

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 حمد 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 والحياة
قسم علوم الارض
والكون

Mémoire de fin d'études

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

Option: Génie Géologique

Thème

**Inventaire et étude de stabilité de mouvements de
terrain le long de la RN 43 dans la Wilaya de Jijel:
Tronçon entre El Aouna et Ziam Mansouriah**

Members de Jury

Président: Mr. TEKKOUK Mustapha

Examineur: Mr. REMOUM Karim

Encadrants: Mme. ILLAS Chahra

Dr. BENZAID Riad

Présenté par:

BENCHAREF Mohammed hichem

Année Universitaire 2016-2017

Numéro d'ordre (bibliothèque) :

Remerciements

Tout d'abord merci au bon dieu le tout puissant, de m'avoir donné la force, la patience et la volonté pour réaliser ce travail dans des meilleures circonstances et en bon état.

*Je tiens à remercier mes encadrants Madame **ILLAS Chahra** et Monsieur **BENZAID Riad** ; pour tout ce qui m'a appris et pour leur aide précieuse ainsi que pour leur disponibilité durant toute la période de mon travail.*

J'adresse mes remerciements au président et membres du Jury qui ont accepté d'examiner ce mémoire en lui apportant de l'intérêt.

Je remercie l'ensemble des enseignants du département des sciences de la terre et de l'univers et en particulier Monsieur Rouikha pour son aide.

Par la même occasion je tiens à remercier le personnel de l'agence nationale des ressources hydrauliques, en particulier Monsieur Babay et son adjoint Monsieur Terki pour leur générosité, leur grande patience et leur aide.

Je remercie également Monsieur Boudouhane directeur de la CTPP pour son aide et son soutien.

Enfin, Je voudrais associer à mes remerciements toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à l'aboutissement de ce travail.

Dédicace

*Avant tout, je tien à remercier ALLAH, et l'unique qui m'offre le
courage et la volonté nécessaires pour affronter les difficultés de la vie,
Je dédie ce modeste travail*

*A mes très chers parents, ma mère et mon père
Pour leur patience, leur amour, leurs soutiens et leurs
encouragements*

A tous mes sœurs et frère

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

BENCHAREF MOHHAMED HICHEM

TABLE DES MATIERES

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

Chapitre I

Généralités

I. Cadre géographique	3
I.1.Introduction.....	3
I.2.Situation géographique.....	3
I.3.Climat.....	4
I.4.Végétation	4
I.5.Orographie.....	5
I.6.Réseau hydrographique	6
I.7.Sismicité	7

Chapitre II

Cadre géologique locale

I. Introduction.....	11
I.1. Les unités à matériel éocène	11
I.2. Les unités septentrionales	11
I.2.1. Unité des Bâbors	11
I.2.2. Unité de Draa el Arba – Erragène	11
I.2.3. Unité de Brek	11
II. Présentation géologique de l'unité Brek – Gouraya	13
II.1.Principale caractéristiques de l'unité du Berk	14
II.1.1.Stratigraphie	13
II.1.1.1.Le Trias	13
II.1.1.2. Le Jurassique	14
II.1.1.3. Le Crétacé	14
II.1.1.4 Le Cénozoïque	15

II.1.2.Tectonique	15
II.1.2.1.Les plis	15
II.1.2.2. Failles et décrochements	15
II.1.2.3 Magmatisme et métamorphisme	15
III. Géologie du site	16
III.1. Introduction	16
III.2. Principales formations géologiques qui affleurent le long du tronçon d'étude	17
III.2.1. Formations éruptives	17
III.2.2. Formations carbonatées	21
III.2.2.2. Karstification.	21
a) La zone d'absorption	22
b) La zone de transfert vertical	22
c) La zone d'écoulement horizontal.....	22
III.2.2.3. dolomitisation.....	23
III.2.2.1 lithologie "succincte" des carbonates du site.....	23

Chapitre III

Synthèse hydro-climatologique

I. Introduction.....	25
II. Hydro-climatologie.....	25
II.1. Aperçu climatique.....	25
II.2. Analyse des paramètres climatiques.....	25
II.2.1. Précipitations	25
II.2.2. Température de l'air	26
II.2.3. Diagramme Ombro-thermique de GAUSSEN et BAGNOULS...	27
II.3. Bilan hydrologique.....	28
II.3.1. Calcul de l'évapotranspiration potentielle (ETP).....	29
II.3.2. Calcul de l'évapotranspiration réelle (ETR).....	30
II.3.2.1. Calcul de l'ETR.....	30
II.3.2.2. Calcul du déficit agricole (Da)	30

II.3.3. Interprétation du bilan hydrique de Thornthwaite	32
II.3.4. Estimation du ruissellement et de l'infiltration	32

Chapitre IV

Généralités sur les mouvements de terrain

IV.1 Introduction.....	34
IV.2 Risque des Mouvements de terrain	34
IV.3 Quelques instabilités dans la région étudiée.....	35
➤ Au PK 39 + 00	35
➤ Au PK 39 + 400	37
➤ Au PK 39 + 500	38
➤ Au PK 38+50	40
➤ Au PK 38 + 250	41
➤ Au PK 38+780	42
➤ Au PK 37+600	44
➤ Au PK 24+800.....	45
➤ Au PK 23+00.....	46
➤ Au PK 22+600	48
➤ Au PK 18+200	49
➤ Au PK 15+900	50
➤ Au PK 12+50	51
IV.4 Carte d'inventaire des mouvements de terrain du tronçon étudié	53

Chapitre V

Etude de stabilité

V.1 Etude géotechnique	57
V.2 Campagne de reconnaissance géotechnique	57
V.2.1. Essai in situ.....	57

➤ Sondage carottés	57
➤ PK 38 +250.....	58
➤ PK 23+00.....	58
➤ PK 22+600.....	58
➤ PK 18+200.....	59
➤ PK 15+900.....	59
➤ PK 12+50.....	60
V.2.2.Essais de laboratoire.....	60
V.2.2.1. Paramètres mécaniques.....	60
➤ PK 38+250	60
➤ PK 23+00.....	60
➤ PK 22+600.....	61
➤ PK 18+200.....	61
➤ PK 15+900.....	61
➤ PK 12+50.....	61
V.2.3.Régime hydraulique.....	61
V.3. Analyse de stabilité.....	62
V.3.1. Hypothèse de calcul.....	62
V.3.2.Calcul par les logiciels Géo-Slope et Talren 4.....	63
V.3.2.1. Description générale du logiciel Géo-slope.....	63
V.3.2.2.Description générale du logiciel Talren 4.....	63
V.3.2.3. Validations de l’approche de calcul considéré.....	63
V.4.Prévention des mouvements de terrain.....	77

Conclusion générale .	80
Références bibliographiques .	83
Annexes .	84

Résumé

Les glissements de terrains et les éboulements rocheux, qui sont deux sous-catégories des mouvements de terrain, constituent l'objet de ce travail. Ils représentent une source de danger, en particulier pour les infrastructures de transport (routes, chemins de fer, etc.) et les zones peuplées ou zones touristiques (falaises côtières, complexes touristiques et zones montagneuses) où ils sont susceptibles de se produire.

Dans ce projet de fin d'étude nous avons tenté de faire un inventaire technique à travers la localisation et la caractérisation des principaux mouvements de terrain. Nous avons focalisé sur l'évaluation de l'aléa lié aux mouvements de terrain le long de la route nationale RN43 (Wilaya de Jijel), sur le tronçon reliant El Aouana à Ziama Mansouriah, afin de décrire ces mouvements de terrain, analyser les causes probables et tenter par la suite de proposer des solutions techniques pour la réduction des risques éventuels de ces instabilités.

Mots clés : Inventaire, localisation, glissement de terrain, éboulement rocheux, stabilité.

Abstract

Landslides and rock falls, which are two subcategories of land movements, are the focus of this work. They represent a source of danger, especially for transport infrastructure (roads, railways, etc.) and populated areas or tourist areas (coastal cliffs, tourist complexes and mountainous areas) where they are likely to occur.

In this end-of-study project we tried to make a technical inventory through the localization and characterization of the main field movements. We focused on the evaluation of the hazard associated with terrain movements along the RN43 (Wilaya de Jijel) national road, on the section linking El Aouana to Ziama Mansouriah, in order to describe these terrain movements, analyze Probable causes and then attempt to propose technical solutions for reducing the possible risks of these instabilities.

Key words: Inventory, localization, landslide, rock slide, stability.

ملخص

انزلاق التربة والانهيارات الصخرية، والتي هي فئتين فرعيتين من الانهيارات الأرضية هي موضوع هذا العمل ، وهي تمثل مصدرا للخطر ، وخاصة بالنسبة البنية التحتية للنقل (الطرق والسكك الحديدية وغيرها) والمناطق السياحية أو المناطق المأهولة (المنحدرات الساحلية والمنتهجات والمناطق الجبلية) حيث من المحتمل أن تحدث. في هذا العمل للتخرج حاولنا وضع القائمة التقنية من خلال توطين وتوصيف للإنهيارات الأرضية الرئيسية .

فقد ركزنا على تقييم لمخاطر المرتبطة بالإنهيارات الأرضية على طول الطريق الوطنية RN43 (ولاية جيجل) ، في القسم بين العوانة إلى زيامة منصورية لوصف ساحق وتحليل الأسباب ومحاولة بعد ذلك اقتراح الحلول التقنية للحد من المخاطر لمحملة لهذه الاختلالات.

كلمات البحث :

الجرد الموقع، ساحق ، الانهيار الصخري والاستقرار .

LISTE DES FIGURES

Chapitre I :

Figure I.1 : Localisation géographique du tronçon d'étude sur la carte topographique	
BOUGIE (NJ 31-16) au 1 / 200 000.....	3
Figure I.2 : Situation géographique du tronçon d'étude sur l'image spatiale (Google	
earth, 2017).....	4
Figure I.3: Carte altimétrique de la zone étudiée (Aouna-Ziama mansouriah) (Global	
Mapper version 2014).....	5
Figure I.4 : Réseau hydrographique de la wilaya de Jijel (A.N.R.H, 2012)	6
Figure I.5 : Réseau hydrographique de la région d'étude (Aouna-Ziama) (Global Mapper	
, version 2014).....	7
Figure I.6 : Carte de zonage sismique du territoire national (D'après le RPA 99 version	
2008).....	8

Chapitre II :

Figure II.1 : Unités et sous - unités des Babors Orientaux (D. Obert, 1981) (légèrement	
modifié).....	12
Figure II.2 : Coupe géologique interprétative des unités baborien, région de Jijel. (réalisé	
par M.Bencharef en collaboration avec Y.Rouikha, 2017).....	12
Figure II.3 : Esquisse géologique de l'unité Brek-Gouraya (Babors orientaux) d'après la	
carte géologique de D. Obert (1981) (légèrement modifié).....	13
Figure II.4 : Micro granodiorite d'El Aouna	18
Figure II.5 : Andésite d'El Aouna.....	18
Figure II.6 : Roches magmatiques d'un débit p.rismatique.....	19
Figure II.7 : Brèches de pentes avec des galets et des blocs calcaires.....	19
Figure II.8 : Blocs de microdiorite emboîtés dans une matrice limoneuse au PK 39+00.....	20
Figure II.9 : Eboulis de pentes emballé dans des produits argileux de néo formation au	
PK 38+250.....	20

Figure II.10 : Brèche volcanique bordant la RN 43 au PK 38+100.....	21
Figure II.11 : Zonation du réseau de drainage karstique. (Tekkouk, 1984).....	22
Figure II.12 : Cavités karstiques au niveau de la RN 43, 24+800.....	23

Chapitre III :

Figure III.1 : Répartitions des précipitations moyennes mensuelles (2002-2015 station EL-Agrem).....	26
Figure III.2 : Variations des températures moyennes mensuelles (2002-2015, station EL-Agrem).....	27
Figure III.3 : Diagramme Ombrothermique durant la période 2002-2015 Station EL- Agrem.....	28
Figure III.4 : Diagramme du bilan hydrique station EL-Agrem (2002-2015).....	31

Chapitre IV:

Figure IV.1 : Localisation du PK 39 + 00 sur image spatial (Google Earth, 2016).....	35
Figure IV.2 : Zone affaissée ;.....	36
Figure IV.3 : Localisation de la zone affaissée à coté du mur de soutènement	36
Figure IV.4 : Dégradation au niveau des gabionnages (partie aval du talus)	37
Figure IV.5 : Localisation du PK 39 + 400 sur image spatial (Google earth, 2016).....	37
Figure IV.6 : Massif fracturé avec de nombreuses fissures y compris les miroirs de failles...	38
Figure IV.7 : Localisation du PK 39 + 500 sur image spatial (Google earth, 2016).....	39
Figure IV.8 : Rupture de pied de colonne.....	39
Figure IV.9 : Localisation du PK 38 + 50 sur image spatial (Google earth, 2016).....	40
Figure IV.10 : Rupture d'écaille en paroi.....	41
Figure IV.11 Localisation du PK 38 + 250 sur image spatial (Google earth,	

2016).....	42
Figure IV. 12 : Eboulis de pentes emballé dans les argiles de néo formation.....	42
Figure IV.13 : Localisation du PK 38 + 780 sur image spatial (Google earth, 2016).....	43
Figure IV.14 : Rupture de surplomb ou de dalle en toit.....	43
Figure IV.15 : Localisation du PK 37 + 600 sur image spatial (Google earth, 2016).....	44
Figure IV.16 : Effondrement de la partie droite de la chaussée	44
Figure IV.17 : Localisation du PK 24 + 800 sur image spatial (Google earth, 2016.....	45
Figure IV.18 : Eboulement rocheux a l'entrée de la grotte merveilleuse (2009)	45
Figure IV.19 : Localisation du PK 23 + 00 sur image spatial (Google earth, 2016).....	46
Figure IV.20 : Effondrement de la chaussée au PK 23+00.....	47
Figure IV.21: Principaux facteurs déstabilisateurs du talus au niveau du PK 23+0087.....	47
Figure IV. 22 : Localisation du PK 22 + 600 sur image spatial (Google earth, 2016).....	48
Figure IV.23 : Effondrement de la chaussée au PK 22+600.....	49
Figure IV.24 : Localisation du PK 18+ 00 sur image spatial (Google earth, 2016).....	50
Figure IV.25 : Localisation du PK 15+ 900 sur image spatial (Google earth, 2016).....	51
Figure IV.26 : Localisation du PK 12+ 50 sur image spatial (Google earth, 2016).....	52
Figure IV.27 : Caniveau et buse mal entretenues.....	52
Figure IV.28 : Carte dérivée des classes de pentes de la zone d'étude	53
Figure IV.29 : Carte d'inventaire des principaux mouvements de terrain rencontrés le long du tronçon d'étude (Aouna-Ziama Mansouriah) sur la RN 43.....	55

Figure IV.30 : Localisation des points d'instabilités rencontrés le long du tronçon d'étude (Aouna-Ziama Mansouriah) sur image spatial (Google Earthe, 2016).....	56
---	----

Chapitre V:

Figure V.1 : Modélisation de l'état du talus à l'état actuel	64
Figure V.2 : Modélisation de l'état du talus après confortement (situation statique).....	66
Figure V.3 : Modélisation de l'état du talus après confortement en prenant compte du séisme	67
Figure V.4 : Modélisation de l'état du talus à l'état actuel.....	68
Figure V.5 : Modélisation de l'état du talus après confortement.....	69
Figure V.6 : Géométrie du profil utilisé dans l'étude de stabilité du PK 38+250.....	70
Figure V.7 : Géométrie du profil utilisé dans l'étude de stabilité du PK 18+200.....	70
Figure V.8 : Géométrie du profil utilisé dans l'étude de stabilité du PK 15+900.....	71
Figure V.9 : Géométrie du profil utilisé dans l'étude de stabilité du PK 12+50.....	71
Figure V.10 : Etat du talus (PK 38+250) en présence de nappe	72
Figure V.11 : Etat du talus (PK 18+200) en présence de nappe.....	73
Figure V. 12 : Etat du talus (PK 15+900) en présence de nappe	74
Figure V.13 : Etat du talus (PK12+50) en présence de nappe	75
Figure V.14 : Grillage plaqué.....	78
Figure V.15 : Schéma explicative sur la mesure de la déformation en profondeur : Inclinomètre.....	78
Figure V.16 : Partie aval du talus stabilisé par gabionnage	79

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre III :

Tableau III.1 : Précipitations mensuelles durant la période 2002-2015 Station EL-Agrem.....	26
Tableau III.2 : Température moyennes mensuelles durant la période 2002-2015 Station EL-Agrem	26
Tableau III.3 : Calcul de l'évapotranspiration potentielle selon Thornthwaite durant la période 2002-2015 Station El-Agrem.....	30
Tableau III.4 : Bilan hydrique a la station EL-Agrem (2002-2015).....	31

Chapitre IV :

Tableau IV.1 : Tableau récapitulatif des principaux mouvements de terrain rencontrés le long du tronçon d'étude (Aouna-Ziama Mansouriah) sur la RN 43.....	54
--	----

Chapitre V :

• PK 38+250	
Tableau V.1 : Lithologie du sondage N°01.....	57
Tableau V.2 : Lithologie du sondage N°02.....	58
• PK 23+00	
Tableau V.3 : Lithologie du sondage N°01.....	58
• PK 22+600	
Tableau V.4 Lithologie du sondage N°01.....	58
• PK 18+200	
Tableau V.5 : Lithologie du sondage N°01.....	59
• PK 15+900	
Tableau V.6 : Lithologie du sondage N°01.....	59
Tableau V.7 : Lithologie du sondage N°02.....	59
• PK 12+50	
Tableau V.8 : Lithologie du sondage N°01.....	60
• PK 38+250	
Tableau V.9 : Résultats de l'essai de cisaillement (PK 38+250).....	60

Liste des tableaux

- **PK 23+00**

Tableau V.10 : Résultats de l'essai de cisaillement (PK 23+00).....60

- **PK 22+600**

Tableau V.11 : Résultats de l'essai de cisaillement (PK 22+600).....61

- **PK 18+200**

Tableau V.12 : Résultats de l'essai de cisaillement (PK 18+200).....61

- **PK 15+900**

Tableau V.13 : Résultats de l'essai de cisaillement (PK 15+900).....61

- **PK 12+50**

Tableau V.14 : Résultats de l'essai de cisaillement (PK 12+50).....62

Tableau V.15 : Résultats des suivis piézométriques indiquant le niveau de la nappe dans
chaque sondage62

Tableau V.16 : Les valeurs du coefficient de sécurité F_s données en fonction de l'état du
Talus.....62

Tableau V.17 : Valeurs du facteur de sécurité du talus (PK 22+600).....63

Tableau V.18 : Valeurs du facteur de sécurité du talus (PK 23+00).....67

Tableau V.19 : Valeurs du coefficient de sécurité du talus au niveau du PK 38+250.....72

Tableau V.20 : Valeurs du coefficient de sécurité du talus au niveau du PK 18+200.....72

Tableau V.21 : Valeurs du coefficient de sécurité du talus au niveau du PK 15+900.....73

Tableau V.22 : Valeurs du coefficient de sécurité du talus au niveau du PK 12+50.....74

Tableau V.23 : Tableau récapitulatif des résultats de calcul du facteur de sécurité d'après le
(CTTP) par le logiciel TALREN 4.....76

Introduction générale

Les risques naturels sont aujourd'hui une question centrale dans l'aménagement des territoires. Le constant développement démographique des villes favorise la concentration de plus en plus importante des personnes dans les régions montagneuses. Cela signifie que les populations doivent vivre avec les risques existants sur ces régions mais aussi avec les risques que l'activité humaine déclenche elle-même. Le développement des zones peuplées en montagne signifie également la construction de nouvelles voies d'accès (routes, autoroutes, voies ferrées, etc.) et un développement des systèmes d'agriculture qui modifient l'état naturel de l'environnement montagneux. Lorsque ces ouvrages, ou bien une population se voient menacés, un risque est identifié.

Parmi les risques naturels les plus importants (chutes de blocs, glissements de terrains, éboulements rocheux,...).

Les glissements de terrains et les éboulements rocheux, qui sont une sous-catégorie des mouvements de terrain, constituent l'objet de ce travail. Ils représentent une source de danger, en particulier pour les infrastructures de transport (routes, chemins de fer) et les zones habitées ou touristiques (falaises côtières, zones montagneuses) où ils sont susceptibles de se produire.

L'objectif de cet inventaire est de recenser, localiser et caractériser les principaux mouvements de terrain qui touche la route nationale N°43 (RN43)

Notre travail, consiste à évaluer les aléas liés aux mouvements de terrain de notre site d'étude (RN43, Aouana-ziama) afin de proposer des solutions pour la réduction des risques de ces instabilités.

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

- Une consultation des travaux et des études géologiques antérieures.
- Une consultation des documents relatifs à l'hydrologie de la région
- La mise au point des données géotechniques relatives à l'exécution des projets situé sur le même itinéraire que notre projet.
- Des sorties de terrain sur le site du projet pour observations.

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

- Introduction Générale
- Chapitre I : Généralités

Introduction générale

- Chapitre II : Cadre géologique locale
- Chapitre III : Synthèse hydro-climatologique
- Chapitre IV : Généralités sur les mouvements de terrain
- Chapitre V : Etude de stabilité
- Conclusion Générale

I. Cadre géographique

I.1. Introduction

La wilaya de Jijel est traversée par la route nationale N°43 (RN 43) de l'Est jusqu'à l'Ouest. Cette dernière qui débute son parcours de la commune de Souk EL Ténine (wilaya de Bejaia) et qui s'étend jusqu'à la commune d'El Hadaiek (wilaya de Skikda), couvre sur son chemin plusieurs communes qui sont : Ziamansouriah, El-Aouana, Jijel, Sidi Abdelaziz, El Ancer, El Milia, Bin El Ouiden, Tamalous et Bouchtata.

I.2. 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 nationale N°43 (Figure I.1) (Figure I.2), il est délimité :

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

Plusieurs points d'instabilité ont été repérés le long de ce tronçon, dont la morphologie est dominée par des reliefs très élevés et des falaises abruptes très escarpées et dentelées.



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



Figure I.2 .Situation géographique du tronçon d'étude sur l'image spatiale (Google earth, 2017)

I.3.Climat

La région de Jijel bénéficie d'un climat tempéré et humide avec un hiver doux et un été sec, caractéristiques des zones méditerranéennes et une pluviométrie importante, comme toutes les villes de la moitié Est du littoral algérien.

Les températures saisonnières varient comme suit : la saison la plus froide correspond à l'Hiver avec une valeur moyenne de 12 °C et la saison la plus chaude correspond à l'Été avec une valeur moyenne de 26°C.

Les précipitations sont de l'ordre de 1078 mm/an.

Le climat de la région concernée, est de type méditerranéen caractérisé par un hiver doux et humide et par un été chaud avec un taux d'humidité élevé.

I.4.Végétation

En Afrique du Nord, comme d'ailleurs dans tous les pays à climat sec et chaud, la forêt exerce une influence incontestable et régulatrice sur le climat, cette action est beaucoup plus marquée 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).

Avec un environnement méditerranéen, la région d'étude jouit d'une couverture végétale très épaisse et très développée. En effet le couvert forestier est omniprésent, il est composé essentiellement de forêts maquis, arboricultures, chêne liège et de broussaille.

I.5.Orographie

Du point de vue relief, la situation peut être résumée à grands traits en trois points principaux :

- Un relief montagneux très accidenté (82% de la wilaya) marqué par une couverture végétale très abondante et un réseau hydrographique très escarpé.
- Plus de 65% des terres de la wilaya ont une pente supérieure à 25%.
- Bien que l'altitude moyenne soit de 600 à 1000 m, les sommets les plus caractéristiques dépassent les 1400 m. Ils ont d'Ouest en Est M'Sid Echetta 1543 m, Tamesguida 1625 m et M'Sis Driss Aissa 1426 m.

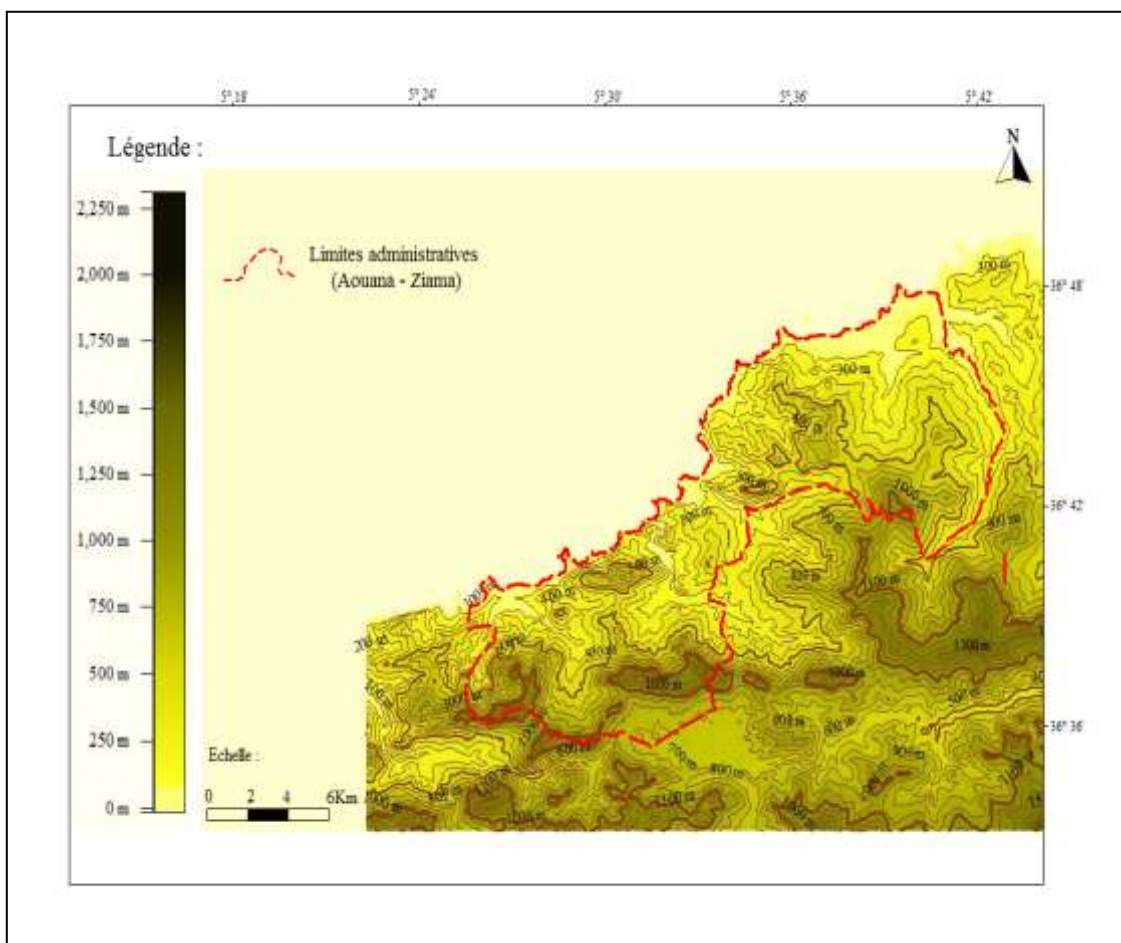


Figure I.3. Carte altimétrique de la zone étudiée (EL-Aouna-Ziama mansouriah) (Global Mapper version 2014)

D'après la figure ci-dessus on constate que la région d'étude à un aspect montagneux dont les altitudes varient de 300 m jusqu'à 1000 m.

I.6. Réseau hydrographique

Selon la codification de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH), la région de Jijel est comprise entre les bassins N° 03 (côtiers Constantinois) et N°10 (Kebir Rhumel). Les plaines côtières proches de Jijel sont drainées principalement d'Ouest en Est par les Oueds Kissir, El Kantara, Mencha, Djen Djen 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.

Le réseau hydrographique de la Wilaya est très dense de direction Sud-Est, Nord-Est favorisant l'écoulement des lames d'eau précipitées qui se déversent généralement dans la mer (figure I.4).

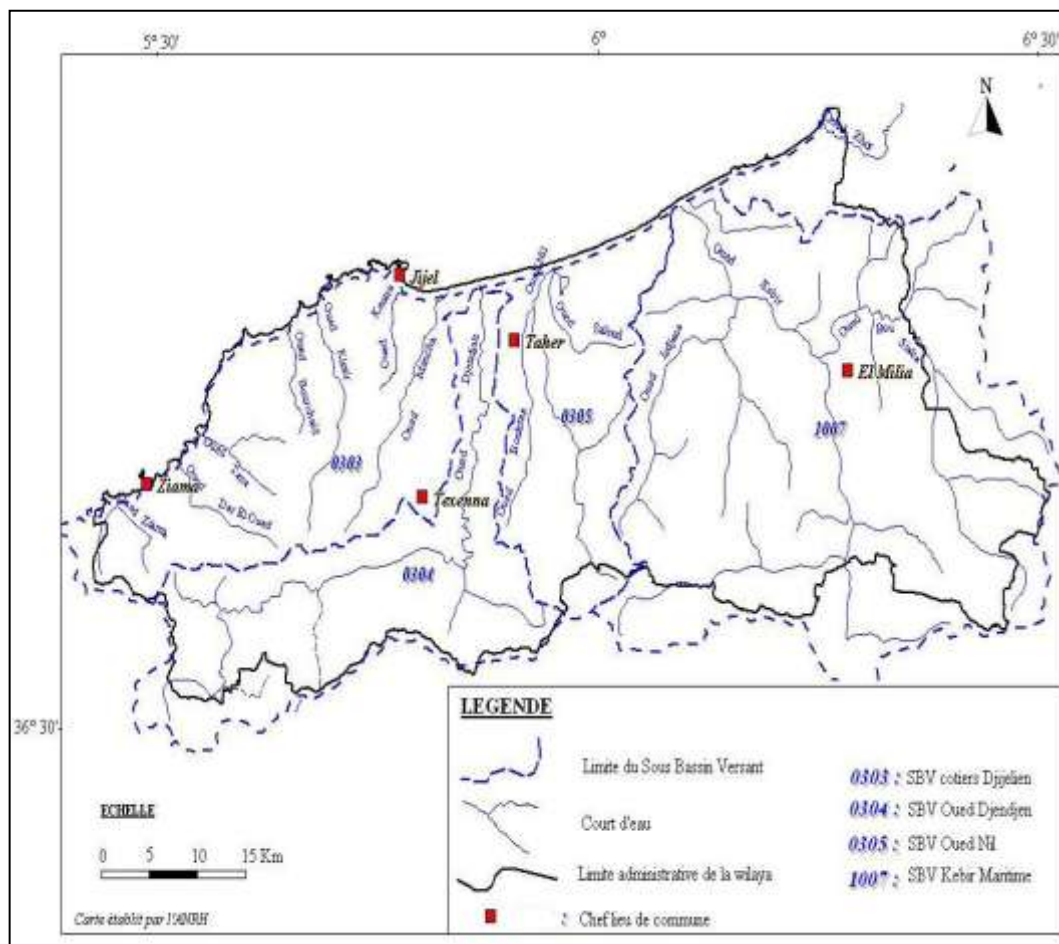


Figure I.4. Réseau hydrographique de la wilaya de Jijel (A.N.R.H, 2012)

En ce qui concerne le réseau hydrographique de la région de notre étude, il est assez important relatif à la lame d'eau précipitée durant l'année.

Ce réseau est représenté par différents drains, alimentés surtout par les sources résurgentes et les ruissellements superficiels en liaison surtout avec la fonte des neiges des reliefs élevés.

Les eaux s'écoulent du Sud vers le Nord et du Sud Est vers le Nord-Ouest (figure I.5).

Les principaux cours d'eaux sont : Oued Kebir, Oued Seghir, Oued Taza, Oued Dar el oued, Oued Amssal et Oued Ziama.

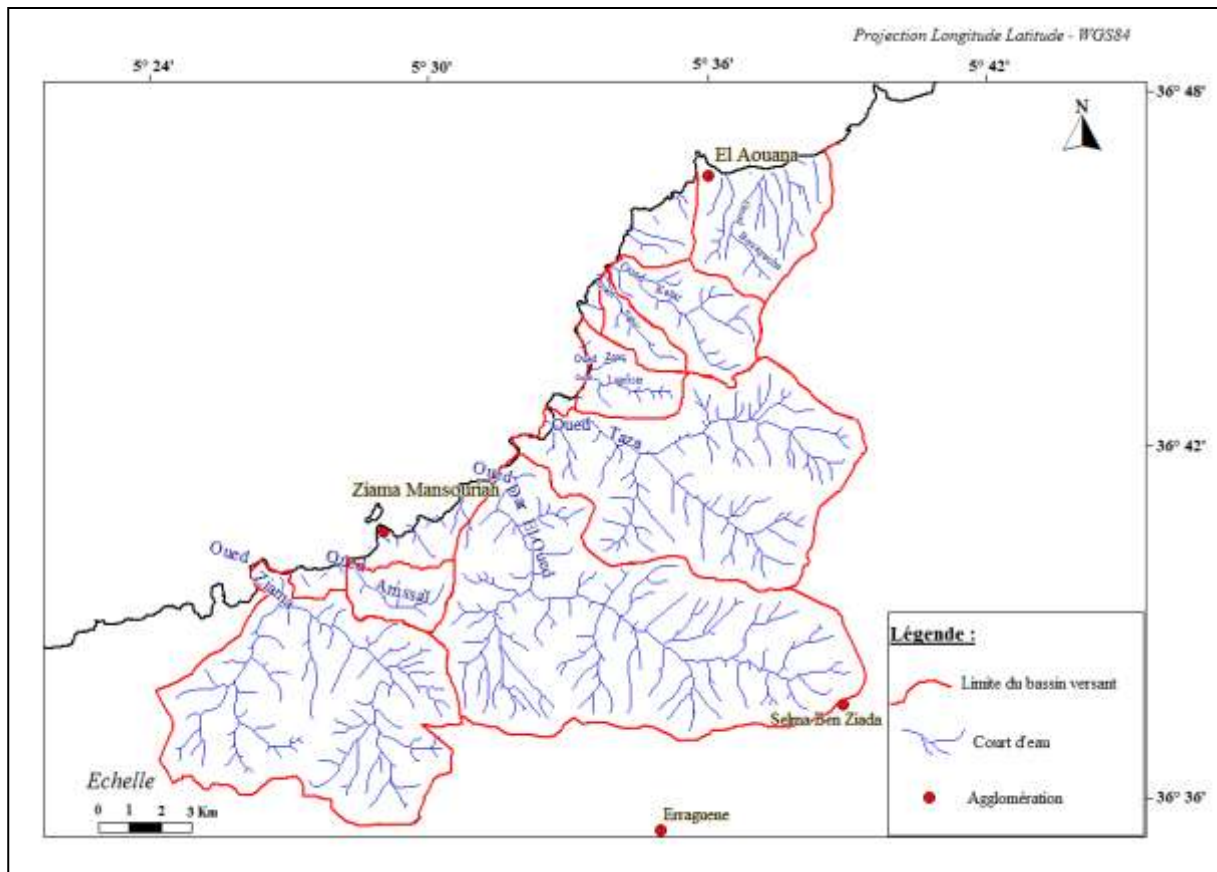


Figure I.5. Réseau hydrographique de la région d'étude (Aouana-Ziama) (Global Mapper, version 2014)

I.7.Sismicité

Le Nord de l'Algérie est connu pour son intense activité sismique. Elle est essentiellement marquée par des séismes superficiels qui causent des dégâts considérables dans la zone épiscopentrale.

Les Règles Parasismiques Algériennes (RPA 99/version 2008), divisent le territoire national en quatre (04) zones de sismicité croissante (Figure I.6), définies sur la carte des zones de sismicité, soit :

- Zone 0 : sismicité négligeable
- Zone I : sismicité faible
- Zone II a : sismicité moyenne
- Zone II b : sismicité élevée
- Zone III : sismicité très élevée

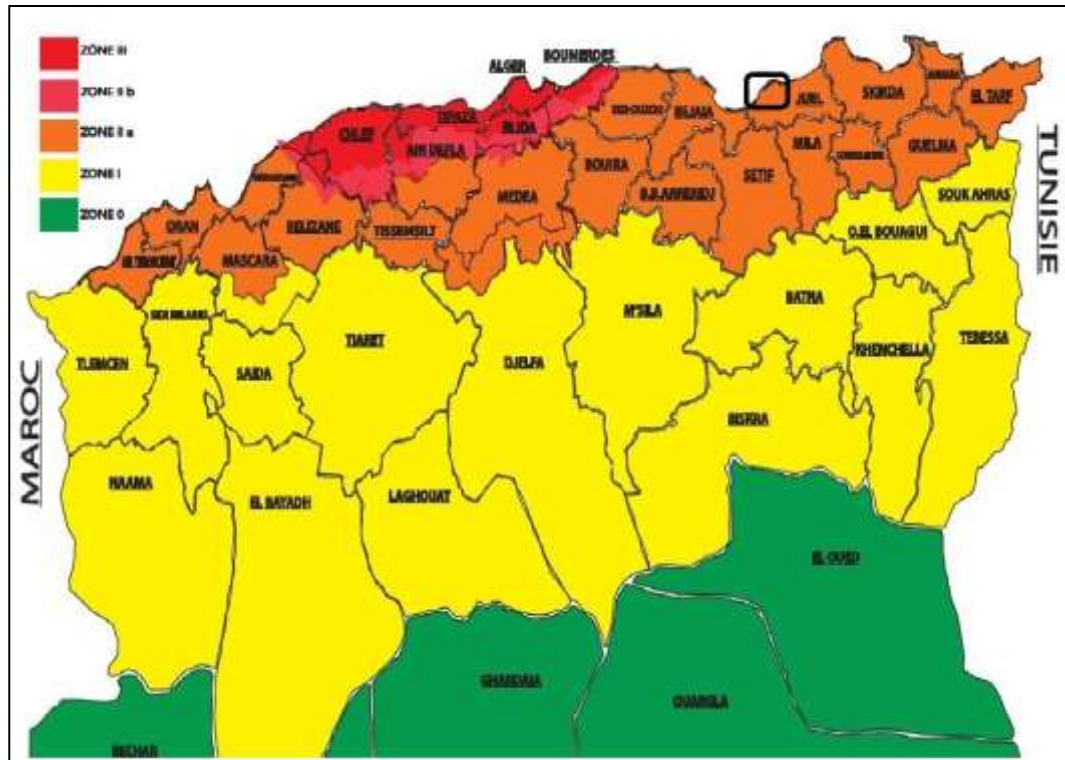


Figure I.6. Carte de zonage sismique du territoire national

(D'après le RPA 99 version 2008)

La wilaya de Jijel est située dans une région sismique classée comme une région pouvant subir des secousses supérieures à l'intensité 4 sur l'échelle de Richter (Bockel, 1999). Les épicentres de la plupart des secousses dans la région de Jijel sont localisés entre Bejaia et Sétif dans la région des Bibans et des Babors.

Les études les plus récentes réalisées par Yelles et al. (1999), montre l'existence d'une faille supposée active dans la zone de la pente continentale au large de Jijel.

A partir de la carte du zoning sismique du territoire national, on déduit que la région d'étude (El-Aouna-Ziama) qui est le lieu des instabilités appartient à la zone (II a) soit de sismicité moyenne.

I. Introduction

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).

Plusieurs unités distinctes ont été reconnues (M. Leikine, D. Obert et J.-P. Bellier, 1975), caractérisées par leur composition stratigraphique et leur évolution métamorphique, chaque unité a été morcelée en sous-unités.

I.1. 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 Djemila. 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).

I.2. 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 crétacé (D.Obert, 1981) (Figure II. 1) (Figure II.2).

I.2.1. Unité des Babors

Elle a été morcelée en sous unités : Kherrata, Dj Babord et Adrar ou Mellal. Ces sous unités présentent des caractères stratigraphique communs et une évolution métamorphique identique. La série stratigraphique est constituée de terrain allant du trias au paléocène (D.Obert, 1981).

I.2.2. Unité de Draa el Arba – Erragène

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

Sa partie occidentale forme un vaste synclinorium dont l'abaissement axial vers l'W est souligné par l'apparition du crétacé supérieur au Nord du Dj. Takoucht (Leikine, 1971), tandis que, la partie centrale se présente comme une suite d'anticlinoriums et de synclinoriums (D.Obert, 1981).

I.2.3. Unité de Brek

Englobant la zone de Ziama et s'étend du Djebel Taounert à Tloundène au Sud, composée du Jurassique calcaire et Sénonien marneux et conglomératique.

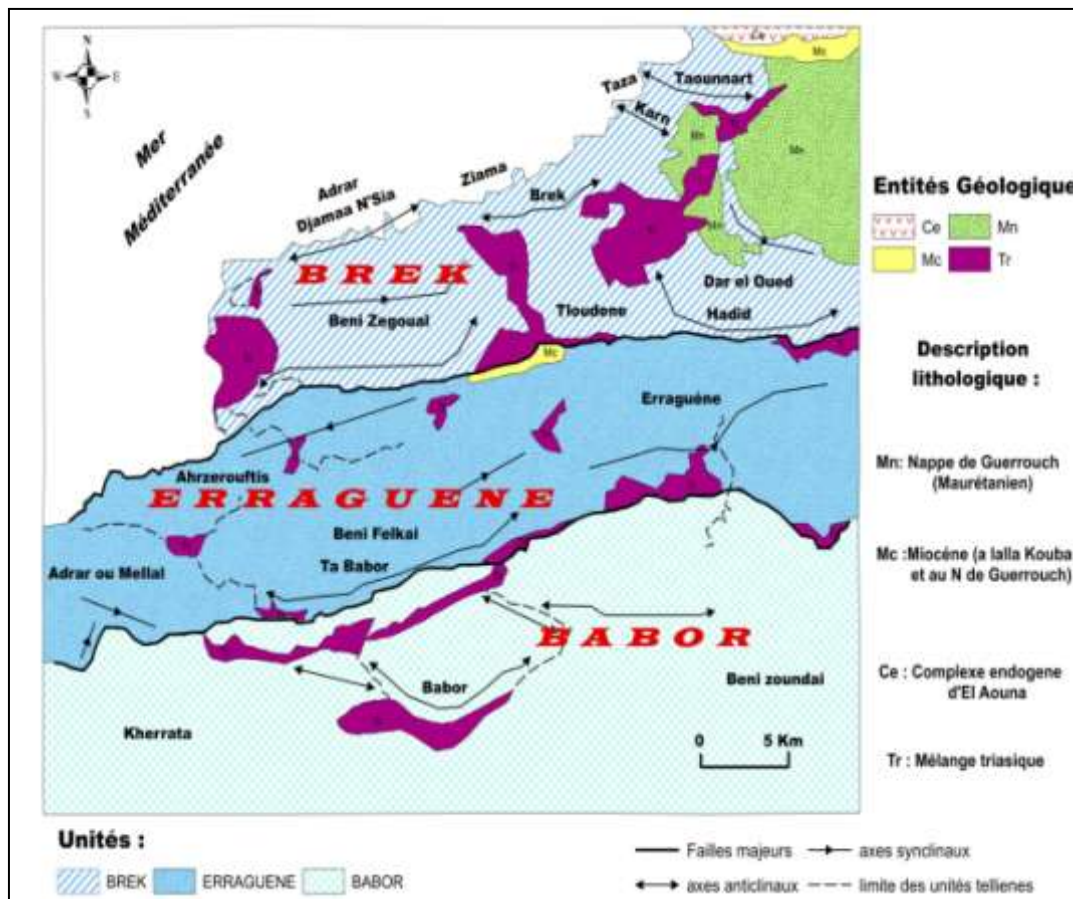


Figure II.1. Unités et sous - unités des Babors Orientaux (D. Obert, 1981) (légèrement modifié)

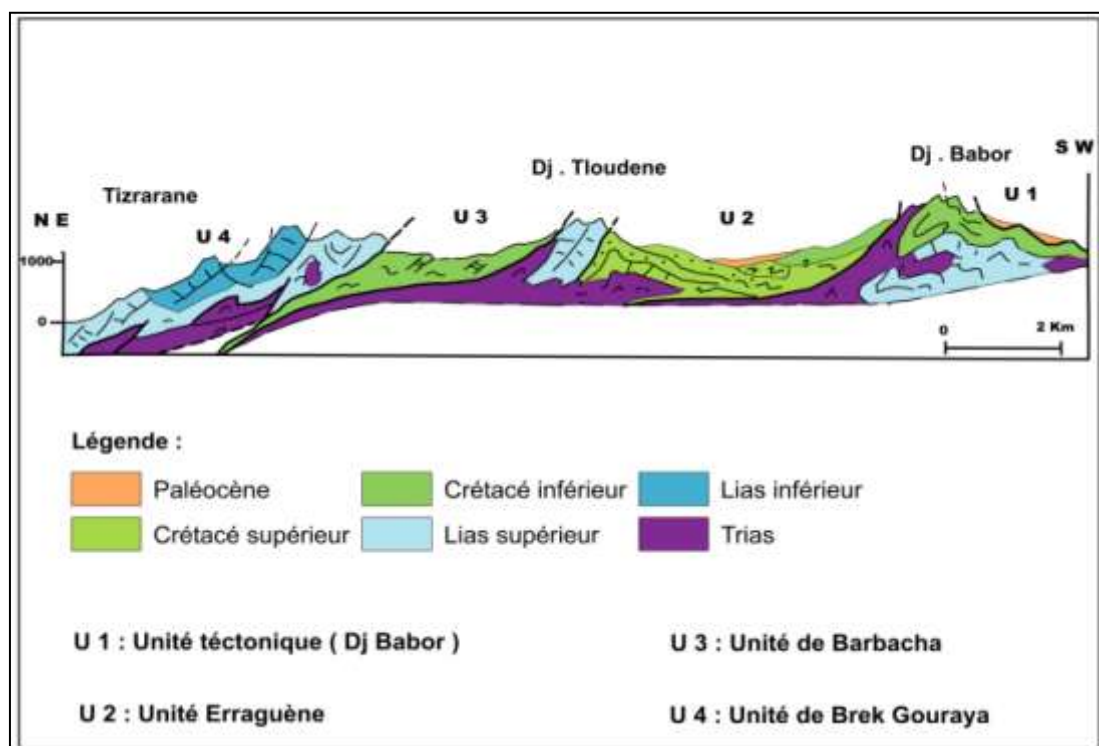


Figure II.2. Coupe géologique interprétative des unités baborien, région de Jijel (réalisé par M. bencharef en collaboration avec Y. Rouikha, 2017)

II. Présentation géologique de l'unité Brek – Gouraya

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 séparé par une ligne de crête joignant l'échine méridionale aux chaînes côtières (D.Obert, 1981).

C'est la plus septentrionale des babs orientaux et aussi la plus complexe. 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 cotier de l'Adrar Djeman N'Sia.
- La chaîne des Dj.Tloundéne et Hadid au Sud - Est.
- Le massif du Dj.Brek, prolongé vers le Nord par la région de Tizrarane et Dar El Oued ;
- Enfin le Dj Taoumart, bordé au Nord par le massif éruptif de Cavallo (El Aouana) et disparaissant à l'Est sous la nappe du flysch de Guerrouche (Figure II.3).

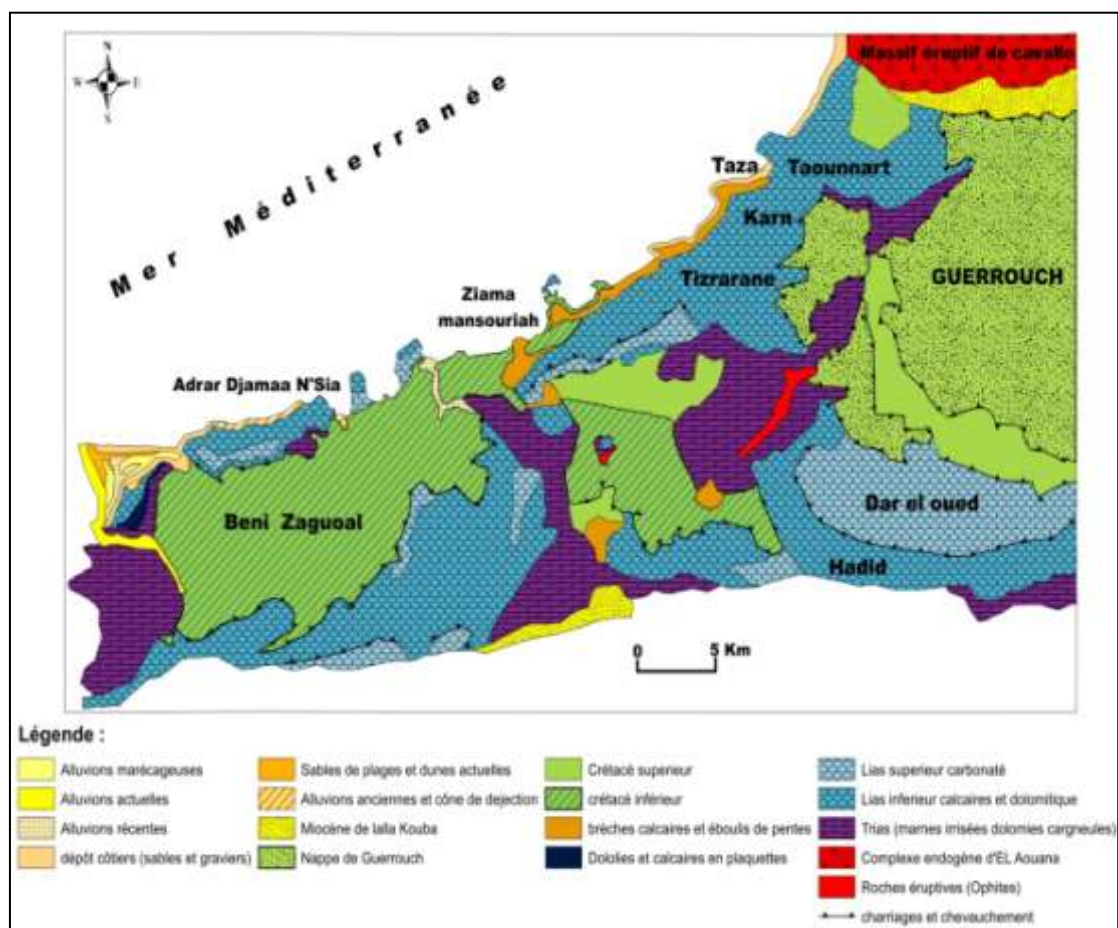


Figure II.3. Esquisse géologique de l'unité Brek-Gouraya (Babors orientaux) d'après la carte géologique de D. Obert (1981) (légèrement modifié).

II.1.Principales caractéristiques de l'unité du Berk

Cette unité correspond en partie à la zone sous-Kabyle décrite par Durand Delga (1952), 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. Coutelle et D.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 et P. Blanc, 1975).

II.1.1.Stratigraphie

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

II.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.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-calcaires, 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. Taounnart 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.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 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.1.1.4 Le Cénozoïque

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

II.1.2. Tectonique

Les principaux aspects structuraux de l'unité de " Brek- Gouraya " d'après les travaux d'Obert (1981) sont:

II.1.2.1. Les plis

Au Sud, la bordure méridionale domine l'unité d'Erraguène, elle est déformée en plis déversés vers le S. La bordure septentrionale, au contraire, montre des plis déversés ou couchés vers le N (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 (D.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 S sur sa bordure méridionale (Dj. Kessaia, Dj. Brek, Dar el Oued), déversés ou couchés vers le N 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.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, Tizrarane, 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.

II.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, contenues (généralement en lambeaux) dans les mélanges triasiques.
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 au 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 cristallinité 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).

III. Géologie du site

III.1. Introduction

La région d'étude est située dans le massif d'El Aouna, région montagneuse par excellence formant la corniche Jijelienne.

Notre étude est consacrée à l'analyse des points d'instabilité le long du tronçon de la RN 43 reliant Aouna et Ziama Mansouriah.

Les roches bordant la route sont de type magmatique d'El Aouna à Aftis, carbonatés d'Aftis à Ziama Mansouriah.

Les instabilités observées sont induites par les reliefs surplombant la route, formant des falaises localement entrecoupées par des dépressions dues à des effondrements locaux, lieux de rassemblement des dépôts hétérogènes instables.

Notre cadre géologique se limitera à la zone magmatique et la zone karstique.

III.2. Principales formations géologiques qui affleurent le long du tronçon d'étude

III.2.1. Formations éruptives

Elles s'étendent sur 10 Km environ d'El Aouna aux Aftis. Ces formations comportent plusieurs faciès de roches magmatiques basiques dans l'ensemble, elles présentent une morphologie différentielle selon le type d'altération et le degré de fracturation. On y trouve :

- A) Les micros granodiorites très riches en plagioclases (amphibole de couleur noir) et quartz, ayant une texture micro grenu porphyrique (figure II.4).
- B) Les dacites avec une texture microlithique (vitreuse), riche en plagioclase, en fer et en magnésium de couleur verdâtre.
- C) 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 (Figure II.5) , elles se présentent sous forme prismatique allongée (Figure II.6).
- D) 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 mégabrèches a blocs calcaires dépassant le 1m³ et des passées d'argiles de néo formation, de couleur jaunâtre a rouille (Figure II.7).
 - Des épanchements rocaillieux a matrices limoneuses dans lesquelles sont emboîtés des blocs métrique a décimétrique de microdiorite (Figure II.8) 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 (Figure II.9), s'étendent sur 150 m de largeur.
 - Des brèches volcaniques qui sont très abondantes sur la plupart des falaises. (Figure II.10).



Figure II.4. *Micro granodiorite d'El Aouna*



Figure II.5. *Andésite d'El Aouna*



Figure II.6. *Roches magmatiques d'un débit prismatique*



Figure II.7. *Brèches à blocs calcaires plurimétriques*



Figure II.8. Blocs de microdiorite emboîtés dans une matrice limoneuse au
PK 39+00



Figure II.9. Eboulis de pentes emballé dans des produits argileux de néo formation au
PK 38+250



Figure II.10. Brèche volcanique bordant la RN 43 au PK 38+100

III.2.2. Formations carbonatées

Elles font partie des zones telliennes des bords septentrionaux et sont constituées d'écailles calcaire-dolomitique redressées à la verticale par la tectonique et intensément fracturée. Ces calcaires forment les fameuses falaises de la corniche Jijelien et abritent de nombreuses grottes karstiques.

III.2.2.1. Karstification

Le terme **karst** vient de Kras, région slovène de plateaux calcaires au modelé caractéristique, à l'ouest de Prague ; et les roches carbonatées solubles (calcaire, dolomie, marbre, craie) sont façonnées par dissolution : c'est le phénomène de karstification.

La karstification, c'est la dissolution des roches qui conduit à l'élargissement des fissures, puis à la création des cavités importantes. (Parriaux, 2009).

Elle correspond à l'ensemble des processus de genèse et d'évolution des formes superficielles et souterraines dans une région Karstique, (Geze, 1973). Or, un des problèmes concernant la karstification est celui de la vitesse de développement du réseau de drainage établie dans la zone non saturée. Ce problème correspond à l'évaluation de l'intensité de la dissolution dont le système karstique est le siège. (Mathevet, 2002).

▪ Réseau karstique

Dans un karst parvenu à maturité dans un terrain homogène, le réseau de drainage souterrain est composé de 03 zones :

- La zone d'absorption
- La zone de transfert vertical
- La zone d'écoulement horizontal

a) Zone d'absorption

La zone d'absorption très fissurée en raison de la détente des terrains en surface, est favorable à une altération poussée, la dissolution y est active et le pourcentage des vides peut être élevé. Cette zone de quelques décimètres à quelques mètres d'épaisseur est limitée par une discontinuité généralement bien marquée de la roche sous-jacente plus compacte et moins perméable.

Le gradient de perméabilité favorise localement l'accumulation d'un aquifère superficiel (L'aquifère épi karstique). Entre la surface et la zone de transfert vertical, l'infiltration des eaux se fait de diverses manières. Lorsque le karst reçoit des écoulements allochtones, provenant des terrains non-karstiques imperméables, latéraux ou supérieurs, l'enfouissement s'effectue de manière localisée et rapide dans les pertes, qui sont des points privilégiés d'absorption. Les eaux d'infiltration lente sub saturées vis-à-vis des carbonates avant d'atteindre la zone de transfert vertical, seuls les eaux d'infiltration rapide circulant dans les fissures les plus largement ouvertes, sont encore agressives en profondeur.

b) Zone de transfert vertical

La zone de transfert vertical, appelée parfois zone vadose, permet à l'eau de cheminer soit jusqu'à la zone noyée, soit jusqu'au mur imperméable du karst.

L'enfouissement des eaux se fait habituellement par une succession de puits raccordés entre eux par des courts tançons horizontaux.

La dissolution dans la zone de transfert vertical est relativement réduite, comparativement aux deux autres zones, en raison du cheminement rapide des eaux.

C) Zone d'écoulement horizontal

Après avoir traversé la zone de transfert vertical, les eaux finissent par apparaître en surface.

On appelle ça les sources karstiques (Figure. II.11).

Plusieurs karst de tailles importantes ont été rencontrés au PK 24+800 sur RN 43, ce karst c'est vidé par lui-même, et c'est développé par l'enfoncement vertical de failles, diaclases, les écoulements et les eaux de ruissellement (Figure. II.12).

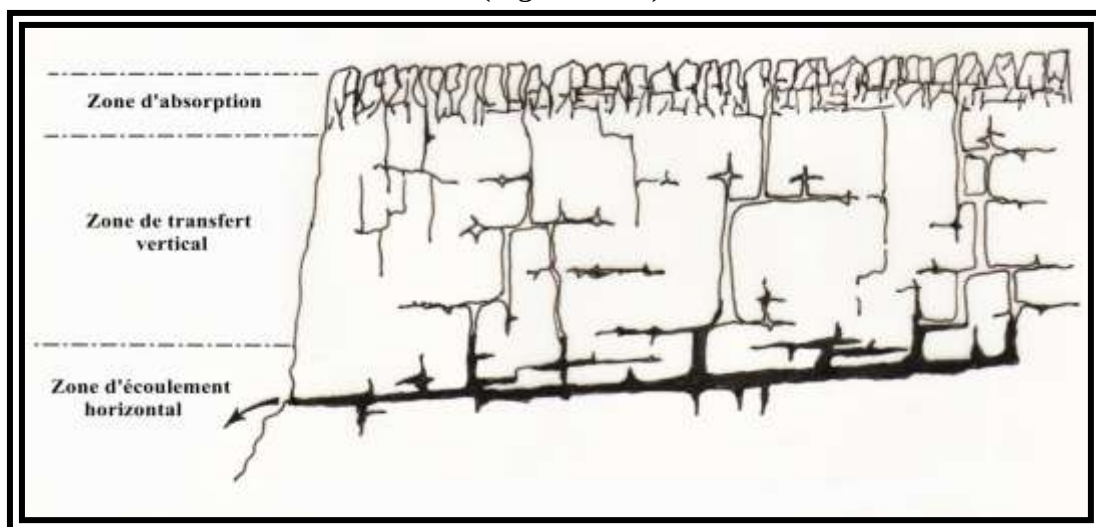


Figure. II.11. Zonation du réseau de drainage karstique
(Tekkouk, 1984)



Figure II.12. Cavités karstiques au niveau de la RN 43, PK 24 + 800

III.2.2.2. dolomitisation

Le phénomène de dolomitisation est un processus de transformation du calcaire en dolomie, remplacement de la calcite (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 dus à la différenciation du rayon atomique ($\text{Ca} > \text{Mg}$). Ces vides permettent la création des canaux infiniment petits que la circulation des eaux chargées en CO_2 élargit au fur et à mesure pour donner naissance à une dolomie secondaire vacuolaire suivie d'un réseau karstique.

On parle de relief ruiniforme.

III.2.2.3. lithologie "succincte" des carbonates du site

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

- A) Des gros bancs de calcaires d'épaisseur d'ordre métrique appartient à l'unité de Brek-Gouraya, et formée 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 calcaireuses avec des passées de dolomies grises à grains fins à grossiers, très fracturée, leur stratification originale est difficilement observable, elle n'est repérable que par des lits minces d'argile. L'ensemble de la masse carbonatée est affecté par une intense fracturation entraînant sa bréchification, ces fractures sont remplies par des fentes de calcite et d'oxyde de fer.

I. Introduction

L'étude hydroclimatique est primordiale dans toute étude géologique, puisqu'elle permet une estimation quantitative des ressources en eau disponible et donne des informations sur le régime hydrologique des aquifères.

Cela se fait par le traitement et l'analyse des éléments climatiques, principalement les précipitations et la température. Ces dernières permettent ainsi d'en déduire l'évaporation correspondante et d'estimer le ruissellement et l'infiltration, pour arriver enfin à l'élaboration du bilan hydrique.

Celui-ci va schématiser le fonctionnement du système hydrologique et son influence sur le comportement hydrodynamique des aquifères de la région étudiée.

II. Hydro-climatologie**II.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.

En ce qui concerne la région étudiée, le climat est de type méditerranéen. Il est caractérisé par une période douce et humide relativement tempérée, suivi d'une période chaude et sèche.

II.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 station EL-Agrem.

II.2.1. Précipitations

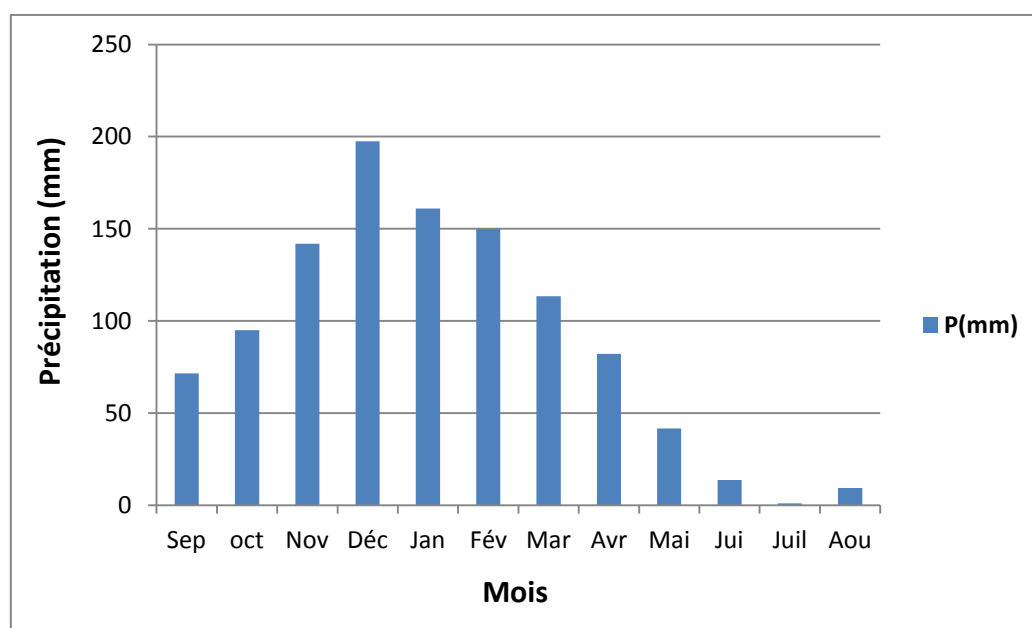
La pluviométrie ou la hauteur des précipitations est toujours définie comme l'épaisseur compté suivant la verticale de la lame d'eau qui s'accumulerait sur une surface horizontale, si toutes les précipitations reçues par celle-ci s'y trouvaient immobilisées (G. Reméniras, 1980). Cette hauteur de précipitation est soumise aux lois de la nature, et aux relations durant la période de l'année, avec le relief.

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

Tableau III.1. Précipitations mensuelles durant la période 2002-2015 Station EL-Agrem

Saison	Automne			Hiver			Printemps			Eté			Totale
Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	
P (mm)	72	95	142	198	161	150	113	82	42	14	1	9	1078
	103			169			79			8			

Le tableau (III.1) indique que La valeur maximale des précipitations est observée pendant l'hiver avec 169 mm, tandis que la valeur minimale est de 8 mm en été.

**Figure III.1.** Graphe des répartitions des précipitations moyennes mensuelles

(2002-2015, station EL-Agrem)

II.2.2 Température de l'air

La température de l'air 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.

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

Saison	Automne			Hiver			Printemps			Eté			Moyenn e 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			

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.

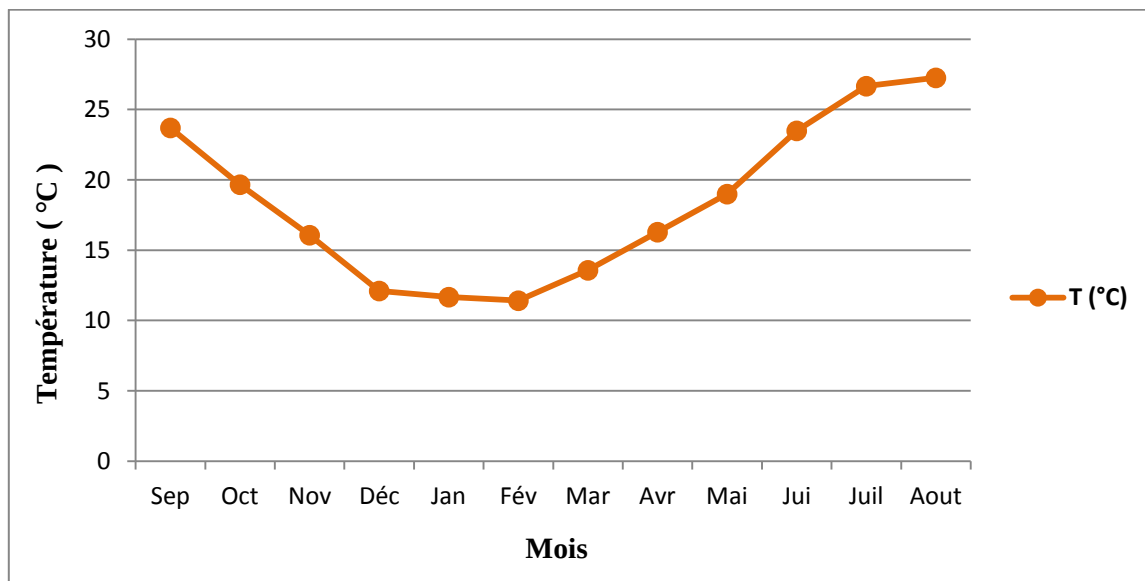


Figure III.2 : *Graphe des variations des températures moyennes mensuelles*

(2002-2015, station EL-Agrem)

II.2.3 Diagramme Ombro-thermique de GAUSSEN et BAGNOULS

Ce diagramme 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 (Fig. III.3).

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.

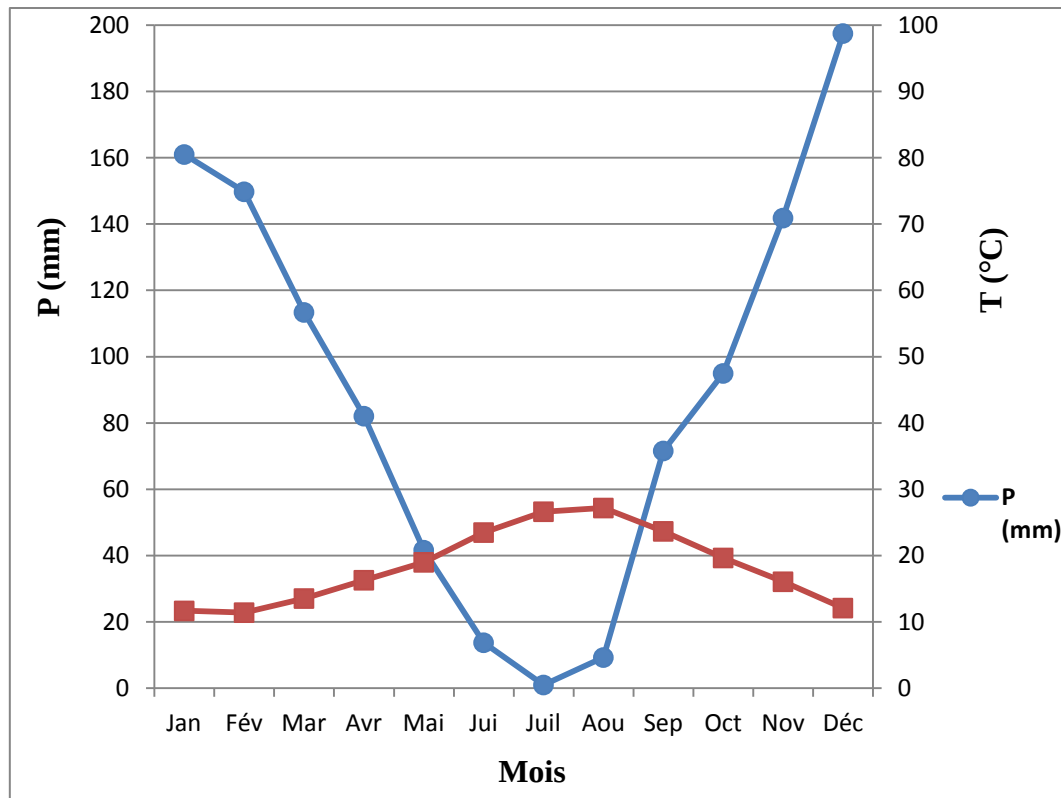


Figure III.3. Diagramme Ombrothermique durant la période 2002-2015
Station El-Agrem

Le diagramme ombrothermique nous permet d'avoir une idée générale sur les périodes sèches et humides. La première s'étend de la mi-mai jusqu'à la fin du mois d'Aout et la seconde du début de Septembre jusqu'à la mi-mai.

II.3. Bilan hydrologique

La connaissance du bilan hydrique d'une région consiste à évaluer la répartition des précipitations reçues sur une surface, entre les différentes composantes suivantes :

Evapotranspiration réelle (ETR), ruissellement (R) et l'infiltration dans le sous-sol.

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).

II.3.1 Calcul de l'évapotranspiration potentielle (ETP)

C.W. Thornthwaite a défini l'évapotranspiration potentielle (ETP) comme correspondante à la perte en eau qui se produit, si à aucun moment, il n'y avait dans le sol de déficit dans les besoins de la végétation.

Penman a proposé que cette définition soit modifiée et qu'il y soit précisé que la surface du sol soit entièrement couverte de végétation verdoyante.

La formule utilisée pour le calcul de l'ETP selon Thornthwaite est la suivante :

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

$$\text{Avec: } I = \sum_{i=1}^{12} i \quad \text{où} \quad i = \left(\frac{T}{5} \right)^{1,514}$$

Où :

ETP : Évapotranspiration potentielle non corrigée en mm (30 jours / mois et 12h / jour)

T : Température moyenne mensuelle en (°C)

I : Indice thermique mensuel

a : Exposant climatique, cependant G. Castany en (1936) conseil de retenir:

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

Pour la région étudiée : $I = 89,278$

$$a = 1,928$$

L'indice thermique (i) pour chaque mois est donné par le tableau de référence en fonction de la température, (pour chaque température mensuelle, il y'aura un indice thermique i).

K : Facteur de correction par lequel convient de multiplier selon le mois et la latitude de la région (et donc de l'insolation soit 36°N) les valeurs de l'ETP non corrigées pour obtenir celle corrigées.

$$ETP_{\text{corrigé}} = ETP_{\text{non corrigé}} \times K$$

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

Tableau III.3. Calcul de l'évapotranspiration potentielle selon Thornthwaite durant la période 2002-2015 Station El-Agrem

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Année
P (mm)	71,59	94,98	141,84	197,51	161,01	149,77	113,38	82,09	41,66	13,74	1	9,28	1078
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	10,546	7,972	5,873	3,811	3,622	3,482	4,498	5,818	7,547	10,412	12,632	13,065	89,278
ETP (mm)	105,09	73,58	49,87	28,75	26,95	25,63	35,51	49,28	68,63	103,4	132,25	138,04	836,98
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	/
ETPcorr (mm)	108,24	71,37	42,89	24,15	23,45	21,79	36,58	54,21	83,04	126,15	163,99	160,13	915,99

II.3.2 Calcul de l'évapotranspiration réelle (ETR)

L'Evapotranspiration réelle désigne la quantité d'eau réellement perdue sous forme de vapeur par évaporation du sol et du couvert végétal et transpiration des plantes (Thornthwaite, 1955). Elle est principalement dépendante des apports en précipitations, de la capacité du sol à stocker l'eau, du couvert végétal et de l'évaporation du sol.

II.3.2.1 Calcul de l'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 a celle-ci est égale a la somme des précipitations du mois et des RFU, il existe un déficit agricole Da

II.3.2.2. Calcul du déficit agricole (Da) :

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

$$Da = ETP - ETR$$

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 obtenu après calcul par la méthode de Thornthwaite, sur une période de 14 ans (2002-2015), pour la station EL-Agrem :

Tableau III.4. Bilan hydrique a la station EL-Agrem (2002-2015)

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Année
P (mm)	71,59	94,98	141,84	197,51	161,01	149,77	113,38	82,09	41,66	13,74	1	9,28	1078
ETPc (mm)	108,24	71,37	42,89	24,15	23,45	21,79	36,58	54,21	83,04	126,15	163,99	160,13	915,99
P-ETPc (mm)	-36,65	23,61	98,95	173,36	137,56	127,98	76,80	27,88	-41,38	-112,41	-162,99	-150,85	/
ETR (mm)	71,59	71,37	42,89	24,15	23,45	21,79	36,58	54,21	83,04	72,36	1	9,28	511,71
Da (mm)	36,65	0	0	0	0	0	0	0	0	53,79	162,99	150,85	404,28
Ws (mm)	0	0	22,56	173,36	137,56	127,98	76,8	27,88	0	0	0	0	566,14
RFU (mm)	0	23,61	100	100	100	100	100	100	58,62	0	0	0	/

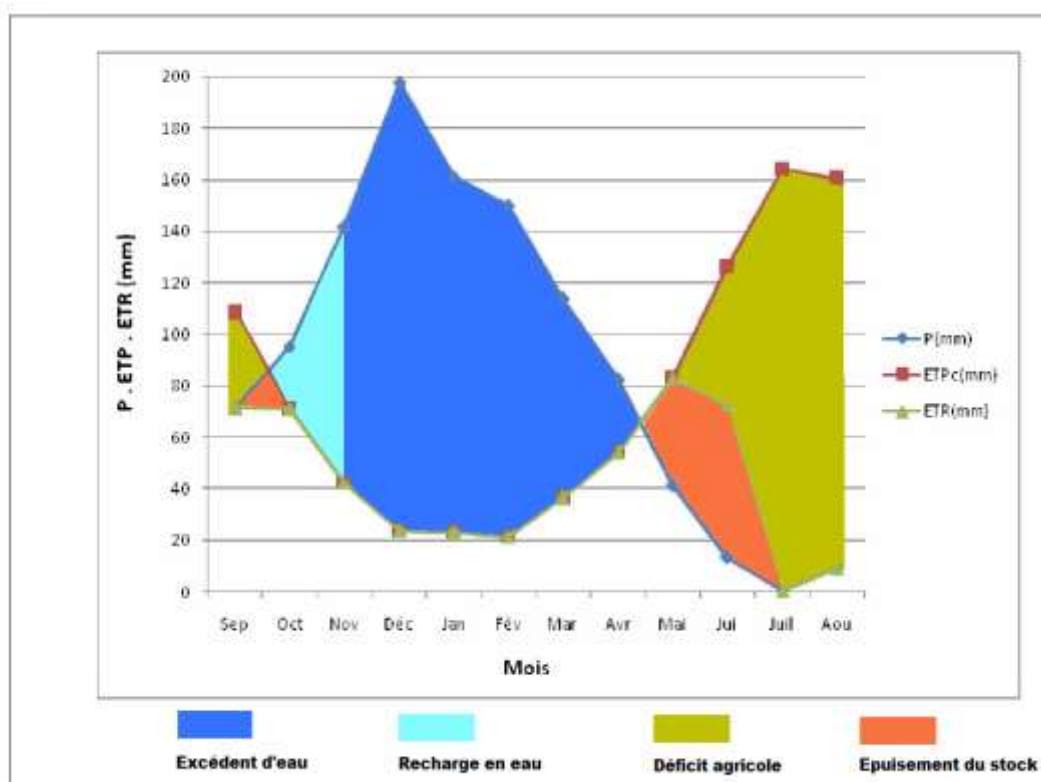


Figure III.4. Diagramme du bilan hydrique station EL-Agrem (2002-2015)

II.3.3 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 maxima 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 566,14 mm.

L'ETR est d'une valeur annuelle de 511,71 mm et le déficit agricole est de 404,28 mm avec un maximum constaté au mois de juillet de 162,99 mm.

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.

II.3.4 Estimation du ruissellement et de l'infiltration

Pour le calcul des ruissellements et des infiltrations on utilise :

Evapotranspiration potentielle : ETP = 915,99 mm

Précipitations totales annuelles : P = 1077,85 mm

Lame évapotranspirée : ETR = 511,71 mm

➤ 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** :

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

$$R = \frac{(1,078)^3}{3} = 0,4174 \text{ m} \rightarrow R = 417,4 \text{ mm}$$

➤ 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:

$$ETR = 511,71 \text{ mm}$$

$$R = 417,4 \text{ mm}$$

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

Considérons $Wa = 0$

L'application numérique de la formule donne :

$$1078 = 511,71 + (417,4 + I)$$

$$I = 1078 - 929,11 \rightarrow I = 148,74 \text{ mm}$$

Soit $I = 13,8\%$ des précipitations.

IV.1.Introduction

Les mouvements de terrains sont des phénomènes résultant d'un déplacement plus ou moins brutal du sol ou du sous-sol. Ils peuvent être d'origine naturelle ou anthropique et leur importance est fonction de la nature et de la disposition des couches géologiques.

Dans notre travail, ces mouvements sont de plusieurs types :

- les glissements de terrain,
- les chutes de blocs et les éboulements de falaises.

IV.2. Risque des Mouvements de terrain**IV.2.1.Définition**

Un glissement de terrain est le déplacement cohérent vers le bas de la pente d'une masse de sol ou de roche le long d'une surface de rupture. Il peut être plan ou rotationnelle. Les facteurs de déclenchement de ces glissements sont principalement des précipitations intenses et soutenues qui saturent les versants en eau et augmentent le niveau des nappes phréatiques, mais ils peuvent survenir après toute présence d'eau en quantité importante (irrigation, fuite, source, inondation, augmentation du niveau des lacs ou cours d'eau qui érodent le bas des versants, etc.). En effet, l'érosion, ainsi que les activités humaine et sismique, peuvent également être responsables du déclenchement des glissements. (Clémence Guillard, 2009)

Le terme d'éboulement rocheux désigne un mouvement d'une masse rocheuse, dans lequel les blocs ne se déplacent pas seulement en glissant, mais peuvent aussi tomber en chute libre, rebondir ou rouler. Il en résulte que les vitesses atteintes sont trop rapides pour permettre une évacuation de la population menacée (quelques mètres à quelques dizaines de mètres par seconde). Les éboulements se produisent généralement dans des falaises ou des versants très raides. Ils font souvent suite à un mouvement plus lent, dont ils constituent le dernier stade d'évolution (glissement lent d'une masse rocheuse ou basculement progressif d'un pan de falaise, par exemple).

Dans le cadre de l'inventaire et l'étude de stabilité de mouvement de terrain le long de la RN 43 et après nos interventions sur le tronçon d'étude (El-Aouna – Ziama Mansouriah), la consultation de l'historique des travaux et la collecte des données fournis par les différents services à savoir la DTP (direction des travaux publique de la wilaya de Jijel), le CTTTP (Organisme national de contrôle technique des travaux publics), la SAETI (Société algérienne d'études d'infrastructures), nous avons constaté la présence de plusieurs points à risque qui présentent des phénomènes d'instabilité tel que les glissements de terrain et les éboulements rocheux.

Dans notre travail parmi plusieurs types d'instabilités nous avons étudié quelques points.

IV.3. Quelques instabilités dans la région étudiée

➤ Au PK 39 + 00

Situé environ 300 m de Cavallo (Aouna), localisé par les coordonnées géographiques suivante : 36° 46' 26,54" N 5° 35' 47,05" E (figure IV.1).

Ce point d'instabilité se présente comme une zone affaissée qui s'étend sur environ 400 m de largeur, elle est comblée par des blocs métrique à décimétrique de microdiorite emboîtés dans une matrice limoneuse rougeâtre très épaisse par endroit (figure IV.2).

Cette situation est le résultat de 2 facteurs : Facteur tectonique cassant qui débite le massif en blocs sous forme d'éboulis, Facteur érosif lent transformant la roche en altérites rouges venant cimenter les différents blocs.

Malgré les moyennes de confortement qui ont été mis en place pour assurer la stabilité du talus on a constaté des indices qui prouvent que le glissement continu toujours a évolué, ces indices sont : l'apparition de la zone affaissée juste à côté du mur de soutènement (figure IV.3) ainsi que des dégradations au niveau des gabionnages qui sont mis sur la partie aval du talus (figure IV.4).



Figure IV.1. Localisation du PK 39 + 00 sur image spatiale (Google Earth, 2017)



Figure IV.2. Zone affaissée

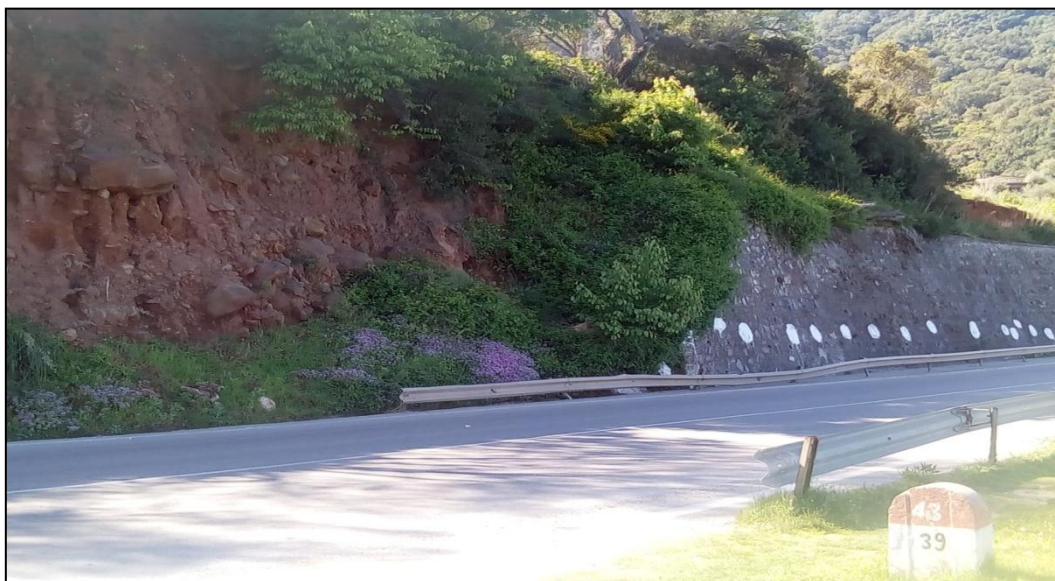


Figure IV.3. Localisation de la zone affaissée à coté du mur de soutènement



Figure IV.4. Dégradation au niveau des gabionnages (partie aval du talus)

➤ **Au PK 39 + 400**

Ce point d'instabilité se situe au village d'Afouzer (Commune d'Aouna) (figure IV.5), localisé par les coordonnées géographiques suivantes : 36° 46' 12,27" N 5° 35' 35,97" E.

Le massif est très fragilisé d'une hauteur de 250 m, comportant de nombreuses fissures soulignées par des oxydes de fer, les miroirs de failles et des effondrements y sont fréquents (figure IV.6) orientés SE-NW.

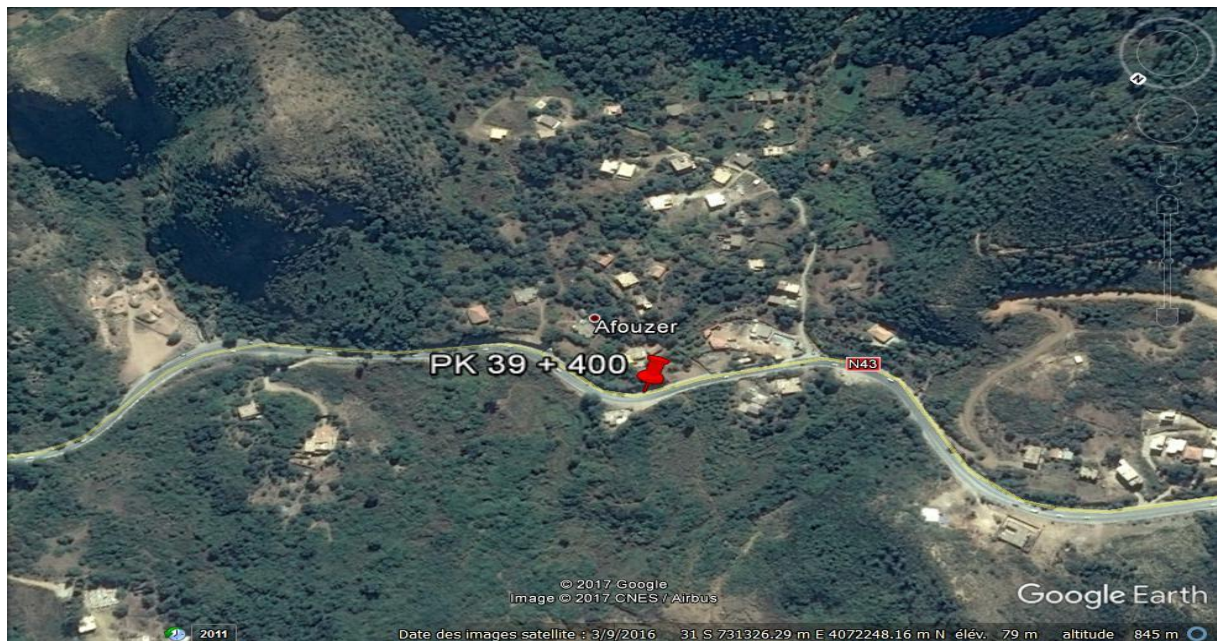


Figure IV.5. Localisation du PK 39 + 400 sur image spatiale

(Google earth, 2017)



Figure IV.6. Massif fracturé avec de nombreuses fissures y compris les miroirs de failles

➤ **Au PK 39 + 500**

Situé a 100 m du village d'Afouzer (Commune d'Aouna), repéré par les coordonnées géographiques suivantes : $36^{\circ} 46' 02,82''$ N $5^{\circ} 35' 27,66''$ E (Figure IV.7)

Au niveau de ce point d'instabilité on remarque que le massif comporte un réseau de fissuration très dense qui est un paramètre décisif dans la circulation des eaux d'infiltration chargées d'oxygène. La pluviométrie aidant la prolifération des végétaux, tandis que la rouille emprunte les fissures chargées de produits d'érosion (oxydes de fer, argile de néo formulation). Ce phénomène élargit l'altération destructive du massif par les racines grandissantes.

Le mode de rupture au niveau de ce massif est une rupture de pied de colonne (Figure IV.8).

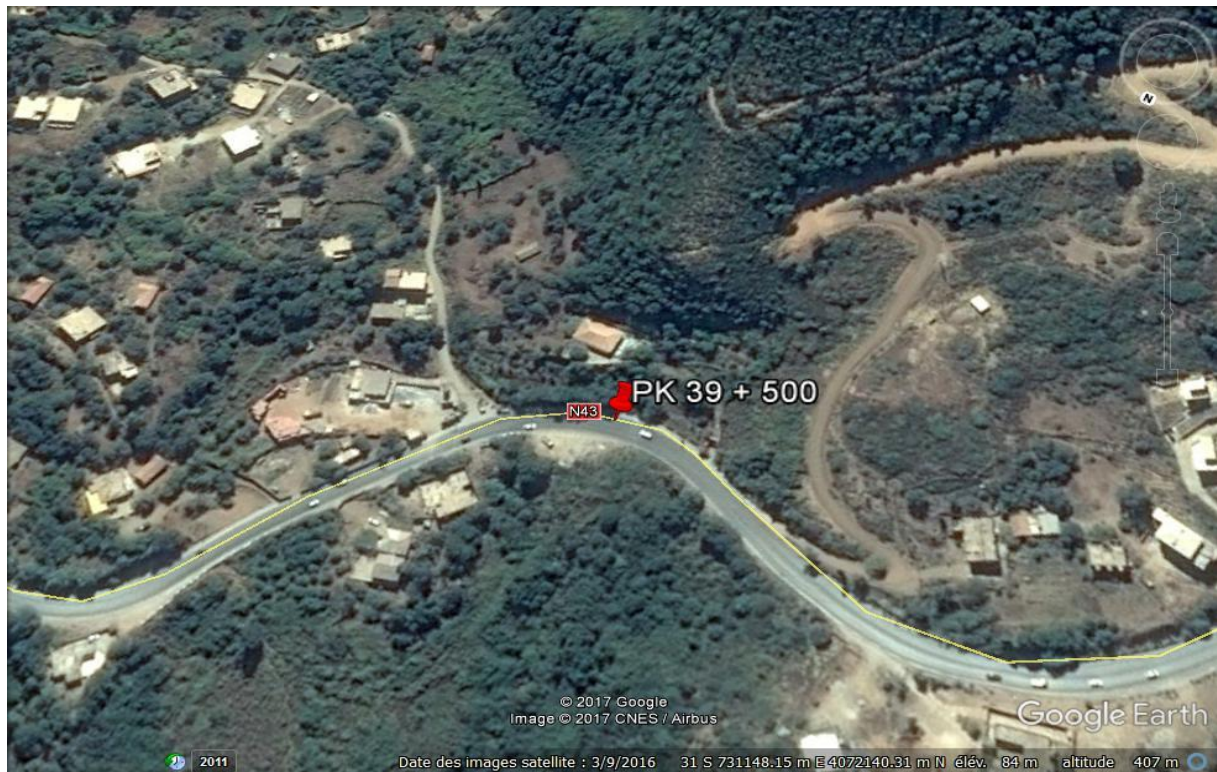


Figure IV.7. Localisation du PK 39 + 500 sur image spatiale (Google earth, 2016)



Figure IV.8. Rupture de pied de colonne

➤ **Au PK 38+50**

Localisé par les coordonnées géographiques suivantes : $36^{\circ} 45' 55,62''\text{N}$ $5^{\circ} 35' 00,87''\text{E}$ (figure IV.9).

Au niveau de ce point d'instabilité le massif présente une abondance des miroirs de failles ainsi qu'une infiltration provenant des écoulements superficiel des eaux qui percolent les fractures ce qui a favorisé l'érosion et la déstabilisation du massif par les poussés hydrauliques.

Le mode de rupture au niveau de ce massif est une rupture d'écaille en paroi (figure IV.10).

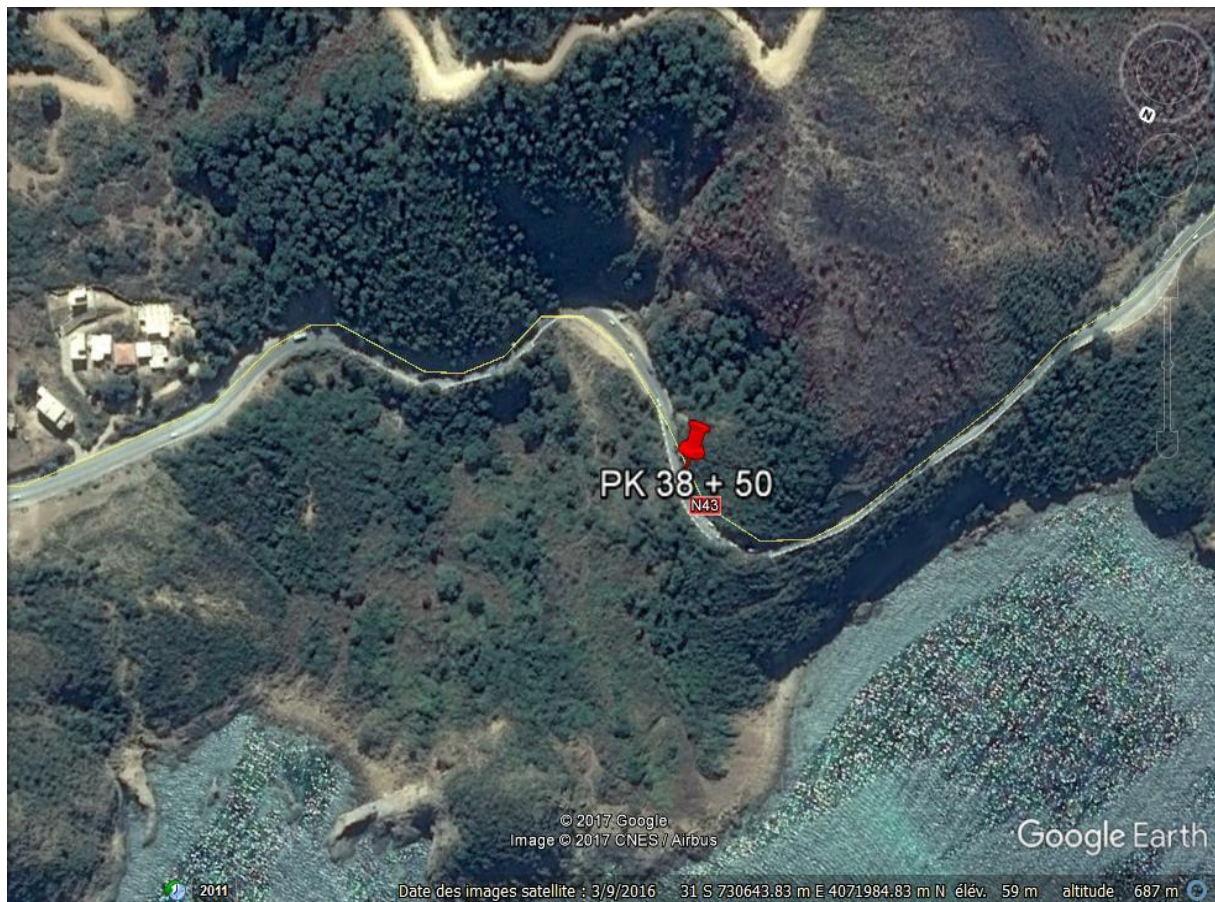


Figure IV.9. Localisation du PK 38 + 50 sur image spatiale (Google earth, 2016)



Figure IV.10. Rupture d'écaille en paroi

➤ **Au PK 38 + 250**

Localisé par les coordonnées géographiques suivante : 36° 45' 47,28" N 5° 34' 51,66" E (figure IV.11).

Ce glissement de terrain s'est déclenché au mois de janvier 2013, parmi les plus importants processus de déstabilisation la topographie non prononcée du talus cela a impliqué une altération chimique accentué donnant la naissance des produits argileux de néo formation dans lesquelles sont emballés les éboulis de pentes (figure IV.12).



Figure IV.11. Localisation du PK 38 + 250 sur image spatiale (Google earth, 2016)



Figure IV.12. Eboulis de pentes emballé dans les argiles de néo formation

➤ **Au PK 38+780**

Repéré par les coordonnées géographiques suivantes : 36°45'48.20"N 5°34'31.03"E (figure IV.13).

Le massif d'une hauteur de 400 m environ très fracturé comporte plusieurs plans d'effondrement et des miroirs de failles.

La rupture s'est effectuée en surplomb (Figure IV.14), ce dernier forme un grand danger sur les usagers de cette route.



Figure IV.13. Localisation du PK 38 + 780 sur image spatiale (Google earth, 2016)



Figure IV.14. Rupture de surplomb ou de dalle en toit

➤ **Au PK 37+600**

Situé à 130 m de la plage Port Maria à la commune d'Aouana, localisé par les coordonnées géographiques suivantes : 36°44'57.43"N 5°33'54.94"E (Figure IV.15).

Déclenché au mois de novembre 2012, les principaux facteurs qui ont déstabilisé ce talus sont : la lithologie défavorable du talus qui est prédominé par des argiles lâche incrustées de graviers ainsi que l'existence d'un exutoire avec un débit d'eau important juste a proximité du glissement, l'accélération de ces écoulements en contre bas de la chaussée a provoqué l'érosion des matériaux (fines) ce qui a engendré l'effondrement du talus en entrainant une grand partie de la voie droite de la chaussée (figure IV.16).



Figure IV.15. Localisation du PK 37 + 600 sur image spatiale (Google earth, 2016)



Figure IV.16. Effondrement de la partie droite de la chaussée

➤ **Au PK 24+800**

Situé dans le site des grottes merveilleuses (commune de Ziama Mansouriah), localisé par les coordonnées géographiques suivante : 6°41'34.56"N 5°31'25.10"E (figure IV.17).

Au niveau de ce point d'instabilité les calcaires massifs du jurassique présentent une fracturation intense et passent parfois à des niveaux de calcaires grisâtres très schistosés et altérés à proximité des failles. Les éboulements sont favorisés par la fracturation du massif calcaire, les écoulements d'eau et le travail de sape de la mer à la base de la falaise.

En mars 2009, un éboulement a détruit la partie centrale du tunnel situé à proximité de la grotte (figure IV.18).



Figure IV.17. Localisation du PK 24 + 800 sur image spatiale (Google earth, 2016)



Figure IV.18. Eboulement rocheux à l'entrée de la grotte merveilleuse (2009)

➤ **Au PK 23+00**

Situé derrière le tunnel d'Oued Dar El Oued (Grottes Merveilleuses) (figure IV.19), ses coordonnées géographiques sont : 36°41'22.30"N 5°31'11.84"E.

Ce glissement est parmi les glissements les plus importants inscrit dans les points noirs de la RN43 (figure IV.20), la rupture du talus a été engendrée par la jonction de plusieurs facteurs (figure IV.21) qui sont : le changement du profil en long de la route (chaussé en remblai) suite a des glissements apparus dans cette zone en 1986, la pente verticale du talus, l'érosion marin par l'action des vagues déferlantes, le ruissellement des eaux de pluies conduisant a un lessivage des particules argileuses et favorisant l'altération et l'érosion.



Figure IV.19. Localisation du PK 23 + 00 sur image spatiale (Google earth, 2016)



Figure IV.20. Effondrement de la chaussée au PK 23+00



Figure IV.21. Principaux facteurs déstabilisateurs du talus au niveau du PK 23+00

➤ **Au PK 22+600**

Le glissement PK 22+600 se situe sur l'ancien tracé de la route nationale N° 43 ou la route est la déviation du tunnel de Dar El Oued (figure IV.22) repéré par les coordonnées géographiques suivante : 36°41'17.54"N 5°31'9.13"E.

Le talus en contre bas de la chaussée, voie droite, a cédé (figure IV. 23), l'effondrement de la chaussée a entraîné bien évidemment l'accotement. Parmi les plus important processus de déstabilisation, l'altération et l'érosion des formations argileuses qui constitue le talus causé par les eaux de ruissellement et l'action des vagues déferlantes.



Figure IV.22. Localisation du PK 22 + 600 sur image spatiale
(Google earth, 2016)



Figure IV.23. Effondrement de la chaussée au PK 22+600

➤ **Au Pk 18+200**

Situé à l'entrée du village de Zima Mansouriah (avant juste d'arrivé à la mosquée de Zima Mansouriah) (figure IV.24) localisé par les coordonnées géographiques suivantes : 36°40'20.47"N 5°29'7.43"E.

Il s'étend sur 80 m de longueur et 45 m de largeur, le talus constitués par des argiles, des argiles renfermant des graves et cailloux et des argiles à blocs. Ce glissement de terrain c'est manifesté au mois de décembre 2012 dont Le facteur principal déclencheur c'est l'eau. Le terrain ayant déjà une forte pente naturelle qui une fois, gorgé d'eau perd une partie de sa cohésion et finit par glisser sous l'effet de son propre poids.



Figure IV.24. Localisation du PK 18+ 00 sur image spatiale
(Google earth, 2016)

➤ **Au PK 15+900**

Localisé par les coordonnées géographiques suivantes : $36^{\circ}39'48.61''\text{N}$ $5^{\circ}27'56.48''\text{E}$.

Ce glissement de terrain se trouve entre l'agglomération chef lieu de Ziama Mansouriah et l'agglomération de Boublatene (figure IV.25). La zone de glissement culmine à environ 50 m d'altitude et est située sur un versant escarpé. Les premiers signes d'instabilités ont été remarqués en contre bas de l'accotement en décembre 2007. Au cours de l'année 2009, l'affaissement a atteint la chaussée avec apparition d'un second point d'affaissement qui a engendré un tassement d'environ 30 cm de la chaussée. Du point de vue lithologie On retrouve globalement des éboulis de pentes à dominance limono argileuse (couverture), des Schiste de couleur brunâtre, très altéré et très oxydé, les dépressions ont été comblées par des dépôts érosifs hétérogènes.

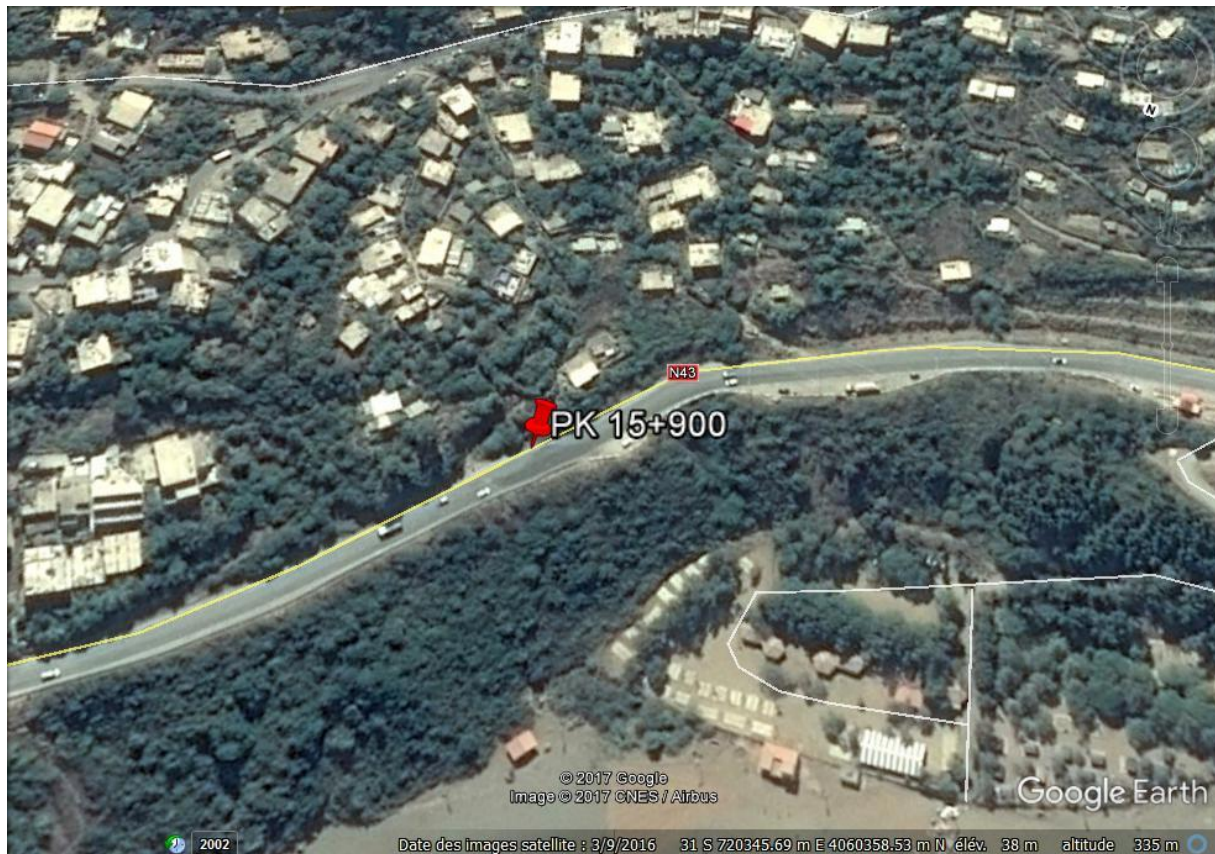


Figure IV.25. Localisation du PK 15+ 900 sur image spatiale
(Google earth, 2016)

➤ **Au PK 12+50**

Repéré par les coordonnées géographiques suivantes : $36^{\circ} 39' 12.77''$ N, $5^{\circ} 25' 50.6''$ E, ce glissement de terrain se trouve à côté du village de Taazibte (figure IV.26) environ 400 m de l'agglomération de Boblatane, le glissement d'une extension de 110 m de long sur 45 m de large s'est produit dans une zone à pente forte à moyenne, l'instabilité s'est manifestée par la saturation du pied du remblai et des argiles qui forment la quasi-totalité du versant, cette saturation est atteinte par les infiltrations d'eau qui provient d'une source en amont ainsi la absence totale d'un système de drainage superficiel et profond ou mal entretenu (Figure IV.27).



Figure IV.26. Localisation du PK 12+ 50 sur image spatiale (Google earth, 2016)



Figure IV.27. Caniveau et buse mal entretenues

IV.4 Carte d'inventaire des mouvements de terrain du tronçon étudié

Comme étant la pente est un facteur important dans le déclenchement des différents mouvements de terrain, pour cela on a réalisé la carte des pentes de la zone d'étude (Figure IV. 29) pour voir si ce facteur a vraiment un rôle majeur dans le déclenchement des instabilités rencontrées le long du tronçon d'étude.

A partir de cette carte on peut constater que la zone d'étude est dominé par des pentes raides a très raides, ce qui explique la surabondance des points d'instabilités dans la région d'étude.

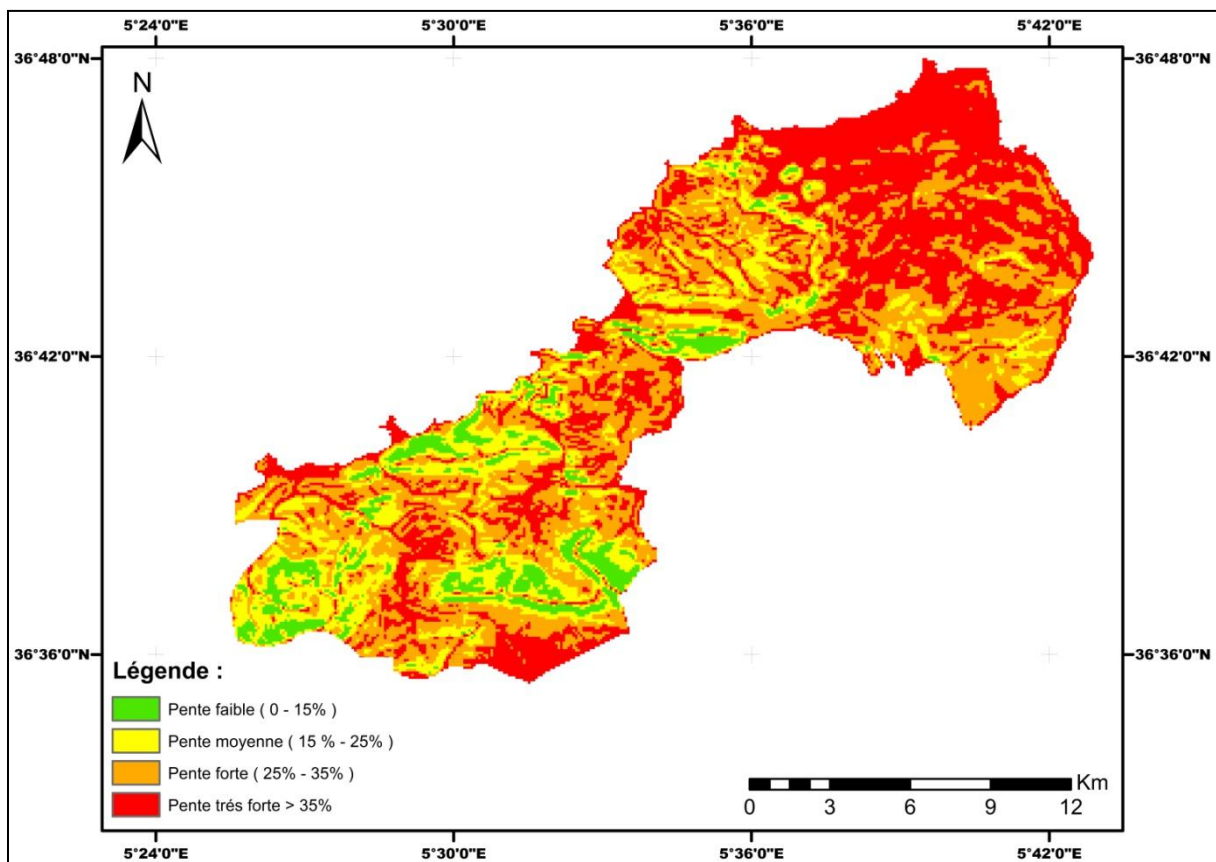


Figure IV.28. Carte dérivée des classes de pentes de la zone d'étude

L'élaboration de la carte d'aléa nécessite un inventaire préalable des glissements de la région. Dans notre cas, l'inventaire a été fait à partir des données disponibles dans le tronçon étudié (Tableau IV.1) concernant les glissements de terrain et les éboulements rocheux (Figure IV.30 et 31).

Tableau IV.1. Tableau récapitulatif des principaux mouvements de terrain rencontrés le long du tronçon d'étude (El-Aouna-Ziama Mansouriah) sur la RN 43

Les points d'instabilités	Les coordonnées géographiques		Type d'instabilités
	Longitude	Latitude	
PK 39+00	36°46'24.21"N	5°35'44.56"E	Glissement de terrain
PK 39+400	36°46'5.36"N	5°35'27.82"E	Eboulement rocheux
PK39+500	36°46'1.16"N	5°35'22.80"E	Eboulement rocheux
PK 38+50	36°45'55.83"N	5°35'0.88"E	Eboulement rocheux
PK 38+250	36°45'46.23"N	5°34'51.04"E	Glissement de terrain
PK 38+780	36°45'48.20"N	5°34'31.03"E	Eboulement rocheux
PK 37+600	36°44'57.43"N	5°33'54.94"E	Glissement de terrain
PK 24+800	36°41'34.37"N	5°31'25.32"E	Eboulement rocheux
PK 23+00	36°41'22.31"N	5°31'11.86"E	Glissement de terrain
PK 22+600	36°41'17.54"N	5°31'9.13"E	Glissement de terrain
PK 18+200	36°40'20.47"N	5°29'7.43"E	Glissement de terrain
PK 15+900	36°39'48.61"N	5°27'56.48"E	Glissement de terrain
PK 12+50	36°39'13.98"N	5°25'55.54"E	Glissement de terrain



Figure IV. 29. Carte d’inventaire des principaux mouvements de terrain rencontrés le long du tronçon d’étude (El-Aouna-Ziama Mansouriah) sur la RN 43

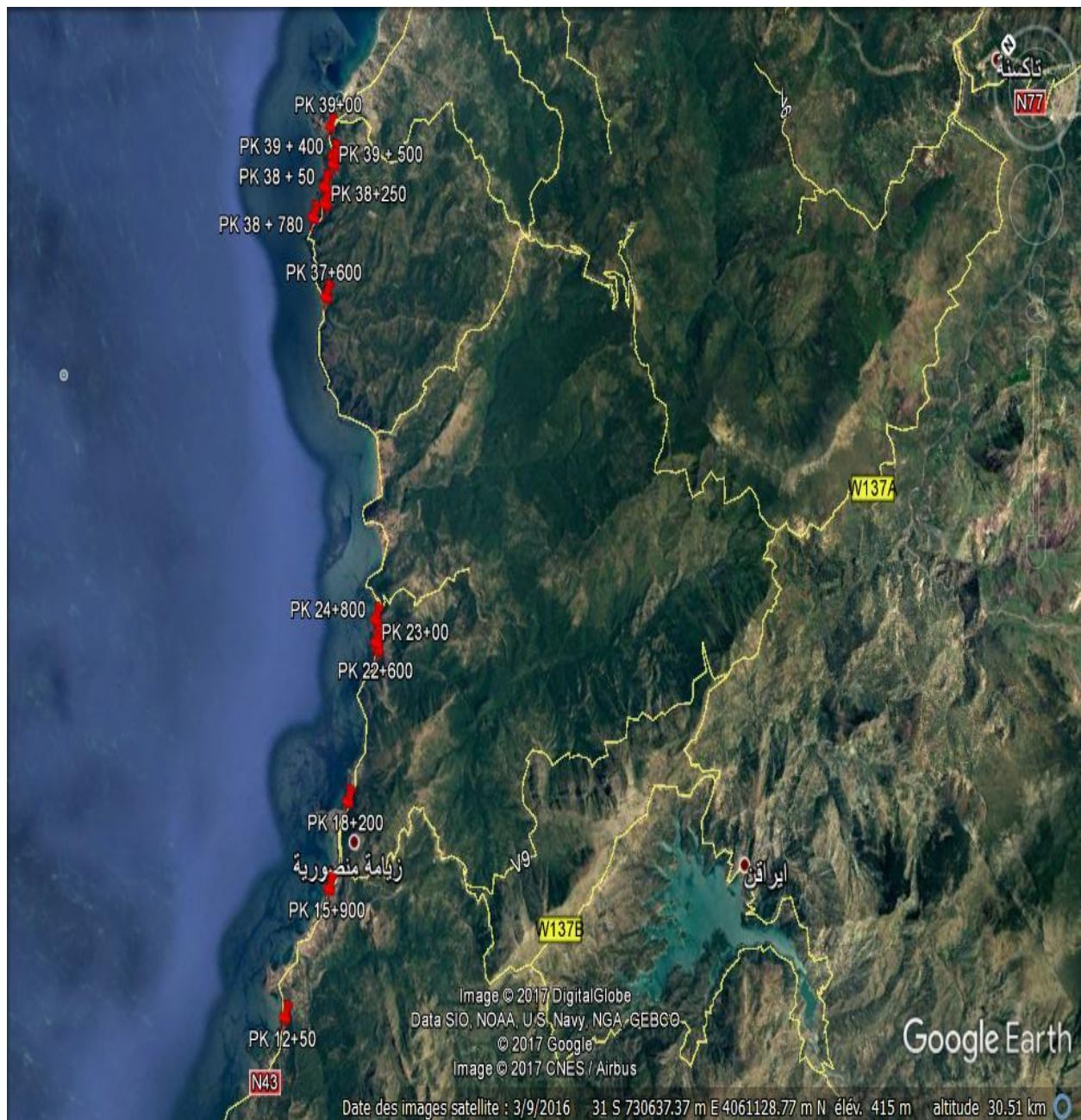


Figure IV.30. Localisation des points d'instabilités rencontrés le long du tronçon d'étude (El-Aouna-Ziama Mansouriah) sur image spatiale (Google Earthe, 2016)

V.1. Etude géotechnique

Toute étude géotechnique doit commencer par une reconnaissance sur terrain permettant de vérifier en place la nature des sols et une reconnaissance par sondages, afin d'estimer la distribution des sols au sein de la surface d'étude et la détermination des caractéristiques physiques et mécaniques et leurs distribution (M. Aoun, 2002).

Elle permet de mesurer et de déterminer les propriétés physiques et chimiques des sols et des roches ainsi que leurs caractéristiques mécaniques (d'après les résultats des essais in situ et en laboratoire) et de déterminer les niveaux des nappes aquifères existantes et par conséquent le choix de la meilleure solution adoptée au problème de glissement rencontré (P. Antoine et al, 1980).

V.2. Campagne de reconnaissance géotechnique

Suite à la demande de la DTP (direction des travaux publics) de la wilaya de Jijel, par marché n°70/2014 en date du 28mars 2014, le CTTP (Organisme national de contrôle technique des travaux publics) a effectué plusieurs études géotechnique pour le confortement des glissements de terrain affectant la RN43 au PK38+250, PK 23+00, PK 22+600, PK 18+200, PK 15+900 et PK 12+50 sis entre la commune de Aouna et la commune de Ziama Mansouriah dans la Wilaya de Jijel.

La présente étude a pour objectif de déterminer les caractéristiques géométriques et mécaniques de la solution de confortement des talus glissés en tenant compte de l'aspect économique.

V.2.1.Essai in situ

➤ Sondage carottés

Plusieurs sondages carottés ont été réalisé par la CTTP au mois octobre 2014 pour déterminé la lithologie des glissements de terrain sus-indiquées, les profondeurs d'investigations sont comprise dans un intervalle qui va de 0 m a 25 m. Les résultats de ces sondages carottés sont représentés sur les tableaux ci-dessous :

- **PK 38+250**

Tableau V.1. Lithologie du sondage N°01

Profondeur en (m)	Lithologie
0.00 à 7.00	Remblai et sable plus au moins argileux lâche de couleur brunâtre à jaunâtre avec des galets, graves et cailloux anguleux.
7.00 à 12.00	Andésite de couleur verdâtre, très dure, altérée au sommet, oxydée, fracturée par endroit avec des plans obliques à sub-verticaux.

Tableau V.2. Lithologie sondage N°02

Profondeur en (m)	Lithologie
0.00 à 5.00	Remblai et sable plus au moins argileux lâche de couleur brunâtre à jaunâtre avec des galets, graves et cailloux anguleux.
5.00 à 14.00	Argile limoneuse à rares traces du sable fin de couleur brunâtre, peu plastique à ferme, très riche en galets , graves et cailloux anguleux de schiste très altéré et très déformé
14.00 à 25.00	Schiste brunâtres, très altéré, très déformé et très oxydé, sous forme de graves et fragments anguleux remanié dans une matrice argileuse brunâtre plastique à peu plastique.

• **PK 23+00**

Tableau V.3. Lithologie sondage N°01

Profondeur en (m)	Lithologie
0.00 à 4.00	Remblai routier, sable argileux, graviers et cailloux anguleux.
5.00 à 16.00	Argile limoneuse à rares traces de sable brune-rougeâtre, peu plastique à ferme, lâche, riche en graves et cailloux anguleux de calcaire.
16.00 à 25.00	Intercalation entre les schistes et des microdiorites

• **PK 22+600**

Tableau V.4. Lithologie sondage N°01

Profondeur en (m)	Lithologie
0.00 à 3.00	Remblai routier et sable plus au moins argileux lâche de couleur brunâtre à jaunâtre.
3.00 à 10.00	Argile limoneuse rougeâtre peu plastique à ferme, riche en graves et cailloux.
10.00 à 14.50	Intercalation entre les schistes et des microdiorites

• PK 18+200

Tableau V.5. Lithologie sondage N°01

Profondeur en (m)	Lithologie
0.00 à 3.00	Remblai composé de corps de chaussé, sable argileux, graviers et cailloux.
3.00 à 25.00	Argile limoneuse rougeâtre peu plastique à ferme, riche en graves et cailloux et quelques blocs de calcaire.

• PK 15+900

Tableau V.6. Lithologie sondage N°01

Profondeur en (m)	Lithologie
0.00 à 2.00	Argile limono-sableuse, brunâtre, très lâche et très riche en graves et cailloux anguleux de calcaire.
2.00 à 5.50	Argile limoneuse à rares traces de sable brune-rougeâtre, peu plastique à ferme, lâche, riche en graves et cailloux anguleux de calcaire.
5.50 à 12.00	Argile sableuse brunâtre, oxydée et altérée, ferme, riche en cailloux et graves. Passage de calcaire compacte jaune-blanchâtre (11.10-11.50m).

Tableau V.7. Lithologie sondage N°02

Profondeur en (m)	Lithologie
0.00 à 3.00	Remblai composé de corps de chaussé, sable argileux, graviers et cailloux anguleux.
3.00 à 10.00	Limon argileux à traces de sable vers la base rougeâtre peu plastique, lâche, à traces de graves et cailloux et quelques blocs.
10.00 à 14.00	Sable brunâtre, lâche riche en graves et cailloux anguleux. Grés calcaireux (molasse) jaunâtre - miel, ambré, fracturés et poreux, oxydée sous forme de cailloux et blocs.
14.00 à 19.00	Argile sableuse de couleur brunâtre-marron, riche en graves et cailloux et quelques blocs de molasse.
19.00 à 22.00	Schiste de couleur brunâtre, très altéré et très oxydé, lâche, parfois sous forme de graves et cailloux.

• **PK 12+50**

Tableau V.8. Lithologie sondage N°01

Profondeur en (m)	Lithologie
0.00 à 4.50	Remblai composé de corps de chaussé, sable argileux, graviers et cailloux anguleux.
4.50 à 15.50	Argile à rares traces de sable brunâtre, peu plastique à ferme, altérée et oxydée, riche en galets, graves et cailloux hétérogènes.
15.50 à 19.00	Sable à rares traces d'argile de couleur brunâtre-marron à grains moyens.

V.2.2.Essais de laboratoire

Les essais de laboratoire ont pour but de déterminer les propriétés mécaniques et physiques des sols, ils ont été réalisés sur des échantillons prélevés à partir des carottes de sondages.

V.2.2.1. Paramètres mécaniques

- **Essai de cisaillement**

L'angle de frottement ϕ et la cohésion C des sols ont été déterminés à partir des résultats d'essais de cisaillement à la boîte de Casagrande, les résultats sont représentés dans les tableaux ci-dessous :

• **PK 38+250**

Tableau V.9. Résultats de l'essai de cisaillement (PK 38+250)

Nature des sols	γ (KN/m ³)	Φ (°)	C(Kpa)
Argile limoneuse décomprimée	18	22	10
Argile schisteuse dure	19.5	23	50

• **PK 23+00**

Tableau V.10. Résultats de l'essai de cisaillement (PK 23+00)

Nature des sols	γ (KN/m ³)	Φ (°)	C(Kpa)
Remblai routier	18	25	10
Argile limoneuse	19	22	20

• PK 22+600

Tableau V.11. Résultats de l'essai de cisaillement (PK 22+600)

Nature des sols	γ (KN/m ³)	Φ (°)	C(Kpa)
Remblai routier	18	25	10
Argile limoneuse	19	22	20

• PK 18+200

Tableau V.12. Résultats de l'essai de cisaillement (PK 18+200)

Nature des sols	γ (KN/m ³)	Φ (°)	C(Kpa)
Argile altérée	18	17	10
Argile dure	19	20	60

• PK 15+900

Tableau V.13. Résultats de l'essai de cisaillement (PK 15+900)

Nature des sols	γ (KN/m ³)	Φ (°)	C(Kpa)
Remblai et Argile décomprimée	18	26	25
Argile compacte	19.5	20	150

• PK 12+50

Tableau V.14. Résultats de l'essai de cisaillement (PK 12+50)

Nature des sols	γ (KN/m ³)	Φ (°)	C(Kpa)
Remblai et Argile lâche	18	15	5
Argile dure	19	18	12

V.2.3. Régime hydraulique

Le rôle de l'eau est déterminant dans la stabilité des Talus, son action se traduit par des poussées d'écoulement et des pressions interstitielles qui réduisent la résistance au cisaillement du sol. Des suivis piézométriques ont été effectués dont les résultats sont ci dessous :

Tableau V.15. Résultats des suivis piézométriques indiquant le niveau de la nappe dans chaque sondage

N° Glissement de terrain	PK 38+250		PK 18+200	PK 15+900		PK 12+50
Sondage N°	SC N°1	SC N°2	SC N°1	SC N°1	SC N°2	SC N°1
Niveau (m)	-8		-10	-11		-11

V.3. Analyse de stabilité

V.3.1. Hypothèse de calcul

Le calcul de stabilité peut être effectué dans deux circonstances bien distinctes : avant ou après déclenchement du mouvement (glissement) :

Dans le premier cas, le calcul de stabilité permet à la fois d'apprécier la marge de sécurité du talus vis-à-vis de la rupture, de définir dans le site la zone la plus menacée par l'instabilité et d'examiner l'influence de certains travaux (terrassements, constructions...etc.) sur la marge de sécurité qui a été définie pour le talus.

Le calcul de stabilité présente un grand intérêt, car il permet de repérer les causes qui jouent un rôle décisif dans l'apparition du glissement et de définir les dispositifs confortatifs nécessaires pour limiter le risque. Parmi les méthodes de calcul à la rupture on a :

- ✓ La méthode globale consiste à ce que le massif soit homogène et isotrope et il est défini par les caractéristiques suivantes : C , φ et γ , si le milieu est aquifère la pression interstitielle U se rajoute à ces paramètres (G. Filliat, 1981 ; J. Costet et al, 1983).
- ✓ La méthode des tranches est une méthode suédoise due à Petterson (1916), qui a subi plusieurs adaptations au fil des ans tel que son développement par Fellenius en 1927 pour les ruptures circulaires, par Bishop en 1954 et enfin elle a été étendue aux ruptures non circulaires par Nonveiller en 1965 (J. Costet et al, 1983).

Les valeurs de F_s en fonction de l'état du talus sont résumées dans le tableau V.16

Tableau V.16. Les valeurs du coefficient de sécurité F_s données en fonction de l'état du talus

F_s	Etat du talus
<1	Le glissement est pratiquement inévitable
$1 \leq F_s \leq 1.5$	Le talus est douteux
>1.5	Le talus reste toujours stable

V.3.2.Calcul par les logiciels Géo-Slope et Talren 4

V.3.2.1. Description générale du logiciel Géo-slope

Le "Géo-Slopce" utilise la théorie de l'équilibre limite basée sur les méthodes de tranches de Fellenius, Bishop et Janbu.

Les données utilisées par ce logiciel de calcul sont :

- La géométrie du versant : profil topographique, disposition géométrique des différentes couches constituant le terrain. Une fois introduites, ces données constituent le schéma de base pour le calcul.
- Les caractéristiques géotechniques des terrains constituant le talus (C_i , φ_i , γ_i).
- Les données hydrauliques : concernant le régime hydraulique et le niveau piézométrique rencontré. Dans non calculs le choix des conditions hydrauliques a été fait de la même manière que le calcul manuel, c.-à-d. on fait le calcul dans les deux niveaux de nappe.

V.3.2.2. Description générale du logiciel Talren 4

Le Talren 4 est un programme qui permet d'analyser la stabilité des sols et de déterminer la surface de rupture potentielle. Le programme « taleren4 » permet de calculer le coefficient de sécurité. Le cercle critique sera celui possédant le coefficient de sécurité le plus faible, ce programme possède aussi des coefficients de pondération selon la norme adoptée .Ainsi, ce logiciel selon le cas, permet de distinguer trois modes d'exécutions différents :

- Le mode d'exécution habituel lorsque nous avons moins d'informations sur le Glissement potentiel.
- Le mode d'exécution avec un point de passage imposé du glissement potentiel.
- Le mode d'exécution dont le cercle de glissement potentiel doit passer tangentiellement à une couche.

Les caractéristiques géotechniques des matériaux introduites dans le calcul sont reportées dans les tableaux V.9, V.10, V.11, V.12, V13 et V14 Pour des raisons de sécurité et de commodité le choix de ces valeurs se fait de façon à introduire dans le cas le plus défavorable.

V.3.2.3. Validations de l'approche de calcul considéré

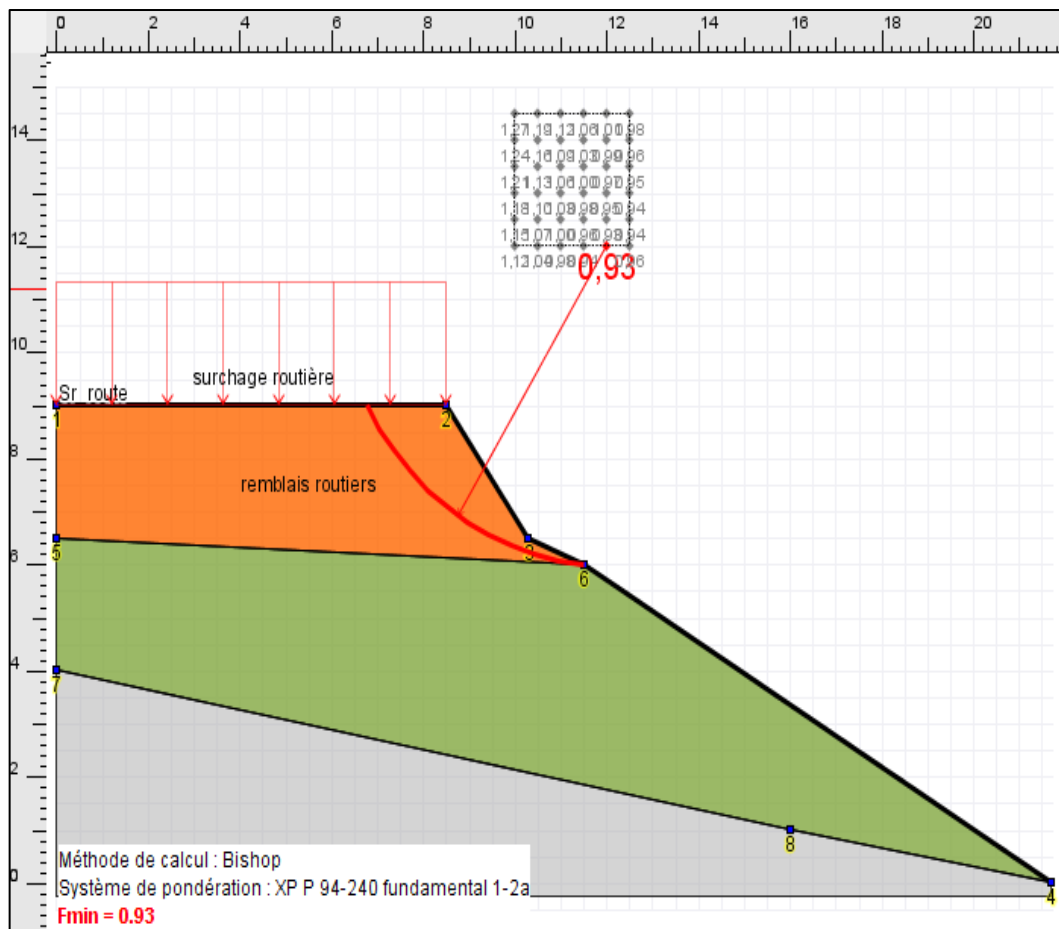
➤ Modélisation et vérification de la stabilité du PK 22+600 par le logiciel Talren 4

Lors de la vérification de la stabilité du PK 22+600 nous avons effectué une modélisation numérique pour calculer le facteur de sécurité par plusieurs méthodes, le tableau ci-dessous montre les différents résultats du facteur de sécurité obtenus par les trois méthodes.

Tableau V.17. Valeurs du facteur de sécurité du talus (PK 22+600)

Méthode de calcul	Fs
Méthode de Félinus	0.88
Méthode de Bishop	0.93
Méthode de perturbation	0.92

La charge d'exploitation est de l'ordre de $Q=20 \text{ kN/m}^2$ (surcharge routière) dans le cas où elle existe.

**Figure V.1.** Modélisation de l'état du talus à l'état actuel

➤ Interprétation

La stabilité du talus est appréciée par rapport à un facteur de sécurité, nous remarquons que $F_s < 1.00$, donc le talus est dans une situation d'instabilité et nécessite un confortement.

➤ Solution de confortement

Pour le confortement de la chaussée on a opté pour la réalisation d'une butée (gabions) du côté aval de la chaussée en trois rangées sur une longueur de 35m.

Les caractéristiques géométriques et mécaniques de la butée sont :

- Densité de la pierre du mur $24 \text{ KN} / \text{m}^3$.
- Hauteur de 3.0 m,
- Base en pied 3 m, en tête 1.0m.
- Longueur du mur 35 m.

Les gabions représentent une des solutions les plus fiables pour la réalisation du soutènement, quel que soient les milieux ou les conditions climatiques, ce sont des structures modulaires constituées par des éléments parallélépipédiques en grillage d'acier à mailles hexagonales, double torsion, rempli de pierres.

Les gabions sont des structures :

- Armées
- Monolithiques et continues
- Flexibles
- Rapide intégration à l'environnement
- Durée de vie très longue
- Drainantes
- Grande capacité d'absorption du bruit.

Les matériaux de remplissage des gabions doivent être en pierres ou non pourvu que leurs densités et caractéristiques mécaniques et géométriques répondent aux nécessités statiques, fonctionnelles et de pérennité de l'ouvrage en général, on utilise des galets ou du concassé, de préférence qui donne la plus grande densité, surtout pour répondre aux fonctions exigées (choisies).

Nous recommandons vivement d'utiliser des pierres de dimensions variant entre 1 et 1.5 fois la dimension de la maille du grillage (pour empêcher la fuite des pierres).

L'utilisation de pierres de petites dimensions assure une meilleure distribution des charges ainsi qu'une plus grande possibilité d'adaptation aux déformations de la structure, la porosité des matériaux utilisés doit être comprise entre 0.3 et 0.4 en fonction de la granulométrie des matériaux et de leur nature lithique, afin d'assurer un alignement approprié ainsi qu'un aspect soigné et compact, il faudra réduire au minimum les vides, sans utiliser des matériaux de formes et de dimensions telles qu'elles constituent un parement à vue rigide.

Les gabions doivent être bien remplis et bien disposés à l'intérieur de façon telle que, en fonction de leurs caractéristiques de fabrication, on obtient une distribution uniforme dans l'ouvrage.

Nous conseillons d'augmenter la quantité du grillage disposé verticalement et parallèlement à la droite d'action de l'effort de cisaillement (perpendiculaire au parement extérieur du mur), cela conduit à poser les gabions avec le coté le plus long parallèle à la section du mur, cette disposition a pour effet de s'opposer plus efficacement à la déformation au cisaillement du mur.

La figure ci-dessous présente la modélisation du confortement du talus par des gabions.

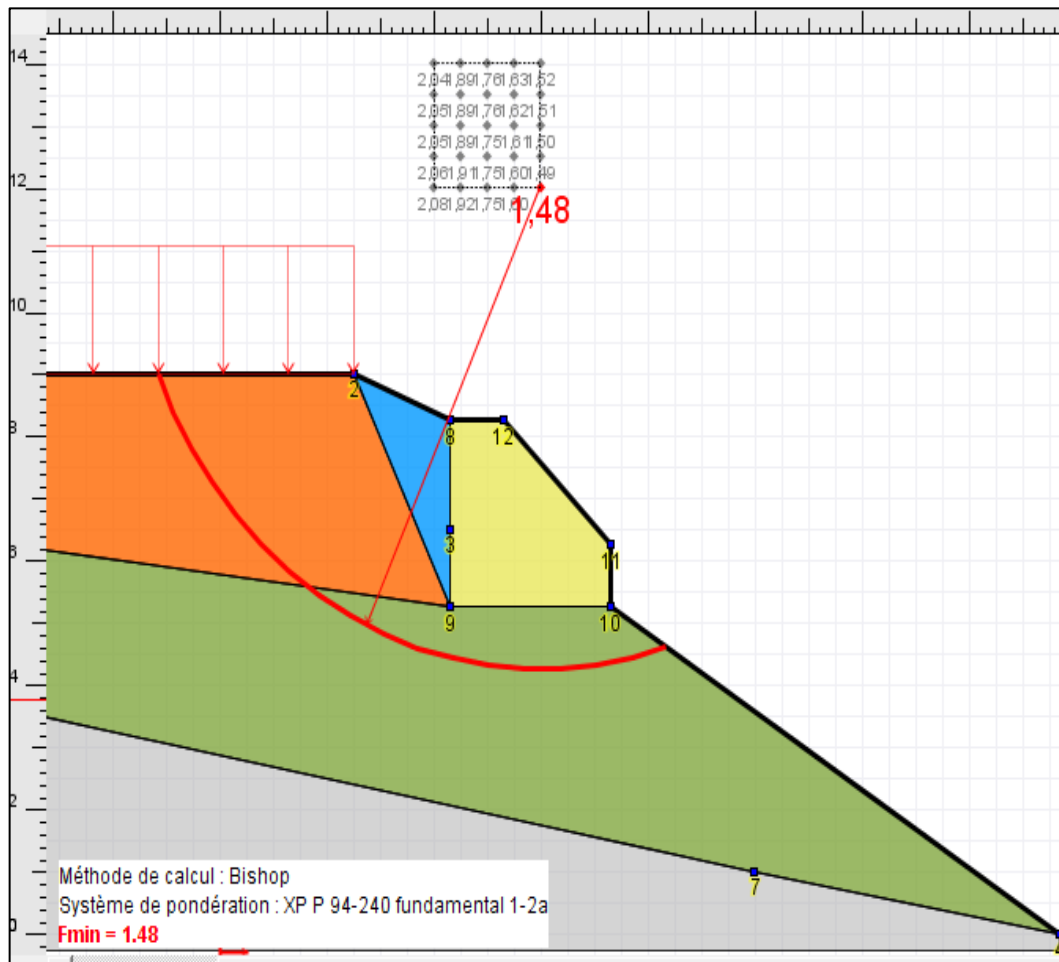


Figure V.2. Modélisation de l'état du talus après confortement (situation statique)

Nous remarquons un gain de sécurité de l'ordre de 50% avec un F_s égal à 1.48, lors d'une situation statique.

Si en prend en considération le cas séismique (cas dynamique) on prend dans nos calculs de stabilité une accélération de :

$$K_h = 0,5 (0,2) = 0,1$$

$$K_v = 0.3 K_h = 0.03$$

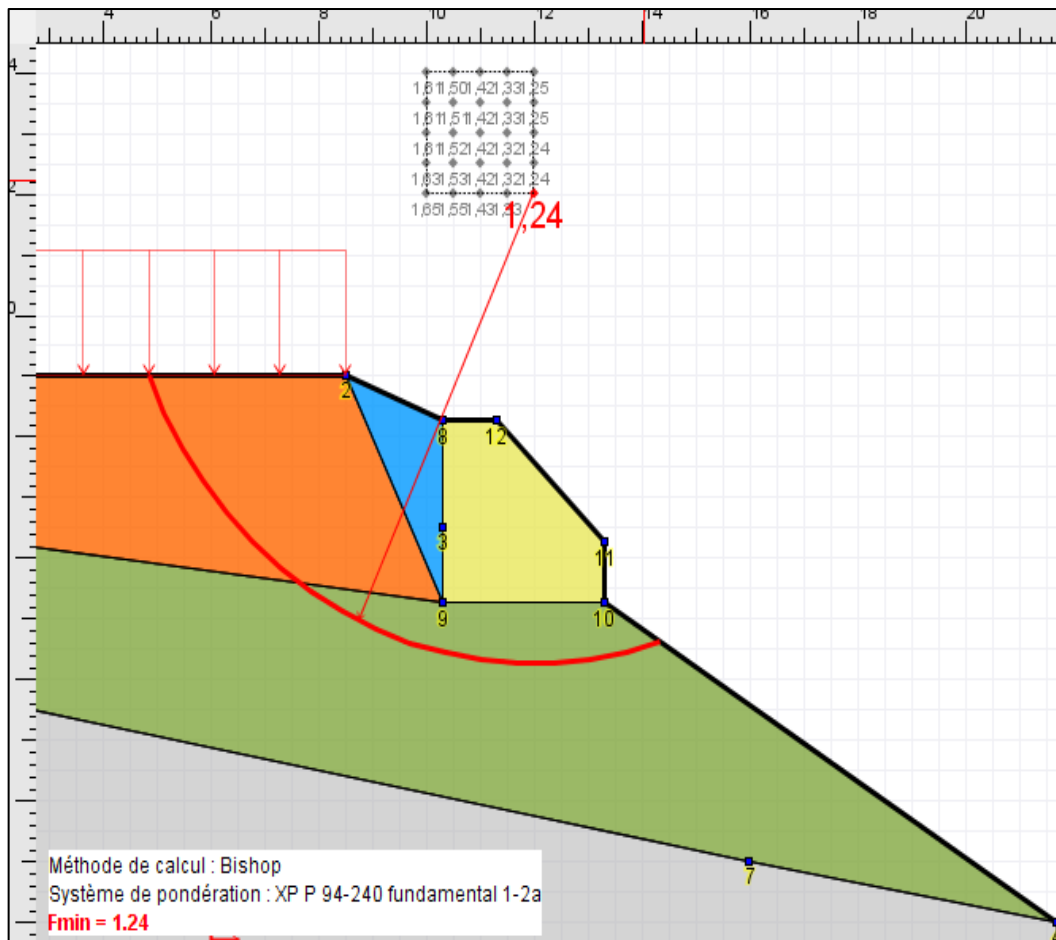


Figure V.3. Modélisation de l'état du talus après confortement en prenant compte du séisme

Nous remarquons un gain de sécurité de l'ordre de 25% avec un F_s égale à 1.24, lors d'une situation accidentelle. Donc la chaussée sera stable.

➤ Modélisation et vérification de la stabilité du PK 23+00

Lors de la vérification de la stabilité du PK 23+00 nous avons effectué une modélisation numérique pour calculer le facteur de sécurité par plusieurs méthodes, le tableau ci-dessous montre les différents résultats du facteur de sécurité obtenus par les trois méthodes.

Tableau V.18. Valeurs du facteur de sécurité du talus (PK 23+00)

Méthode de calcul	F_s
Méthode de Félinus	0.61
Méthode de Bishop	0.64
Méthode de perturbation	0.64

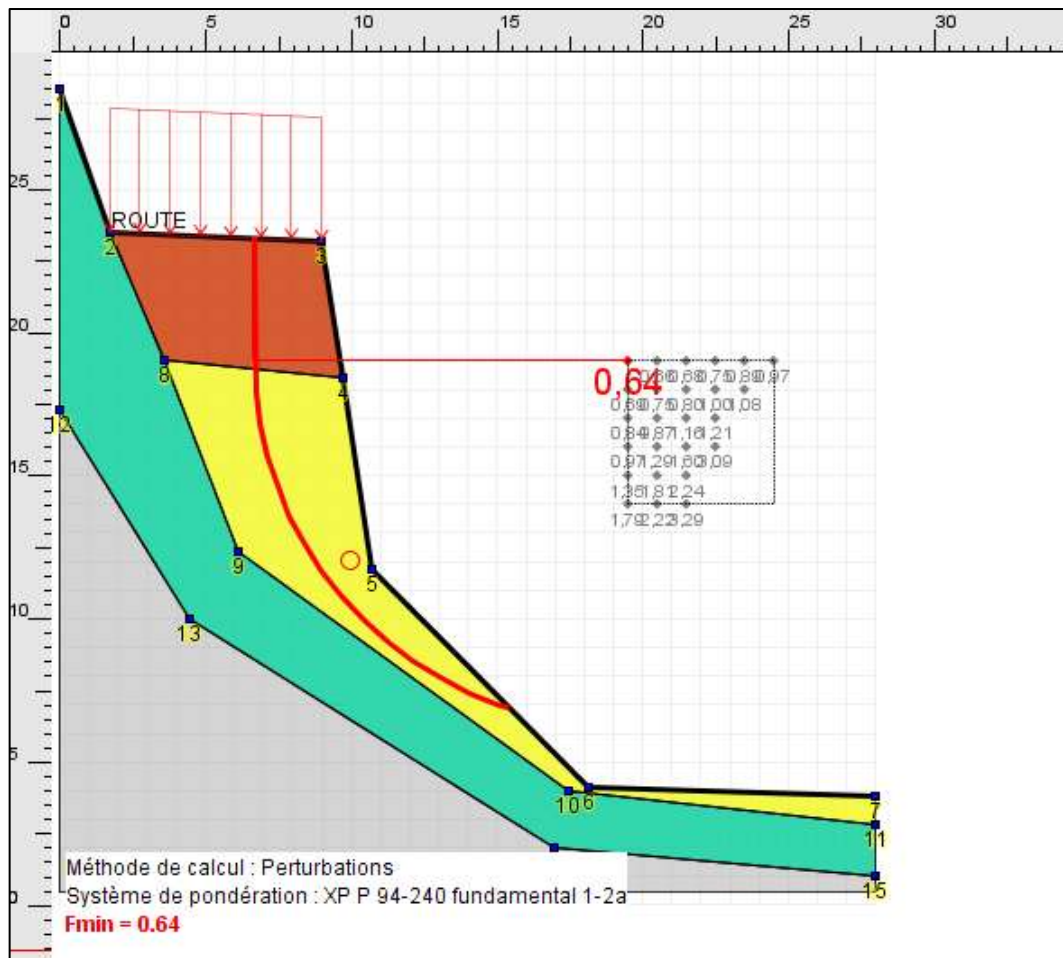


Figure V.4. Modélisation de l'état du talus à l'état actuel

➤ **Interprétation**

La stabilité du talus est appréciée par rapport à un facteur de sécurité, nous remarquons que $F_s < 1.00$, donc le talus est dans une situation d'instabilité et nécessite un confortement.

➤ **Solution de confortement**

Après analyse de la stabilité du talus et avant de proposer n'importe quelle solution qui convienne à notre projet, il faut qu'on résoudre le problème des écoulements des eaux superficielles sur la chaussée :

- Refaire le réseau d'assainissement selon les normes actuelles (reconstruction des fossés bétonné,..)
- Le bitumage de la chaussée doit être parfait afin d'éviter l'infiltration d'eau.
- mise en œuvre du géo-composite le long du talus.

Pour le confortement de la chaussée nous avons préconisé des opérations qui éliminent et réduits les facteurs du glissement, et cela par :

- Réduisant la hauteur de talus en récupérant l'ancien ligne rouge de la chaussée.
- Eliminant l'érosion du pied de talus en réalisant une butée en enrochement coté aval.
- Adoucissant la pente du talus est reconstitution du talus coté aval par des matériaux sélectionnés.
- Confortement du corps de chaussée par une rangée de gabion.
- Lors des travaux de déblais, et si on juge que le talus coté amont est instable, nous préconisons de réaliser un mur de soutènement en béton armé.

• Caractéristiques des matériaux

- Les blocs de roches de 3T à 9T pour une butée en pied de talus pour réduire l'action maritime, équivalent à un diamètre de 1000mm à 2500mm.
- Les blocs rocheux de 1T à 3T pour construire le talus équivalent à un diamètre de 800mm à 1000mm.
- Les blocs rocheux de 2Kg à 1T pour construire le talus équivalent à un diamètre de 300mm à 800mm.

La figure ci-dessous présente la modélisation du confortement du glissement PK 23+00.

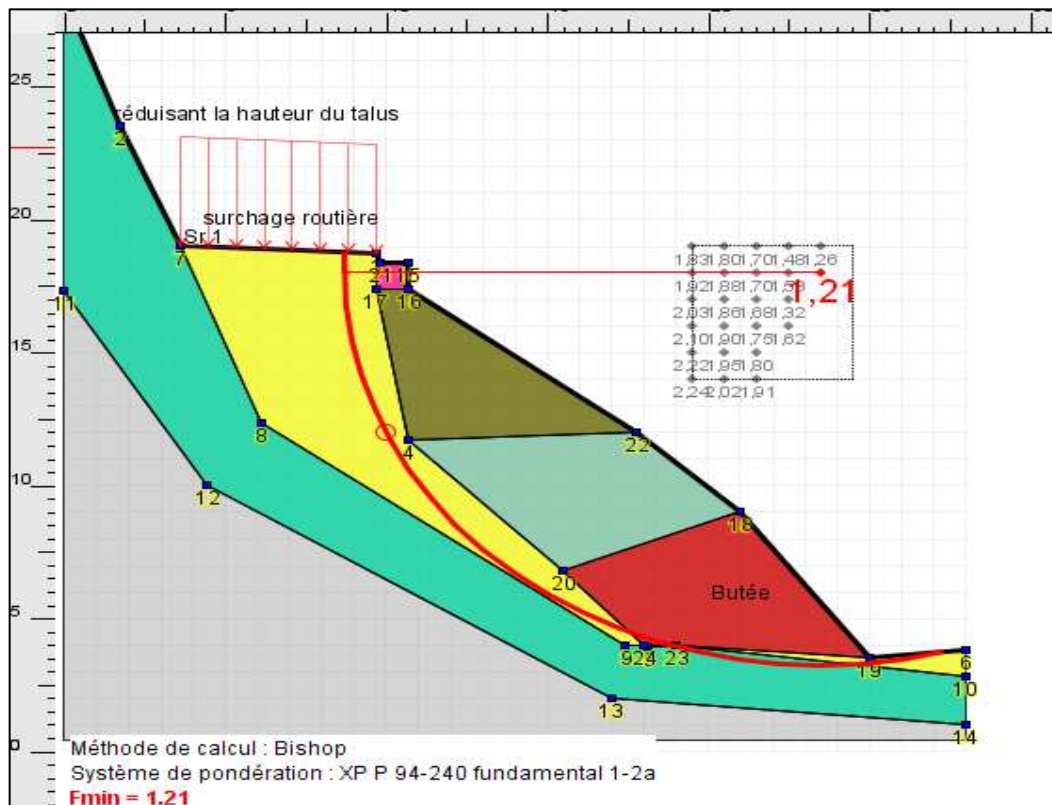


Figure V.5. Modélisation de l'état du talus après confortement

Nous remarquons un gain de sécurité important ou les forces de résistance sont supérieures aux forces motrices, donc la chaussée sera stable.

➤ **Modélisation et vérification de la stabilité des PK 38+250, PK 18+200, PK 15+900 et PK 12+50 par le logiciel Geo-Slop**

- **PK 38+250**

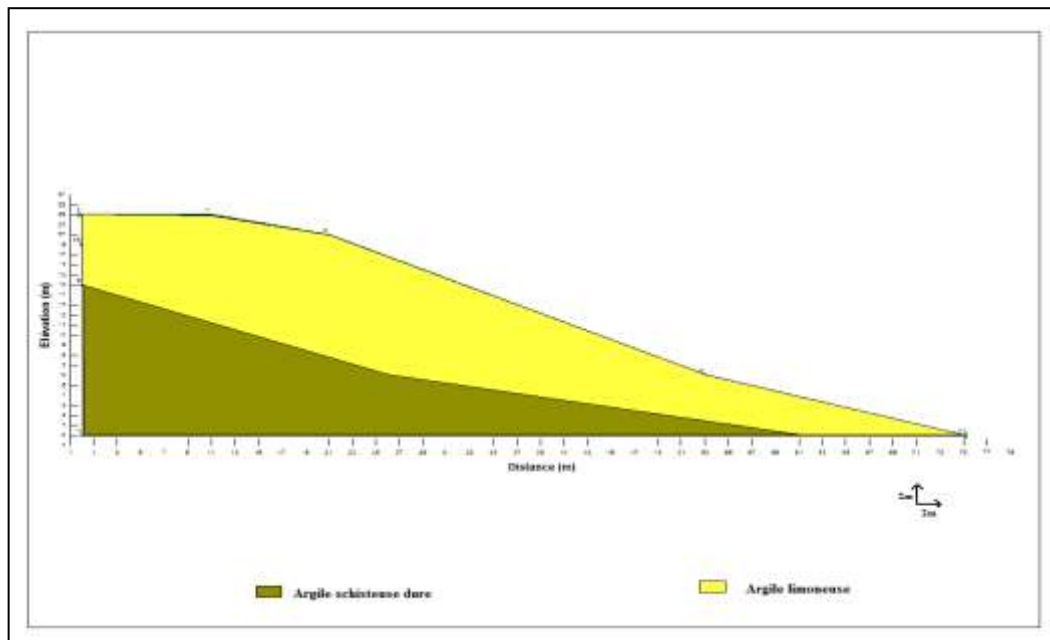


Figure V.6. Géométrie du profil utilisé dans l'étude de stabilité du PK 38+250

- **PK 18+200**

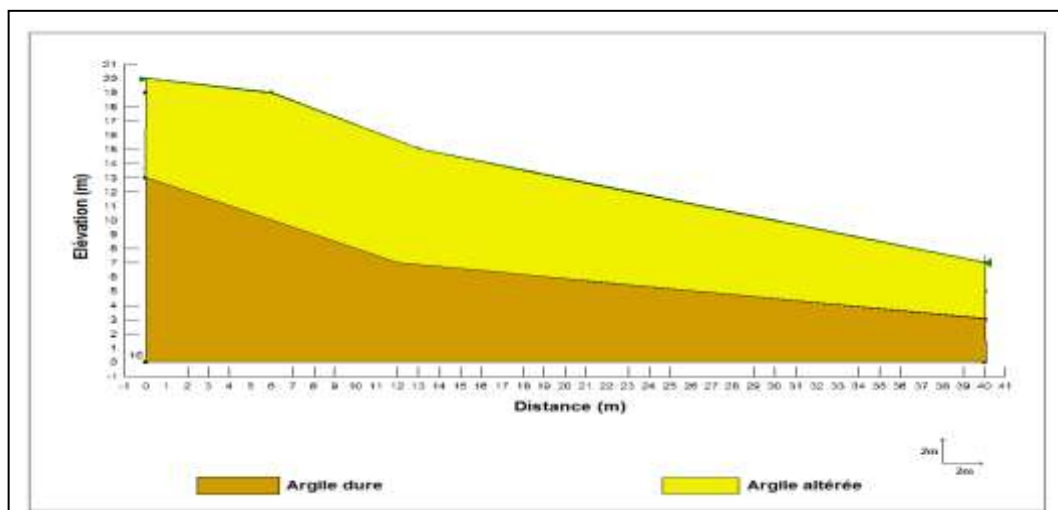
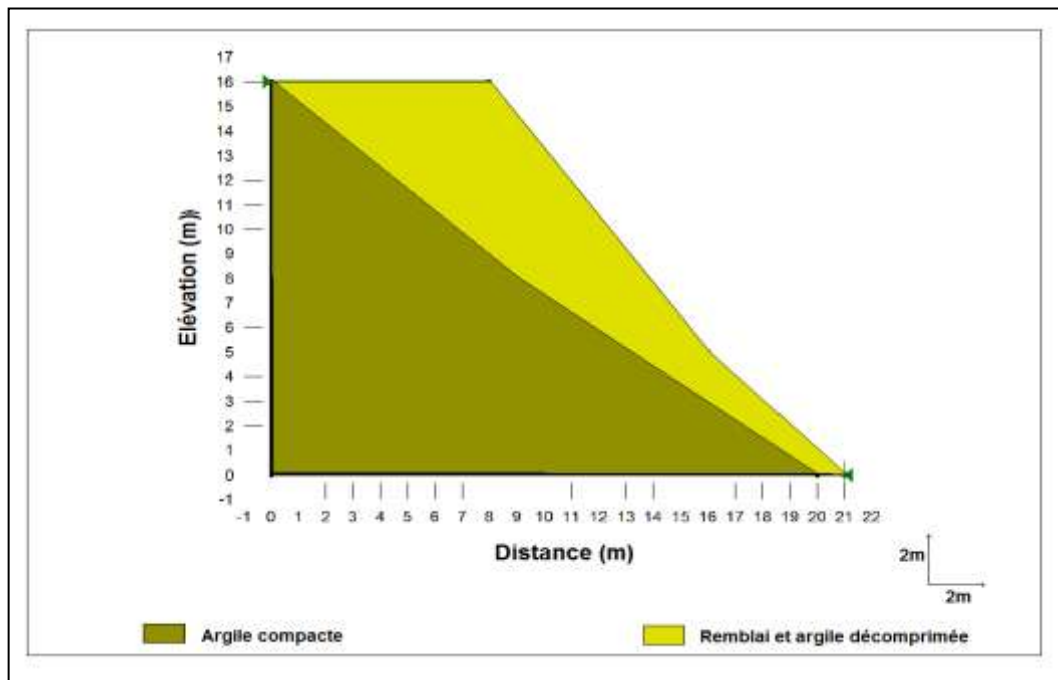
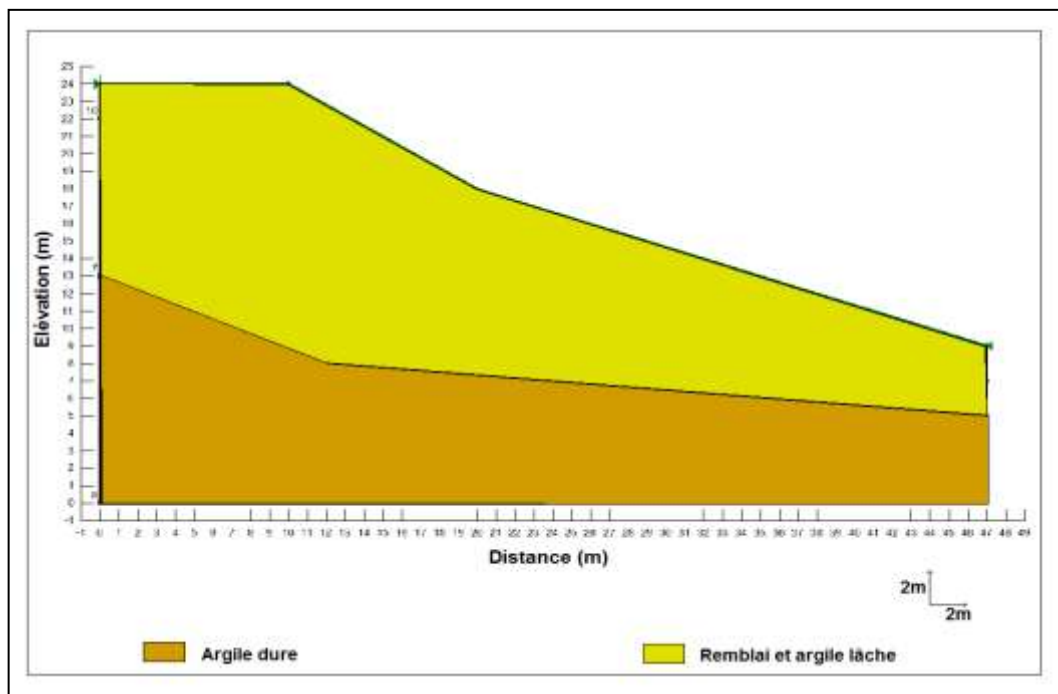


Figure V.7. Géométrie du profil utilisé dans l'étude de stabilité du PK 18+200

- PK 15+900



- PK 12+50



Les valeurs des coefficients de sécurité des talus au niveaux des PK 38+250, 18+200, 15+900, 12+50 calculée par les méthodes précédentes sont représentées dans les tableaux V.19, V.20, V.21 et V.22.

- **PK 38+250**

Tableau V.19. Valeurs du coefficient de sécurité du talus au niveau du PK 38+250

Méthodes de calcul	Fs
Ordinary	1.143
Bishop	1.244
Janbu	1.151

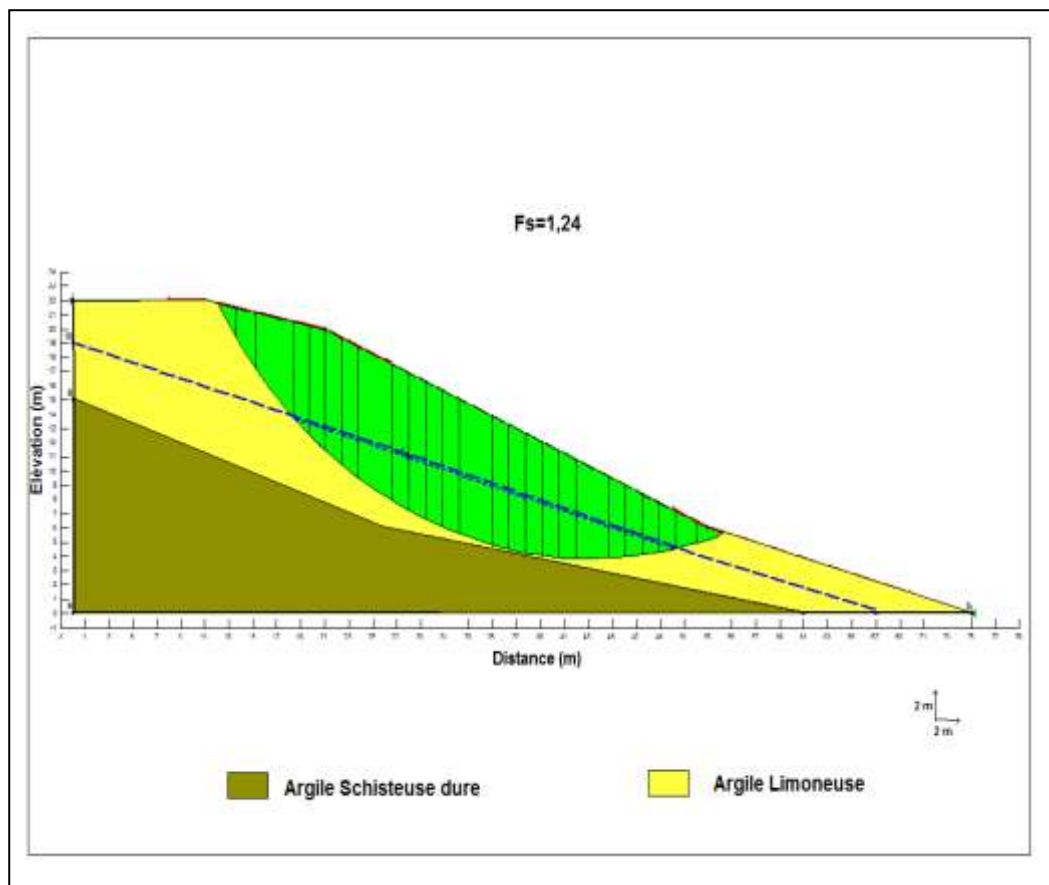
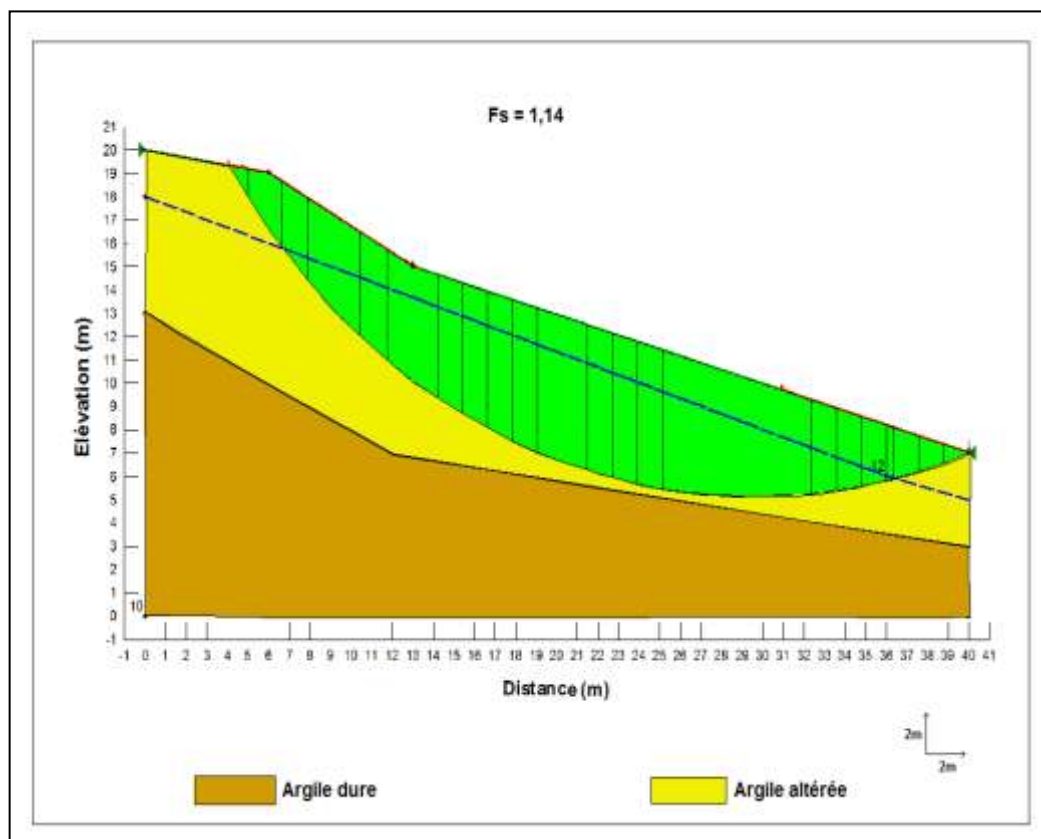


Figure V.10. Etat du talus (PK 38+250) en présence de nappe

- **PK 18+200**

Tableau V.20. Valeurs du coefficient de sécurité du talus au niveau du PK 18+200

Méthodes de calcul	Fs
Ordinary	1.113
Bishop	1.142
Janbu	1.039

**Figure V.11.** Etat du talus (PK 18+200) en présence de nappe

- PK 15+900

Tableau V.21. Valeurs du coefficient de sécurité du talus au niveau du PK 15+900

Méthodes de calcul	Fs
Ordinary	1.344
Bishop	1.367
Janbu	1.333

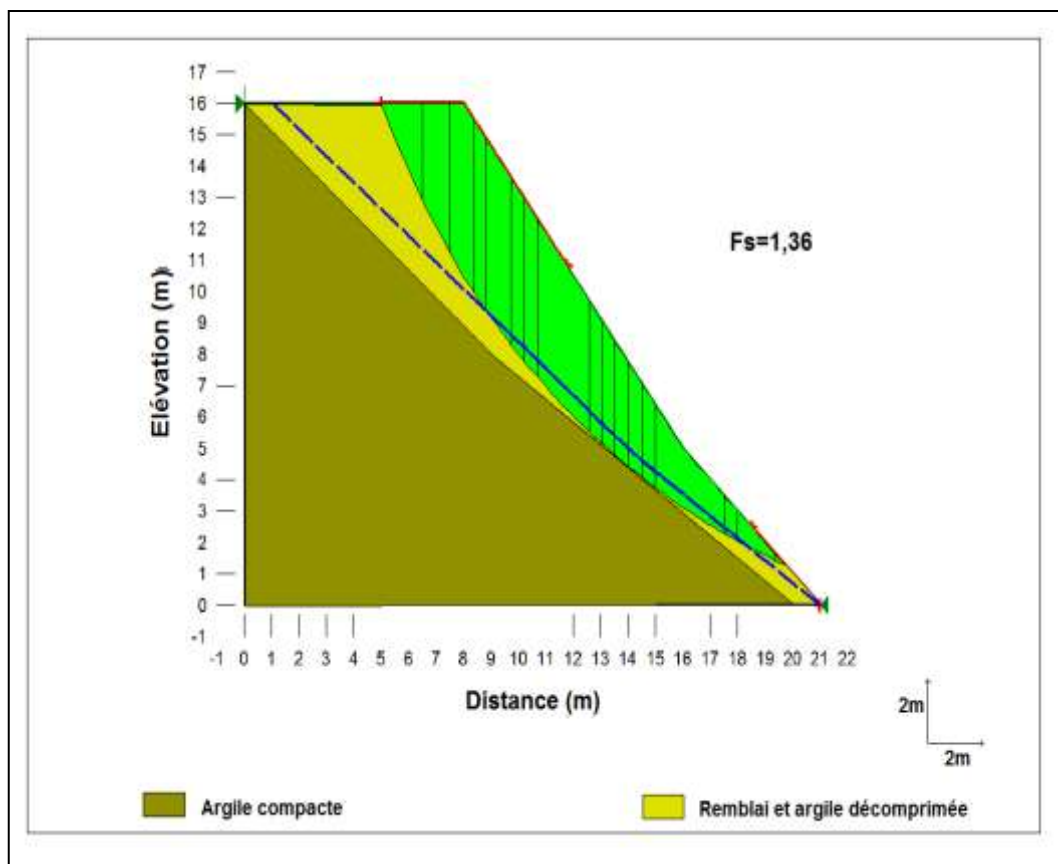


Figure V.12. Etat du talus (PK 15+900) en présence de nappe

- **PK 12+50**

Tableau V.22. Valeurs du coefficient de sécurité du talus au niveau du PK 12+50

Méthodes de calcul	Fs
Ordinary	0.695
Bishop	0.777
Janbu	0.709

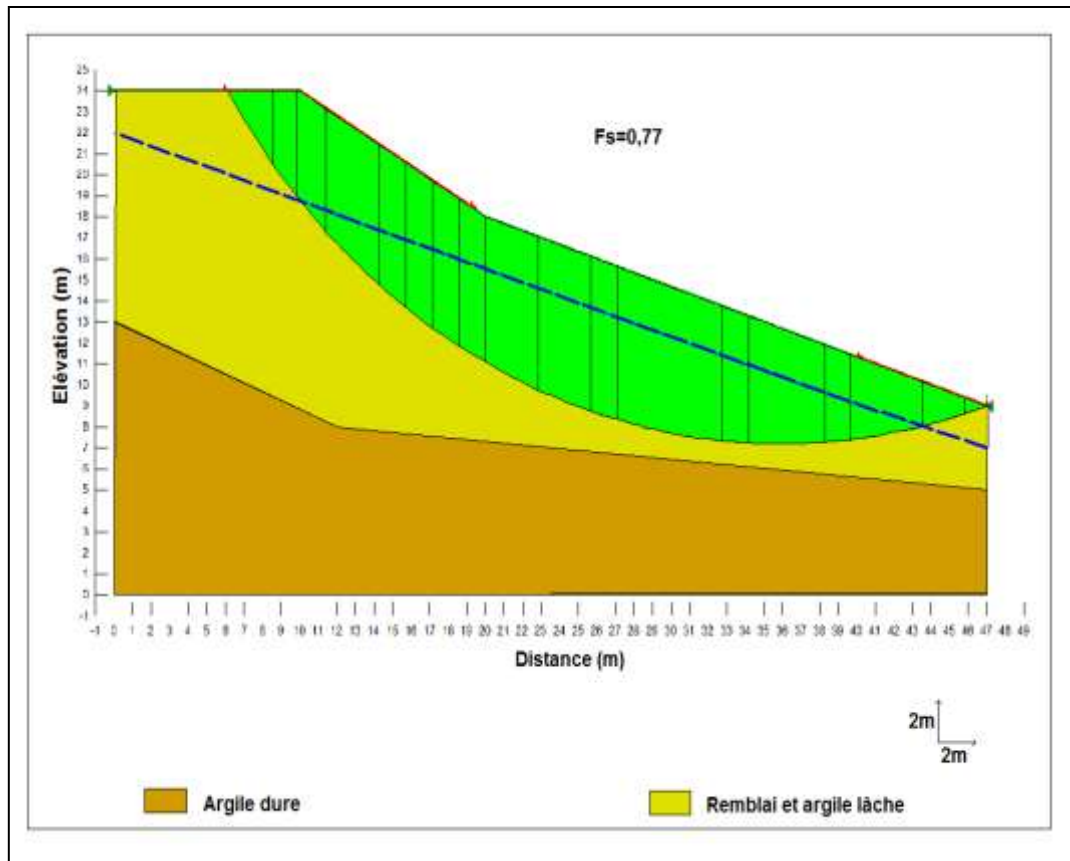


Figure V.13. Etat du talus (PK12+50) en présence de nappe

➤ Interprétation

La stabilité du talus est appréciée par rapport à un facteur de sécurité, nous constatant que les talus au niveau des PK 38+250, 18+200, 15+900, 12+50 sont dans un état d'instabilité dont un $F_s < 1.50$, donc on doit envisager des moyen de confortement pour les talus sus-indiqué.

➤ Solution de confortement

L'utilisation du logiciel Geo-Slop dans la modélisation de la stabilité des talus après confortement au niveau des PK 38+250, 18+200, 15+900, 12+50, ne nous a pas permis d'obtenir les résultats souhaités car on n'a pas la version officiel du logiciel pour avoir accès à toutes les fonctionnalités. Donc on s'est appuyés sur les résultats fournis par le CTTP, les figures qui schématise l'état des talus sus-indiqué avant et après confortement sont regrouper dans la liste des annexes.

Le tableau ci-dessous comporte les valeurs du facteur de sécurité des talus calculés dans l'état avant et après confortement.

Tableau V.23. Tableau récapitulatif des résultats de calcul du facteur de sécurité
D'après le (CTTP) par le logiciel TALREN 4

Points d'instabilité	Moyens de confortement (Variantes)	Fs avant confortement	Fs après confortement	
			Sans séisme	Avec séisme
PK38+250	Drainage Drain collecteur, derrière le voile en BA et le gabion. Drains subhorizontaux : L=15m, espacement horizontal De 3m Caniveaux en tête, sur les banquettes et en pied des talus Pieux Diamètre D =1.2m, L=13m, espacement entre axe = 1.5m Résistance à l'effort tranchant maximal de 1000kn/ml Reprofilage en aval	0.662	1.162	1.130
PK 18+200	Renforcement par Géotextile Drainage Reprofilage	0.77	1.29	1.27
PK 15+900	Drainage Drain collecteur, derrière le voile. Drains subhorizontaux : L=10m, espacement horizontal De 3m Caniveaux en tête, sur les banquettes et en pied des talus Pieux Diamètre D =1.0m, L=13m, espacement entre axe = 2m Résistance à l'effort tranchant maximal de 900kn/ml	1	1.60	1.28
PK 12+50	Renforcement par Géotextile Drainage Reprofilage	0.87	1.14	1.07

V.4.Prévention des mouvements de terrain

➤ Prévion

-La connaissance du risque « mouvement de terrain » passe par le préalable incontournable qu'est la connaissance des évènements. Cette connaissance se capitalise de jour au jour à partir de témoignages oraux, d'analyse d'archives, d'enquêtes de terrain, d'études diverses réalisées dans le cadre de sinistres notamment.

-La réalisation de campagnes géotechniques précise l'ampleur du phénomène. La mise en place d'instruments de surveillance (inclinomètre, suivi topographique ...), associée à la détermination de seuils critiques, permet de suivre l'évolution du phénomène, de détecter une aggravation avec accélération des déplacements et de donner l'alerte si nécessaire.

- La prévision de l'occurrence d'un mouvement limite le nombre de victimes, en permettant d'évacuer les habitations menacées, ou de fermer les voies de communication vulnérables.

➤ Prévention

La prévention passe avant tout par la connaissance du phénomène créant le risque. La cartographie réglementaire par les Plans de Prévention des Risques naturels prévisibles (PPR) répond à cet objectif. Cette cartographie reste qualitative sauf dans les cas de risque potentiel et d'enjeux menacés importants.

Des études plus quantitatives sont menées pour déterminer les conditions géologiques, hydrogéologiques et géotechniques avec, si besoin, reconnaissances in situ (sondages, géophysiques...). On s'efforce ensuite de faire un pronostic sur l'extension dans l'espace et en l'occurrence dans le temps, par une surveillance et une auscultation du mouvement : mesures de pression d'eau, mesure des déplacements en surface et en profondeur.

➤ Protection

Il est possible de mettre en œuvre des solutions techniques afin de limiter le risque, à défaut de le supprimer. Les actions de protection sont diverses et varient d'un phénomène à l'autre, voici quelques exemples :

-Contre les éboulements et chutes de blocs : amarrage par câbles ou nappes de filets métalliques (Figure V.14), clouage des parois par des ancrages ou des tirants, confortement des parois par massif bétonné ou béton projeté, mise en place d'un écran de protection (merlon, digue pare-blocs, levée de terre) ou d'un filet pare-blocs associé à des systèmes de fixation à ressort et de boucles de freinage, purge des parois.

- Dans le cas des glissements de terrain, réalisation d'un système de drainage (tranchée drainante ...) pour limiter les infiltrations d'eau, murs soutènement en pied, pose d'enrochements et gabionnages (Figure V. 16)...etc.



Figure V.14. Grillage plaqué

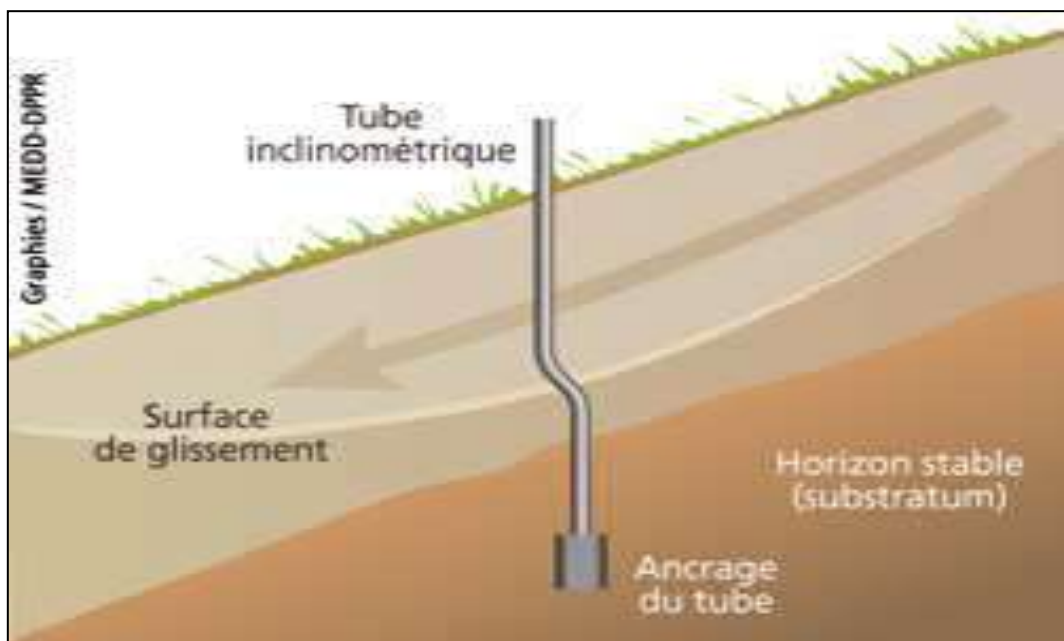


Figure V.15. Schéma explicative sur la mesure de la déformation en profondeur : inclinomètre



Figure V.16. Partie aval du talus stabilisé par gabionnage

Conclusion générale

L'évaluation des risques d'éboulement rocheux est très difficile du fait de la complexité des phénomènes naturels mis en jeu. Il est important que les responsables de la sécurité civile, ainsi que le public, soient conscient de cette difficulté et connaissent le type d'évaluation que les experts peuvent fournir, ainsi que la nature des études qui doivent être mises en œuvre. Il est également temps que les bureaux d'étude prennent bien en compte la spécificité de ce type d'évaluation.

Les glissements de terrains et les éboulements rocheux, qui sont une sous-catégorie des mouvements de terrain, constituent l'objet de ce travail. Ils représentent une source de danger, en particulier pour les infrastructures de transport (routes, chemins de fer) et les zones habitées ou touristiques (falaises côtières, zones montagneuses) où ils sont susceptibles de se produire.

Dans ce projet de fin d'étude nous avons tenté de faire un inventaire technique à travers la localisation et la caractérisation des principaux mouvements de terrain. Nous avons focalisé sur l'évaluation de l'aléa lié aux mouvements de terrain le long de la route nationale RN43 (Wilaya de Jijel), sur le tronçon reliant à El Aouana à Ziam Mansouriah, afin de décrire ces mouvement de terrain, analyser les causes probables et tenter par la suite de proposer des solutions techniques pour la réduction des risques éventuels de ces instabilités.

Dans les zones étudiées nous avons constaté que les mouvements de terrain sont divisés en deux grandes catégories à savoir, des glissements de terrain dans les parties des éboulis de pentes et des éboulements rocheux dans les parties dominées par les massifs rocheux.

A l'instar de cette étude nous pouvant conclure ce qui suit :

- La connaissance du risque « mouvement de terrain » passe par la connaissance des évènements. Cette connaissance se capitalise à partir de témoignages oraux, d'analyse d'archives, d'enquêtes terrain et des études antérieures.
- La réalisation de campagnes géotechniques complète pour préciser l'ampleur du phénomène. La mise en place d'instruments de surveillance (inclinomètre, suivi topographique, etc.), associée à la détermination de seuils critiques, permet de suivre l'évolution du phénomène, de détecter une aggravation avec accélération des déplacements et de donner l'alerte à temps si nécessaire.

Conclusion générale

- La prévision de l'occurrence d'un mouvement limite le nombre de victimes, en permettant d'évacuer les habitations éventuellement menacées, ou de fermer les voies de communication vulnérables.
- La prévention passe avant tout par la connaissance du phénomène créant le risque. La cartographie réglementaire par les Plans de Prévention des Risques naturels prévisibles (PPR) répond à cet objectif. Cette cartographie reste qualitative sauf dans les cas de risque potentiel et d'enjeux menacés importants.

Du point de vue mise en œuvre des solutions proposées pour les endroits qui enregistrent des glissements de terrain nous recommandons ce qui suit :

- Pour le confortement des corps de chaussées endommagés par les glissements de terrain nous avons proposé la réalisation d'une butée en gabions (de poids volumique moyen de 24 kN/m^3) côté aval en trois rangés sur une longueur équivalente à la longueur de chaque tronçon affecté. Nous recommandons d'utiliser des pierres de dimensions variant entre 1 et 1,5 fois la dimension de la maille du grillage.
Nous conseillons d'augmenter la quantité du grillage disposé verticalement et parallèlement à la droite d'action de l'effort de cisaillement (perpendiculaire au parement extérieur du gabionnage), cela conduit à poser les gabions avec le côté le plus long parallèle à la section du mur, cette disposition a pour effet de s'opposer plus efficacement à la déformation due au cisaillement.
- Ce type de solution simple et économique nous permet d'avoir un gain de sécurité vis-à-vis le glissement de l'ordre de 50 % avec un F_s égale à 1,48 dans le cas de situation statique et un gain de 25% avec un F_s égale à 1,24 lors d'une situation accidentelle (action sismique).
- Il est recommandé dans certains endroits (tel que le PK 23+00) de refaire le réseau d'assainissement selon les normes actuelles (reconstruction des fossés bétonnés, cunettes, etc.) ; réparer le bitume de la chaussée afin d'éviter l'infiltration des eaux sous le corps de chaussée et la mise en place d'un géo-composite dans les tronçons de remblais reconstitués.

Toutefois il est important de noter les difficultés qui freinent ce type d'investigation tel que :

- Les difficultés de visibilité dues à la végétation peuvent perturber les observations.
- les difficultés d'observation dues à la topographie difficile (difficulté d'accès à certains endroits).
- Les problèmes de repérage surtout dans les zones boisées, d'où la nécessité d'un plan de bonne qualité permettant un repérage à partir des détails morphologiques et topographique figurant sur le plan à l'aide de l'altimétrie, de la boussole, ou du GPS.

Conclusion générale

- Sur les sites d'extension importante, il est recommandé d'implanter des points permanents de repérage sur le versant étudié. Ces points seront reportés sur un plan ce qui facilitera les reconnaissances ultérieures.
- les marques des compartiments rocheux doivent être lisibles et durables jusqu'à la fin des investigations.

Dans le cas des éboulements et chutes de blocs : l'amarrage par câbles ou nappes de filets métalliques ; clouage des parois par des ancres ou des tirants ; confortement des parois par massif bétonné ou béton projeté ; mise en place d'un écran de protection (merlon, digue pare-blocs, levée de terre) ou d'un filet pare-blocs associé à des systèmes de fixation à ressort et de boucles de freinage ; purge des parois. Chaque endroit nécessite une solution spécifique selon que la masse est fortement ou faiblement fracturée et fonction de la masse rocheuse instable.

Références bibliographiques

ANTOINE, P. & FABRE, D. (1980) : Géologie appliquée au génie civil. ED. Masson. Paris, 291p.

AOUN, M. (2002) : Problèmes géologiques et géotechniques dans le bassin de Mila et leur impact sur les ouvrages d'art. Thèse magister. Univ. Tébessa, 156p.

BOUDY, P. (1952) : Guide du forestier en Afrique du nord. Ed. Maison Rustique. Paris, 505p.

BOUILLIN, J.P. ; Durand Delga, M. ; Gélard, J.P. ; Lejjine, M. ; Raoult, J.F. ; Raymond, D. ; Téfiiani, M. et Vila, J.M. (1970) : Définition d'un flysch massylien et d'un flysch maurétanien au sein de flyschs al Lahonder, J.C. (1979) : Datation des grés numidiens d'Algérie orientale, conséquences.

Illas, C. (2008) : Etude géologique et géotechnique du tunnel d'Oued Dar-El-Oued (Grottes Merveilleuses) Wilaya de Jijel. *Mém. magister, Univ.de Jijel*, 138p

COSTET, J. & SANGLERAT, G. (1983) : Cours pratique de mécanique des sols Tome 2 – Calcul des ouvrages. Ed. Dunod. Paris. 447p.

CTTP (2013) : Réparation chaussée sur RN 43 au niveau du PK 38+250, entre El Aouna-Ziama Mansouriah et la wilaya de Bejaia.

CTTP (2013) : Réparation chaussée sur RN 43 au niveau du PK 18+200, entre El Aouna-Ziama Mansouriah et la wilaya de Bejaia.

CTTP (2013) : Réparation chaussée sur RN 43 au niveau du PK 15+900, entre El Aouna-Ziama Mansouriah et la wilaya de Bejaia.

CTTP (2013) : Réparation chaussée sur RN 43 au niveau du PK 12+50, entre El Aouna-Ziama Mansouriah et la wilaya de Bejaia.

DELONCA, A. (2014) : les incertitudes lors de l'évaluation de l'aléa de départ des éboulements rocheux, thèse de doctorat, Université de LORRAINE, 25p.

DURAND DELGA, M. (1952) : Etude géologique de l'Ouest de la chaîne Numidique. Thèse d'Etat. Paris, Publ. Serv. Carte géol. Algérie, 24, 533p.

EHRMAN, M.F. (1925) : Résumé stratigraphique et tectonique sur la Kabylie des bords et les régions voisines. Bull. Serv. Carte Géol. Algérie. Trav. Réc. Coll., Fasc, I, pp. 121-191.

Romantchouk, I. (1974) : La gestion active des aquifères. Masson Paris, 421p.

GASTANY, G. (1982) : Principes et méthodes de l'hydrogéologie. Dunod, Paris. 236p.

GUILLARD, C. (2009) : Evaluation et cartographie du risque glissement de terrain d'une zone située au nord de Lisbonne. Mémoire de master. Ecole Nationale Supérieure des Mines. Paris. 9p.

LEIKINE, M. (1971) : Etude géologique des bords occidentaux (Algérie). Thèse sc.nat.

OBERT, D. (1981) : Etude géologique des bords orientaux (Domaine tellien, Algérie). Thèse de doctorat d'état en sciences naturelles. Université Pierre et Marie Curie. Paris.

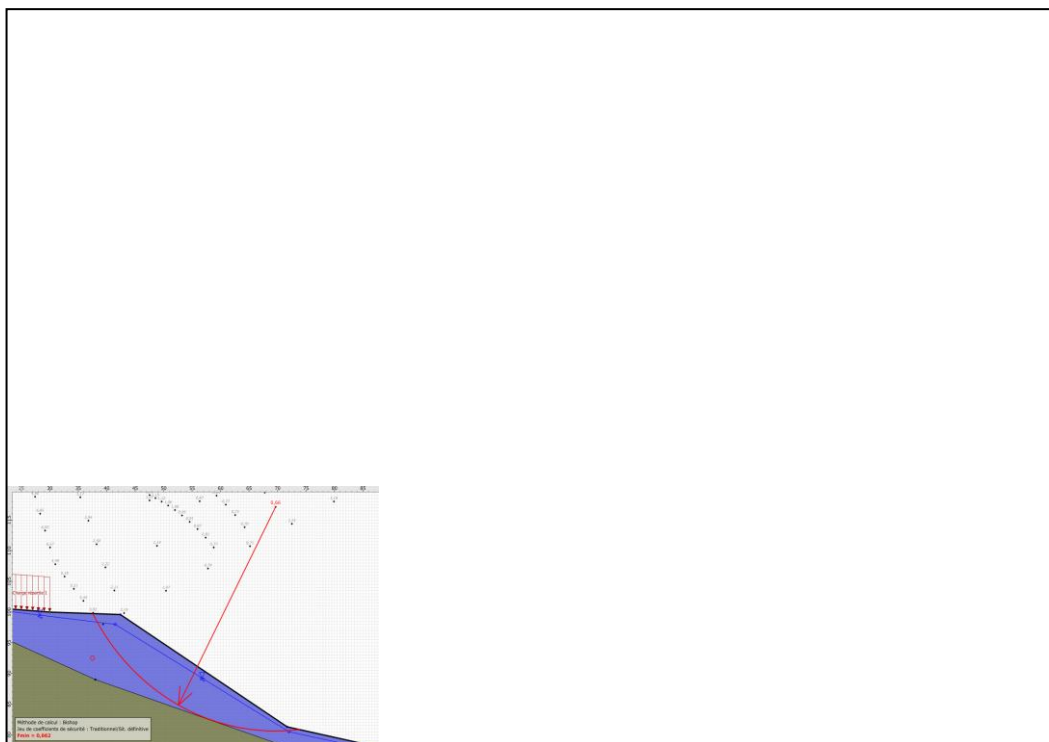
REMENIRAS, G. (1980) : l'hydrogéologie de l'ingénieur. Eyrolles, Paris. 456 p.

SAETI (2014) : Rapport géotechnique N°2, interprétation des essais géotechniques réalisés sur le PK 37+600.

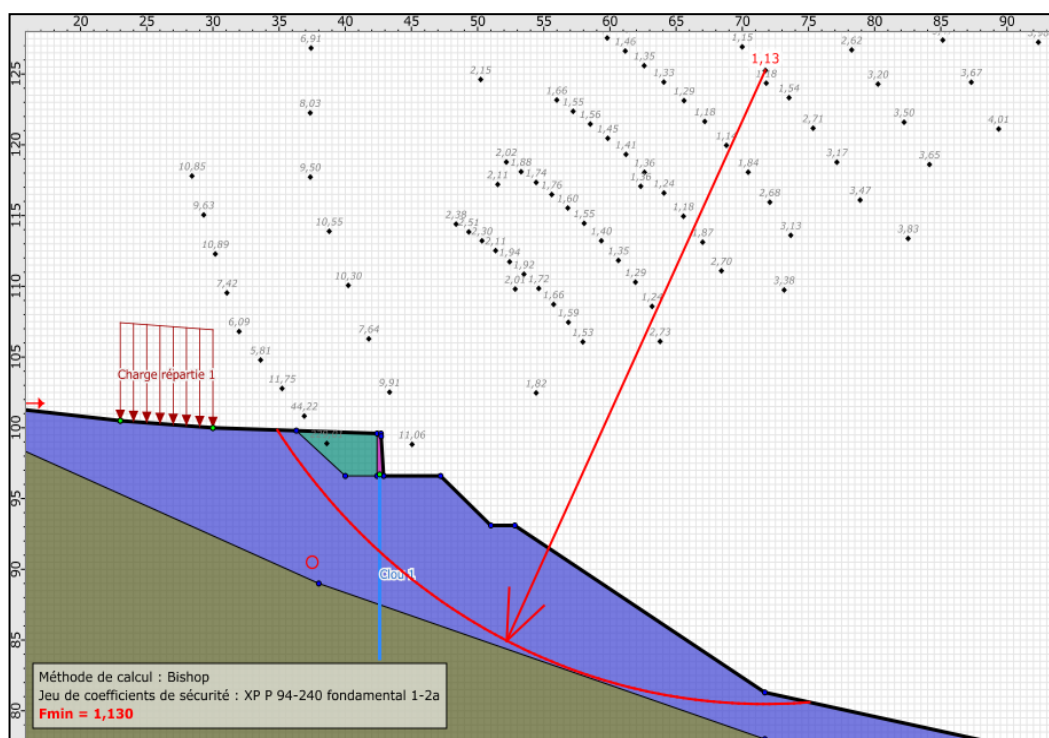
VILA, J.M. (1980) : la chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins Algéro-Tunisiens. Thèse sc.nat, 663p, 199fig, 40pl. Paris.

Résultats de calculs de stabilités par le logiciel Talren4 (d'après le CTPP)

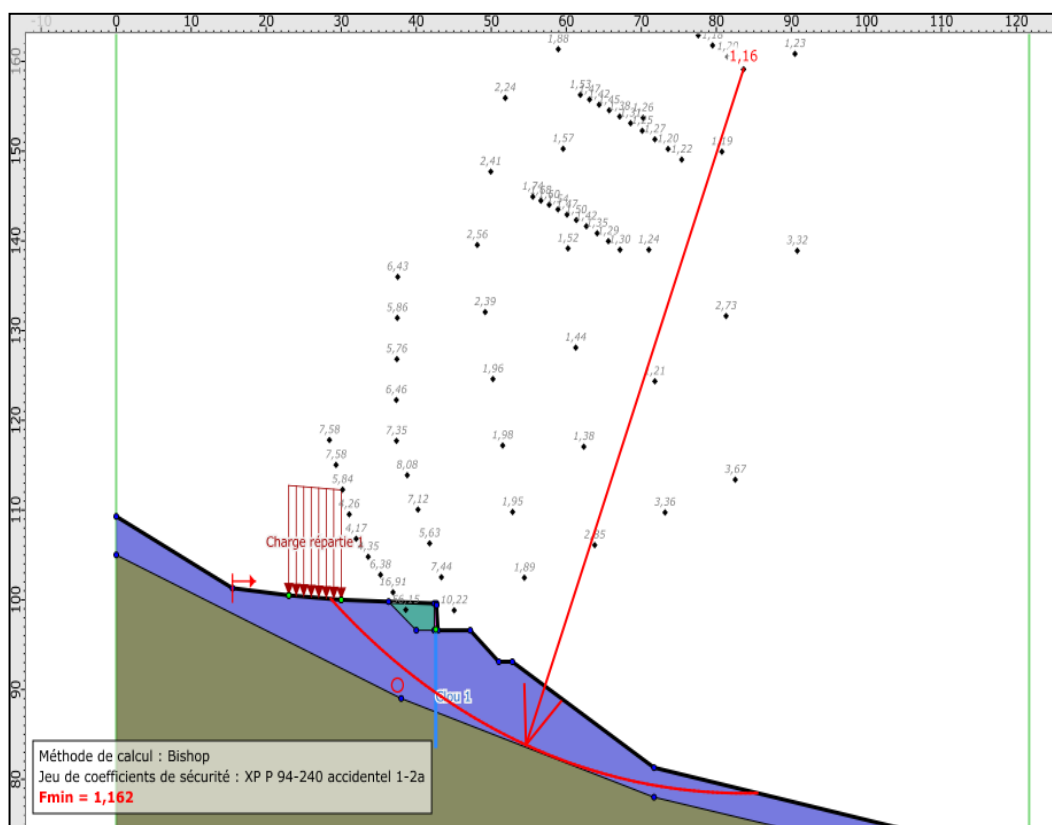
- PK 38+250



Annexe.1. Modélisation de l'état du talus avant confortement

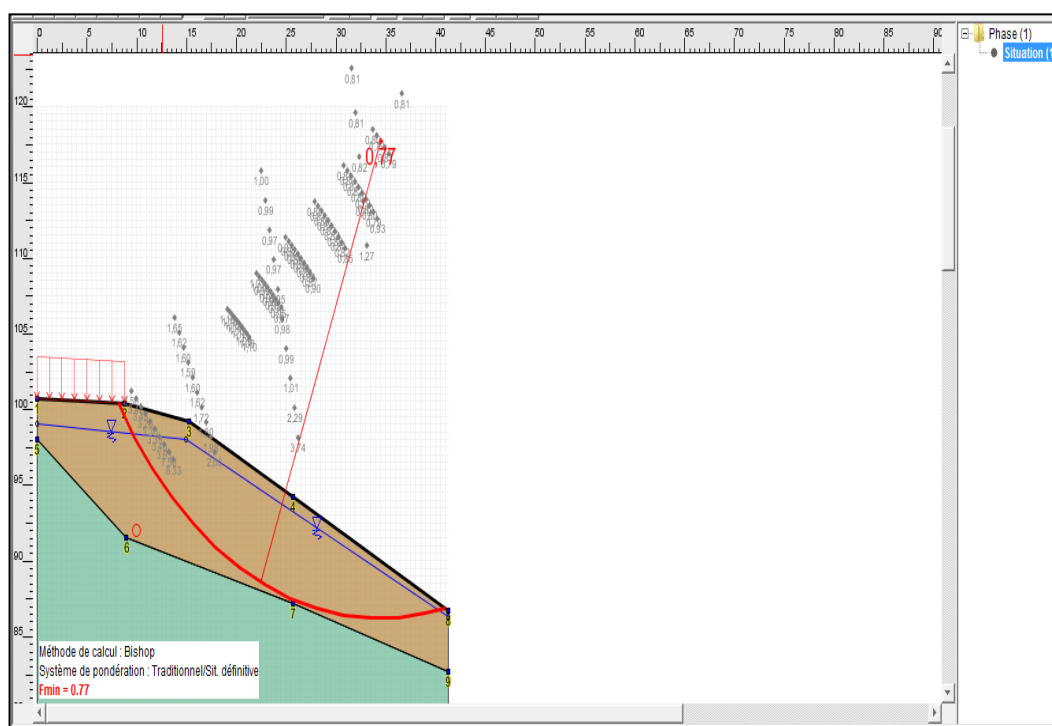


Annexe.2. Modélisation de l'état du talus après confortement (avec séisme)

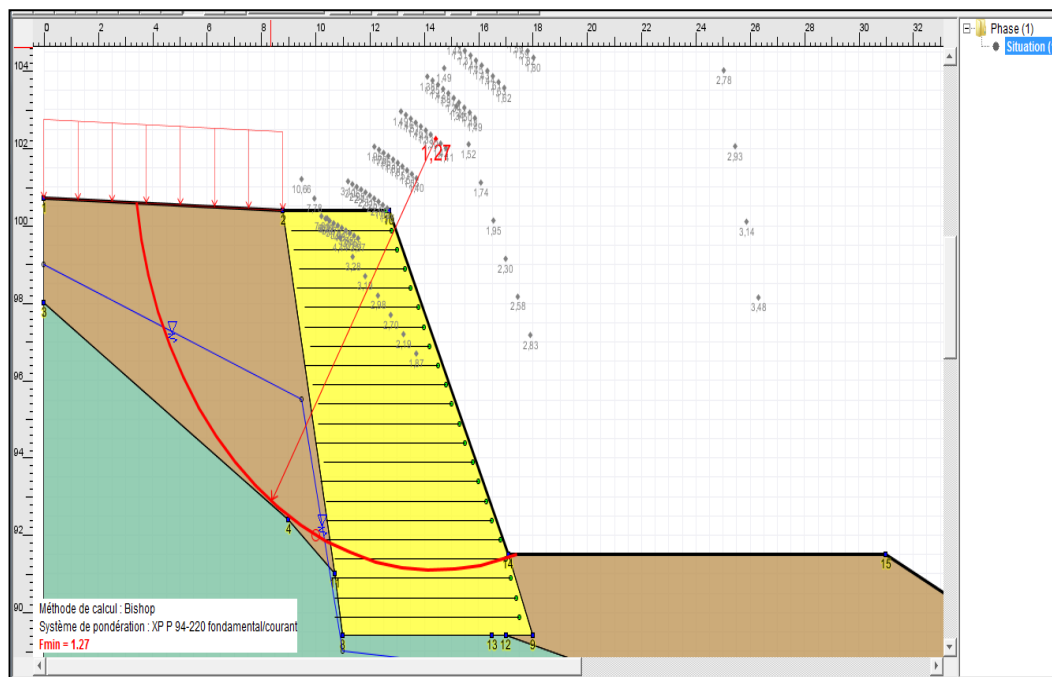


Annexe.3. Modélisation de l'état du talus après confortement (sans séisme)

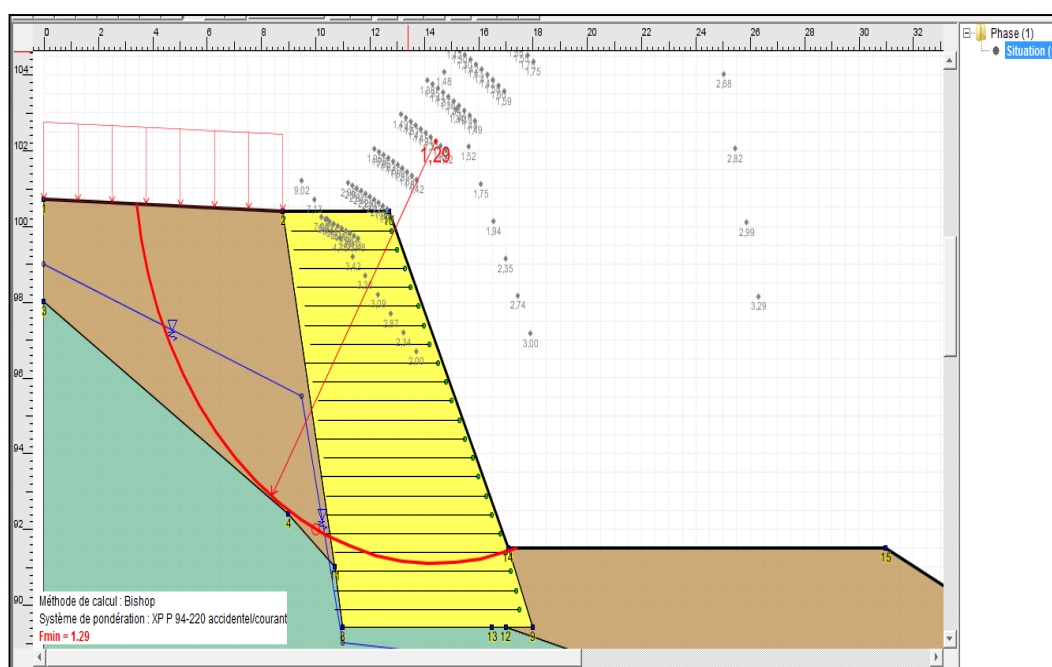
- PK 18+200**



Annexe.4. Modélisation de l'état du talus avant confortement

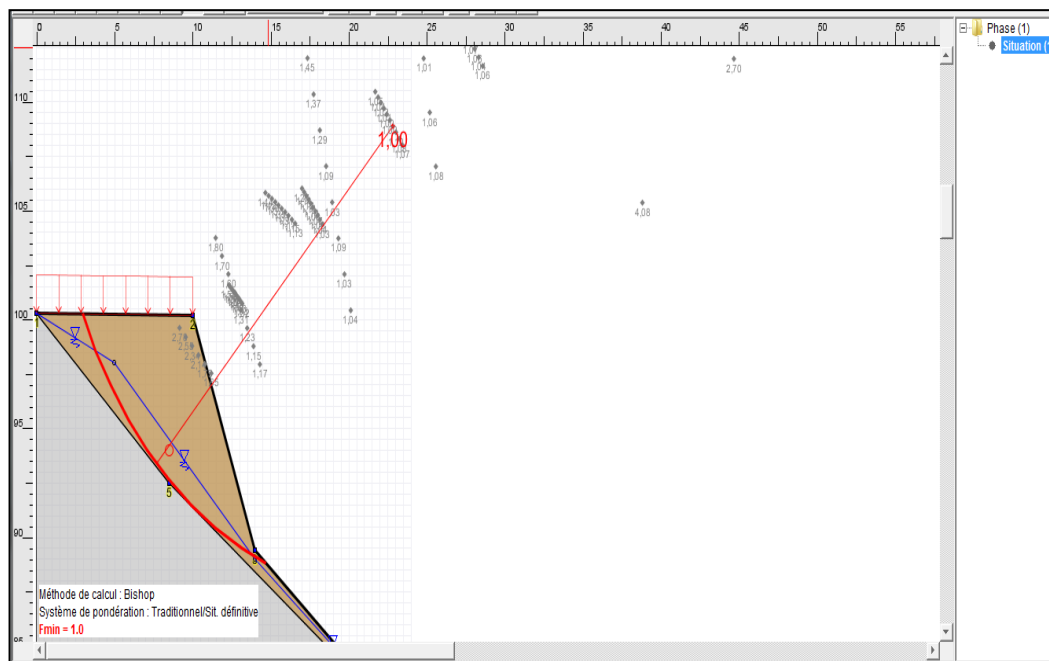


Annexe.5. Modélisation de l'état du talus après confortement (avec séisme)

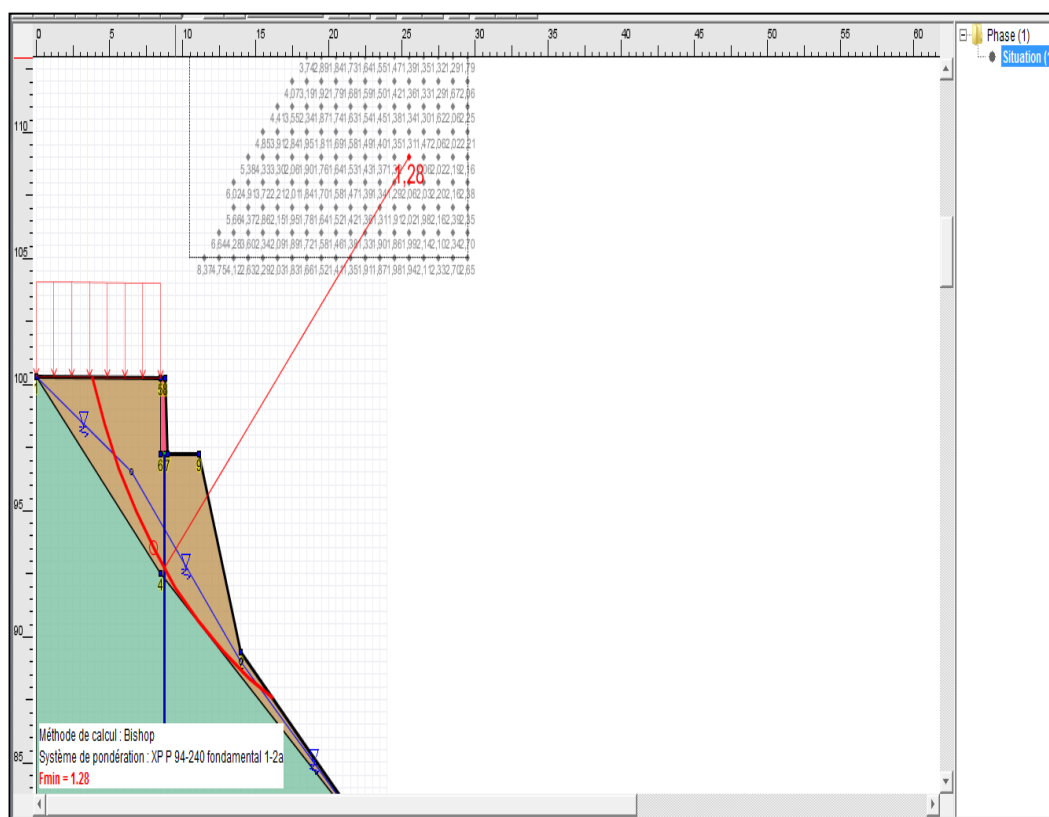


Annexe.6. Modélisation de l'état du talus après confortement (sans séisme)

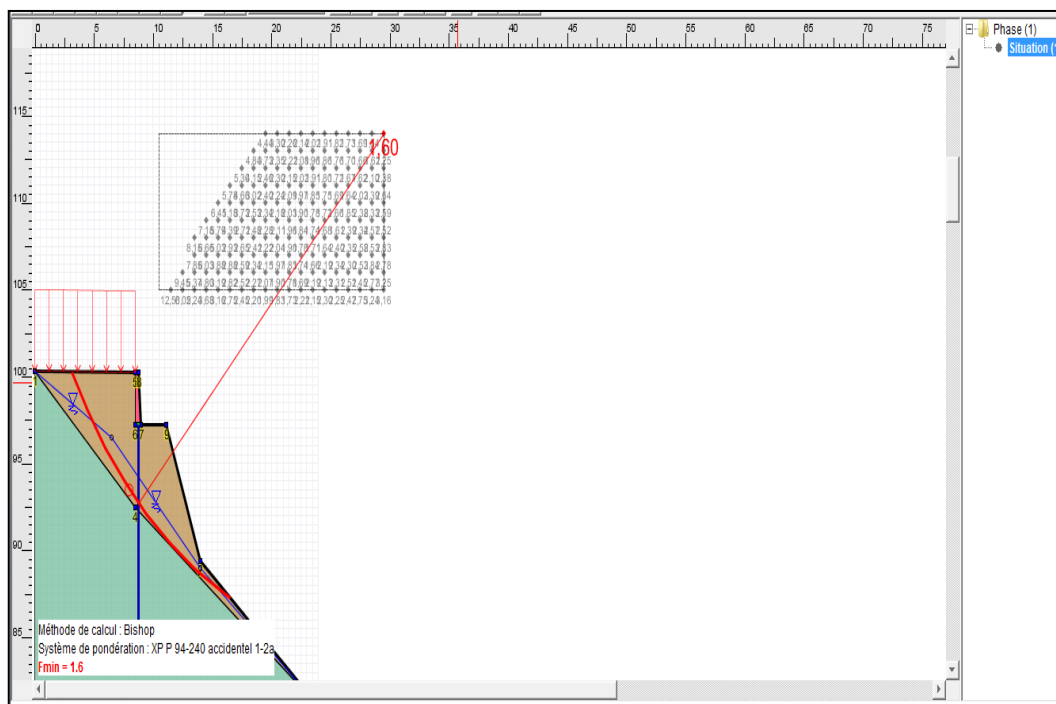
- PK 15+900



Annexe.7. Modélisation de l'état du talus avant confortement

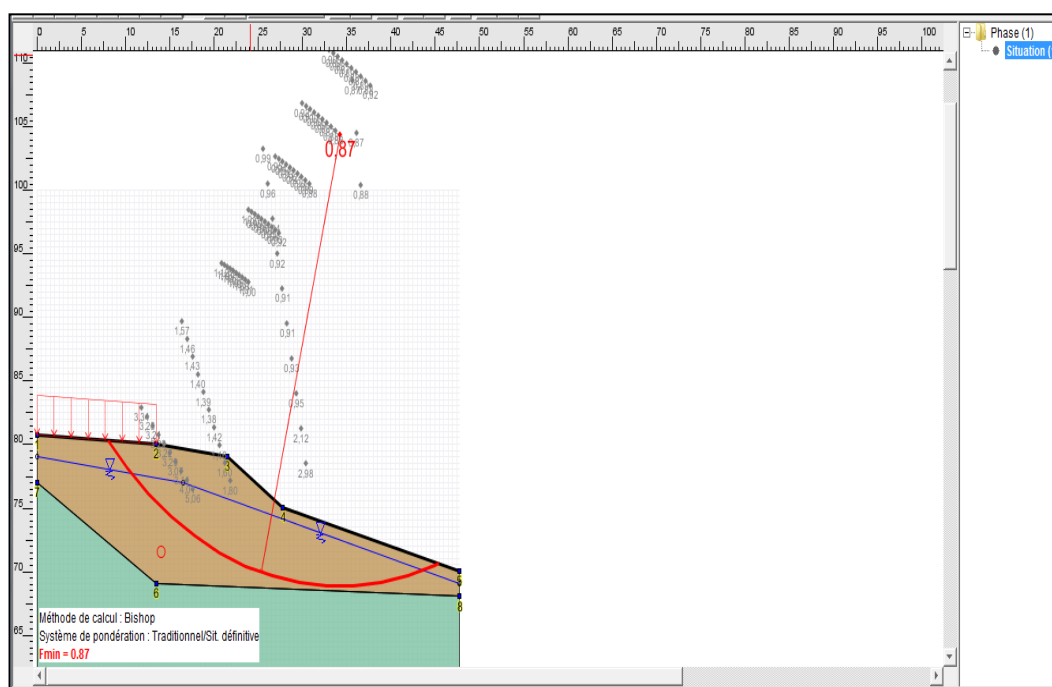


Annexe.8. Modélisation de l'état du talus après confortement (avec séisme)

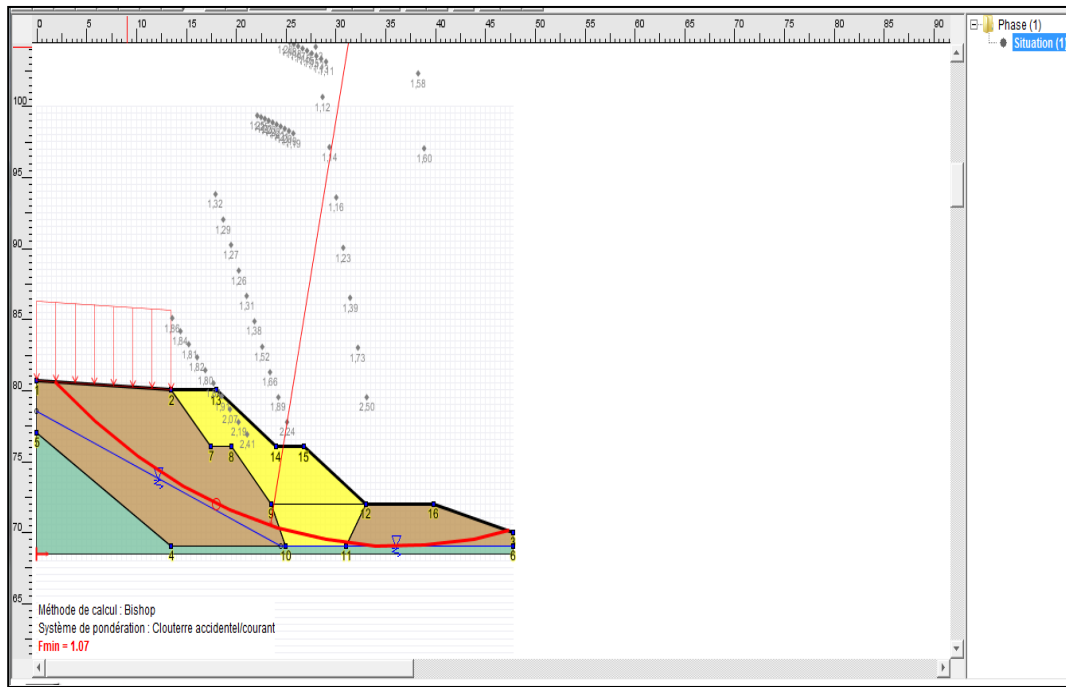


Annexe.9. Modélisation de l'état du talus après confortement (sans séisme)

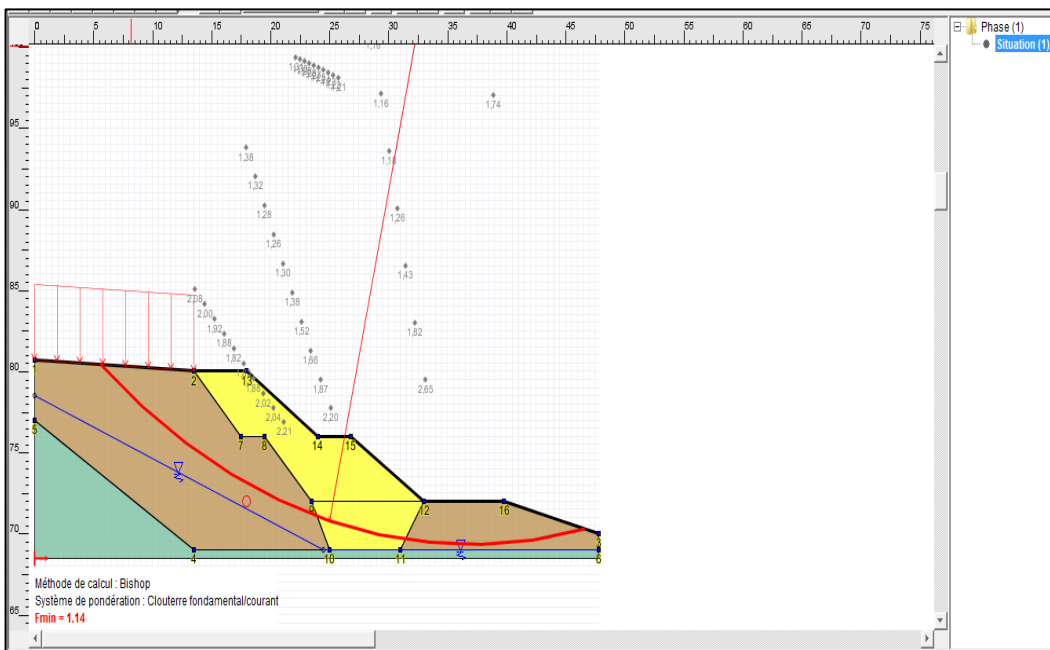
- **PK 12+50**



Annexe.10. Modélisation de l'état du talus avant confortement



Annexe.11. *Modélisation de l'état du talus après confortement (avec séisme)*



Annexe.12. *Modélisation de l'état du talus après confortement (sans séisme)*