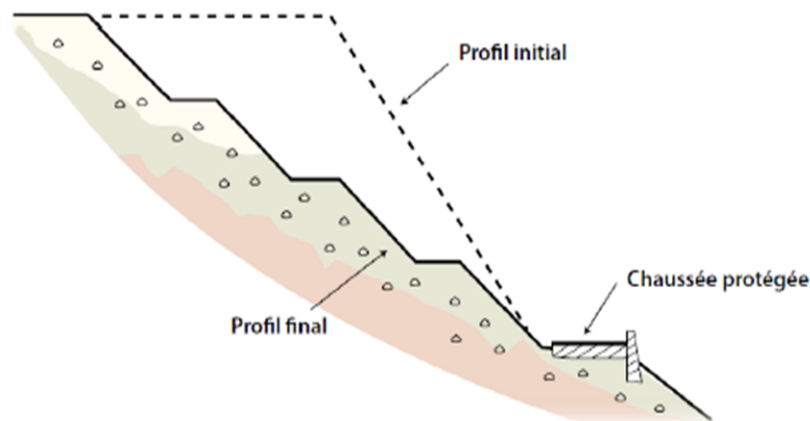
##### **➤ Purge**

La purge consiste à éliminer les pierres, blocs et masses les plus instables. Les techniques employées sont généralement "douces" pour éviter de créer de nouvelles instabilités. Leur mise en œuvre nécessite des équipes spécialisées. C'est une technique efficace à court terme seulement qui doit être renouvelée périodiquement.

##### **➤ Reprofilage**

Le reprofilage consiste à modifier le profil d'un talus ou d'un versant rocheux en supprimant les volumes rocheux potentiellement instables (chandelles, écailles, surplombs marqués, etc.). Les

techniques utilisées sont variées (marteau perforateur, écarteurs hydrauliques, pelle mécanique, minage, etc.). Il faut disposer à l'aval d'une zone de réception adaptée



**FigureIV.21.** Reprofilage de la pente naturelle d'un massif instable

#### ➤ Soutènement

Il s'agit d'une structure massive consistant à maintenir en place une masse instable bien délimitée. C'est la solution retenue lorsqu'il apparaît difficile de purger ou d'ancrer la masse instable. Ce sont des ouvrages qui peuvent être très coûteux en fonction de leur taille et de leur complexité et généralement peu esthétiques.

#### ➤ Filets et grillages plaqués

Constitué par une nappe de filets ou de grillages plaqués contre le rocher, ce type de protection a pour but d'éviter tout départ de blocs ou de pierres. Les filets plaqués sont utilisés en stabilisation locale de masse (emmaillotage) ou pour traiter des surfaces plus vastes. Ils ne protègent pas contre les éboulements en masse.

#### ➤ Béton projeté

Ce dispositif de protection consiste à projeter à la surface d'une paroi rocheuse ou d'un talus, protégés ou non par un grillage ou un treillis soudé, une coque de béton. Le béton projeté (appelé également "gunitage") est utilisé en protection sur les talus rocheux très fracturés, en consolidation de talus dans les alternances de couches dures et tendres, en travaux souterrains. Il lui est généralement associé un dispositif de drainage.

#### ➤ Ancrages

Les ancrages sont utilisés pour stabiliser des blocs individualisés, pour conforter des talus rocheux, pour amarrer les grillages ou les filets, etc.

➤ **Ouvrages complexes**

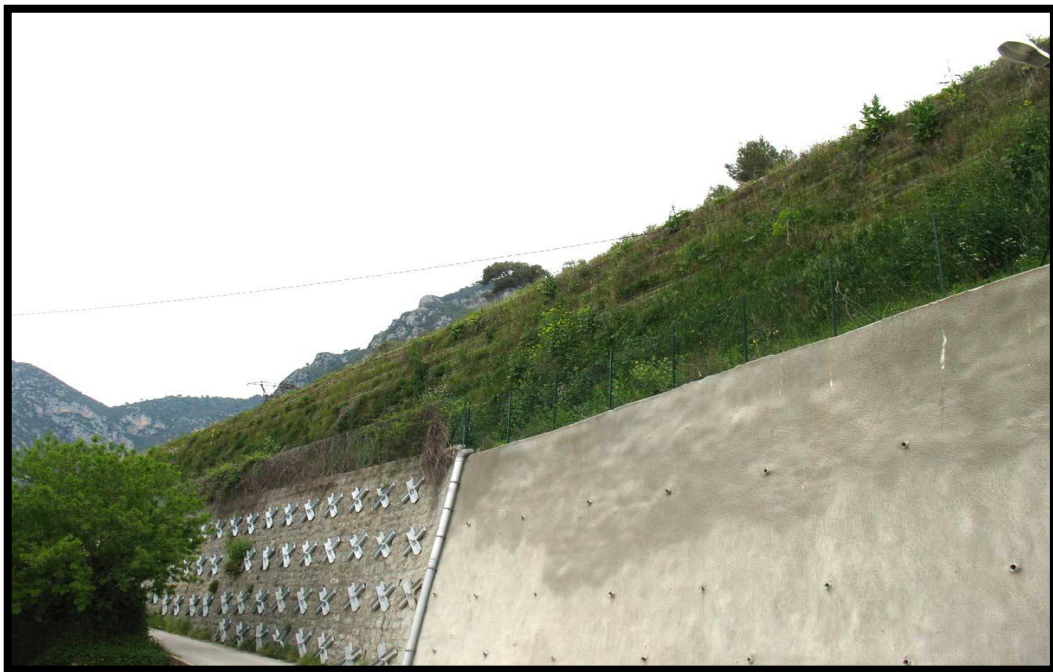
Parfois, les instabilités peuvent être combinées : à la fois instabilités de type glissement et rocheuses. Il est nécessaire alors de mettre en place plusieurs types d'ouvrages de protection sur le versant instable.

Les parades passives consistent à diminuer les conséquences du phénomène une fois qu'il s'est déclenché

➤ **Merlons et digues**

Ce sont des ouvrages massifs en remblais surélevés, situés entre la pente instable et la zone à protéger. L'implantation d'une digue au sens large suppose que l'on dispose physiquement d'une emprise suffisante entre l'objet à protéger et le pied du versant.

Les merlons sont érigés lorsque l'on souhaite protéger un secteur menacé par des instabilités présentant des volumes élevés. Ce sont des protections collectives, qui peuvent également être mises en œuvre contre les avalanches de neige



**FigureIV.22.**exemple de merlon protection en remblais renforcées

➤ **Les fosses de réception**

Il s'agit d'ouvrages obtenus par déblais sur la trajectoire des éboulis en amont de l'objectif à protéger. Plusieurs conceptions peuvent être imaginées, allant d'une configuration d'une fosse élargi, destinée à piéger les blocs se détachant des petits talus situés en bordure de route, à un

ouvrage large et profond, creuse dans le terrain pour contenir de plus gros blocs et des volumes plus importants d'éboulis .

➤ **Les écrans rigides**

Les écrans à structure légère ont une capacité inférieure à 100 kJ, alors que ceux en gabions ont une capacité de l'ordre du MJ .

➤ **Les barrières fixes**

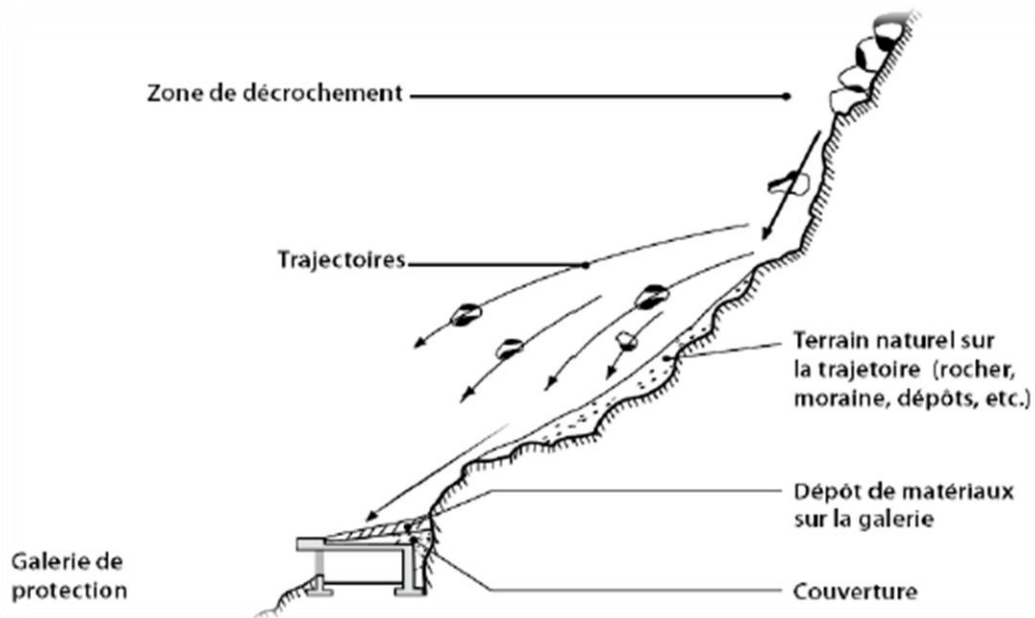
L'objectif des barrières fixes est de guider les instabilités en mouvement et de dissiper de l'énergie par frottement. Ce type de grillage passif a une capacité de rétention de quelques dizaines de kJ. Les filets atteignent quelques centaines de kJ .



**Figure IV.23.** Grillage comme barrière fixe

➤ **Les galeries de protection**

Ce sont des ouvrages de type déviateur en casquette ou de galerie pare-blocs par exemple, qui sont des parades contre les instabilités rocheuses comme entre autres les chutes de blocs.



**Figure IV.24.** action des chute des blocs sur les galeries de protection

#### ➤ Les Structures en béton

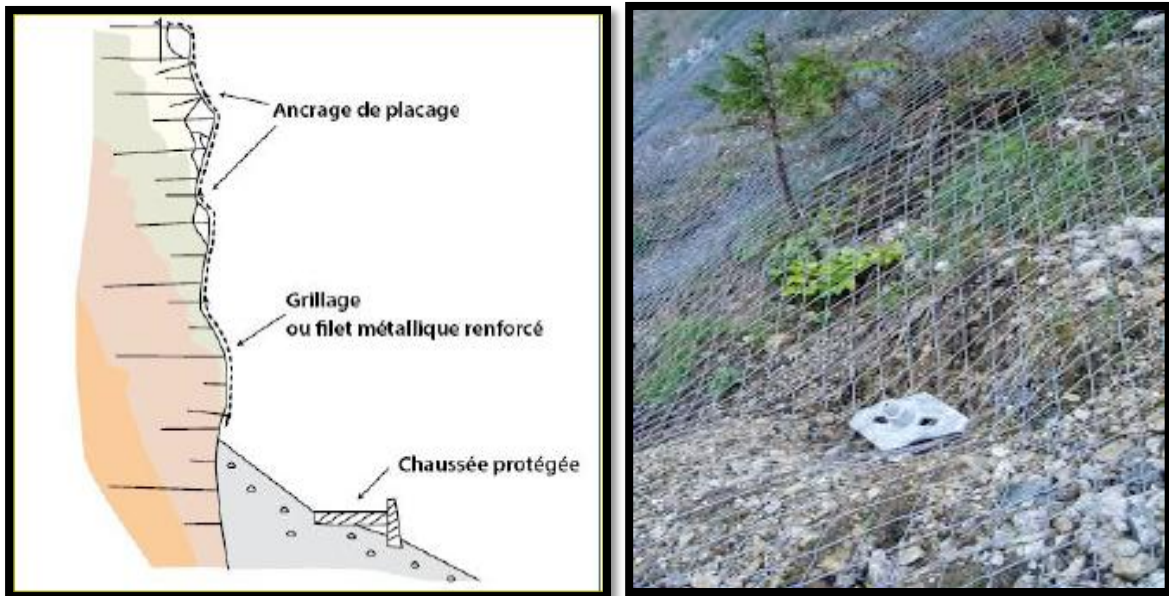
Ces moyens de confortement peuvent être une ou différentes structure(s) en maçonnerie ou en béton, armé ou non, dans le but de lutter contre les efforts de compression qui agissent sur la masse instable. Ils peuvent être Des butons en béton, généralement non ferrailés, appliqués sous les surplombs de faible hauteur .

#### ➤ Les grillages et filets plaqués

Les treillis et filets plaqués, utilisés en parades actives peuvent être métalliques ou en PVC Ce sont des nattes de filets ou de grillages fixées contre la paroi, permettant la stabilité superficielle ou locale du massif.

Le placage des nattes de grillages ou de filets contre la paroi vise à prévenir et enrayer rapidement tout mouvement consécutif à une rupture. Il est effectué à l'aide de câbles et d'ancrages répartis sur le pourtour de la zone instable et le seul produit facile à installer. La présence de câbles en acier tissés dans la maille lors de la fabrication assure une meilleure répartition des charges dans les câbles longitudinaux supérieurs ainsi qu'une faible déformation du système de recouvrement.





**Figure IV.25** .Stabilisation de paroi par plaquage de filets de grillage

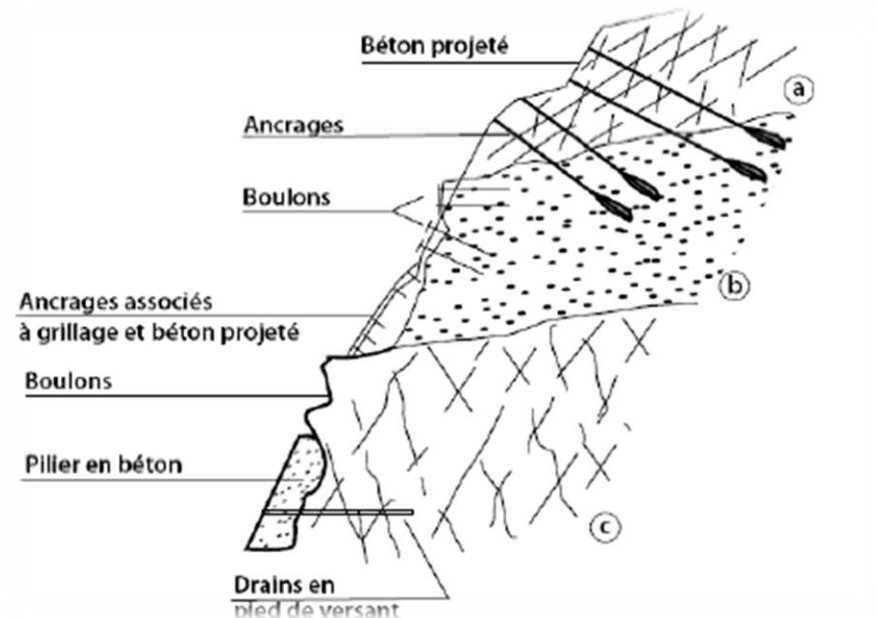
Autres parades passives pouvant être mises en place pour empêcher la propagation des éléments rocheux :

- Déviateur latéral : modifie la trajectoire des blocs vers une zone sans enjeux ou vers un ouvrage de réception ;
- Dispositif amortisseur : dispositif déformable destiné à amortir les chocs causés par les blocs sur les ouvrages rigides en encaissant une partie de l'énergie dynamique ;

boisement : les chocs des blocs contre les arbres entraînent leur décélération, voire leur arrêt et diminue les rebonds

#### **IV.8.2.Systèmes de confortement complémentaires**

D'autres techniques de soutènements peuvent être associées aux solutions de traitement global classique, comme la pose de filets ou grillages actifs, le béton projeté, le boulonnage, les ancrages, etc.



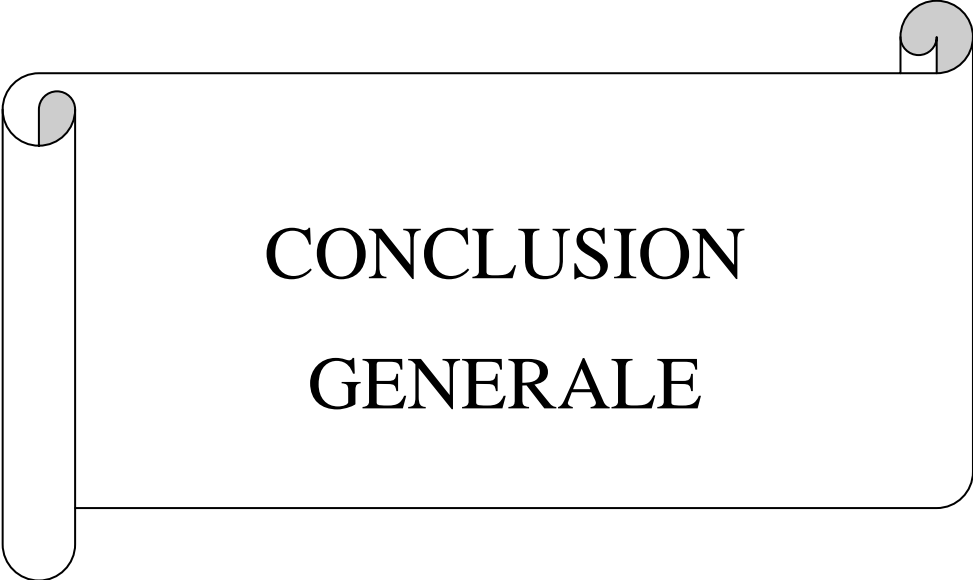
**Figure IV.26.** Type d'intervention de confortement

#### IV.9.Conclusion

Il est très difficile voire impossible de faire disparaître complètement un aléa naturel. Les méthodes de contrôle de risques gravitaires rocheux passent donc par la formulation de deux questions principales : veut on diminuer la fréquence d'un risque ou bien diminuer l'effet et/ou les conséquences ? Bien que proches, prévention et protection font l'objet d'une définition particulière.

En matière de risques, la prévention a pour but de réduire l'impact d'un phénomène prévisible sur les personnes et les biens. Elle intervient en amont du problème. On y trouve différentes mesures (**Curvo, 2005**).

Un dimensionnement de parade correct nécessite des données topographiques précises dont l'échelle devra être adaptée au niveau d'étude souhaité, ainsi qu'à la géomorphologie du site.



**CONCLUSION  
GENERALE**

Le présent travail concerne quelque scénario de rupture des massifs rocheux au niveau de la route nationale RN43, Cette étude a été basée sur la combinaison des données géologiques, géométrique hydrologiques et géotechniques et a conduit à identifier de nombreux paramètres mécaniques qui caractérisent le comportement des massifs rocheux.

Dans ce travail on a défini différents types des mécanismes de rupture affectant les massifs rocheux, ainsi que les différentes méthodes de confortement (écrans par-blocs et un merlon ...ect) pour préserver la route RN43 et diminuer les dangers et les risques.

Nous avons également effectué une analyse par le logiciel RocFall sur quelque versant rocheux qui nous permette d'étudier de différentes cas de la trajectoire et permettant de disposer des valeurs quantitatives probabiliste.

Le logiciel utilisé décrivent l'impact des blocs et leurs rebonds et permettent de modéliser les trajectoires à partir des paramètres de terrain et des observations morphologiques. Les études trajectographiques permettent d'aller au-delà d'estimations empiriques.

La propagation des blocs rocheux en tant que telle est déterminée par la dissipation de l'énergie au cours du mouvement et plusieurs facteurs interviennent dans cette dissipation (frottements, déformations, obstacles, etc.), mettant en jeu des mécanismes complexes.

Tout l'enjeu des logiciels de trajectographie est d'intégrer le plus vraisemblablement possible ces dissipations pour fournir des hauteurs de passage des blocs et des longueurs de propagation.

Lorsque des études de trajectographie sont prescrites, on doit garder à l'esprit que :

Comme la représentation du relief est une donnée d'entrée primordiale, elle doit être adaptée à l'échelle et à la finalité de l'étude et sa résolution doit être ni trop faible (mauvaise représentation de la topographie) ni trop élevée (biais et rebonds non représentatifs dans les simulations de trajectographies) ;

Les résultats des profils montrent la trajectoire avec plusieurs emplacements de roches pendant qu'elle se déplace le long de la pente.

Les analyses trajectographiques montrent que l'énergie des blocs varie dans une large gamme de valeurs conditionnées par la masse de la roche, la vitesse initiale et l'emplacement de la roche le long du versant comme le montre les figures précédentes, pour différentes sections de contrôle d'un même profil ou de plusieurs profils différents,

La fonction Barrières est disponible dans le Rocfall qui aide les utilisateurs à évaluer leur efficacité sur le Rocfall. Les barrières sont utilisées comme solution aux problèmes d'éboulement en forçant la roche à s'arrêter ou à diminuer sa vitesse et son énergie cinétique à l'emplacement de la barrière.

La définition de certaines valeurs limites à considérer, telle la probabilité d'atteinte et le quantile d'énergie des blocs, nécessite des développements dans les méthodes de zonage basées sur des trajectographies.

À l'heure actuelle, les modélisations bi-dimensionnelles fournissent les résultats les plus fiables. Des modèles sophistiqués existent et ambitionnent de représenter les comportements mécaniques, mais leur paramétrage est complexe à réaliser : les spécialistes limitent leur utilisation à des cas spécifiques.

A partir des résultats de notre étude, nous recommandons certaines suggestions capables de minimiser les risques de rupture de blocs et protéger la route concernée :

- définition de l'aléa de départ des blocs à partir d'une analyse structurale associée à une analyse géomorphologique des massifs rocheux ;
- évaluation des distances de propagation des blocs à partir d'une méthode empirique (méthode des cônes) associée à des simulations trajectographiques;
- placer des écrans pare-blocs ;
- placer des soutènements nécessaires aux lieux et sites définis ;
- la mise en place du béton projeté à l'endroit des zones fracturées et fragmentées ;
- réaliser un système de drainage profond.

## *Références bibliographiques*

- Boudy, P.**, "Guide du forestier en Afrique du nord. Ed. Maison Rustique". Paris ,505p,(1952)
- Bockel, M.**, "Structure de la croûte terrestre en Algérie d'après les ondes sismiques", *Annali di Geofisica*, Vol. XXV, n. 3,( 1972).
- Bruno Martins-Campina** 2005. Le rôle des facteurs géologiques et mécaniques dans ledéclenchement des instabilités gravitaires : exemple de deux glissements de terrain des Pyrénées Atlantiques (Vallée d'Ossau et Vallée d'Aspe). Thèse Doctorat L'université Bordeaux 1.
- Abacha. I** ,étude de la sismicité de la région Nord-est de l'Algérie thèse de doctorat ,université de Sétif , Algérie, p 77 ,2015
- Benmarce. A**, stabilité des massifs rocheux ,mémoire master université Guelma, Algérie ,2019,p 65-68
- CRAAG**, Ecole de terrain sur la géologie de maghrébide, **CRAAG**, (2000).
- Durand Delga.M**, "Mise en point sur la structure du NE de la Berbérie", *Bull.Serv-Géol-Algérie*, nouv.sér.n°39, 89-131pp, (1969).
- Durand Delga.M**, "Regards sur la structure de l'Algérie septentrionale", *Geol.Symp.Zuehrevonhansstille*, F.Enkeéd ; Stuttgart, pp.304-335, 1fig, 1pl, (1956).
- Durand Delga.M, et Fonboté.J.M**, "le cadre structurale de la méditerranée occidentale 26<sup>eme</sup> congres géol.international, Paris , 67-85pp,(1980).
- Derradji A et Sahli M.**,« Elément de stabilité des pentes au rocher » , Ecole Hassania des travaux publics, Maroc, (2012) 162p
- Ghennani ,B** , cartographie de l'alea naturel des zones urbaniser situees a hammam bouhanifia ( wilaya de mascara) , université Tlemcen ,p 15-16-25-à-29
- Leikine M, Obert D, BellierJP**"Intégration des Babors aux nappes telliennes, existence d'un métamorphisme anté-nappe". *Bull. Soc. Géol. France* 17: 764–772. (1975)
- Maghraoui ,M**, "Géologie de zones sismiques du Nord de l'Algérie- paleosismologie-tectonique active et synthèse sismotéctonique ", thèse de doctorat, université Paris XI, 356pp, (1988).
- Tekkouk, M.**:Étude de la pollution par les sulfates des eaux du bassin versant de l'oued Djen-Djen. Mém de Magister. Univ. Constantine. Algérie. 262 pages (2005).

**Obert.D,**”Etude géologique des babor orientaux (domaine tellien, Algérie) Ph.D. thesis, university of Paris 6, Paris, France(1981).

**Obert.D,** ”Etude géologique des babor orientaux (domaine tellien, Algérie)”.Thèse de doctorat d’état des sciences naturelles, Université pierre et marie curie, Paris6, (1980).

**Yellas.C,**”Etude géologique et géotechnique du Tunnel de Oued Dar-El-Oued (GrottesMerveilleuses) Wilaya de Jijel”, Mémoire de Magister, Université de Jijel- Algérie ,(2008).

**Yelles-Chaouche, A.K., Boudiaf, A., Djellit, H and Bracène, R., 2006.** La tectoniqueactive de la région nord algérienne. ComptesRendusGéosciences. P77

**Yellas .C, Benzaid. R,** “Geological Context and Fracturing State of the Rock Massifs of the Jijelian Ledge (Northeast Algeria)”, Recent Advances in Geo-Environmental Engineering, Geomechanics and Geotechnics, and Geohazards, Proceedings of the 1st Springer Conference of the Arabian Journal of Geosciences (CAJG-1), pp 149-152, (2018).

**Yellas.C,Benzaid.R, Tekkouk.M.** Application of classification systems for the assessment ofrock mass stability-case of national road 43,Jijel,Algeria. 2nd Springer Conference of the Arabian Journal of Geosciences (CAJG-2), (2019).

**site web :**

\*<http://observatoire-regional-risques-paca.fr/article/eboulements-chutes-pierres-blocs>

\*<http://www.planat.ch/fr/bon-a-savoir/glisement-et-chute-de-pierres/chute-de-pierres-et-de-bloc/chute-de-pierres-et-de-bloc/>

\*<https://www.universalis.fr/encyclopedie/hydrologie/4-1-evapotranspiration/>

\*<http://observatoire-regional-risques-paca.fr/article/mesures-protection-contre-instabilites-rocheuses-parades-actives>

## Résumé

Les mouvements de terrain sont des déplacements de masses rocheuses compactes ou désagrégées, les chutes de pierre et les éboulements sont une sous-catégorie de ces mouvements de terrain et ils font l'objet de ce travail car ils sont une source de danger.

Cette étude consiste à utiliser la modélisation des chutes de blocs par le logiciel RocFall pour simuler quelques modèles de pentes sur la route nationale 43 des zones d'El Aouana , les Aftis et les Grottes Merveilleuses. Afin de définir la trajectoire des massifs rocheux ainsi les différentes méthodes de confortement pour essayer de remédier à ces mouvements de terrain.

**Mots clés :** risques naturels, éboulement rocheux, Chute des blocs, trajectoire, Rockfall.

## Abstart

Terrain movements are movements of compact or disintegrated rock masses. Rockfalls and landslides are a sub-category of these movements and are the subject of this work because they are a source of danger.

This study used RocFall software to simulate some models of slopes on the National Road 43 in the areas of El Aouana, Aftis and the Marvelous Caves. In order to define the trajectory of the rocky massifs as well as the different methods of reinforcement to try to remedy these ground movements.

**Key words :** rock fall , trajectory , natural risks , Rock fall

## ملخص

حركات الأرض هي حركات كتل صخرية متماسكة أو متشققة ، وسقوط الصخور والانهيارات الأرضية هي فئة فرعية من هذه الحركات الأرضية وهي موضوع هذا العمل لأنها مصدر خطر. تتكون هذه الدراسة من استخدام نمذجة انهيارات الصخرية بواسطة برنامج RocFall لمحاكاة بعض نماذج المنحدرات على الطريق الوطني 43 لمناطق العوانة و أفنيس والكهوف العجيبة من أجل تحديد مسار كتل الصخور بالإضافة إلى الطرق المختلفة للتعزيز و لمحاولة معالجة هذه الحركات الأرضية.

**الكلمات المفتاحية:** سقوط الصخور ، المسار ، الأخطار الطبيعية ، سقوط الصخور