



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



Université Djillali Bounaama de Khemis Miliana
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre
Département des Sciences de la Terre
Filière : Géologie
Spécialité : Géologie de l'Ingénieur et Géotechnique

Mémoire présenté pour l'obtention d'un diplôme de Master
En Géologie de l'Ingénieur et Géotechnique

Thème

**Cartographie de la susceptibilité au glissement
de terrain : Application sur la double voies
électrifiées du tronçon de Thénia-Bourj
Bouarreridj (du PK-107 au PK-130, Algérie)**

Réalisé par :

Mr. BOUFEDJELINE Nawel

Déposé le : 03/07/2022

Encadré par :

Dr. MEZIANI Brahim MCB Université Khemis-Miliana Promoteur

Dr. AISSA Mohamed Hamza MCB Université Khemis-Miliana Co-Promoteur

Expertisé/examiné à distance par :

Dr. SADEK BEN ABBES MCB Université Khemis-Miliana Président
Abdelkader

Dr. GADOURI Hamid MCA Université Khemis-Miliana Examineur

Année universitaire : 2021/2022

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, tout d'abord, nous rendons grâce à Dieu, le tout-puissant, qui nous a octroyé le courage et la force de mener à terme ce travail dans la santé.

*Je voudrais adresser toute ma reconnaissance à mon encadreur **Dr. MEZIANI Brahim**, enseignant chercheur à l'Université de Khemis-Miliana qui m'a fait l'honneur d'être mon encadrant, merci pour sa disponibilité, son écoute et son aide...,
Merci sincèrement d'avoir accepté de diriger ce travail.*

*Je remercie mon Co-Promoteur **Dr. AISSA Mohamed Hamza** enseignant chercheur à l'Université de Khemis-Miliana pour tous ses conseils, et ses remarques.*

*Je remercie sincèrement **Mr. Sadeuk Ben Abbas Abdelkader**, Enseignant chercheur à l'Université de Khemis Miliana d'avoir accepté de présider le jury.*

*Je adresse également mon vif remerciement et les expressions de toute gratitude, à **Mr. Gadouri Hamid**, Enseignant chercheur à l'Université de Khemis Miliana d'avoir accepté d'examiner avec toute l'attention voulue le présent travail.*

*Je tenon à remercier vivement **Mr. SLATNIA** l'ingénieure géotechnicien à la société **ANESRIF de Rouiba, Alger**, pour leur collaboration dans la réalisation de la partie expérimentale.*

*Mention spéciale à chers mes parents que nul remerciement ne puisse exprimer mes sincères sentiments à ma sœur, et mes frères, et à ma copine **MECHAHEB Fatima** qui m'ont épaulé et motivé, pour ses encouragements pour élaboration de ce mémoire.*

Enfin, Je désire aussi remercier également à tous ceux et celle-ci m'ont soutien de près ou de loin d'accomplir ce travail.

ملخص

يمثل الخطر المرتبط بالانهيارات الأرضية إحدى الظواهر التي تشكل خطرا كبيرا على مدن البويرة وتصادف في منطقة جباحية ونواحيها. يحدد هذا البحث إجراء لتقييم ورسم خريطة القابلية للتأثر بالانهيارات الأرضية في جزء من المشروع الذي يمر عبر بلدية الأخضرية ، القادرية ، والجباحية في هذه الولاية. تتكون المنهجية المتبعة من إنتاج خرائط موضوعية للعوامل عن طريق استخدام نظام المعلومات الجغرافية GIS بواسطة برنامج Arc GI 10.8 الذي يسمح بتحديد مناطق الانهيار الأرضي. يتم بعد ذلك دمج هذه الخرائط لإنتاج خريطة لمخاطر الانهيارات الأرضية، والتي تستخدم كأداة مهمة لتهيئة الإقليم استخدام الأراضي وتحديد المناطق الأكثر تعرضا للانهيارات الأرضية. وتظهر نتيجتنا أن هناك ثلاثة فئات متميزة للإصابة على طول جزء الدراسة 107 إلى 130 نقطة كم.

الكلمات المفتاحية : الانهيار الأرضي ، جباحية ، رسم الخرائط ، القابلية للتأثر ، نظام المعلومات الجغرافية ، برنامج Arc GI 10.8.

Abstract

The hazard linked to landslides, presents one of the phenomena which constitutes a great danger on the cities of Bouira and on everything in the region of Djebahia and its surroundings. This research specifies a procedure to assess and map the susceptibility related to landslides in a section of a project that passes through the municipalities of Lakhdari, Kadiria, and Djebahia in this wilaya. The methodology followed consists of the production of thematic maps of the factors by the use of a geographical information system GIS with software Arc GI 10.8 allowed the determinants of the landslide triggering zones. These maps are then combined to produce a landslide hazard map, which will be an important tool for land use planning and risk management to define and identify areas of landslide susceptibility. And our result shows that there are three distinct classes of susceptibility along the study section kilometer point 107 to 130.

Keywords: Landslide, Djebahia, Cartography, Susceptibility, Geographic Information System, Arc GI 10.8 software.

Résumé

L'aléa lié aux glissements de terrain, présente l'un des phénomènes qui constitue un grand danger sur les villes de Bouira et sur tout dans la région de Djebahia et ses environs. Cette recherche précise une procédure pour évaluer et cartographier la susceptibilité liée aux glissements de terrain dans un tronçon d'un projet qui passe sur les communes de Lakhdari, Kadiria, et Djebahia dans cette wilaya. La méthodologie suivie consiste en la production des cartes thématiques des facteurs par l'utilisation d'un système d'informations géographiques SIG avec logiciel Arc GI 10.8 permettant de déterminer les zones de déclenchement des glissements de terrain. Ces cartes sont par la suite combinées pour produire une carte d'aléa glissement de terrain, qui constituera un outil important pour l'aménagement du territoire et la gestion des risques permettant de définir et d'identifier les zones de susceptibilité aux glissements de terrain. Et notre résultat montre qu'il existe trois classes distinctes de la susceptibilité le long du tronçon d'étude point kilométrique 107 à 130.

Mots clés : Glissement, Djebahia, Cartographie, Susceptibilité, Système d'informations géographiques, Logiciel Arc GI 10.8

Table des matières

Remercîment.....	I
ملخص	II
Abstract.....	III
Résumé.....	IV
Table des matières.....	V
Liste des figures.....	VI
Liste des abréviations et symboles.....	VIII

Introduction Générale

1 Cadre général de l'étude.....	1
2 Objectifs de recherche.....	1
3 Plan de travail.....	2
Chapitre 1 : Généralités sur les mouvements de terrain	
1.1 Introduction.....	3
1.2 Les mouvements des terrains.....	3
1.3 Caractérisation des mouvements de terrains.....	4
1.4 Les Types des mouvements de terrains.....	4
1.4.1 Les glissements de terrains.....	5
1.4.2 Eroulement et chutes des pierres.....	8
1.4.3 Le fluage.....	9
1.4.4 La coulée boueuse.....	10
1.5 Calcul de stabilité.....	11
1.5.1 Notion de coefficient de sécurité.....	11
1.5.2 Méthodes de calcul de stabilité.....	12
1.6 Processus d'une étude de glissement.....	12
1.6.1 Repérage topographique de la zone instable.....	13
1.6.2 Etude géologique.....	13
1.6.3 Etude hydrologique et hydrogéologique.....	14
1.6.4 Etude géophysique.....	14
1.6.5 Etude géotechnique.....	14
1.7 Evaluation de glissement du terrain.....	16
1.7.1 Paramètres d'évaluation des glissements de terrain en fonction du type de phénomène.....	16
1.8 Conclusion.....	17

Chapitre 2 : Cartographie et système d'information géographique

2.1 Introduction.....	18
2.2 Définition de la cartographie.....	18
2.3 Classification des cartes.....	19
2.3.1 Selon le contenu.....	19
2.3.2 Selon l'usage.....	19

2.3.3	Selon l'échelle.....	19
2.4	Types des cartes.....	19
2.4.1	La carte thématique.....	19
2.4.2	Les cartes géologiques.....	20
2.4.3	Les cartes météorologiques.....	20
2.4.4	La carte topographique.....	20
2.5	Concept de base sur le risque lié aux mouvements de terrain....	20
2.5.1	La cartographie de la susceptibilité.....	20
2.5.2	La cartographie de l'aléa.....	21
2.6	Méthodes actuel d'analyse de l'aléa.....	21
2.6.1	Méthodes qualitative (ou directe).....	21
2.6.2	Méthodes quantitative (ou indirecte).....	21
2.7	Le système d'information géographique.....	24
2.7.1	Définition d'un système d'information géographique SIG.....	24
2.7.2	La structuration et les types des données dans un SIG.....	26
2.7.3	Les domaines d'utilisation des systèmes d'information géographique.....	27
2.7.4	Logiciel Arc GIS.....	29
2.8	Conclusion.....	30

Chapitre 3 : Présentation e la zone d'étude

3.1	Introduction.....	32
3.2	Définition du projet.....	32
3.3	Situation géographique de la wilaya de Bouira et la région d'étude.....	33
3.4	Contexte géologique.....	34
3.4.1	Géologie régional.....	34
3.4.2	Géologie local.....	35
3.5	Hydrogéologie et hydrologie.....	43
3.6	Aperçu tectonique.....	43
3.7	Paramètres climatologie.....	45
3.7.1	Pluviométrie.....	45
3.7.2	Température.....	46
3.8	Sismicité.....	47
3.8	Conclusion.....	48

Chapitre 4 : Cartographie de la susceptible au glissement de terrain à la zone d'étude tronçon PK 107 à PK 130

4.1	Introduction.....	50
4.2	Méthodologie.....	50
4.3	Présentation des paramètres et description de la méthode d'analyse de la susceptible.....	53
4.3.1	L'inventaire des glissements.....	53
4.3.2	Géologie.....	56
4.3.3	La pente.....	58

4.3.4 La géomorphologie.....	60
4.3.5 Hydrologie et hydrogéologie.....	62
4.4 La carte de la susceptible finale du glissement de terrain.....	65
4.5 Conclusion.....	67

Conclusions Générales, Recommandations et Perspectives

1 Conclusions générales.....	69
2 Recommandations.....	69
3 Perspectives.....	70
Références Bibliographiques.....	71

Liste des figures

Chapitre 1

Figure 1.1 Les quatre types des mouvements de terrains.....	4
Figure 1.2 Un glissement de terrain.....	5
Figure 1.3 Un glissement plans.....	6
Figure 1.4 Un glissement circulaire.....	6
Figure 1.5 Aspect de l'écroulement.....	9
Figure 1.6 Schéma de principe des chutes de blocs et d'écroulements.....	9
Figure 1.7 Aspect de fluage.....	10
Figure 1.8 Aspect de coulée boueuse.....	10

Chapitre 2

Figure 2.1 Les éléments constituant du noyau d'un SIG.....	25
Figure 2.2 Les composants principal d'un SIG.....	26
Figure 2.3 Structure d'un SIG.....	26
Figure 2.4 Structure de l'interface d'ArcMap en mode.....	29

Chapitre 3

Figure 3.1 Carte montrant la situation géographique de la wilaya de bouira.....	34
Figure 3.2 La carte géologique de la wilaya de Bouira et les trois commune de notre cas d'étude extrait de la carte géologique du Nord d'Algérie à 1/200 000.....	37
Figure 3.3 Affleurement de l'Albien au PK109+000.....	38
Figure 3.4 Affleurement de l'Albien moyen-sup indifférencié PK112+800.....	39
Figure 3.5 Affleurement du Vracono-Cénomano-Turonien des Bibans PK115+000.....	40
Figure 3.6 Affleurement du Turono-Coniacien au PK 115+500.....	40
Figure 3.7 Affleurement du Trias dolomitique et gypseux.....	41
Figure 3.8 Affleurement des formations du Sénonien du PK 118 au PK 141.....	42
Figure 3.9 Carte de reseau hydrographique de la zone d'étude extrait de la carte du réseau hydroclimatologique et de la surveillance de la qualité des eaux e = 1/500 000ème	43
Figure 3.10 Schéma représentatif des failles actives du centre de l'Atlas tellien.....	44
Figure 3.11 Variations des moyennes mensuelles des précipitations 2007-2020.....	46
Figure 3.12 Température moyenne maximale et minimal de Bouira.....	47
Figure 3.13 Classification sismique des Wilayas d'Algérie.....	48

Chapitre 4

Figure 4.1 Méthodologie d'analyse de l'aléa appliquée à l'étude.....	51
Figure 4.2 Carte d'inventaire des glissement de terrain au zone d'étude (Djebahia, Kadiria et	

Lakhdaria).....	54
Figure 4.3 Carte géologique de zone d'étude (Djebahia, Kadiria et Lakhdaria).....	57
Figure 4.4 Répartition spatial de pente de zone d'étude (Djebahia, Kadiria et Lakhdaria)...	59
Figure 4.5 Répartition spatiale de la pente assignée à leur côtes et poids.....	60
Figure 4.6 Relief vallonné au PK109+000 (ANESSRIF).....	60
Figure 4.7 Relief vallonné aux environs du PK127+000.....	61
Figure 4.8 Relief collinaire, boisé au PK135+000.....	62
Figure 4.9 Carte de réseau hydrographie de zone d'étude (Djebahia, Kadiria et Lakhdaria).....	63
Figure 4.10 La carte de la précipitation de zone d'étude (Djebahia, Kadiria et Lakhdaria).....	64
Figure 4.11 Carte susceptibilité du glissement de terrain à la zone d'étude.....	66

Liste des tableaux

Chapitre 1

Tableau 1.1 Les différentes définitions du coefficient de sécurité.....	11
Tableau 1.2 Les différentes valeurs de F_s acceptables.....	12

Chapitre 3

Tableau 3.1 Coefficients d'accélération en fonction du type d'ouvrage et la sismicité de la zone (RPA 99/version 2003).....	48
---	----

Chapitre 04

Tableau 4.1 Références spatiales des échantillons analysés (ANESSRIF, 2018).....	52
Tableau 4.2 Résultats des essais mécaniques (ANESSRIF, 2018).....	52
Tableau 4.3 Résultats des essais d'identification géotechnique (ANESSRIF, 2018).....	52
Tableau 4.4 Classification des potentiels aux glissements.....	54
Tableau 4.5 Classification des formations géologiques.....	57
Tableau 4.6 Classification des pentes (Topographie).....	59
Tableau 4.7 Les caractéristiques hydromorphométriques du bassin versant Isser (ANESRIF, 2018).....	62
Tableau 4.8 Classification spécifiques (Cotes, et poids) à la région d'étude pour le précipitation.....	65

Liste des abréviations et symboles

F : Le coefficient de sécurité

F_s : Facteur de sécurité

τ : Résistance au cisaillement

τ_{\max} : Résistance au cisaillement maximale mobilisable

ϕ : L'angle de frottement

C : La cohésion apparente

WL : Limite de liquidité

WP : Limite de plasticité

IP : Indice de plasticité

INTRODUCTION GÉNÉRALE

1 Cadre général de l'étude

La wilaya de Bouira est l'une des Wilaya du nord de l'Algérie exactement au Nord-est, qui caractérisée essentiellement par une nature géomorphologique montagneuse complexe due à des pentes raides et abruptes, des reliefs fortement accidentés et des terrains récentes plus sensibles à l'action climatiques et dynamiques qui provoque des mouvements qui affectent les talus et les versants, et constituent aussi l'un des risques naturels les plus réputés (**Slimi and Larue 2010**). Ses caractéristiques et avec la présence des formations meubles, fragiles, fracturées ou sensibles à la teneur en eau, rendent la zone de Bouira plus vulnérable aux glissements de terrain qui peuvent entraver leur développement et créer une anxiété socio-économique (**Keteb and Mechta 2019**). Généralement, les cas de désordre liés à cet aléa sont de plus en plus nombreux et leurs conséquences de plus en plus lourdes (**Guirous, 2017**). Les facteurs à l'origine de ces glissements sont principalement liés à la structure géologique, aux conditions hydroclimatologiques et même à la topographie de la région, ainsi qu'au facteur sismique. Mais leurs mécanismes d'évolution ne sont pas totalement connus, d'où il est difficile d'établir des prévisions fiables (**Aleotti and Chowdhury 1999 ; Meziani 2018**).

Cette Wilaya connaît plusieurs développements des différents projets des réseaux routiers, et comme un meilleur exemple le projet d'une nouvelle ligne ferroviaire à double voie qui relier les villes de Thénia (au Nord) avec les villes de Bourdj Bou Arreridj (au Sud) sur une longueur d'environ 162 Km avec une exploitation d'une nouvelle gare qui devra avoir un accordement à Béni-Mansour pour un trafic mixte (voyageurs-marchandises) (**ANESRIF, 2018**). Le tracé de cette ligne ferroviaire électrifiée est confronté à des plusieurs glissements de terrain. Notre étude est basée sur tronçon PK 107 a PK 130 (23 km), qui se trouve entre la wilaya de Bouira et la wilaya de Thénia passant par les localités de Lakhdaria, Kadiria, Aomar et Djebahia(**ANESRIF, 2017**).

2 Objectifs de recherche

Notre projet de fin d'études (PFE) consacrée sur la réalisation d'une cartographie géologique sur la susceptibilité de la région d'étude (tronçon PK 107 a PK 130) au glissement de terrain par l'utilisation des méthodes qualitative (ou directe) actuel qui se basent sur l'analyse géomorphologique, géologique, et cartographique d'aléa.

3 Plan de travail

Dans le cadre général de ce mémoire, nous présenterons une partie bibliographique comporte deux chapitres (1 et 2) et une partie pratique sur notre cas d'étude qui comporte aussi bien deux chapitres (3 et 4), qui sont comme suit :

- **Le premier chapitre** : contient des généralités sur les mouvements de terrain.
- **Le deuxième chapitre** : sont destinées à savoir brièvement les méthodes actuelles d'analyse de l'aléa les plus utilisées, les différents types de données nécessaires et l'outil informatique qui a représenté par les systèmes d'informations géographiques (SIG) avec des généralités sur logiciel Arc Gis.
- **Le troisième chapitre** : est consacré pour la présentation de la zone d'étude et sa caractéristiques (géologiques, climatologiques, tectoniques ... etc.) avec une simple description sur le projet d'étude.
- **Le quatrième chapitre** : est consacré pour la réalisation d'une cartographie géologique sur les zones instables sur le tronçon du cas d'étude (PK 107 à PK 130) par l'utilisation des méthodes qualitative directe.

Enfin, nous terminons notre travail par des conclusions générales, des recommandations et perspectives.

CHAPITRE 1:
GÉNÉRALITÉS SUR LES
MOUVEMENTS DE TERRAIN

1.1 Introduction

La terre est subie des déformations et des chargements de caractéristique suite à plusieurs phénomènes naturels (climatique ou géologique) ou bien anthropique (dus à l'action humaine) ainsi qu'au facteur sismique tels que les mouvements de terrain ; qui sont classés parmi les catastrophes (**Guirous 2017**) les plus spectaculaires et parfois les plus meurtrières dans le monde. Ce phénomènes naturel et manifeste en plusieurs forme comme : les chutes des blocs ; les écoulements des masses rocheuses ; les affaissements et effondrement, fauchage, les clouées boueuses des différents types des glissements terrain et tous les matériaux qui peuvent être mis en mouvement... etc. (**Khelil and Senad 2014 ; Chebira 2017**).

D'une façon générale, ce phénomène est comprennent une grand rupture et déplacement simultané des matériaux. Les mouvements de terrain se rencontrent et existe principalement dans les zones montagneuses (instabilité des versants et des falaises) même aussi dans les plateaux ou côte. Ils sont responsables a des dommages et des préjudices très importants et coûteux et parfois irréversibles (socio-économiques et humains) (**Aissa and Haddouche, 2011**).

Les mouvements de terrain se produisent dans toutes les régions du monde et sont des phénomènes géologiques qui évoluent dans le temps avec des mouvements lents, rapides ou catastrophiques (**Guirous 2017 ; Keteb and Mechta 2019**).

1.2 Les mouvements des terrains

Les mouvements de terrain dans toutes les régions du monde sont des phénomènes naturels géologiques et géomorphologiques d'origine très diverses, des déplacements lents du sol ou du sous-sol plus ou moins brutal, sous l'effet d'influences naturelles (érosion, pesanteur, séisme... etc), ou d'anthropiques (exploitation de matériaux, terrassement, etc.) avec des différents conditions locales (lithologie, topographie, ...etc.) (**Oswald 2003 ; Dib 2015 ; Guirous 2017**).

Ce phénomène recouvert des types très diverses selon la vitesse des déplacements ; les mouvements lents et continus (les affaissements, les tassements, les glissements, la solifluxion, le fluage...), et les mouvements rapides et discontinus (les effondrements, les chutes de blocs et les éboulements) (**Wieczorek 1999**).

1.3 Caractérisation des mouvements de terrains

Les mouvements de terrain sont généralement classés dans la littérature technique ; de nature de sol, de notion climatique, de stratigraphie ...etc. (**Fig 1.1**).

De manière générale, et pour comprendre ce phénomène en présenter, nous distinguons quatre formes importantes d'après Dib (2015) qui sont :

- Les glissements de terrain ;
- Les tassements par retrait/gonflement des argiles
- Les éboulements, les chutes de blocs et pierres ;
- Les mouvements de fluage ;
- Les coulées boueuses et les laves torrentielles.

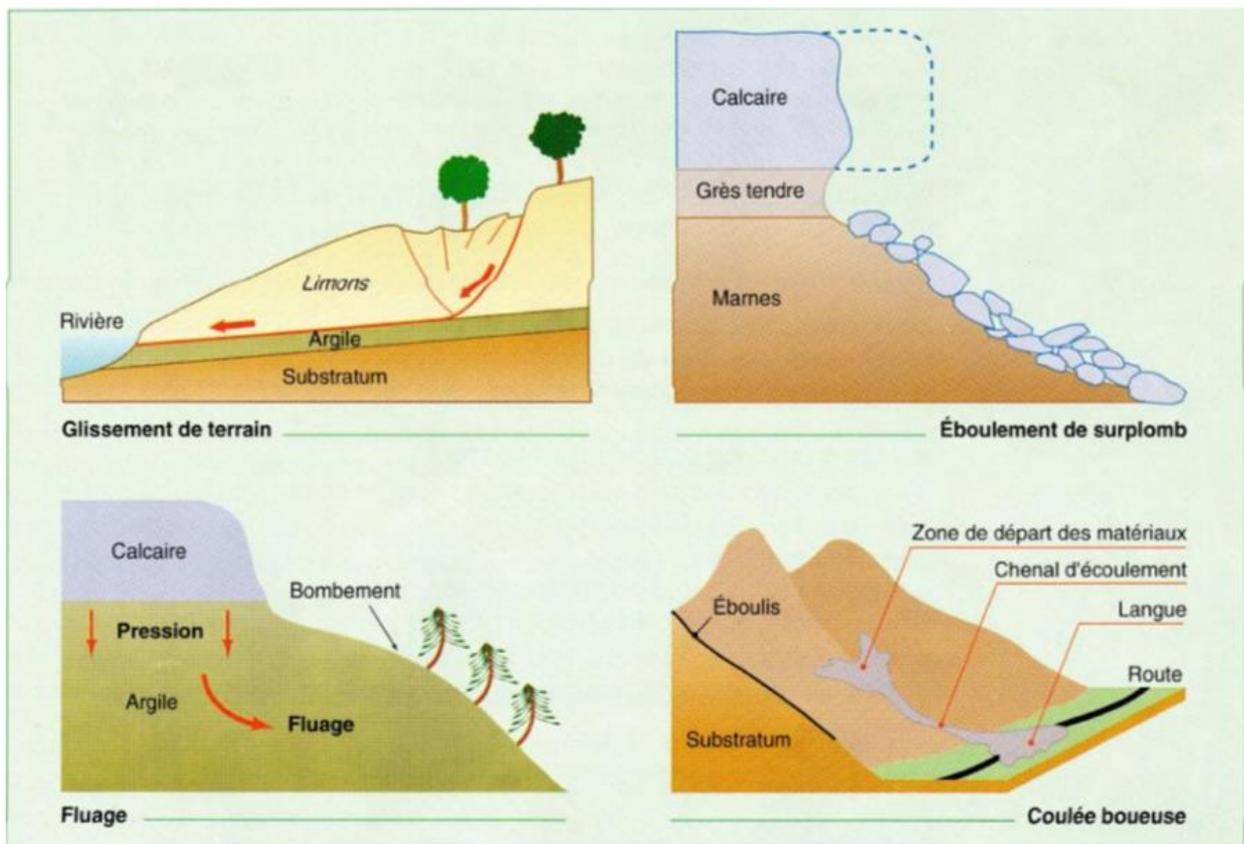


Figure 1.1 Les quatre types des mouvements de terrains (Dib, 2015).

1.4 Les Types des mouvements de terrains

Des nombreux types ont été proposés pour les mouvements de terrains et de versants instables ; et parmi ces types on peut distinguer :

1.4.1 Les glissements de terrains

Un glissement de terrain correspond à un déplacement généralement lent d'une masse de terrain cohérente au long d'une surface de rupture avec une vitesse de glissement variables (**Besson and al 1999 ; Oswald 2003**). Cette surface a une profondeur qui varie de l'ordre du mètre à quelques dizaines voire quelques centaines de mètres dans des cas exceptionnels (un glissement peut être plane circulaire ou complexe). Les terrains peuvent glisser très rapidement, lorsqu'ils sont saturés en eau (**Fig 1.2**).

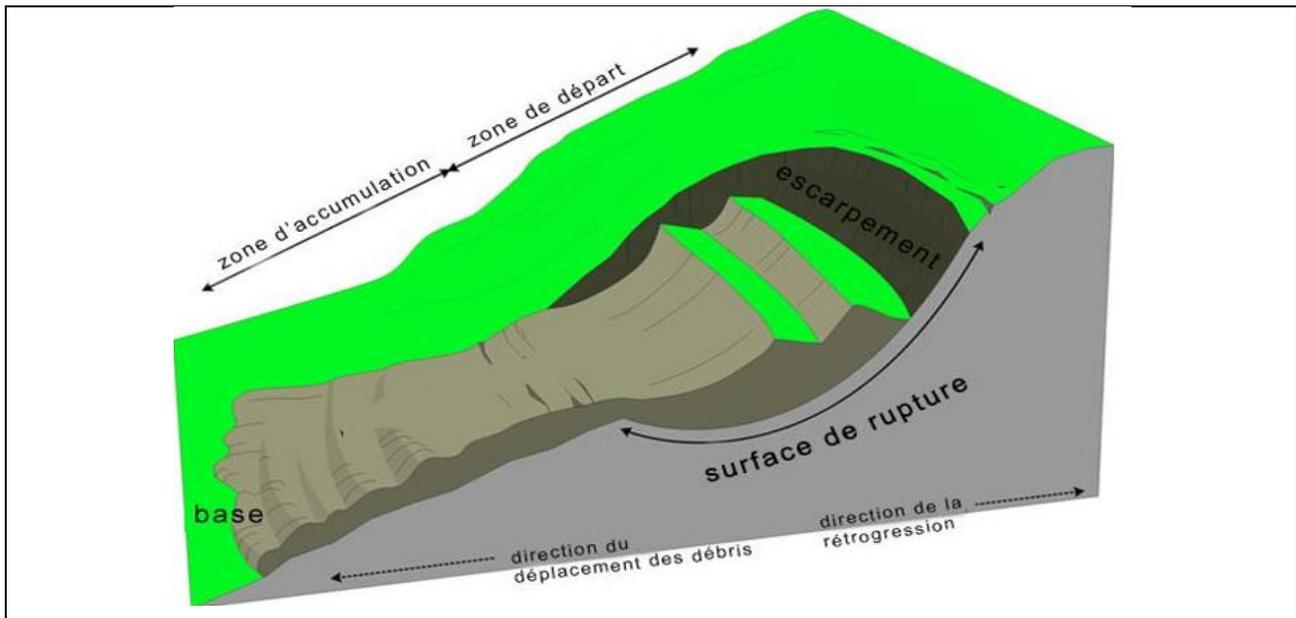


Figure 1.2 Un glissement de terrain (Bendjeddou 2015).

1.4.1.1 Classifications des glissements de terrains

Selon la forme de la surface de rupture, on distingue deux principaux types:

1.4.1.1.1 Les glissements plans (translatifs)

Il se produit suivant une surface topographique plan, cette surface de rupture est droite et la masse de sol en mouvement glisse le long de celle-ci (**Fig 1.3**), qui pouvant être un joint stratigraphique, un plan de faille, une interface entre formation de pente (**Oswald 2003 ; Slimi and Larue 2010**).



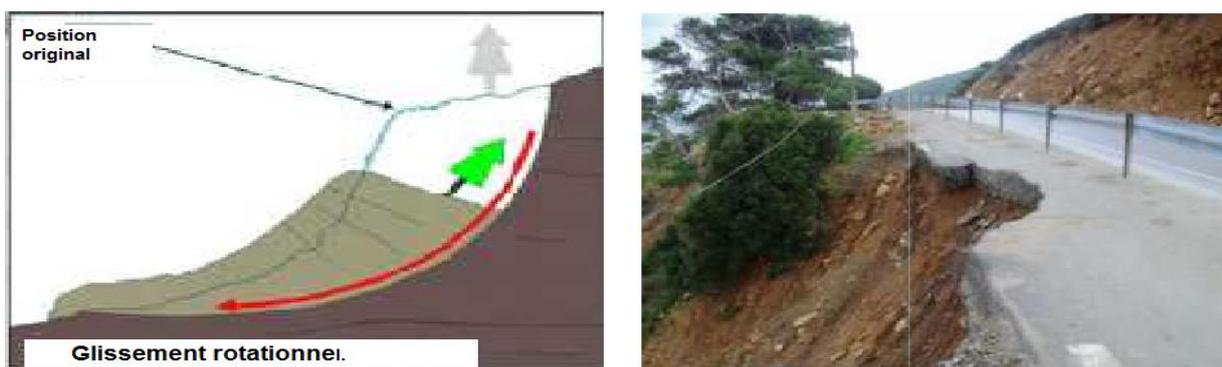
(a) Mécanisme de glissement plan (b) Exemple d'un glissement plan, Ténès Algérie.

Figure 1.3 Un glissement plan (Slimi and Larue 2010).

1.4.1.1.2 Les glissements circulaires (rotationnels)

Dans un glissement circulaire, il y a un mouvement de rotation (simple ou complexe) autour d'un axe central à la surface de rupture plus ou moins circulaire ou concave ayant la forme d'une cuillère (plans de cisaillement circulaires). Dans ce type, le volume des glissements est faible et le déplacement des matériaux est limité (Oswald 2003 ; Slimi and Larue 2010).

Dans la figure ci-dessous (Fig 1.4) une présentation d'un glissement circulaire sur la rue national 11 de Damous, Algérie qui due à des infiltrations d'eau et provoquant des mouvements des sols qui glissées leur comportent.



(a) Mécanisme de glissement circulaire.

(b) Exemple sur RN 11, Damous, Algérie.

Figure 1.4 Un glissement circulaire (Bali and Boukeras 2018).

1.4.1.2 Principales causes des glissements de terrain

Plusieurs facteurs déclenchant un glissement de terrain, les plus importants étant :

1.4.1.2.1 La nature du terrain : qui dépend de la

- **Géométrie de terrain**

La Géométrie de terrain est un des principaux facteurs de ce phénomène tout comme la pente de la surface avec leur nature des sols ou des roches et de la présence d'eau dans le massif. La très grande majorité des glissements apparaissent dans des terrains argileux (**Dib, 2015**).

- **Résistance au cisaillement des sols ou des roches**

Parmi les facteurs et les caractéristiques essentiel de la stabilité d'une pente ; la résistance mécanique au cisaillement (à court ou long terme et résiduelle) des roches ou des sols, qui dépend de la nature du matériau et de l'état de contraintes appliquées au massif (chargement, déchargement et de la nappe phréatique ... etc) (**Slimi and Larue 2010**).

- **La sécheresse**

Une terre trop sèche peut perdre de sa cohésion, s'effriter et glisser.

1.4.1.2.2 Les actions extérieures qui agissent sur le sol

- **L'érosion**

Un sol érodé ou mise à un sans végétation (déboisement, incendie, tempête) sera plus vulnérable aux infiltrations et donc sera plus susceptible de glisser (**Slimi and Larue 2010**).

- **Actions hydrauliques**

Les conditions hydrauliques du site sont un facteur essentiel d'analyse d'une instabilité et dans la recherche des solutions.

La détermination du régime hydraulique est souvent très difficile du fait, car il s'agit :

- Des pressions interstitielles au niveau de la surface de rupture ;
- La capacité d'alimentation hydraulique du site est importante ;
- L'évolution et le mouvement de la nappe au cours du temps ;
- Les actions climatiques et anthropiques (**Belaidi 2011 ; Sellemi and Belarmi 2015**).

- **Les séismes**

La mise en vibration des éléments du sol peut être à l'origine de la déstabilisation des masses en place, et modifiant localement le contexte physique, comme cisaillement et la localisation des axes d'écoulement souterrain (**Belaidi 2011; Sellemi and Belarmi 2015**).

- **Les activités humaines**

La construction d'infrastructures ou de bâtiments en haut de la pente augmente la charge qui pèse sur celle-ci et peut entraîner un glissement. De même des constructions en bas de la pente peuvent déstabiliser le pied du versant (**Sellemi and Belarmi 2015**).

- **Pluie, neige, évapotranspiration**

Liée toujours avec Les nappes sont alimentées principalement par les pluies et la fonte des neiges, comme le cas des infiltrations à partir de fossés, ou de bassins de rétention et d'adduction d'eau ou de réseaux d'assainissement etc (**Belaidi, 2011**).

1.4.1.2.3 Constructions sur pente

Les opérations de terrassement, lors des chantiers de construction, peuvent entraîner la suppression d'une butée de pied, stabilisatrice d'une masse de terrain, ou augmenter la pente d'un versant composé de matériaux pas assez cohérents pour cette nouvelle topographie. De même, une opération de remblaiement en partie supérieure d'un versant engendre une surcharge qui peut déclencher ou aggraver un glissement (**Sellemi and Belarmi 2015**).

1.4.1.2.4 Déblai sur pente

Le déblai ou l'excavation à la base de la pente modifie les conditions d'équilibre en accentua l'inclinaison et la hauteur de la pente, ce qui nuit à sa stabilité. Ce type d'intervention peut provoquer un glissement de terrain lors de l'excavation, ou agir comme facteur aggravant (**Dib, 2015**).

1.4.2 Ecoulement et chutes des pierres

1.4.2.1 L'écroulement :

On utilise généralement le terme écoulement pour des masses rocheuses importantes résultant à des matériaux rigides et fracturés tels que calcaires, grès, roches cristallines, etc (**Guirous, 2017**). Ces déniées sont écoulement quand il s'agit de la chute soudaine d'une masse rocheuse détachant d'une paroi ou d'un versant très raide (liée au mécanique des roches). Ces écoulements pouvant modifier le paysage de façon durable (**Meziani, 2018**).

Les distances parcourues sont en fonction de ; la position de la zone de départ dans le versant, la pente du versant, la nature de la couverture superficielle, et de la forme et du volume des blocs éboulés (**Fig 1.5**).



(A) Le mécanisme de l'éroulement (B) Eroulement (Damous, Algérie)

Figure 1.5 Aspect de l'éroulement (Bali and Boukeras 2018).

1.4.2.2 La chute des pierres et des blocs :

Les chutes de pierres et de blocs sont des phénomènes rapides, discontinus et brutaux. Ce processus, répété ou soumis à des pointes saisonnières, déterminée par ses conditions géologiques et son altération. L'estimation du volume de chute n'est possible qu'au moyen d'études détaillées de la roche (**Fig 1.6**).

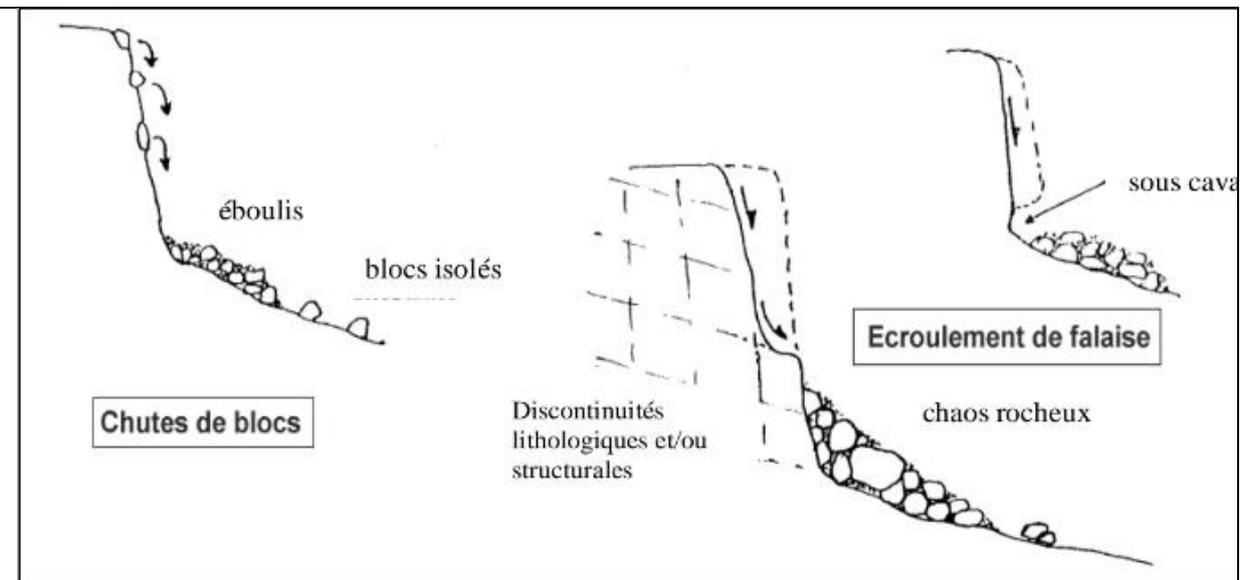


Figure 1.6 Schéma de principe des chutes de blocs et d'éroulements (Bendjeddou, 2015).

1.4.3 Le fluage

Le fluage est une déformation irréversible lente très visible d'un terrain qui subit

des contraintes continues avec des faibles vitesses de glissement (**Fig 1.7**). Ce mouvement est l'une des caractéristiques essentielles des matières plastiques (sollicité à un état proche de la rupture). Il peut être corrélé par un essai de traction (**Benouis, 2010**).

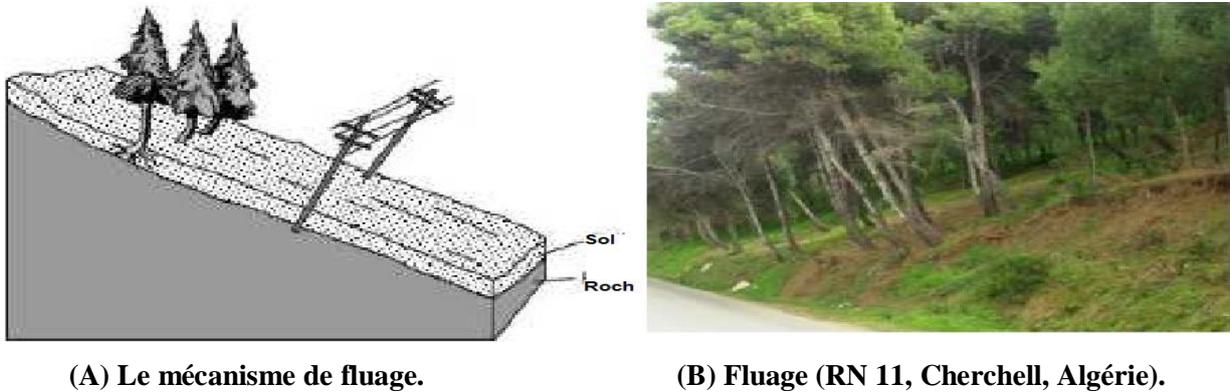


Figure 1.7 Aspect de fluage (Bali and Boukeras 2018).

1.4.4 La coulée boueuse

Les coulées boueuses sont des phénomènes très rapides affectant des masses visqueuses des matériaux remaniés, soumis à de forte concentration en eau, sur de faibles épaisseurs. Se produisent sur des pentes, par reflète de certains glissements avec afflux d'eau (glissements de terrain liquides). Les coulées boueuses consistent en la propagation de matériaux de cohésion ou les matériaux intimement mélangés à une quantité d'eau qui atteint sa limite de liquidité (**Guirous, 2017**) comme ; les limons, les sols, les éboulis fins (**Fig.1.8**).

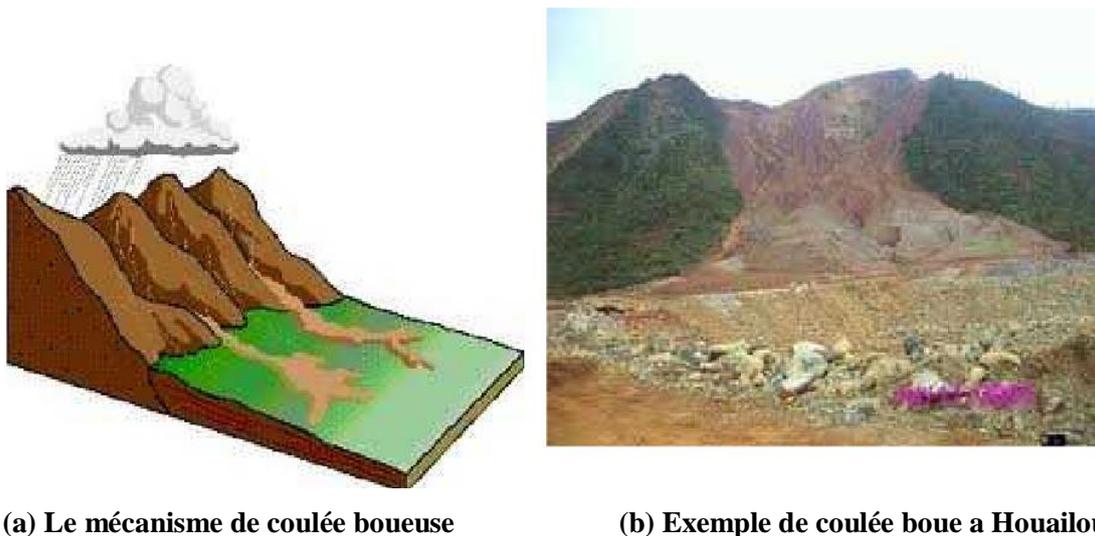


Figure 1.8 Aspect de coulée boueuse (Itatahine and Ouaad 2019 ; Bali and Boukeras 2018).

1.5 Calcule de stabilité

1.5.1 Notion de coefficient de sécurité

Le calcul de la stabilité des talus est généralement estimé à l'aide d'un coefficient appelé : coefficient de sécurité **FS** qui définit comme étant le rapport du moment par rapport à un point fixe de la résultante des forces résistantes aux glissements aux forces provoquant le glissement (**Bendjeddou 2015 ; Benouis 2010 ; Itatahine and Ouad 2019 ; Bali and Boukeras 2018**).

$$F_s = \frac{\sum \text{Moments des forces resis tan t aux mouvement}}{\sum \text{Moments des forces provoquant le mouvement}}$$

Le tableau ci-dessous (**Tab 1.1**) present tous les différentes formules du coefficient de sécurité :

Tableau 1.1 : Les différentes définitions du coefficient de sécurité (Bendjeddou, 2015).

	Définition	Formule	Commentaire
1	Rapport de contrainte	$F = \frac{\tau_{max}}{\tau}$	Méthode à la rupture
2	Rapport des forces	$F = F_r / F_{moteur}$	Direction de déplacement
3	Rapport de moments	$F = M_{t_r} / M_{t_{moteur}}$	Rotation
4	Parameters réduits	$P = P/F$	Cf eurocodes
5	Marge de sécurité	Par ex : H/H_{max}	Sur une grandeur

Toutes ces définitions conduisent à des valeurs différentes pour une même géométrie, sauf dans le cas ou' l'on se trouve à la rupture ($F = 1$).

En première approximation on peut caractériser l'état de stabilité par :

- **F<1** sol très instable.
- **F=1** sol de stabilité précaire.

- $F > 1$ site stable (aucun signe d'instabilité).

Le tableau ci-dessous (**Tab 1.2**), nous donne les valeurs de FS en fonction de l'importance de l'ouvrage et des conditions particulières qui l'entoure.

Tableau 1.2 : Les différentes valeurs de Fs acceptables (Bendjeddou, 2015).

FS	Etat de l'ouvrage
< 1	Danger
1.0-1.25	Sécurité contestable
1.25-1.4	Sécurité satisfaisante pour les ouvrages peu importants Sécurité
>1.4	Satisfaisante pour les barrages

1.5.2 Méthodes de calcul de stabilité

L'analyse de la stabilité des talus est traitée comme un problème d'équilibre limite, et pour méthodes, et parmi ces méthodes on distingue :

1.5.2.1 Méthode des éléments finis

La méthode des éléments finis est une technique de calcul numérique qui consiste à discrétiser en sous-ensembles un objet qui appelés éléments (**Meziani, 2018**). Cette dernière permet de discrétiser le plan vertical du talus en des éléments caractérisés par un comportement élasto-plastique, et à propriétés physique variable (évaluer les contraintes et les déformations aux nœuds des éléments). Le calcul peut être mené avec tout programme général d'éléments finis ou avec logiciel spécialisés dans la modalisation géotechnique comme le plaxis (**Bali and Boukeras 2018**).

1.5.2.2 Méthode analytique

La méthode analytique est présentée par le calcul analytique du coefficient de sécurité de différents cercles avec l'utilisation des abaques qui permettent de déterminer ce coefficient de sécurité F_s et la position de la surface de rupture la plus défavorable dans ces cas simples (le F_s du talus est le plus faible de ces coefficients). Comme : la méthode de Taylor, de Caquot ou de Biarez et ... etc. (**Bali and Boukeras 2018**).

1.6 Processus d'une étude de glissement

L'identification des dangers dus aux mouvements de terrain repose sur une documentation

objective de diverses observations et mesures impliquant un danger donné. Cette méthode permet de définir l'ensemble des caractéristiques physiques, mécaniques et chimiques des terrains pour but de donner les éléments nécessaires de la reconnaissance des sols pour les études de tous les problèmes travaux de génie Civil.

Généralement, il y a deux grandes méthodes de reconnaissances qui complètent les investigations géologiques de surface :

- ✓ Les méthodes d'observation du terrain (en place et/ou à l'aide d'échantillons) ;
- ✓ Les méthodes de mesure in situ basées sur la mesure d'une propriété physique du terrain, dont font partie les essais géophysiques (**Bendjeddou 2015**).

1.6.1 Repérage topographique de la zone instable

Le levé topographique se fait à l'échelle locale directement sur la zone concernée par le glissement, nous permet de bien tracer le profil en travers du site et de bien décrire les différentes couches des sols ainsi que leurs caractéristiques physico-mécaniques pris en compte pour l'évaluation de la stabilité du site. Cette échelle est caractériser les cartes topographiques sont approximatives pour repérer un accident localisé, alors une grande échelle est caractérisée ; les secteurs dans lequel se situe la zone instable, d'en tirer un plan en courbes de niveau, et des profils jalonnés (**Khelil and Sanad 2014 ; Sellemi and Belarmi 2015**).

1.6.2 Etude géologique

Tous études de stabilisation en général sont liée avec une étude géologique (une série de coupes géologiques) qui permettre de préciser la nature des formations intéressées par le mouvement, leur épaisseur, leur pendage, la nature et l'épaisseur des terrains de couverture masquant les formations en place (**Israil and Pachauri 2003**). Il importe en particulier un ensemble des données sur :

- La nature et la géométrie des formations ;
- La forme géométrique du substratum ;
- La présence ponctuelle de couches de caractéristiques particulières et notamment de couches plastiques ou très anisotropes, de surfaces de glissement préexistences ou e fragilités particuliers.

D'autre part, les différentes phénomènes d'instabilité de pente, comme les glissements ou les éboulements généralisés sont représentés en général sur une carte

géologique au 1 /25000 par leur périmètre. Il n'est pas fait mention de l'intensité ou de la fréquence de ces divers phénomènes. Ces informations permettent toutefois de localiser les zones sensibles aux mouvements de terrain, qui devront faire l'objet d'études plus poussées (**Itatahine and Ouaad 2019 ; Khelil and Sanad 2014**).

1.6.3 Etude hydrologique et hydrogéologique

1.6.3.1 Hydrologie de surface

L'étude hydrologique de site consiste à estimer la quantité relative des eaux infiltrées et ruisselées, et de repérer les principales zones d'infiltration des eaux de surface comme ; les zones à forte perméabilité et à fissures ouvertes ...ect (**Khelil and Sanad 2014**).

1.6.3.2 Hydrogéologie du site

Il s'agit de définir la position des nappes et la nature des formations aquifères données, et relevés piézométriques à partir données géologiques. Ce dernier tient compte des caractéristiques lithologiques et géométriques des unités géologiques, des conditions hydrologiques et de l'analyse de la réponse du système, et des conditions d'écoulement des eaux souterraine (**Bendjeddou 2015 ; Sellemi and Belarmi 2015**).

1.6.4 Etude géophysique

Les études géophysiques permettent de déterminer la nature des différentes couches de sols et précise leur profonde avec l'utilisation de leurs caractéristiques couches (**Frappa and Lebourg 2001**). Cette étude est se fait plusieurs méthodes comme :

- La méthode de magnétiques ;
- La prospection gravimétrique ;
- La prospection électrique ;
- La prospection sismique.

1.6.5 Etude géotechnique

L'étude géotechnique est permet de caractériser, sous l'angle de frottement de la cohésion : les terrains constituant la zone instable précisément la zone de faiblesse au droit de laquelle passe la rupture ; et les caractéristiques mécaniques des différents matériaux formant le sol précisément celles de la résistance au cisaillement, à savoir l'angle (**Sellemi and Belarmi 2015 ; Mezerreg and al 2019**). On réalise pour cela :

1.6.5.1 Les essais in situ

Les essais in situ sont particulièrement adaptés utilisés pour déterminer les caractéristiques physiques et mécaniques des sols, et même pour mesurer l'épaisseur des formations rencontrées ainsi que leurs pendages ; définir la forme géométrique de la masse en mouvement ; déterminer les caractéristiques mécaniques des sols prélevés ; et de repérer le niveau piézométrique de la formation aquifère, surtout dans les terrains très hétérogènes instable ou très incohérents quand les carottes prélevées sont trop remaniées.

- Sondages et forages (valorisation des sondages)
- Echantillonnage ou prélèvement d'échantillon et essais dans les sols granulaires
- Essai inclinométrique ;
- Essai piézométrique (Mezerreg and al 2019 ; Sellemi and Belarmi 2015).

1.6.5.2 Les essais au laboratoire

1.6.5.2.1 Essais identification

- *Détermination des limites d'Atterberg (NF P94-051)*

Les limites d'Atterberg (limites de liquidité et de plasticité) sont les teneurs en eau pondérales correspondantes à des états particuliers d'un sol. Ces paramètres géotechniques permettent de caractériser l'état d'un sol au moyen de son indice de consistance.

- *Teneur en eau naturelle (NF P94-050)*

Elle définit le rapport en % du poids d'eau W_w que le sol contient au poids W_d de ses éléments secs. L'obtention des éléments secs s'obtient par dessiccation du sol pendant 24 heures à l'étuve à 105°C.

- *Analyse granulométrique (NF P18-560)*

L'analyse granulométrique permet de déterminer la distribution dimensionnelle en poids des éléments d'un matériau. Elle comprend deux opérations :

- Tamisage pour les éléments de dimensions supérieures ou égales à 80 μm .
- Sédimentométrie pour les éléments de dimensions inférieures à 80 μm .

1.6.5.2.2 Essai mécaniques

- *Les essais de cisaillement*

Plusieurs d'appareils sont utilisés pour cet essai. Il y a des appareils de cisaillement in situ comme ; scissomètre, pénétromètre qui permettent de déterminer la résistance de cisaillement in situ, et l'appareil à cisaillement rectiligne ou boîte de Casagrande et l'appareil à compression triaxiale ou triaxial.

- *Essai Oedométrique*

Un échantillon de sol est placé dans une boîte cylindrique rigide de section circulaire entre deux pierres poreuses assurant son drainage. Un piston permet d'appliquer sur l'échantillon une contrainte verticale uniforme constante pendant un temps déterminé. On peut établir des courbes de compressibilité (indice des vides en fonction de la contrainte) et de consolidation (variation relative de tassement en fonction du logarithme du temps).

1.7 Evaluation de glissement du terrain

L'évaluation d'un glissement du terrain est basée sur une analyse mécanique de la stabilité à l'aide de modèles de stabilité qui dépendent de la densité et de la qualité des données disponibles (le rôle des facteurs déclenchant est pris en compte) ; Et sur l'analyse en retour de phénomènes historiques connus ; et même sur les traitements de laboratoire d'extraire les facteurs de prédisposition aux mouvements de terrains et en fine les règles de définition des zonages.

1.7.1 Paramètres d'évaluation des glissements de terrain en fonction du type de phénomène

Les mouvements de versant et tous les types des glissements sont contrôlés par des facteurs d'origine naturelle et/ou anthropique. L'expert doit faire une sélection puis cartographier les facteurs d'instabilité par la superposition des paramètres (géologiques, géomorphologiques, hydrogéologiques, et l'occupation du sol...etc.) d'une zone à l'aide d'un SIG et de pondération avec une attribution des poids à chaque paramètre, qui permet l'évaluation de l'aléa de glissement et détermine les zones plus sensibles à ces mouvements de terrain sur toutes les échelles (**Harkat 2020 ; Roukh 2020 ; Lourebam and Oinam 2021**).

Pour évaluer des glissements de terrain, il y a plusieurs paramètres et des techniques précises tels que :

- Etablir un zonage de glissement basé sur la corrélation entre les structures géologiques actives. Ce zonage repose sur la définition et la délimitation du domaine d'étude en unités séismogènes ; supposées géologiquement et géophysiquement homogènes ;
- Etablir une base de données régionale dite catalogue sur les mouvements et les glissements ;
- Une étape fondée sur le calcul de l'activité des glissements, et la présentation par les courbes et/ou par les cartes d'aléa et glissement, avec une description de types et des niveaux de zonage des glissements de terrain ;
- Dans un site donné les effets induits par les différentes zones sous forme de paramètres du terrain (déplacement, vitesse, propagation et accélération) ou l'intensité (**Roukh 2020**).

1.8 Conclusion

Dans ce chapitre et à travers de notre recherche bibliographique, nous avons présentés les différents types des mouvements de terrain qui existent dans la nature et leurs caractérisation, avec un bref rappel sur la notion de coefficient de sécurité et leurs différents méthodes utilisées pour le calcul de stabilité. Nous avons aussi abordés les différents processus et les paramètres d'évaluation d'une étude de glissement de terrain. Par conséquent, dans le chapitre qui suit nous présenterons des généralités sur la cartographie et le système d'information géographique SIG utilisé pour caractériser et évaluer les glissements de terrain.

**CHAPITRE 2 : CARTOGRAPHIE ET
SYSTÈME D'INFORMATION
GÉOGRAPHIQUE**

2.1 Introduction

L'avancée de la technologie a fait évoluer la manière du stockage de l'information, la rapidité des recherches, la manipulation et l'analyse, la mise à jours, la création des bases des données. Tout cela nous mène vers des différentes architectures de stockage et présente de l'information sur ordinateur et vers des outils de gestion de plus en plus élaborés (**Ledig, 2003**).

Les techniques les plus récentes de gestion des informations mettent en œuvre des systèmes-experts grâce à l'utilisation des outils proposés par l'intelligence artificielle. Ces structures appliquées au milieu environnant sont appelées Systèmes d'Information Géographique, souvent abrégés en SIG (**Fettouche and Menad 2020**).

Ce chapitre contiendra l'essentiel de la cartographie et des systèmes d'information géographiques en vue de localiser et d'étude des phénomènes (les mouvements de terrain en général) dans l'espace à fins de les décries, expliquées et modélisées (**Benchirat and Betaouaf 2021**).

2.2 Définition de la cartographie

La cartographie est à la fois une science, un art et une technique. Elle est très dépendante de la réalisation et l'étude des cartes géographiques et géologiques. Et même le cartographe est un auteur qui propose un message au lecteur.

C'est une science car elle est basse sur la détermination de la forme et les dimensions de la terre, puis le report de la surfaces courbe de la terre sur un plan ou une carte avec un système de projection, et enfin l'établissement d'un canevas planimétriques et altimétrique (**Fettouche and Menad 2020**).

C'est une science car elle est basse sur l'expression graphique, la carte doit présenter des qualités de forme afin d'exploiter au mieux les capacités visuelles du lecteur.

Et une technique car elle nécessite d'amont en aval, l'emploi d'instruments dont les progrès ont bouleversé toute la filière cartographique (**Khenter, 2017**).

2.3 Classification des cartes

Les cartes peuvent être classées de trois manières :

2.3.1 Selon le contenu

Ce sont des cartes analytique, synthétiques, auxiliaires ou cartes de facteurs qui peut être variable, représentent la répartition d'un facteur donné et indique tous les emplacements de reconnaissance (carte des pentes, carte du toit de la nappe, etc.).

Carte thématique : présentant sur un fond repère, des phénomènes qualitatifs ou quantitatifs concrets ou abstraits circonscrits et limités par le choix d'un ou plusieurs sujets particuliers.

Carte topographique : position planimétrique et altimétrique, la forme, la dimension et l'identification des phénomènes concrets existants à la surface du sol (**Fettouche and Menad 2020**).

2.3.2 Selon l'usage

Caractérisé par des cartes à usage particulier qui insistent sur un aspect spécifique de la géologie de l'ingénieur ou bien sur une application particulière, et des cartes à usages multiples, plus polyvalentes (**Houti, 2002**).

2.3.3 Selon l'échelle

L'échelle est le rapport entre une distance sur le terrain et cette même distance sur la carte (**Houti, 2002**). Elle s'exprime donc sous la forme d'une fraction. Les différents types des cartes et les échelles les plus courantes sont :

$1/10\ 000 <$ Très grand échelles ou plan

$1/25\ 000 <$ Grand échelles $< 1/10\ 000$

$1/100\ 000 <$ Moyennes échelles $< 1/25\ 000$

$1/500\ 000 <$ Petites échelles $< 1/100\ 000$

Très petites échelles $< 1/500\ 000$

2.4 Types des cartes

2.4.1 La carte thématique

Les cartes thématiques sont les cartes thématiques les plus répandues, décrivent des phénomènes géographiques qui appartiennent par exemple à la géologie (sol et substrat rocheux essentiellement), à l'occupation du sol ou à la végétation (**Bengt, 2014**). Il présentant

sur un fond repère, des phénomènes qualitatifs ou quantitatifs concrets ou abstraits circonscrits et limités par le choix d'un ou plusieurs sujets particuliers (**Fettouche and Menad 2020**). Les cartes statistiques font aussi partie des cartes thématiques. Elles présentent la répartition géographique d'une variable statistique.

2.4.2 Les cartes géologiques

Les cartes géologiques font partie des cartes thématiques et sont inestimables pour la prospection de minerais ou de pétrole, ou pour analyser le potentiel agricole. Elles combinent des informations plutôt compliquées et les résultats d'études universitaires en géologie sont accompagnés de plusieurs planches cartographiques (**Bengt, 2014**).

2.4.3 Les cartes météorologiques

Les cartes météorologiques ce sont les cartes qui permettent de suivre le déplacement des ouragans ou des tempêtes de neige, et sont utilisées dans la prévention des risques majeurs en affichant les risques d'inondation, de sécheresse, de glissement de terrain ... etc. Ils sont deviennent incontournables pour comprendre les effets de l'évolution du climat, en montrant par exemple la fonte de la glace polaire dans l'arctique (**Bengt, 2014**).

2.4.4 La carte topographique

Les cartes topographiques officielles sont réalisées par les organismes cartographiques nationaux. Caractérisées par la position planimétrique et altimétrique, la forme, la dimension et l'identification des phénomènes concrets existants à la surface du sol (**Fettouche and Menad 2020**).

2.5 Concept de base sur le risque lié aux mouvements de terrain

Les problèmes d'instabilité des versants exigent à l'enjeu scientifique d'entamer et de développer plusieurs méthodes de zonage portant sur la cartographie de la susceptibilité et l'aléa des mouvements de versant.

2.5.1 La cartographie de la susceptibilité

✚ **Susceptibilité** : C'est la possibilité que l'érosion se produise dans une zone particulière sur la base de conditions environnementales locales.

Une carte de susceptibilité est obtenue pour chacun des types de glissements de terrain (**Malet, 2014**). Elle permet d'estimer et identifier les zones de rupture ainsi que les zones potentielles aux glissements de terrain à partir des techniques d'analyse spatiale selon deux

approches : directe (qualitative) et indirecte (probabiliste) pour établir un inventaire cartographique des zones d'occurrence des glissements. Le paramètre de susceptibilité ne tient pas en considération de la fréquence ni de l'intensité du glissement de terrain (**Rfifi and Ait Brahim 2017 ; Roukh 2020**).

2.5.2 La cartographie de l'aléa

Une carte de l'aléa est obtenue pour permettre d'évaluer et de quantifier les impacts.

2.6 Méthodes actuel d'analyse de l'alea

Ce sont les méthodes les plus développées, elles se basent sur l'évaluation des paramètres pondérés composant l'aléa étudié, qui sont très souvent regroupées en deux domaines bien distincts : les paramètres quantitatifs ou qualitatifs, tels que : la densité des vallées dans une zone, la hauteur de talus ou de falaise, la pente, la formation géologique et la structure géologique, etc. Le poids de chacun de ces paramètres utilisés est évalué par des experts pour chaque site étudié.

A partir de ces paramètres de base, souvent conduites dans le cadre d'une approche naturaliste du phénomène, il est possible de mieux caractériser le risque en utilisant la réalisation de modélisations des phénomènes qui permet une visualisation synthétique du risque (**Stieltjes 2004 ; Hamas 2010 ; Roukh 2020**).

2.6.1 Méthodes qualitative (ou directe)

Sont subjectives et portent le zonage d'aléa sur des termes descriptifs (qualitatifs). Les méthodes quantitatives offrent des estimations numériques (probabilités) pour l'occurrence des phénomènes de glissement pour toute catégorie de zonage (**Stieltjes, 2004**). Elle est souvent classée en deux grands types :

2.6.1.1 Analyse géomorphologique

Cette méthode dite cartographie directe ou expert, l'analyse géomorphologique de terrain est la plus simple car elle est basée principalement sur les informations récoltées de terrain par l'expérience et les compétences en mouvement de terrain du glissement de terrain à n'importe quelle échelle mais elle nécessite d'une longue mission de terrain comme la carte **ZERMOS** (Zone d'Exposition au Risque de Mouvement de Sol et sous sol). Donc l'analyse géomorphologique fournit une évaluation rapide de l'aléa pour un secteur donné en tenant compte d'un très grand nombre de facteurs (**Stieltjes 2004 ; Roukh 2020**).

2.6.1.2 Cartographie d'indices ou des paramètres avec poids

Dit carte de constat, qui présente l'outil fondamental pour l'établissement des cartes géomorphologiques ainsi pour évaluer le taux de la susceptibilité aux glissements de terrain (Stieltjes, 2004). L'expert doit faire une sélection puis cartographier les facteurs d'instabilité par la superposition des paramètres d'une zone par l'utilisation du système d'information géographique SIG et par pondération avec une attribution des poids à chaque paramètre pour facilite l'établissement de ces cartes pour permet l'évaluation de l'aléa de glissement et détermine les zones plus sensibles à ces mouvements de terrain sur toutes les échelles (Aleotti and Chowdhury 1999)

D'une façon général, L'expert doit faire une sélection puis cartographier les facteurs d'instabilité par la superposition des paramètres d'une zone à laide d'un SIG (géologiques, géomorphologiques, hydrogéologiques...etc.) (Harkat, 2020). Il convient d'attribuer à chaque facteur une valeur en rapport avec sa contribution dans la génération des instabilités. Donc chaque carte additionnée ou superposée pour produire en conséquence une carte d'aléa (Stieltjes, 2004).

2.6.2 Méthodes quantitative (ou indirecte)

Ce sont des estimations numériques (probabilités) basées sur les techniques mathématiques pour l'occurrence des phénomènes de glissement pour toute catégorie de zonage. Ces méthodes consistent à évaluer la relation entre la distribution spatiale des phénomènes et les facteurs générateurs d'instabilité (Khemissa 2006 ; Harkat 2020)

Les deux grandes analyses quantitatives les plus utilisées, afin de cartographier la susceptibilité aux glissements de terrain sont :

2.6.2.1 Analyse statistique

L'analyse statistique est une méthode indirecte basées sur les techniques mathématiques, et sur l'analyse historique des évènements avec lesquelles la cartographie de la susceptibilité aux mouvements de terrain est estimée par le bais des méthodes statistiques. Ces analyses sont été développées pour combler le manque d'efficacité des évaluations d'expert et résoudre le problème de subjectivité (Aleotti and Chowdhury 1999).

Deux types d'analyses quantitatives sont utilisés, afin de cartographier la susceptibilité aux glissements de terrain qui sont :

➤ **Analyse statistique bi variée**

L'analyse est dit bi variée si elle ne s'appuie que sur deux variables. Cette technique est très employée par les géologues, qui basée sur l'analyse en retour de phénomènes historiques connus (par des traitements plus ou moins élaborés) (**Itatahine and Ouaad 2019**), et s'applique à une large gamme de paramètres (orientation de pente, angle de pente, hauteur de pente, lithologie, densité du réseau de drainage, etc) (**Stieltjes, 2004**). Elle fondées sur la localisation et la préparation des cartes des paramètres puis superposition les uns sur les autres pour la détermination de la densité des glissements de terrain par chaque classe, des différents facteurs générateurs. Cette technique est très utilisée par les géologues, permet de calculer la valeur de susceptibilité de chaque zone ou les règles de définition des zonages, pour cartographier la susceptibilité aux glissements de terrain par l'analyse statistique bi variée (**Harkat, 2020**).

➤ **Analyse statistique multi variée**

L'analyse est dit bi variée permet l'emploi de plusieurs variables et assister à la division du terrain en zones par unité cartographique et chaque unité représente une portion de terre possède des caractéristiques homogènes et hétérogènes pour les zone adjacentes, puis la superposition des cartes des glissements de terrain et celles des facteurs en identifiant le pourcentage des glissements par l'utilisation de méthode régressive multiple pour le classement des unités selon la susceptibilité de chaque unité pour permettre par a suite le zonage des indices de susceptibilité aux mouvements (**Stieltjes, 2004**). Cette technique d'analyse nécessite d'utilisation d'un SIG qui facilite de stocker, restaurer et l'emploi sur une grande quantité des informations.

2.6.2.2 Approches géotechnique

Ces méthodes d'analyse de l'aléa s'appuient sur des outils d'ingénierie géotechnique par les modèles géotechniques et ces calcules pour identifier la susceptibilité aux ruptures des glissements de terrain (**Aleotti and Chowdhury 1999**). On distingue principalement trois approches géotechniques de glissement de terrain comme suite :

2.6.2.2.1 Méthode déterministe

C'est une méthode indirecte basée principalement sur l'analyse mécanique de stabilité de pente la détermination d'un facteur de sécurité (F_s) qui est représenté par le rapport entre la résistance au cisaillement critique et l'autre appliquée au niveau de surface de rupture et employé dghans des nombreux modèles géotechnique pour l'évaluation

de la stabilité et le calcul de la rupture. Les techniques et les théories sur cela utilisent d'après les géotechniciens sont nombreux comme la méthode de tranches. Le calcul par ces méthodes nécessite des données géotechniques et géométriques définissant le profil du terrain en surface et sa structure en profondeur, des données suffisantes sur les paramètres mécaniques de résistance (la cohésion c , l'angle de frottement φ , poids volumique saturé γ_{sat} , poids volumique sec γ_h et le poids volumique de l'eau γ_w) et des informations sur les données piézométriques (nappes profondes et nappes de versant, pression interstitielles) doivent être facilement disponibles (Stieltjes, 2004).

2.6.2.2.2 Méthode probabiliste

La prévision de la date de déclenchement d'une instabilité de terrain est très rarement possible car elle dépend de facteurs permanents imparfaitement connus et de différents facteurs (fortes pluies, altération, séismes, vibrations, précipitations, activités humaines, etc.) (Stieltjes, 2004), et aussi les valeurs des facteurs de sécurité qui sont calculées par les méthodes précédentes ne sont pas suffisantes pour l'estimation de la stabilité d'un versant, il s'agit des problèmes d'homogénéité des matériaux des versants et la précision des résultats d'essais de laboratoire et pour résoudre ces problèmes et déterminer des valeurs de stabilité plus proche à les cas réels il faut utiliser une méthode probabiliste qui prend en considération la variabilité de ces facteurs (Stieltjes 2004 ; Itatahine and Ouad 2019).

2.6.2.3 Modélisation

La modélisation de mouvement de terrain est une technique qui permet d'une représentation schématique du phénomène la possibilité d'une prévision de la rupture ça dépend à la précision des essais déterministes, l'usage des données expérimentales prises en compte des facteurs déclenchant, les scientifiques proposaient trois catégories des modèles : empirique, analytique et numérique. Ces techniques sont très utilisées par les géotechniciens pour la modélisation des glissements de terrain à l'aide d'un logiciel mais parfois elle nous donne des résultats plus loin que la réalité grâce au problème d'homogénéité des milieux (Stieltjes 2004 ; Harkat 2020).

2.7 Le système d'information géographique

2.7.1 Définition d'un système d'information géographique SIG

Un système d'information géographique (SIG) est un outil informatisé capable à partir de diverses sources de créer et organiser, transformer, afficher, analyser ou combiner, stocker l'information géographique et visualiser des données qui sont référencées

spatialement à la terre (Khenter 2017; Fettouche and Menad 2020). Il permet d'organiser et de présenter des différents données (géographiques et/ou alphanumériques) localisées sous forme graphique, en vue notamment de produire des plans et des cartes (Harkat 2020 ; Hazil 2021). Il est plus efficace parce qu'elle vise à incorporer des connaissances provenant de sources multiples et à créer un champ multisectoriel idéal pour la collaboration, pour afficher et manipuler des différentes informations géographiques, et constituant par trois éléments qui sont :

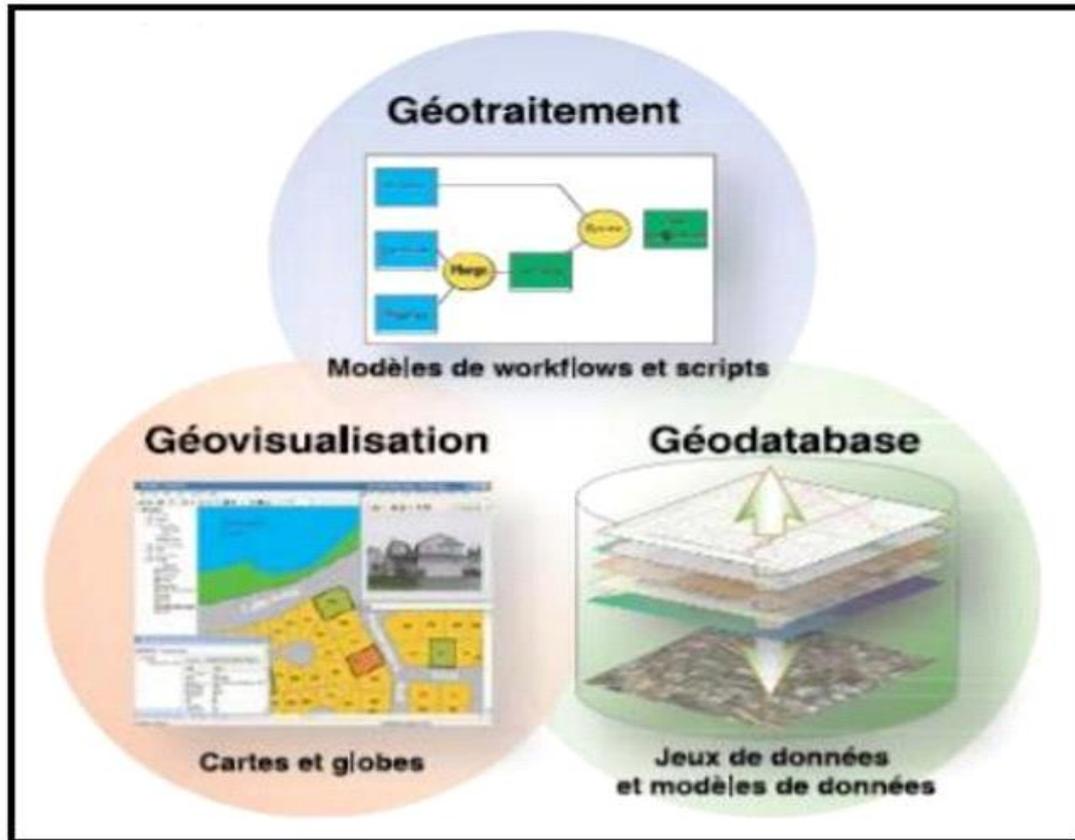


Figure 2.1 Les éléments constitutifs du noyau d'un SIG (Harkat, 2020).

La littérature qui traite du domaine, définit rapidement les fonctions attendues d'un SIG par « les 5A » qui sont : Abstraction, Acquisition, Archivage, Analyse et Affichage.

Et pour pouvoir réaliser correctement un travail de SIG, cinq composantes majeurs doivent se réunir à savoir : les logiciels, les données, le matériel informatique, le savoir-faire ou les méthodes de travail et les utilisateurs (Menad, 2018).

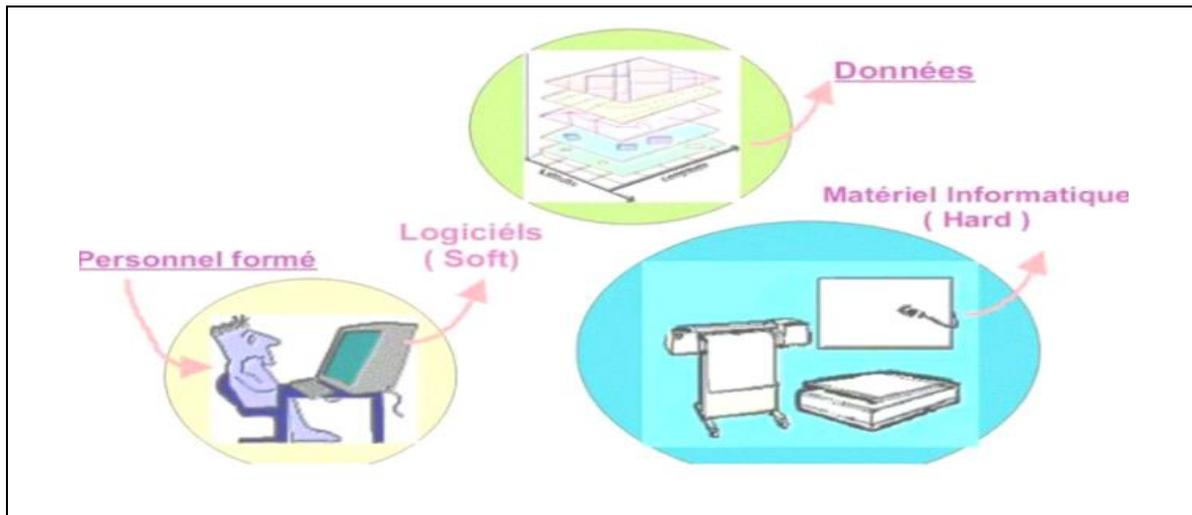


Figure 2.2 Les composants principal d'un SIG (Benchrirat and Betaouaf 2021).

2.7.2 La structuration et les types des données dans un SIG

Les données sont doute le carburant du SIG (Menad, 2018). L'ensemble de ces données soit créé en interne, soit acquis de l'intérieur. Elles peuvent être de trois types : géographiques, attributaires ou métadonnées. Ils sont structurés de la manière suivante :

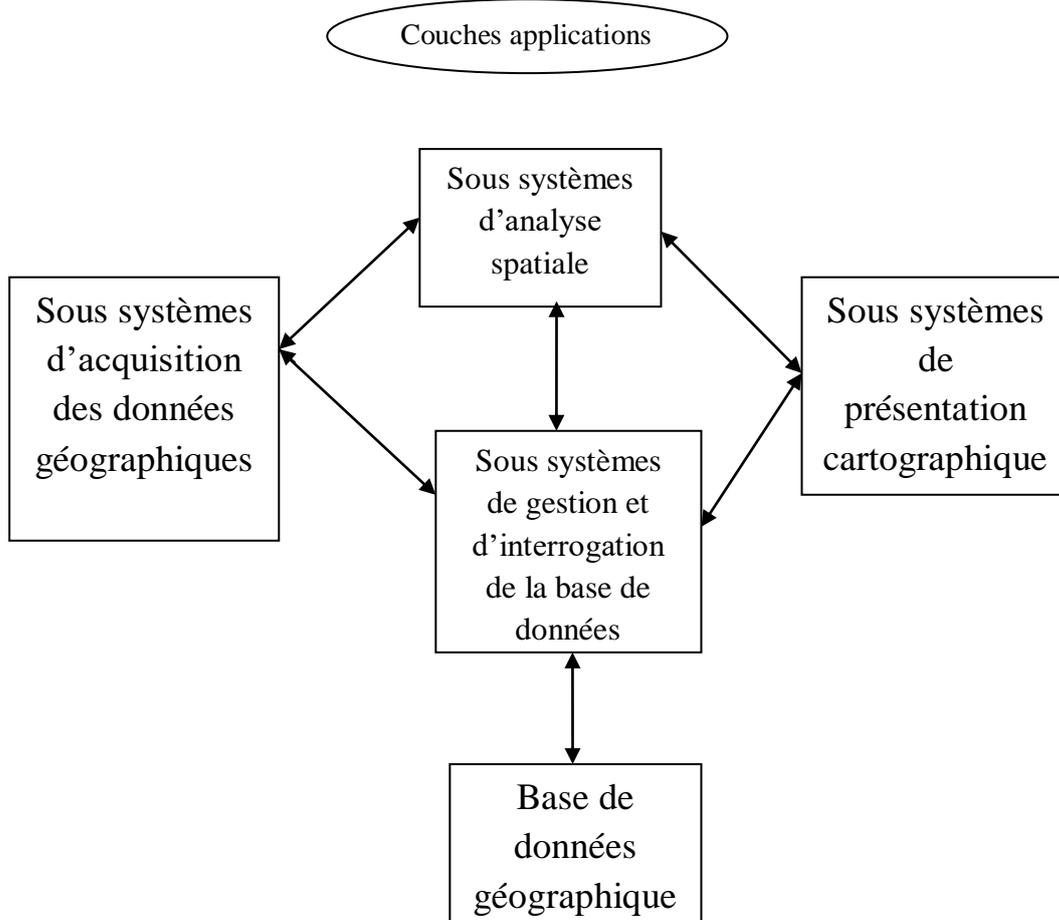


Figure 2.3 Structure d'un SIG (Fettouche and Menad 2020).

2.7.3 Les données géographiques

Les données géographiques désignent et décrivent toute information relative à un point ou un ensemble de points spatialement référencés à la surface de la terre par des paramètres d'affichage (couleur, épaisseur du trait...) comme : la distribution de ressources naturelles (sols, eaux, végétation) ; la localisation d'infrastructures (routes, édifices, réseaux d'équipements divers), les limites administratives et politiques, ...et ect (**Beldjazia, 2020**). Il existe deux types de données géographiques visualisables dans un logiciel SIG (**Menad, 2018**). Les données raster (par des images numériques) et les données vectorielles (par des points, des lignes, ou des polygones) (**Khenter 2017 ; Hazil 2021**).

D'une façon générale, l'analyse spatiale des données a un concept fondamental basé sur l'empiler et la superposition des couches qui contient des différents types de données et comparer-les à d'autres selon l'emplacement de chaque élément composant, toutes les couches sont géoréférencées dans l'espace géographique réel et s'entrelacent entre eux dans la mesure (**Harkat 2020 ; Hazil 2021**).

2.7.3.1 Les données attributaires

Ce sont les données qui décrivent la nature et les propriétés particulières des objets géographiques spatiaux telles que : le nom d'une route, le nombre d'habitants dans un immeuble localisé, la largeur de pont ... et ect (**Beldjazia, 2020**).

2.7.3.2 Les métadonnées

Ce sont « les données sur les données » qui décrivent directement la ressource c'est-à-dire ici les données, comme par exemple la date d'acquisition, le nom du propriétaire, ... etc. Elle permet de connaître l'origine et la nature des données, comprendre leur structure et savoir comment accéder aux données et comment les interpréter (**Menad, 2018**).

2.7.3.3 Les domaines d'utilisation des systèmes d'information géographique

Les systèmes d'information géographique sont des outils rapides d'exécution, flexibles et très puissants capables d'intégrer un grand nombre de facteurs et de les présenter sous une forme facilement interprétable (**Khenter, 2017**). Il y a quelques années la mise en place de SIG paraissait réservée aux grandes structures. Aujourd'hui les progrès informatiques et les possibilités offertes en matière de gestion et d'analyse, conduisent à la généralisation de l'outil à tous les échelons du territoire (**Beldjazia 2020; Hazil 2021**).

On trouve des systèmes d'information géographique dans bons nombres de domaines :

- ❖ Aménagement du territoire et urbanisme;
- ❖ Agriculture et santé;
- ❖ Industrie pétrolière;
- ❖ Infrastructure routière;
- ❖ Gestion des risques et de l'eau;
- ❖ Les constructions publiques ... et etc.

Donc, la collecte, le stockage, l'analyse et la représentation des données géographiques nécessitent un système d'information géographique (SIG) pour faciliter ces opérations, Esri a développée des logiciels technologiques dans ce contexte comme les dernières versions d'Arc GIS qui vient en tête ces logiciels avec des bénéfices et des avantages qui attirent l'utilisateur d'un SIG (**Harkat, 2020**).

2.7.4 Logiciel Arc GIS

C'est un ensemble de logiciel des SIG créé par Esri (l'institut de recherche sur les systèmes environnementaux) (<https://resources.arcgis.com>), qui peut collecter, organiser, gérer, analyser, communiquer et diffuser des informations géographiques. L'utilisation application de l'Arc GIS avec une bonne manière permet de :

- Déterminer la problématique ;
- Modélisation et calcul (géotraitement) ;
- Explication et interprétation des résultats ;
- Réponse à la problématique et prend des décisions ;
- Partage des résultats avec les autres.

Donc, l'utilisation de ce logiciel permet de trouver des résolutions aux problèmes spatiaux et des réponses adaptées aux nombreux types des scénarios possibles (**Harkat, 2020**).

Le logiciel ArcGIS comprend quatre applications principales :

- ✚ **ArcCatalog** : facilite l'organisation de toutes les données SIG (cartes, jeux de données, modèles,...).
- ✚ **ArcMap** : l'application centrale d'ArcGIS Desktop qui se subdivise en deux interfaces : visualisation et traitement (analyse, édition...) des données géographiques dans la fenêtre « data view » et mise en page de cartes dans la fenêtre « layoutview ».

- ✚ **ArcGlobe** : est similaire à ArcMap mais permet une visualisation 3D des données sur lesquelles vous travaillez.
- ✚ **ArcToolbox** : C'est la boîte à outils d'ArcGIS qui regroupe l'ensemble des outils de géotraitements utiles pour réaliser des opérations sur les données géographiques. Elle est disponible à partir des 3 applications présentées ci-dessus. ArcToolbox contient notamment le « ModelBuilder », un langage de programmation visuel et facile d'utilisation, pour automatiser une suite de géotraitements (Keteb, 2019).

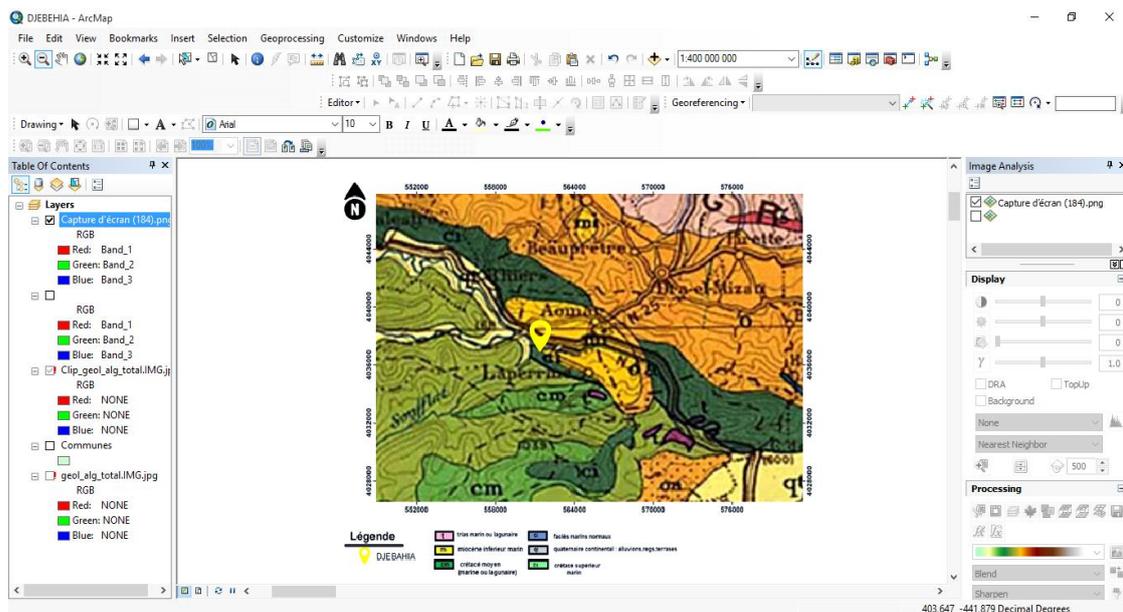


Figure 2.4 Structure de l'interface d'ArcMap en mode « Mise en page »

2.7.4.1 L'analyse de superposition

L'analyse de superposition consiste en un groupe de méthode appliquée à la sélection de site ou à la modélisation d'aptitude (<https://desktop.arcgis.com>). Cette analyse est nécessaire souvent l'analyse de nombreux facteurs différents (compositions du sol, pente relative, distances par rapport aux cours d'eaux, occupations des sols...etc.) et ils sont sous forme des couches de données analysées au moyen de la superposition pondérée, pour effectuer l'opération précédente on doit suivre les quatre étapes si dessous :

2.7.4.2 Collection des couches source

Les données géographiques qui proviennent de sources différentes sont collectées dans le SIG sous forme des données numériques en polygones ou souvent en raster représentent des données initiales formé des couches source utilisées dans cette étude (Khemissa, 2006).

2.7.4.3 Reclassification

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

2.7.4.4 Création des couches d'aptitude

Les couches de données qui sont déjà collectées doivent se classer selon la diversité des valeurs de données existantes, une échelle d'aptitude a été utilisée pour grouper en classes les données géographiques, le changement de ces dernières est manifesté par la dégradation ou changement de couleur (Aleotti and Chowdhury 1999).

2.7.4.5 Calcul la superposition pondérée

Le système d'information géographique SIG dans cette étape superpose les couches d'aptitude les uns sur les autres pour obtenir un taux d'aptitude pour chaque pixel qui représente les résultats de calcul des valeurs pondérées (Harkat, 2020).

2.7.4.6 La validation des résultats

La carte de susceptibilité aux glissements de terrain résultante doit subir une vérification sur le terrain, il s'agit d'une observation que les zones ont forte sensibilité présentent des indications significatives d'instabilité des terrains. Pour valider l'exactitude des résultats par une carte de susceptibilité à ces glissements il faut les comparer avec une carte d'inventaire des glissements de terrain dans la zone d'étude qui est réalisée à partir des glissements de terrain documentés dans les études précédentes et celle observée sur le terrain par les chercheurs (Harkat, 2020).

2.8 Conclusion

Dans ce cadre nous avons présenté un aperçu global sur la cartographie, la classification des cartes géotechniques et leurs types, et en caractérisons un concept de base sur le risque lié aux mouvements de terrain par la cartographie de la susceptibilité et de l'aléa avec une présentation des différentes méthodes actuelles d'analyse de l'aléa.

Ce chapitre est destiné aussi à savoir brièvement la structuration et les types des données dans un système d'informations géographiques SIG, avec un bref rappel sur logiciel Arc GIS qui présente les données d'un SIG. Et nous avons conclu que la cartographie c'est un travail qui nécessite une bonne connaissance du terrain, une exploitation des rapports techniques disponibles et la mise en place d'une base des données utiles.

Dans le chapitre qui suit nous présenterons la zone d'étude à savoir l'utilisation de ces techniques pour mieux comprendre le phénomène étudié (glissement de terrain).

CHAPITRE 3 : PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

3.1 Introduction

La wilaya de Bouira est l'une des Wilaya du nord de l'Algérie qui connaît de nos jours, une forte activité stimulée en particulier par le développement des différents réseaux routier, ferroviaire et des conduites de transfère d'eau. Car, elle constitue une zone de passage des différents projets reliant la région d'Alger et les régions de l'Est et du Sud-Est du pays, comme par exemple l'autoroute Est-Ouest, la pénétrante reliant la wilaya de Tizi Ouzou-Bouira et la conduite de transfert d'eau provenant du barrage Koudiat-Acerdoune, et comme un meilleur exemple d'un projet récent touché par ce type d'évaluation dans cette région est celui d'une ligne ferroviaire à double voie électrifiée relier les villes de Thénia (au Nord) avec les villes de Bourdj Bou Arreridj (BBA) (au Sud) passant par la wilaya de Bouira sur un tracé d'une longueur d'environ 162 Km avec une exploitation d'une nouvelle gare qui devra avoir un accordement à Béni-Mansour pour un trafic mixte (voyageurs-marchandises) (ANESRIF, 2018). Ce projet est nécessite un ensemble des études approfondies, et parmi les plus importantes l'étude géologique qui permet d'identifié les difficultés géologiques des terrains traversés la faisabilité des différents tronçons et décrire de la manière la plus détaillée que possible les caractéristiques géologiques de la zone traversée par le tronçon (ANESRIF, 2013).

3.2 Définition du projet

Le projet est représenter une étude sur la réalisation d'une ligne ferroviaire à double voie électrifiée aux caractéristiques modernes, qui doit relier les villes de Thénia (au Nord) et Bourdj Bou Arreridj (au Sud) en passant par Bouira sur un tracé d'une longueur d'environ 162 Km qui permettrait l'exploitation d'une nouvelle gare et devra avoir un accordement à Béni-Mansour (ANESRIF, 2017).

Les principales caractéristiques de la ligne ferroviaire à double voie électrifiée sont les suivantes :

- ✚ Vitesse maximum de 160 km /h ;
- ✚ Ecartement standard (1 435mm) ;
- ✚ Voie équipée de rails UIC 60 posés sur traverses en béton ;
- ✚ Trafic mixte (voyageurs-marchandises) avec un maximum de 8 trains de voyageurs par heurs par direction dont 2 trains de marchandises ;
- ✚ Aucun passage à niveau n'est autorisé.

Notre cas d'étude est concerné le tronçon PK 107 (Djebahia au sud) à PK 130 (Lakhdaria au nord) sur une longueur d'environ 23 Km. Le tronçon longe la route nationale N°5 en passant par les quatre communes suivant ; Lakhdaria, Kadiria, Aomar et Djebahia (**Fig 3.1**). Il présente une morphologie accidentée, en particulier au niveau de la section située entre les localités d'Aomar et Djebahia. Elle traverse des reliefs montagneux à topographie accidentée impliquant des franchissements par des ouvrages d'art tels que tunnels et viaducs (**ANESRIF, 2018**).

3.3 Situation géographique de la wilaya de Bouira et la région d'étude

La wilaya de Bouira est une wilaya du centre Nord Algérienne située en Kabylie. Elle s'étend sur une superficie de 4456,26 km² représentant 0,2% du territoire national. Son chef-lieu est situé à une altitude de 525 m et près de 120 km de la capitale d'Alger, au bas du piémont Sud-ouest du Djurdjura dont le sommet le plus élevé est Lala-Khadija (2308 m). La grande chaîne du Djurdjura d'une part et les monts de Dirah d'autre part, encadrent la wilaya qui s'ouvre de l'Ouest vers l'Est sur la vallée de la Soummam (**Belbachir and Lakhal 2017 ; Guerraiche 2019 ; Omani 2020**). La wilaya de Bouira est délimitée :

- Au Nord par la wilaya de Boumerdes et Tizi-Ouzou ;
- Au Sud et Sud-ouest par les wilayat de M'sila et de Médéa ;
- A l'Est et au Sud-est par les wilayat de Bejaia et Bordj-Bou-Argeridj ;
- A l'Ouest par les wilayat de Blida et Médéa.

Du point de vue administratif, la wilaya de Bouira se subdivise en 12 daïras totalisant 45 communes (**Si Youcef and Mizab 2004**). Notre cas d'étude est concerné par les trois communes traversées par le tronçon PK 107 à PK 130 qui sont Djebahia, Kadiria et Lakhdaria (**Fig 3.1**). Ces communes sont limitées au Nord par Ammal Chabet El Aneur et Tizi Ghenif, au sud par Souk El-Khemis, Ain Bessem, El Mokrani et Maala, à l'Ouest par Ain Turk et Ain El Hadjar, et à l'Est par Bouderbala.

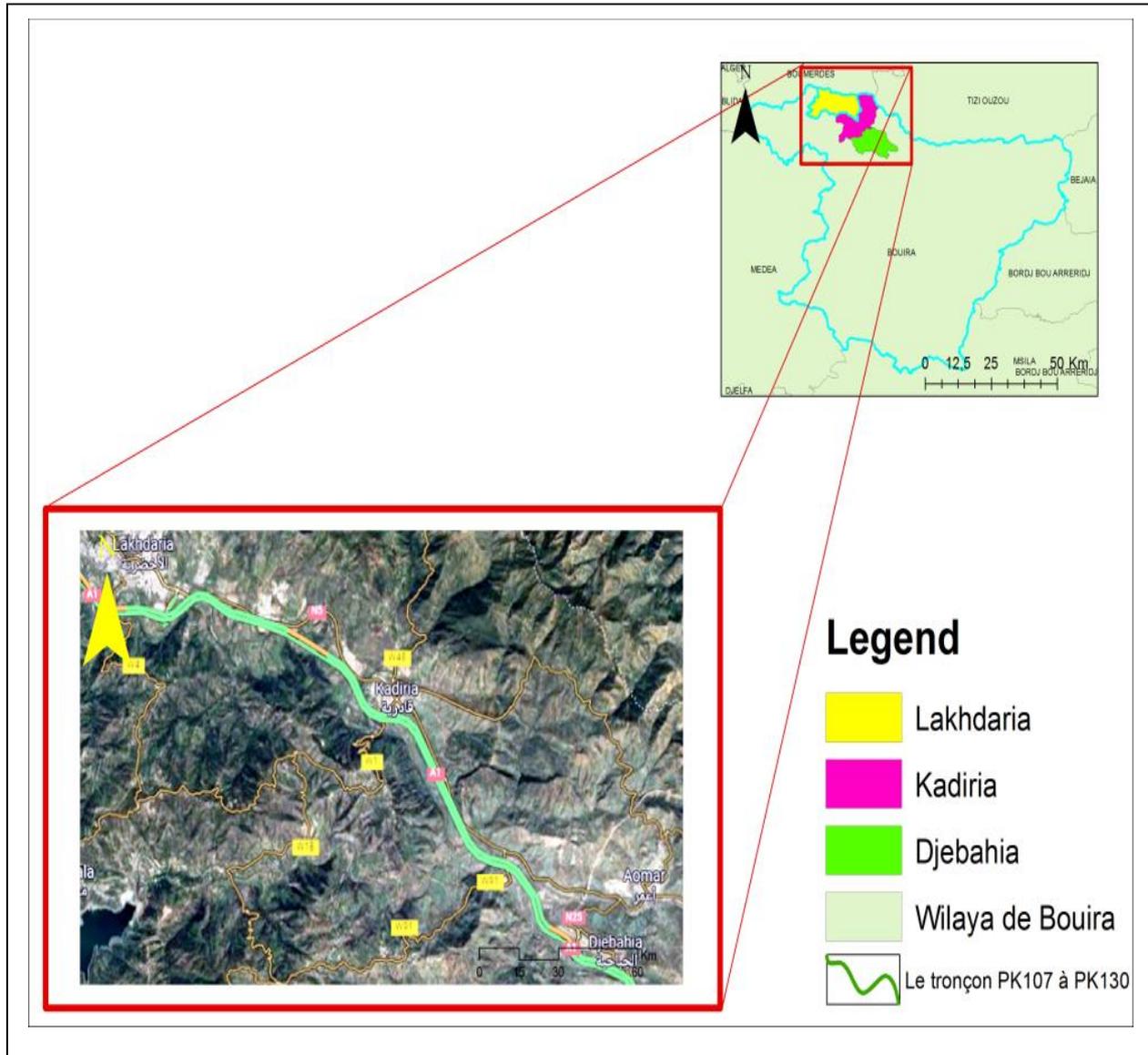


Figure 3.1 Carte montrant la situation géographique des communes d'étude.

3.4 Contexte géologique

La wilaya de Bouira est repose sur des substrats géologiques variés, de forme stratifiée, sa partie nord est dominée par des poudingues, au sud on trouve les marnes schisteuses intercalés par des calcaires marneux, d'argiles et des quartzites qui caractérisent le centre de la région (Belbachir and Lakehal 2017).

3.4.1 Géologie régional

La zone d'étude se localise dans la partie occidentale de la dépression de la Soummam. Cette dernière forme la jonction entre le tell septentrional au Nord et le Tell méridional au

Sud. Dans la région de Bouira, on distingue deux grands ensembles qui sont orientés globalement dans la direction est-ouest, direction des structures de l'Atlas Tellien :

- ✚ Le socle de grande Kabylie au Nord, constitué d'un relief plus ou moins doux avec des altitudes des culminantes à 1244 m.
- ✚ La chaîne du Djurdjura au sud, avec un relief abrupt et accidenté, avec des altitudes de plus de 2000m. Vers le Sud le relief d'adoucit pour laisser place à la dépression mi-plio-quadernaire de Bouira avec de faibles altitudes allant jusqu'à 463m dans la vallée du Dous.

Du Nord au Sud, on distingue trois zones différentes :

- Au Nord, les zones de montagne qui présentent le versant Sud de Djurdjura, caractérisées par de fortes pentes;
- Au centre, les plaines représentées par les plateaux de Bouira, El Asnam et El Hachimia. Ces espaces sont utilisés pour l'agriculture;
- Au Sud, les massifs des Bibans, avec de hauts reliefs qui descendent vers Sour El Ghoulane à environ 1000 m (SETI-RAIL, 2018).

3.4.2 Géologie local

Le secteur d'étude se localise dans la partie occidentale de la dépression de la Soummam qui forme la jonction entre le tell septentrional au Nord et le Tell méridional au Sud. Le secteur d'étude est bordé au Nord par les flysch du flanc Sud du Djurdjura et au Sud par des affleurements du Miocène (Fig 3.2) (Guerraiche 2019 ; Omani 2020). Les séries stratigraphiques s'étendant sur la région d'étude sont :

3.4.2.1 Les flysch du flanc du Sud du Djurdjura

S'étendent de façon continue d'Ouest en Est des formations à faciès flysch sur le flanc méridional de la chaîne du Djurdjura, Cet ensemble puissant de plus de 500 m longtemps attribué au Crétacé est représenté par des schistes verdâtres, des quartzites, des bancs de microbrèches, des conglomérats et des lentilles de calcaires.

3.4.2.1.1 Les flysch inférieurs

Ils peuvent être repartis en trois types de faciès : flysch tertiaire représenté par une série pélique bleue sombre avec des intercalations de grès; flysch sénonien à microbrèches et flysch céno-mano-turonien.

3.4.2.1.2 Les flysch supérieur

Ces flysch surmontent les précédents. Ils sont plus ordonnés, mais la série est renversée.

- **Le Miocène**

Il s'agit de formations du Miocène inférieur post-nappe. Cette puissante formation continentale se développe largement dans la vallée de la Soummam. Ce Miocène forme la majeure partie des affleurements de bordure de la plaine (**Keteb and Mechta 2019**). Les dépôts miocènes sont essentiellement formés d'assises conglomératiques jaunâtres à rouge brique avec des argiles sableuses ainsi que des passées argileuses et des grès. Les formations sont caractérisées par d'importantes variations de facies. Elles sont recouvertes sur le plateau de Bled El Madjen par des formations quaternaires (**Boudiaf, 1996**).

- **Le Quaternaire**

Il recouvre le Miocène post-nappes sur une bonne partie de la surface (**Itatahine and Ouad 2019**). Dans le secteur d'étude le Quaternaire est représenté par divers types de dépôts:

- ❖ Les cônes de déjection : composés par des dépôts caillouteux et des éboulis de pente.
- ❖ Les terrasses d'alluvions anciennes : de nature caillouteuse et limoneuse bien cimentées.
- ❖ Les alluvions récentes : composées par des dépôts limoneux et caillouteux.

Sur le plan géologique local du notre tronçon, le projet de la ligne ferroviaire Thnéia - Bordj Bou Arreridj traverse la zone externe et la zone interne des Maghrebides. La synthèse des grands ensembles géologiques traversés par le tronçon du PK 107 à PK 130 (Lakhdaria vers Djebahia) est donnée comme suit :

3.4.2.2 Le Néogène nord de Bouira

3.4.2.2.1 Le Miocène du bassin d'Aomar-Bouira

La région de Bouira-Aomar forme la limite occidentale du bassin de Soummam. Le Miocène post-nappe est représenté (**Coutelle, 1979**) par deux formations :

- ✓ Une formation inférieure, marneuse, d'origine marine, d'âge langhien supérieur-servaiant ;
- ✓ Une formation supérieure, conglomératique, rouge, d'origine continentale, d'âge tortonien.

Le Quaternaire est représenté par le Pliocène avec des terrasses grossières et étagées pouvant atteindre quelques dizaines de mètres et forme en particulier des plateaux caillouteux. Dans la région de Djebahia (SE Bouira), quelques lambeaux des terrasses quaternaires (les plus anciennes) recouvrent en discordance, les marnes miocènes qui sont ici, largement affleurantes (SETI-RAIL, 2018).

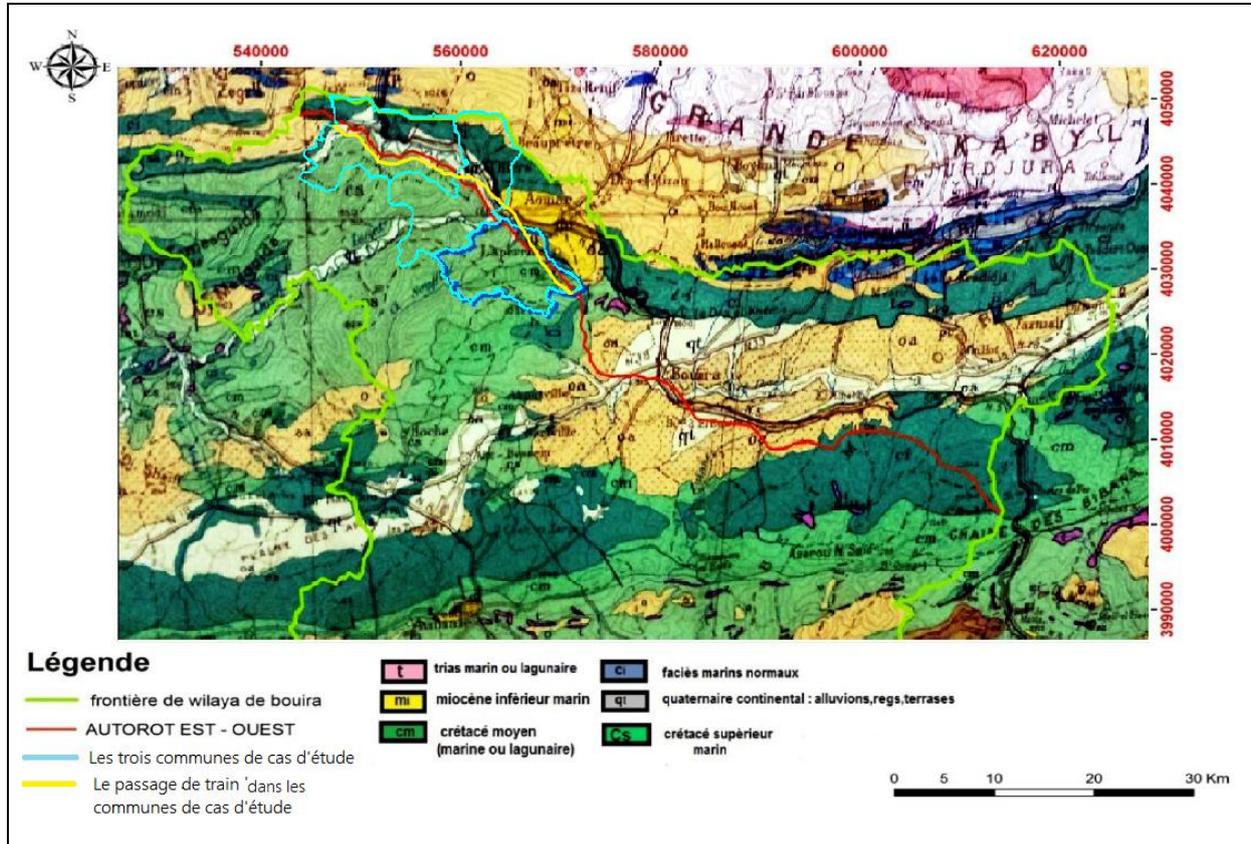


Figure 3.2 La carte géologique de la wilaya de Bouira et les trois commune de notre cas d'étude extrait de la carte géologique du Nord d'Algérie à 1/200 000 (Ficheur 1911)

3.4.2.3 Le Parautochtone des Bibans

Les formations géologiques traversées par le tronçon PK107 a PK130 au niveau de l'unité des Bibans (dans sens géologique de J. Savornin 1920) peuvent être résumées comme suit :

3.4.2.3.1 Le revers nord de chaîne des Bibans

Comme mentionné par la carte géologique de la figure (3.2), les faciès géologique de PK 107+000 et PK 113+400 sont principalement constitués par les formations du Crétacé inférieur, qui nous décrivons ci-dessous :

➤ **Crétacé inférieur**

✚ *Albien inférieur et moyen*

Les affleurements qui appartiennent à ces âges sont constitués par des alternances rythmiques d'argilites, de pélites, de grès quartzeux à grain fin, et de marnes. De rares niveaux de calcaires à coquilles peuvent être observés (qui appartiennent à l'Albien inférieur).

Ce type de formation affleure principalement entre le PK109+200 (**Fig 3.3**). D'après les investigations effectuées, il n'a pas été observé d'instabilités proprement dites. Toute fois, la morphologie générale des terrains forme des < *badlands* > avec d'importants ravinements (probablement à cause de la prédominance des faciès pélitiques). Ce type de situation devrait amener à prévoir des dispositions particulières lors de l'exécution des terrassements, et plus particulièrement pour les déblais de grande hauteur. Par ailleurs, il est à signaler que les niveaux moins affectés par l'érosion /altération constituent de bonnes assises de fondation. Aussi, la rippabilité de ces terrains paraît assez variable (en fonction du niveau d'altération, et de la structuration du massif), et les faciès riches en niveau quartzitiques pourraient constituer de bons matériaux de remblais (**ANESRIF, 2018**).



Figure 3.3 Affleurement de l'Albien au PK109+000 (**ANESRIF, 2018**).

✚ *Albien moyen-sup indifférencié*

Dans plusieurs endroits, les faciès de l'Albien moyen et supérieur ne sont pas différenciés. Ils sont alors regroupés indifféremment. Ces faciès indifférenciés affleurent du PK109+100, du PK109+000 au PK112+900 (**Fig 3.4**).

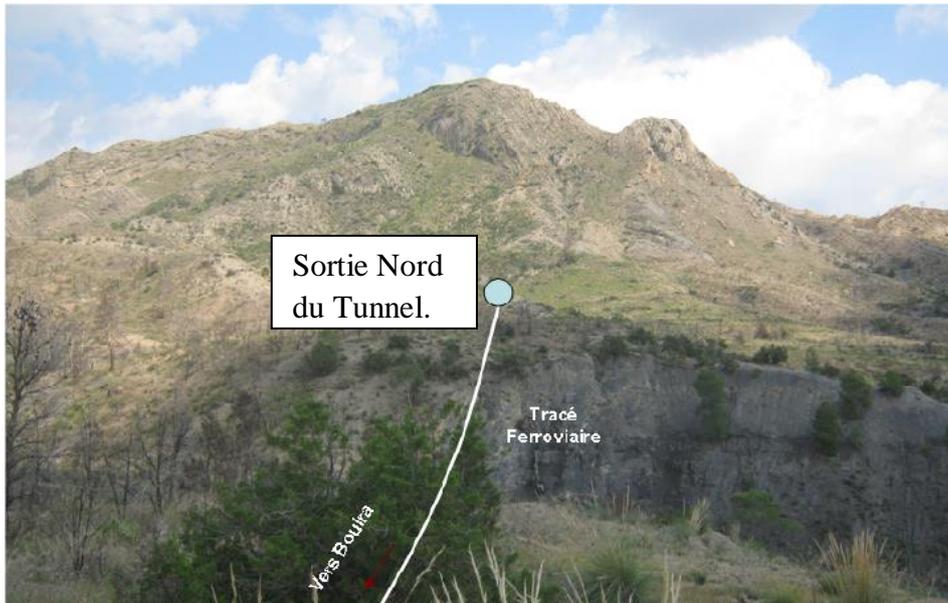


Figure 3.4 Affleurement de l'Albien moyen-sup indifférencié PK112+800 (ANESRIF, 2018).

3.4.2.3.2 La chaîne des Bibans au sens orographique

Le tronçon traverse les Bibans au sens orographie entre le PK113+400 et PK115+200. Les faciès géologiques traversés sont les suivants :

➤ **Crétacé moyen (Cm)**

✚ ***Le Vracono-Cénomano-Turonien***

Cet ensemble affleure principalement du PK112+900 au PK115+300 (**Fig 3.5**). Dans cette zone, le tracé passe en < travers-bances >, ce qui permettrait d'assurer une bonne stabilité des fondations et des talus de déblai. Pour le tunnel prévu dans cette zone, en fonction du sens du pendage, ce dernier sera, d'un côté, très favorable à la stabilité du front d'excavation, et de l'autre côté, moyennement favorable car le tunnel est sera creusé à partir des deux portails à cause de la présence de barres calcaires épaisses et résistantes qui est nécessaire pour une fragmentation préalable, et pour la production de granulats bien envisageable (ANESRIF, 2018).



Figure 3.5 Affleurement du Vracono-Cénomano-Turonien des Bibans PK115+000 (ANESRIF, 2018).

3.4.2.3.3 Le revers sud de la chaîne des Bibans

➤ Crétacé moyen – supérieur (Cm-s)

✚ *Le Turono-Coniacien*

Cet ensemble affleure entre le PK115+400 au PK 116+400 (**Fig 3.6**). Il est constitué par des marnes grises à gris verdâtre avec des intercalations de bancs de calcaire gris à passées de silex. Ces formations reposent sur le Turonien.

Dans cette zone, les terrains montrent des ravinelements moyennement prononcés, sans toutefois qu'ils ne présentent de signes d'instabilités proprement-dites. Les niveaux moins altérés constituent une bonne assise de fondation.



Figure 3.6 Affleurement du Turono-Coniacien au PK 115+500 (ANESRIF, 2018).

3.4.2.4 Les nappes telliennes

Les formations géologiques du tronçon qui constituent les nappes telliennes situées au Sud de la chaîne des Bibans sont résumées ci-après :

➤ **Le Trias**

Cet ensemble triasique est traversé par le tronçon du PK 116+500 au PK 116+900 ; du PK 117+600 au PK 118+100 ; du PK 118+500 au PK 118+900 ; et du PK 129+950 au PK 130+250.

Les formations du Trias sont constituées par un mélange de débris de roches, d'âge divers, cimentés par du gypse ou des argiles bariolées (au niveau du PK117+800 et PK118+100). Les roches sont principalement constituées par des calcaires, des calcaires dolomitique, altérées et cavernueuses. Des brèches sont également observées, et sont liées à des pendages raides, de puissance variable.

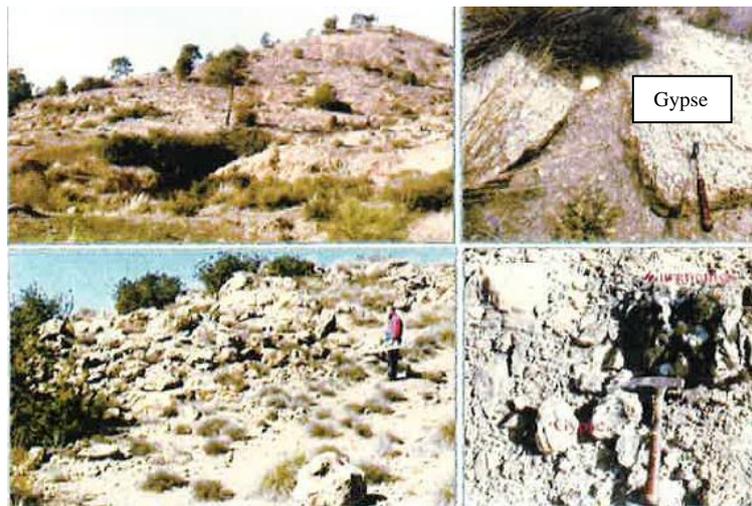


Figure 3.7 Affleurement du Trias dolomitique et gypseux (ANESRIF, 2018).

➤ **Le crétacé supérieur (Cs)**

✚ ***Le Sénonien indifférencié***

Les dépôts appartenant à cet âge sont les plus répandus du complexe allochtone. Ils sont constitués de marnes et de calcaires tachetés (à Inocéramus). Dans certains endroits, la fréquence des niveaux calcaires diminue, jusqu'à disparaître (**Fig 3.8A**) ; dans d'autres endroits, les niveaux de calcaire deviennent plus fréquents (**Fig 3.8B**), et s'épaississent pour former des bancs décimétriques à métriques (**Fig 3.8C**). Ces formations sont traversées par

le tracé au niveau de plusieurs tronçon (PK 118+850 au PK 127+850 ; PK128+200 au PK 129+800 ; PK 128+900 au PK 130+100 et PK130+100 au PK130+200) (ANESRIF, 2018).

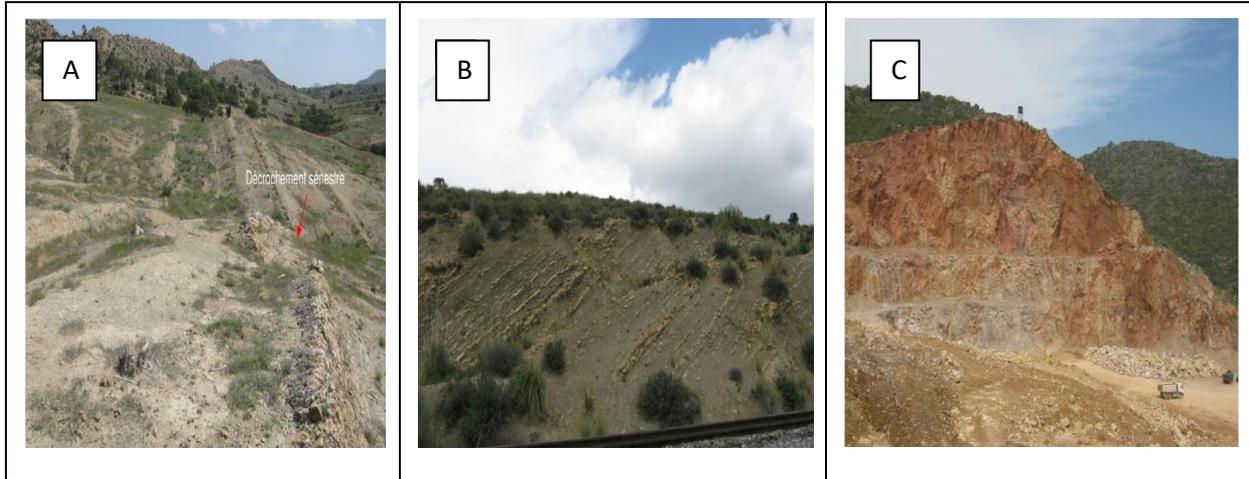


Figure 3.8 Affleurement des formations du Sénonien du PK 118 au PK 141(ANESRIF, 2018).

3.5 Hydrogéologie et hydrologie

La région d'étude est constituée essentiellement par des cours d'eaux à ruissellement intermittent. Les écoulements de surface sont alimentés par une pluviométrie parfois importante en hiver, par contre en été les cours d'eaux sont asséchés. La nature de terrain et leur perméabilité ont une grande influence sur la répartition des cours d'eaux.

Sur le plan hydrogéologique, la wilaya de Bouira renferme d'importantes ressources en eau (Keteb and Mechta 2019). Elle est traversée par des bassins versants importants dont l'apport moyen annuel est de l'ordre de 561 millions de m³. Des facteurs physico-géographiques et géologiques qui sont propices à la formation des eaux souterraines dans la région de Bouira. Les eaux sont générées par les infiltrations de précipitations atmosphériques et par la perte des eaux d'oueds comme : les eaux souterraines liées à l'Oligo-Miocène et Quaternaire; les eaux souterraines liées au Jurassique, Crétacé et l'éocène et Les eaux souterraines liées au Protérozoïque (Boudiaf, 1996).

Notre zone d'étude (Djebahia, Kadiria et Lakhdaria) sont caractérisées par le bassin de Isser qui contient de Oued Djemaa dans Kadiria et Lakhdaria , Oued Isser et Oued Soufflet dans Djebahia

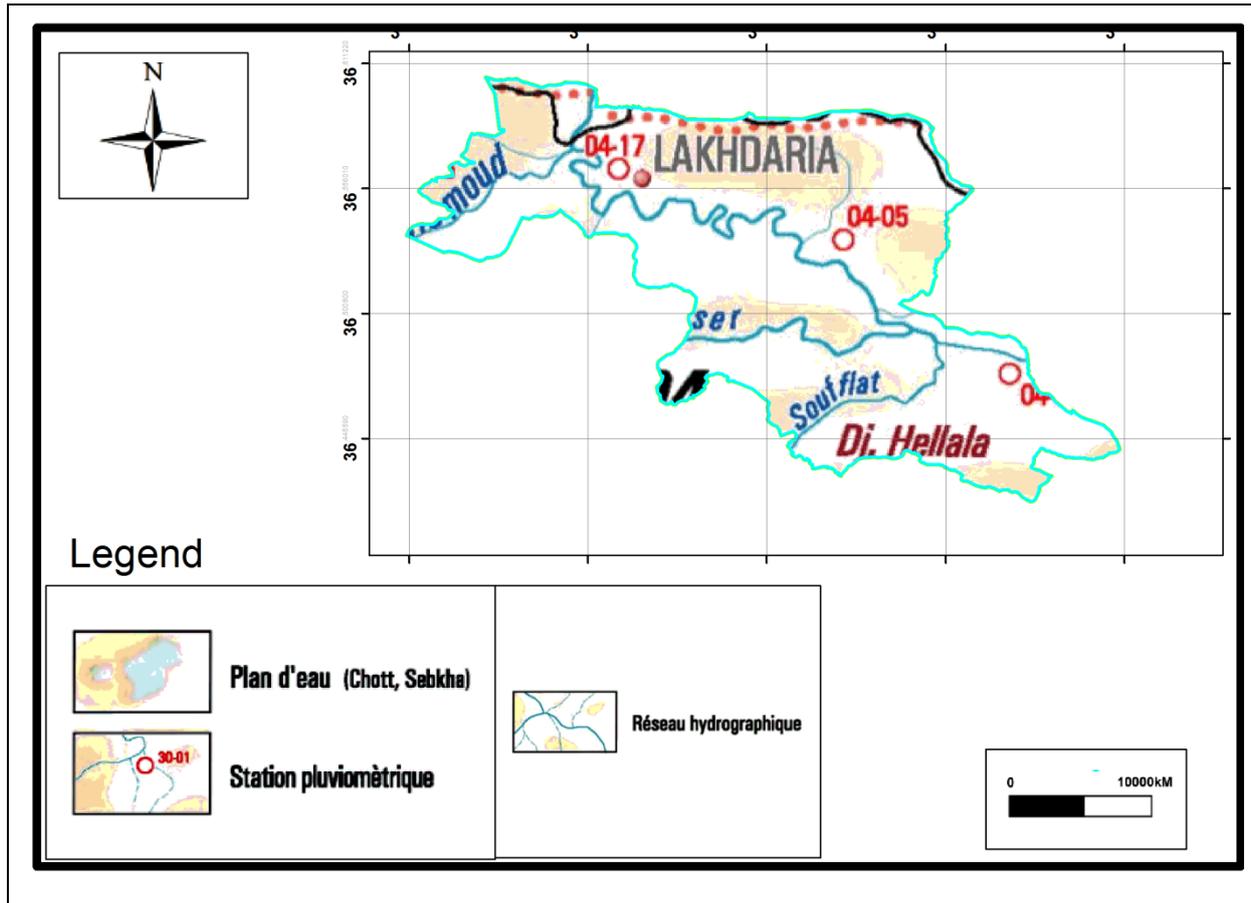


Figure 3.9 Carte de reseau hydrographique de la zone d'étude extrait de la carte du réseau hydroclimatologique et de la surveillance de la qualité des eaux e = 1/500 000ème (ANRH 2004)

Sur le plan hydrologique proprement dit de cette région, les pentes naturelles du versant instable sont suffisantes pour drainer les eaux de pluies. Seuls les replats topographiques de la zone de remblais et la piste réalisée pour la réalisation de la conduite d'eau favorisent la stagnation locale et temporaire des eaux météorique. L'infiltration des eaux de surface dans ces terrains est rendue possible par leur altération, décompression, et notamment par les fentes de retrait qui découpent profondément le terrain, au cours de la saison chaude (**Keteb and Mechta 2019 ; Omani 2020**).

3.6 Aperçu tectonique

La structure de l'Algérie du Nord, est due à des mouvements tertiaires, surtout miocènes. Après la mise en place des nappes au cours du Miocène moyen, des divers types des déformations se sont produites avec (**Boudiaf, 1996**). Elle est caractérisée par deux phases majeures :

- **Une phase de distension miocène** : responsable de la formation des zones externes dans le fossé du de la Soummam et caractérisées par des différentes formations qui sont:

- Miocène post-nappes Cet ensemble structural occupe toute la dépression de la vallée de l'Oued Soummam.
- Crétacé supérieur (Paléocène à Cénomaniens) : Cette unité structurale est représentée par des marnes grises et schistes à bancs de calcaires.
- Crétacé inférieur (Néocomien à Albiens) : Situé au dessus de l'ensemble structural précédent, se compose de marnes, d'argiles schisteuses et de grès.
- **Une phase de compression** : elle est postérieure aux dépôts du Miocène post-nappes et responsable des déformations pli actives ou cassantes. Elle a engendré :
 - Le plissement de l'édifice des nappes et leur chevauchement tardif sur le Miocène de la Soummam. Le serrage et le redressement de la chaîne calcaire.
 - Le Miocène post-nappes est peu plissé par comparaison aux formations plus anciennes, mais il est affecté par une fracturation plus ou moins intense, par une phase tardive de serrage, enregistrée dans le secteur sud-Kabyle. Cette phase est responsable de grandes failles inverses, sectionnant à la fois l'édifice des nappes et le miocène post-nappes.

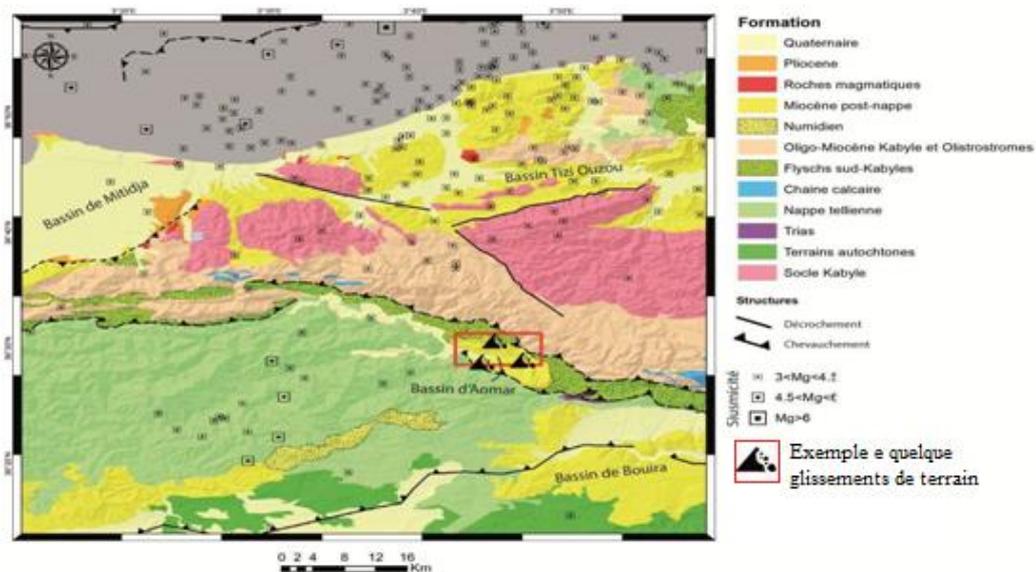


Figure 3.10 Schéma représentatif des failles actives du centre de l'Atlas tellien (Meghraoui et al 1988).

- Une nappe épitéllienne : Cette nappe chevauche vers le Sud de la région d'étude la nappe Sud tellienne, et vers l'Est de Bordj Bou-Arredj elle repose sur le substratum autochtone.

3.7 Paramètres climatologie

Le climat de la zone d'étude relève du régime méditerranéen, caractérisé par des étés chauds et secs et des hivers froids et pluvieux avec des chutes de neige qui sont fréquentes au cours des hivers très froids, dans les hauts reliefs, où l'altitude dépasse les 800 m (Maafi et Mechachou 2020).

D'après Maafi et Mechachou (2020), les données climatiques classe la région dans un climat de type subhumide caractérisé par :

- ✚ Des précipitations moyennes varient selon l'altitude entre 600mm/an à 900mm/an.
- ✚ Des températures froides en hiver et chaudes en été.
- ✚ Une longue période de sécheresse s'étale de juin à septembre.

3.7.1 Pluviométrie

La pluviosité est le facteur primordial qui permet de déterminer le type de climat et d'impacts d'une région, généralement, les précipitations moyennes annuelles sont variables d'une année à l'autre (Belbachir et Lakhel 2017 ; Diab et Douar 2019).

On remarque à travers la figure ci-dessous (Fig 3.11) qui montre la variation des moyennes mensuelles des précipitations (2007-2019) que au jour de précipitation est un jour au cours duquel on observe une accumulation d'eau ou mesurée en eau d'au moins 1 millimètre. La probabilité de jours de précipitation à Bouïra varie au cours de l'année.

La saison connaissant le plus de précipitation dure, du 9 septembre au 28 mai, avec une probabilité de précipitation quotidienne supérieure à **15 %**. La probabilité de précipitation culmine à **28 %** le 7 février.

La saison la plus sèche dure, du 28 mai au 9 septembre. La probabilité de précipitation la plus basse est **3 %** le 18 juillet.

Pour les jours de précipitation, nous distinguons les jours avec pluie seulement, neige seulement ou un mélange des deux. En fonction de ce classement, la forme de précipitation la plus courante au cours de l'année est de la pluie seulement, avec une probabilité culminant à **27 %** le 20 novembre (Lahmidi, 2021).



Figure 3.11 Variations des moyennes mensuelles des précipitations 2007-2020 (Lahmidi, 2021).

3.7.2 Température

La température est considérée aussi comme un facteur climatique important qui la détermination et la caractérisation d'un climat d'une région donnée (Belbachir et Lakhhal 2017; Keteb and Mechta 2019 ; Diab et Douar 2019).

D'après l'analyse de la figure ci-dessous (Fig 3.12) qui résumé la température moyenne mensuelle minimales et maximales de la zone Bouira en 2020 :

La saison très chaude dure, du 20 juin au 13 septembre, avec une température quotidienne moyenne maximale supérieure à **29 °C**. Le jour le plus chaud de l'année est le 5 août, avec une température moyenne maximale de **33 °C** et minimale de **17 °C**.

La saison fraîche dure, du 19 novembre au 19 mars, avec une température quotidienne moyenne maximale inférieure à **17 °C**. Le jour le plus froid de l'année est le 19 janvier, avec une température moyenne minimale de **0 °C** et maximale de **13 °C** (Lahmidi, 2021).

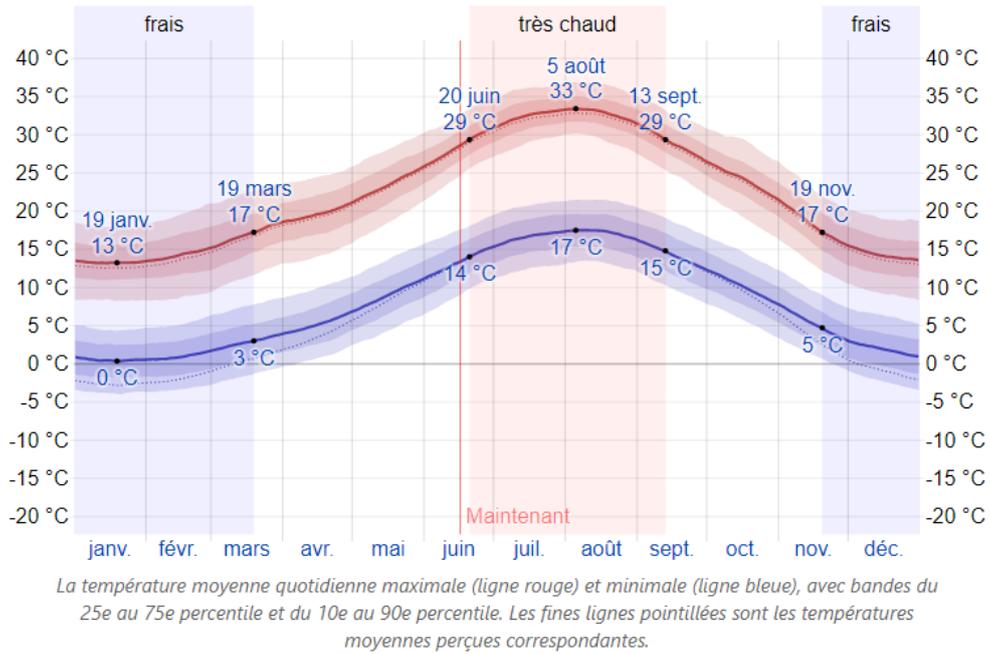


Figure 3.12 Température moyenne maximale et minimal de Bouira (Lahmidi, 2021).

3.8 Sismicité

Selon les caractéristiques sismo-tectoniques du Nord Algérien montrent que celui-ci est caractérisé par une activité tectonique récente se manifestant sous forme de séismes magnitudes plus ou moins élevées. Les désordres induits par les séismes au niveau du sol sont de diverses natures représentent la cause principale des dégâts. Tout phénomène sismique se manifeste par des vibrations au niveau du sol généré par les ondes sismiques et l'apparition failles en surface, lorsque les séismes sont de fortes magnitudes. Les instabilités liées aux séismes concernent entre autres comme : les glissements de terrain, les ruptures de failles en surface... etc. (ANESSRIF, 2018).

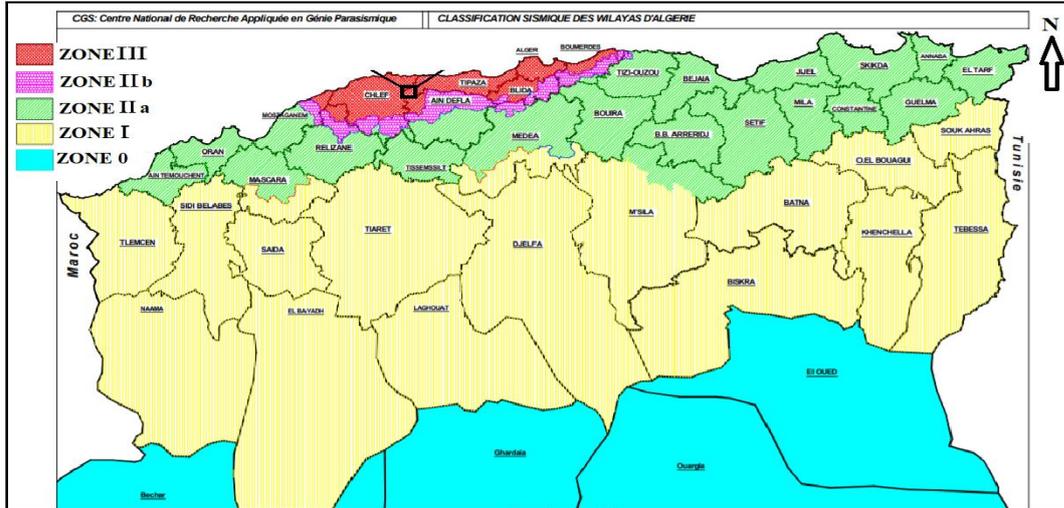


Figure 3.13 Classification sismique des Wilayas d'Algérie (Harkat, 2020).

D'après la nouvelle réglementation parasismique Algérien (RPA 99/ Addenda 2003), publié par le Centre de Génie Parasismique C.G.P le territoire national a été subdivisée en cinq zone sismicité croissante, définies ci-dessous :

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

Le niveau minimal de protection sismique accordé à un ouvrage dépend de sa situation et de son importance vis-à-vis des objectifs fixés. Tout ouvrage qui relève du domaine d'application des règles parasismiques algériennes RPA 99/2003 doit être classé dans l'un des quatre groupes définis ci après :

- Groupe 1A : Ouvrages d'importance vital ;
- Groupe 1B : Ouvrages de grande importance ;
- Groupe 2 : Ouvrages courants ou d'importance moyenne ;
- Groupe 3 : Ouvrages de faible importance.

Tableau 3.1 : Coefficients d'accélération en fonction du type d'ouvrage et la sismicité de la zone (RPA 99/version 2003).

Groupe	Zone			
	I	Ia	Ib	III
1A	0.15	0.25	0.30	0.40
1B	0.12	0.20	0.25	0.30
2	0.10	0.15	0.20	0.25
3	0.07	0.10	0.14	0.18

D'après les règles parasismiques Algériennes (RPA 99/version 2003), la totalité de la wilaya de Bouira est classée dans la zone **IIa** (sismicité moyenne) (ANESSRIF, 2018).

3.9 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons collectés des données concerne la région de Bouira ou se trouve notre projet, où nous avons commencée par une description générale de la zone d'étude avec une simple définition sur le projet d'une nouvelle ligne ferroviaire entre Thénia et Bourdj Bou Arreridj, un contexte géologique (géologie régionale et local approfondie sur le tronçon d'étude), l'hydrologie et l'hydrogéologie, un aperçu tectonique, les paramètres climatiques (températures et pluviométrie), et la sismicité, et on conclut que la région de Bouira est caractérisée par une géologie variée d'âge différent.

D'après l'analyse approfondie sur la géologie locale concernée par le passage du tronçon (PK 107 et PK 130) entre Bouira et Thénia, ainsi que le relief de notre tronçon ou il se caractérise par une structure géomorphologie variée avec plusieurs formation géologiques susceptibles aux différents types d'instabilité (glissement de terrain).

Dans le dernier chapitre, nous essayerons de faire un détaille sur la région d'étude (tronçon PK 107 au PK 130) ou on aborde les problèmes des glissements de terrain a fin de le caractériser et de l'évaluer en utiliser le système d'informations géographiques SIG par l'application du logiciel de cartographie **Arcgis**.

CHAPITRE 4 :

**CARTOGRAPHIE DE LA SUSCEPTIBILITÉ AU
GLISSEMENT DE TERRAIN TRONÇON PK 107**

4.1 Introduction

Les données utiles à l'élaboration d'une étude de l'aléa glissement de terrain sont multiples, nombreuses et souvent dispersées. La constitution d'une liste d'informations accessibles et disponibles sur le site d'étude avec l'identification des différents paramètres qui sont nécessaire à l'évaluer de l'aléa du risque d'un glissement de terrain.

Il existe plusieurs méthodes d'évaluation de l'aléa « glissement de terrain », elles sont généralement qualitatives, c'est-à-dire basées sur l'expérience régionale d'experts, et beaucoup plus rarement quantitatives et requièrent en général une approche théorique plus rigoureuse (**Mezhoud and Benazzouz 2018**).

L'objectif principal de ce chapitre est consisté à la production des cartes thématiques à base d'utilisation d'un système d'information géographique SIG « Arcgis » à plusieurs facteurs ou paramètres déterminants dans le déclenchement des instabilités de terrain. Ces cartes sont par la suite combinées pour produire une carte de susceptibilité au glissement de terrain de la région d'étude (Djebahia, Kadiria et Lakhdaria), par l'utilisation d'une méthode qualitative qui basées sur des opérations simples d'algèbre cartographique (**Mezhoud and Benazzouz 2018**).

4.2 Méthodologie

Pour la cartographie de l'aléa par l'analyse de la susceptibilité des terrains aux glissements qui se produise dans notre tronçon (PK 107 à PK 130) en a utilisé une méthode qualitative (ou direct) qui fondée sur une analyse géologique, le gradient de pente et sa longueur, hydrogéologique, et la précipitation. Ce type de méthode a été utilisée pour la cartographie de type ZERMOS et peut être utilisée pour la cartographe réglementaire (**Roukh, 2018**).

L'évaluation et/ou le zonage est réalisé sur le terrain par l'expert qui, sur la base de ses observations et de son expérience, placera les limites des secteurs cartographiés et un degré d'aléa estimé. Les avantages de la méthode sont sa rapidité de mise en œuvre et l'intégration de la propagation des terrains glissés dans les enveloppes cartographiées. Les défauts majeurs résident dans une démarche peu expliquée avec des règles implicites difficilement reproductibles par autrui. Les systèmes d'information géographique (SIG) sont utilisés comme outil de vectorisation pour la carte d'aléa finale (**Thiery and Terrier 2018**).

Dans notre cas d'étude pour le projet ferroviaire (Thenia BBA cas tronçon PK 107 à PK 130), les étapes de l'élaboration de la carte de susceptibilité des glissements sont les suivantes (**Fig 4.1**) :

- Collecte des données ;
- Numérisation des données ;
- Calcul des scores (Cote x Poids) ;
- Classification, et reclassification des paramètres spécifiques (carte d'inventaire (**Fig 4.2**), géologie (**Fig4.3**), pente (**Fig 4.5**), hydrogéologie (**Fig 4.9**) et précipitation (**Fig 4.10**)) ;
- Élaboration de la carte pour chaque paramètre spécifique on mode Raster ;
- Calcul de l'indice de susceptibilité global par la somme des cartes Raster des paramètres spécifiques de la susceptibilité (**Fig 4.11**) ;
- Classification et élaboration de la carte susceptibilité finale.

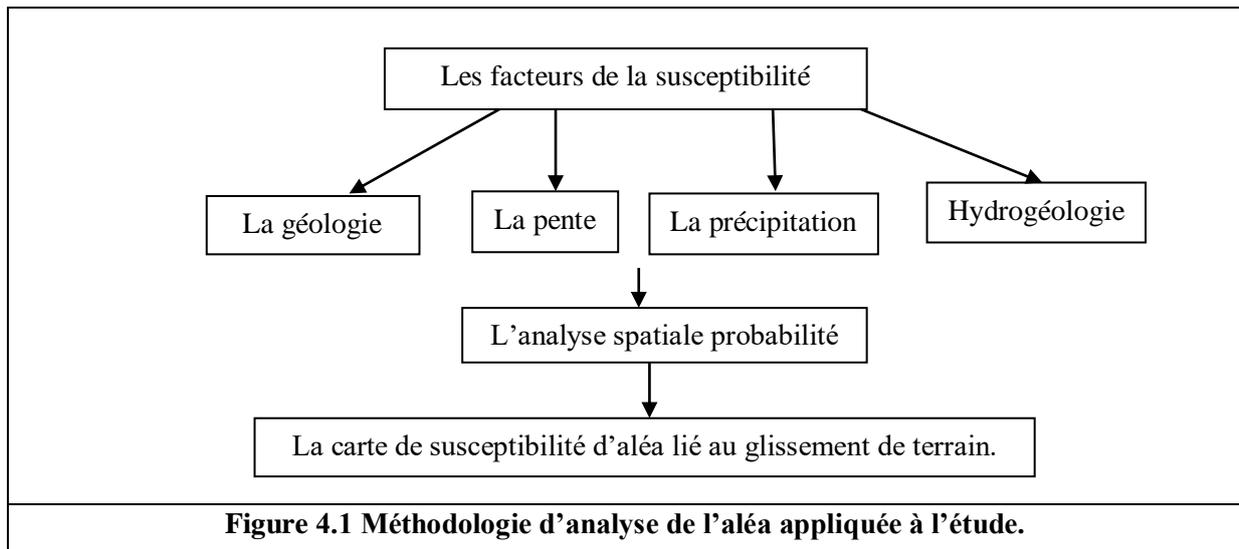


Figure 4.1 Méthodologie d'analyse de l'aléa appliquée à l'étude.

4.1 Essais géotechniques

En plus de la cartographie géologique un programme d'essais in situ consistant en des sondages carottés avec installation d'inclinomètres et de piézomètres ainsi que des essais de laboratoire a été réalisé afin de déterminer les limites des zones étudiées, les paramètres géotechniques ainsi que l'évolution de chaque glissement de terrain qui toucher notre tronçon (PK 107 à pk 130). Les résultats obtenus sur les principaux essais d'identification et mécanique réalisés en laboratoire sur ces prélèvements issus des sondages carottés réalisés dans ce tronçon sont rappelés respectivement dans les tableaux ci-dessus :

Tableau 4.1 : Références spatiales des échantillons analysés (ANESSRIF, 2018).

Réf. Echantillon n	Sondage Carotté N° :	Nature du sol	Coordonnées en (m)		Profondeur d'échantillon(m)	Niveau piézomètre
			X	Y		
F-113-11	SC 1	Argile rougeâtre	576 469	4031486	20.00	/
F-115-11	SC 2	Argile rougeâtre	576 247	4031655	20.00	/
F-(22)-11	SC 3	Argile gypseuse	575418	4032041	30.00	/
F-120-11	SC 4	Argile jaunâtre	574 671	4032749	30.00	20.50
F-134-11	SC 5	Marne argileuse Jeune et/ou brune verdâtre	574 671	4032749	20.00	35.00
F-160-11	SC 6	Grès calcaire	551461	4049747	25.00	20.00

Tableau 4.2 : Résultats des essais mécaniques (ANESSRIF, 2018).

Sondage Carotté N° :	Nature du sol	Les paramètres mécaniques					
		ϕ (°)			C' (bars)		
		Valeur minimal	Valeur maximal	Valeur moyen	Valeur minimal	Valeur maximal	Valeur moyen
SC 1	Argile rougeâtre	/	/	/	/	/	/
SC 2	Argile rougeâtre	3.03	31.76	15.51	0.64	1.49	1.0
SC 3	Argile gypseuse	2.00	2.00	2.00	1.29	1.29	1.29
SC 4	Argile jaunâtre	2.00	2.00	2.00	1.29	1.29	1.29
SC 5	Marne argileuse Jeune et/ou brune verdâtre	1.60	20.26	11.61	0.27	2.84	1.80
SC 6	Grès calcaire	/	/	/	/	/	/

Tableau 4.3 : Résultats des essais d'identification géotechnique (ANESSRIF, 2018).

Sondage Carotté N° :	Nature du sol	Limite d'Atterberg								
		WL %			WP%			IP %		
		Valeur min	Valeur max	Valeur moy	Valeur min	Valeur max	Valeur moy	Valeur min	Valeur max	Valeur moy
SC 2	Argile rougeâtre	27.34	55.60	39.95	14.40	32.80	19.64	10.75	32.07	20.08
SC 3	Argile gypseuse	25.37	38.87	33.67	6.40	23.15	20.53	8.97	16.82	13.13
SC 4	Argile jaunâtre	25.37	38.87	33.67	6.40	23.15	20.53	8.97	16.82	13.13
SC 5	Marne argileuse Jeune et/ou brune verdâtre	22.52	54.80	38.22	11.20	26.70	19.04	9.08	31.55	19.21

Les paramètres géotechniques d'identification (WL, WP, IP) ressortir à partir de la documentation ultérieure (les rapports géotechniques) au départ ne sont pas toujours retenus dans l'analyse et l'évaluation de l'aléa ; ainsi, les variables qui ont une contribution nulle ou très faible seront généralement éliminées. De ce fait, le nombre et la qualité des variables retenues sont souvent guidés par les objectifs et la disponibilité des données ; un grand nombre des paramètres ne donnent pas toujours de meilleurs résultats.

4.3 Présentation des paramètres et description de la méthode d'analyse de la susceptible

Selon les études antérieures, un large éventail des facteurs et des paramètres de contrôle influence le déclenchement et le développement du glissement de terrain. Un ensemble de principaux facteurs de prédisposition dans l'occurrence spatiale des glissements de terrain ont été pris en compte dans cette étude qualitative.

4.3.1 L'inventaire des glissements

Les inventaires de glissements de terrain constituent la base de l'évaluation de la susceptibilité, des dangers et des risques aux glissements de terrain (**Aleotti et Chowdury, 1999**). Ils sont essentiels pour les modèles de susceptibilité qui prédisent les glissements de terrain sur la base des conditions passées.

Notre zone d'étude (Djebahia, Kadiria et Lakhdaria) est caractérisée par une morphologie montagneuse et type de sol médiocre, généralement (Marne). Elle est menacée par des glissements de terrain qui provoquer une modification naturelle et continue du relief et se produisent ou se réactive généralement de façon brusque, notamment lors des tremblements de terre, et/ou lors des périodes pluvieuses intenses avec des précipitations prolongées et de l'action conjuguée de facteurs géologiques et géomorphologiques divers, ce qui cause des fissurations remarquable dans les constructions de cette zone.

Pour ce paramètre nous avons adopté un poids de **7** pour leurs différentes classes qui sont représentés dans le tableau qui se suit :

Tableau 4.4 Classification des potentiel au glissements.

Zone potentiel au glissement	Cote : TR	Poids: TW	Indice : TR x TW(%)
Faible	1	7	7
Moyen	2		14
Forte	3		21

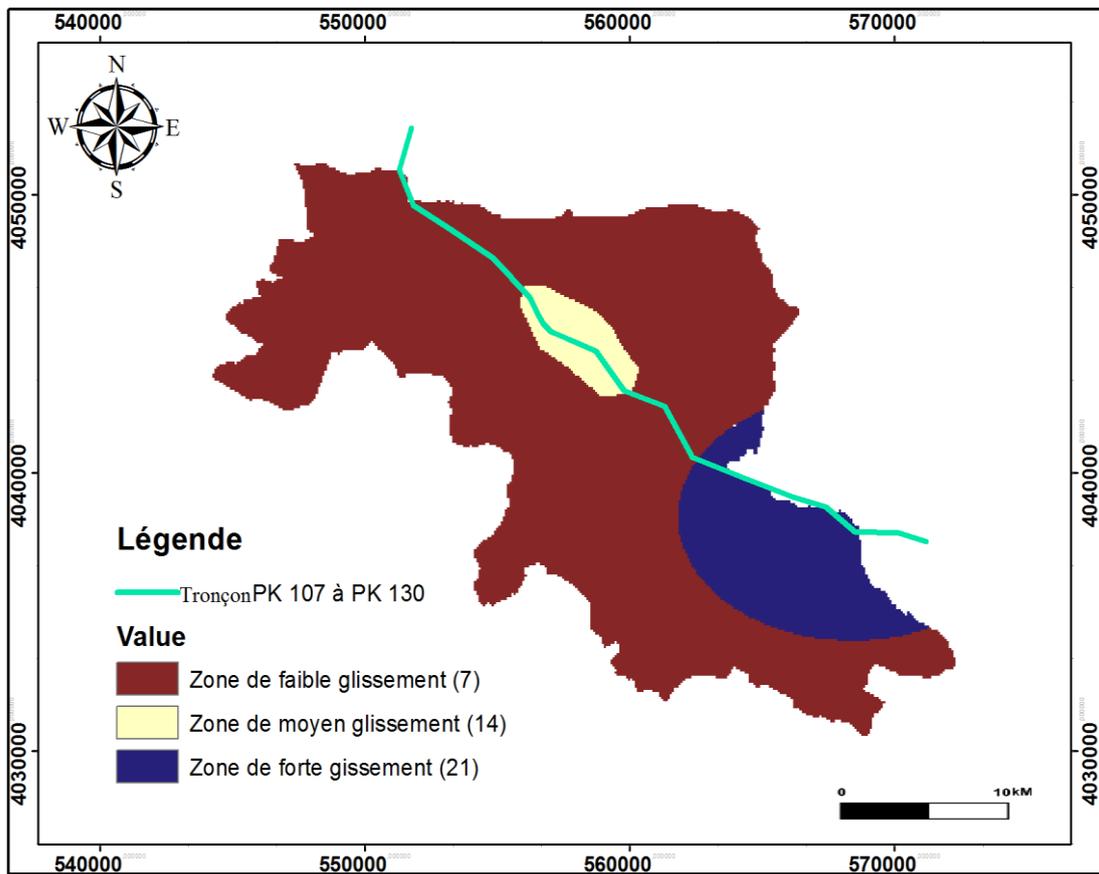


Figure 4.2 Carte d’inventaire des glissement de terrain au zone d’étude (Djebahia, Kadiria et Lakhdaria)..

D’après la figure 4.2 qui représente carte d’inventaire des glissements de terrain dans la zone d’étude, nous constatent trois classes potentielles :

- ✓ **Classe 1** : Elle représente la majorité de la zone d'étude par un pourcentage de 50% par rapport à la surface totale avec une faible possibilité au glissement, cette classe est occupée la partie amont et la partie aval de notre tronçon PK 107 à PK 130. Pour cette classe nous avons adopté une cote de 1 et on trouve un indice de paramètre (Score) 7 (**Tab 4.4**).
- ✓ **Classe 2** : Elle représente 21 % de la région d'étude avec une possibilité moyenne aux glissements qui localisé dans les PK 119+400 à PK 127+500. Pour cette classe nous avons adopté une cote de 2 et un indice de paramètre de 14 (**Tab 4.4**).
- ✓ **Classe 3** : Elle représente 29% de la région d'étude par une forte possibilité au glissement d'une cote 3 et un indice 21. Cette classe est localisée dans les PK 109 au PK 111+600 (**Tab 4.4**).

D'après les données récupérées à la société **ANESSRIF** et l'étude satellitaire du site, les zones cartographiées se résument en cinq principaux zones des glissements qui traversés par notre tronçon PK 107 à PK 130 sont les suivants :

➤ **Glissements de terrain au PK 109+650**

Ce glissement de terrain est localisé en amont du versant d'oued Djemaa, au-dessous de la route nationale n° 05 à une distance de 30 m sud du PK109+650 dont le tracé traverse un ensemble de flysch d'âge Crétacé supérieur constitué de pélites altérées en surface à quelques niveaux décimétriques de quartzite très fracturés. Au-dessous de la route nationale n° 05, le glissement de terrain évolue sur un talus qui présente une pente de l'ordre de 25% et s'étend sur une superficie de 0.3 hectares.

➤ **Glissements de terrain au PK 110+000**

Ce glissement est localisé sur le même versant Est d'oued Djemaa à 2,7 Km du village de Zebouja, dont le tracé traverse 30 m du corps glissant. Ce mouvement de terrain évolue sur un talus de 30°. Il est limité au nord par la route nationale n° 05 où la surface de décollement se situe au niveau du contact entre les colluvions grossières et les pélites altérées à faibles niveaux de quartzite.

➤ **Glissement de terrain au PK 110+700**

Le glissement de terrain évolue sur une pente de 45% où la masse en mouvement s'étend sur une superficie de 0.12 hectares vers le Nord-ouest. Les niches d'arrachement et les légers affaissements identifiés sur le site témoignent la présence d'un glissement de terrains

superficiel qui nécessite des mesures de précaution lors de la phase d'exécution. Il évolue dans des formations triasiques composées d'argile gypseuse bariolée.

➤ **Zone à petits glissements de terrain au PK 111+800**

Une zone à petits glissements et solifluxions près de Douar Zebboudja, entre les PK 111+750 et 112+100, sur une longueur section d'environ 300m. D'un point de vue morphologique, la zone affectée constitue le versant Sud d'Oued Roukham qui présente une pente moyenne de l'ordre de 15 %, et Sur le plan géologique, le versant est constitué d'une faible couverture limoneuse par endroits sus-jacente à un ensemble d'âge crétacé supérieur constitué d'une épaisse série de pélites à aspect schisteux et à niveaux centimétriques de grès et de quartzite très fracturés.

➤ **Glissement de terrain au PK 120+000**

Le tracé dans cette zone se poursuit le long d'une topographie vallonnée, dont les pentes moyennes sont d'environ 20%. Le mouvement de la masse glissante suit une trajectoire parallèle à la direction de la pente du versant. Le versant instable est caractérisé par la formation helvétique, constituée de marne argileuse jaune verdâtre en profondeur et brune verdâtre dans sa partie sommitale, surmontée de bancs épais (métriques) gréseux très fracturés.

Donc notre tronçon PK 107 à PK 130 est menacé par plusieurs zones des glissements dans ses différents PK qui affectent leur stabilité.

4.3.2 Géologie

La région de notre cas d'étude (Djebahia, Kadiria et Lakhdaria) dans la wilaya de Bouira est située à la partie Nord Centrale de l'Algérie, dans les chaînes de l'Atlas Tellien qui est situé entre les hauts plateaux et la mer Méditerranée car, le domaine tellien est constitué par de sédiments mésozoïques non métamorphisés à plissement complexes. La série stratigraphique dans cette région débute de Trias jusqu'à Quaternaire. A partir les sondages carottés de reconnaissance qui réalisés au niveau de site d'étude (d'après la société **ANESSRIF**) et la carte géologique présentée dans la figure (**Fig 4.3**) qui a été réalisé sous le logiciel Arc Gis à la base d'une carte géologique de nord d'Algérie à 1/200 000, nous avons attribué un poids de 8 car les formations géologiques (marne, argile) sont plus sensibles au glissement de terrain. La série stratigraphique est essentiellement formée par :

Tableau 4.5 Classification des formations géologiques.

Géologie	Cote : TR	Poids: TW	Indice: TR x TW(%)
Alluvion	1	8	8
Banc de grés rougeatres	3		24
Banc de grés fracturais	4		32
Argile grisatre	5		40
Argile barréole	6		48
Marne argileuse	8		64

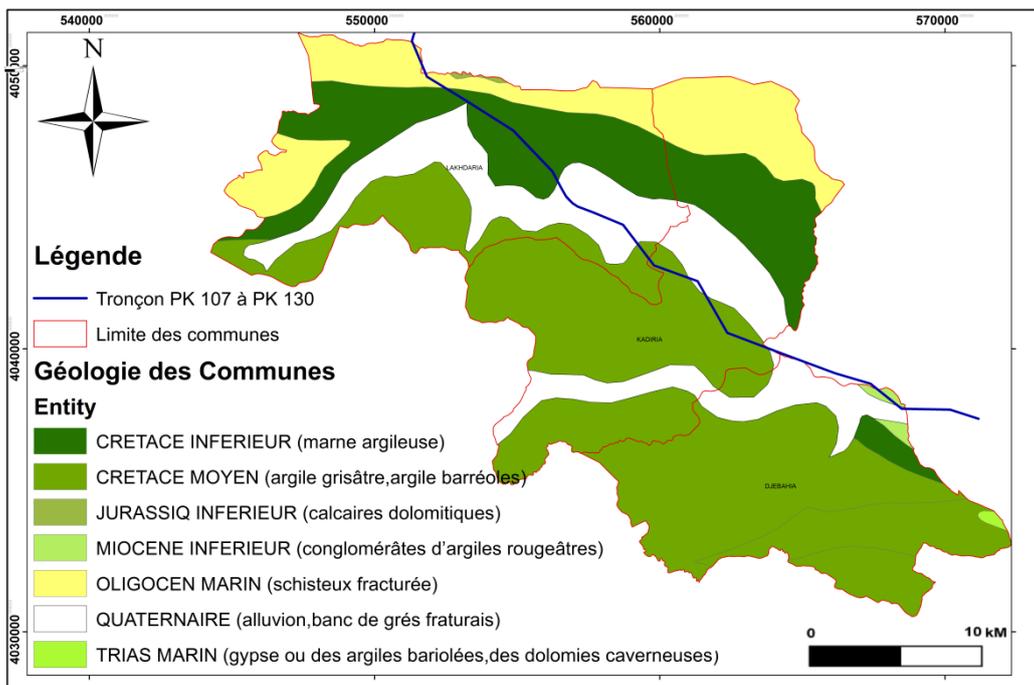


Figure 4.3 Carte géologique de zone d'étude (Djebahia, Kadiria et Lakhdaria).

- ✚ **Le Trias** : Il est représenté par des marnes, des argiles bariolées, des dolomies, des calcaires et des brèches argilo-carbonatées gypsifères.
- ✚ **Le Jurassique** : Le Lias inférieure moyen comprend des dolomies et des calcaires dolomitiques à la base, puis une puissante assise de calcaires compacts, par contre

le Lias supérieur est constitué par des calcaires et des marnes. C'est ce qui affleure le long des gorges de Lakhdaria ayant un aspect très massif.

- ✚ **L'oligocène** : Constitué d'une argilite de couleur grisâtre à aspect schisteux fracturée, renfermant des joints à remplissage calcitique. Cette série est subdivisée en deux parties, celle en surface, altérée et fortement fracturée, et l'autre en profondeur, relativement saine et compacte.
- ✚ **Le Crétacé** : Il est constitué essentiellement par un crétacé autochtone et allochtone. Le premier est composé de marno-calcaires en bancs centimétriques intercalés dans des argiles marneuses noires, des argiles schisteuses intercalées par des minces niveaux de calcaire noires puis des calcaires marneux et marnes bleu noires, des marnes et des calcaires plus en moins gréseux, de bancs de calcaire et de marnes argileuses et des marnes noires schistosités. Le crétacé allochtone est composé des deux unités de flysch externe et interne.
- ✚ **Le Quaternaire** : Il recouvre le Miocène post-nappe sur une bonne partie de la surface est représentée par :
 - Des dépôts caillouteux et des éboulis de pente ;
 - Des alluvions anciennes : de nature caillouteuses et limoneuse bien cimentées ;
 - Des alluvions récentes : de nature limoneux et caillouteux.

On ne synthétise que la formation de céracé moyen couverte presque tous la surface de la zone d'étude. Car, les formes d'instabilité les plus graves sont localisées sur les affleurements argilo-sableux du miocène continental post-nappe et sur les formations marno-schisteuses et marnes argileuses du Crétacé. Donc, ces formations sont très susceptibles au glissement de terrain, qui est clairement situé sur tout dans la commune Djebahia où nous avons aventurier plusieurs cas de glissement de terrain (**Fig 4.2**).

4.3.3 La pente

L'influence de ce paramètre sur cet aléa est d'avantage important et joue un rôle majeur dans l'étude des glissements pour cette raison nous avons attribué une valeur de poids égale **6**, et pour cette carte on a utilisé un modèle Numérique de Terrain **MNT** pour avoir les différentes classes de pourcentages des pentes de la région d'étude (**Fig 4.4**).

Les différentes classes (**Tab 4.6**) de la ponctuation attribuée au paramètre de pente sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 4.6 Classification des pentes (Topographie).

Pente %	Cote : TR	Poids : TW	Indice : TR x TW(%)
0 – 5 %	1	6	6
5 - 10 %	2		12
10 – 15 %	3		18
15 - 20 %	4		24
> 20 %	5		30

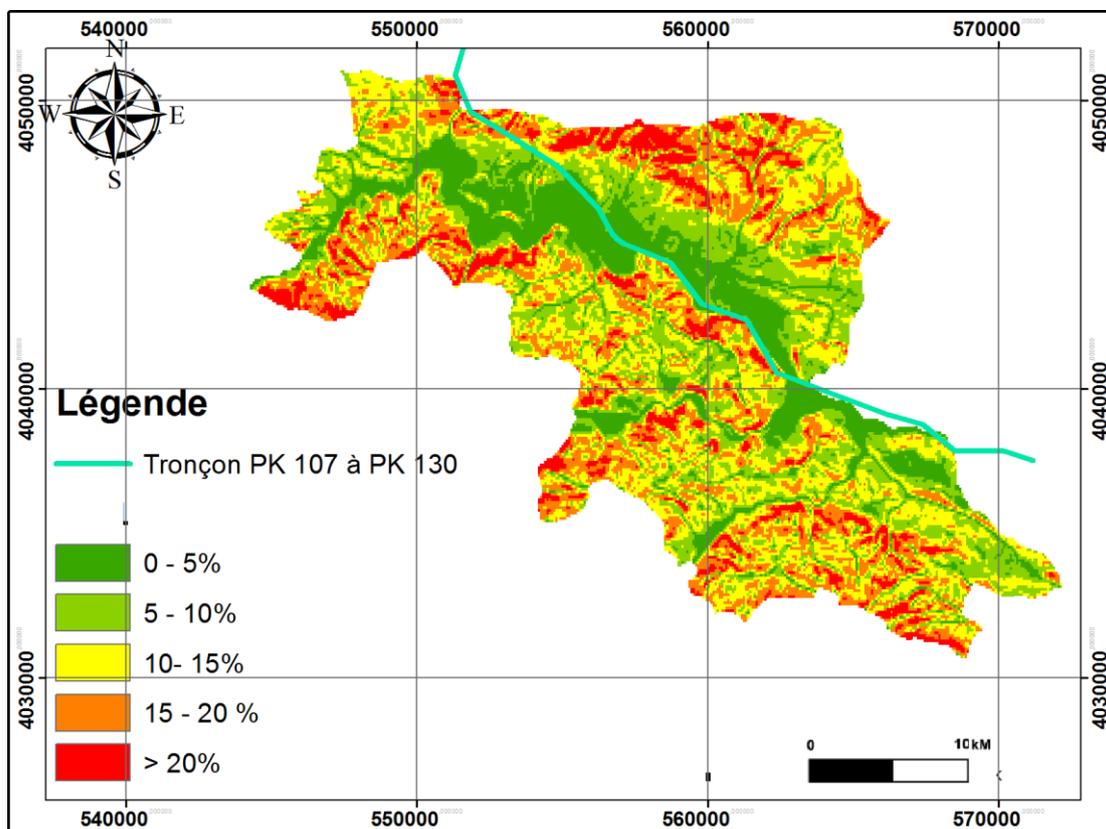


Figure 4.4 Répartition spatial de pente de zone d'étude (Djebahia, Kadiria et Lakhdaria).

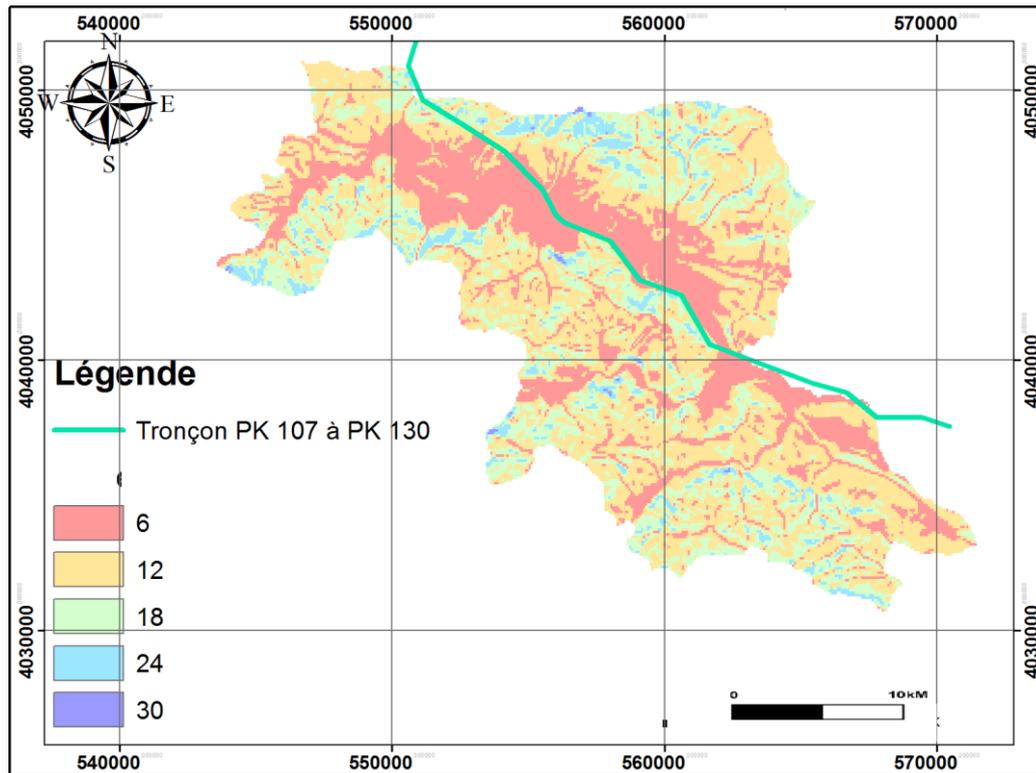


Figure 4.5 Répartition spatiale de la pente assignée à leur côtes et poids.

La carte des pentes générée (**Fig 4.5**) montre que notre tronçon PK 107 à PK 130 est situé dans des zones à un relief moyen, alors qu'il présente des pentes faibles à modérées (5 – 15%) dans ses parties médianes et méridionales. Les valeurs de pentes ont été regroupées en cinq classes sur une bonne connaissance de terrain. La plupart du notre tronçon PK 107 à PK 130 est occupés par une pente variée entre 5 % et 10 %.

4.3.4 La géomorphologie

La géomorphologie est la science qui étudie les formes d'un relief ainsi que leurs évolutions sur terre, et sur cette base et à travers les données dont nous disposons (d'après la société **ANESSRIF**), nous avons constaté que le tronçon PK 107 à PK 130 contient des zones de reliefs montagneux par des pentes fortes et accidentés de rares bassins plats par un changement brutal de facies remarquable (**Fig 4.4**). Cette topographie nécessite pour son franchissement des tunnels. Le tracé a une longueur de 28 km pour mieux observé en détaille le relief de la région d'étude, nous avons subdivisé le en trois section comme suit :

✚ PK 107+000 au PK 114+000

Le tronçon au niveau de cette section se développe dans une région des terrains meubles et irréguliers relativement vallonnés dont les pentes et de l'ordre de 20° à 25° jusqu'à prêt de Kadiria.

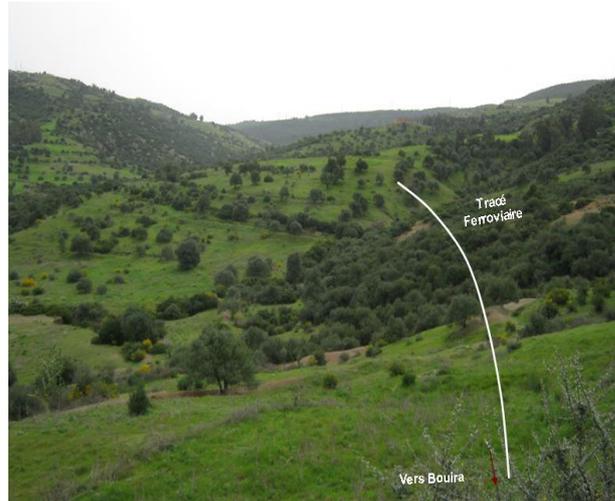


Figure 4.6 Relief vallonné au PK109+000 (ANESSRIF).

✚ PK 114+000 au PK 127+000

Le tronçon au niveau de cette section est travers des terrains plats, des terrasses alluviales et de temps en temps les pieds des talus des montagnes avoisinantes.

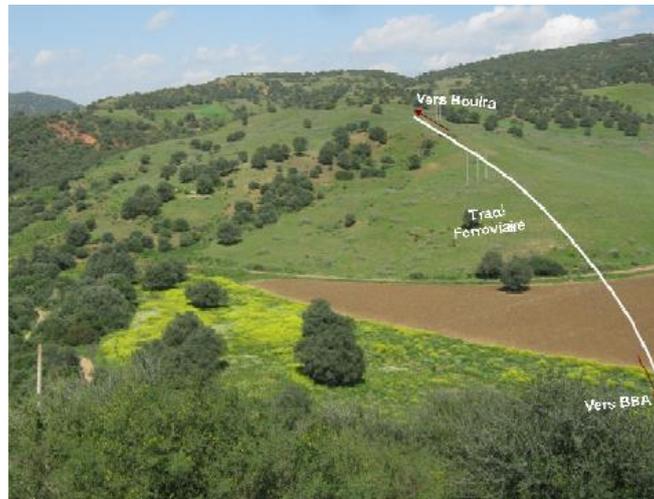


Figure 4.7 Relief vallonné aux environs du PK127+000 (ANESSRIF).

PK 126+ 000 au PK 135+000

Cette section de notre tronçon évolue sur les versants de la rive droite d'Oued Isser d'une morphologie légèrement collinaire en passant au Nord des localités de Kadiria et Palestro.. Elle présente un seul franchissement en tunnel (T9).



Figure 4.8 Relief collinaire, boisé au PK135+000 (ANESSRIF).

Le tronçon PK107 à PK 130 est donc située dans une zone montagneuse de point de vue topographique qui présentée sous forme de terrains vallonnés à pente plus en moins douce, mais parfois moyenne à forte qui provoque des glissements de terrain.

4.3.5 Hydrologie et hydrogéologie

Dans tout projet de construction, une étude hydrologique et hydrogéologique est nécessaire, car l'eau présente sur site, ne peut être négligée étant l'un des facteurs qui peuvent provoquer des incidents tout au long du projet, donc une étude du système de drainage des eaux est très importante.

La collecte des données décrites dans le tableau 4.4 a été faite principalement auprès de la société ANESRIF, lors de la campagne de reconnaissance de terrain. Ces données fournissent les informations nécessaires pour donner l'aperçu hydrologique et hydrogéologique générale sur la région d'étude.

Tableau 4.7 : Les caractéristiques hydromorphométriques du bassin versant Isser (ANESRIF, 2018).

Bassin versant	Code SBV	Nom SBV	Surf	Périm	Long Chev	K	L re	l-re	Dd	Hmin	Hmax	Hmoy
Isser N° 09	9.03	Oued Zeroua	1136.78	175.49	709.94	1.46	71.94	15.80	0.62	400	1800	1100
	9.04	Oued Isser Moyen	1029.65	184.80	572.1	3 1.6	79.44	12.96	0.56	100	1250	675
Avec : SBV : Sous bassin versant. Surf : la surface (Km ²). Périm : le périmètre (Km). Long. Chev : la longueur du chevelu hydrographique (Km). K : l'indice de compacité.						L re : la longueur du rectangle équivalent (Km) l-re : la largeur du rectangle équivalent est de 14.74 Km Dd : la densité de drainage (Km/Km ²). Hmin : l'Altitude minimale (m). Hmoy : l'Altitude moyenne (m). Hmax : l'Altitude maximale (m).						

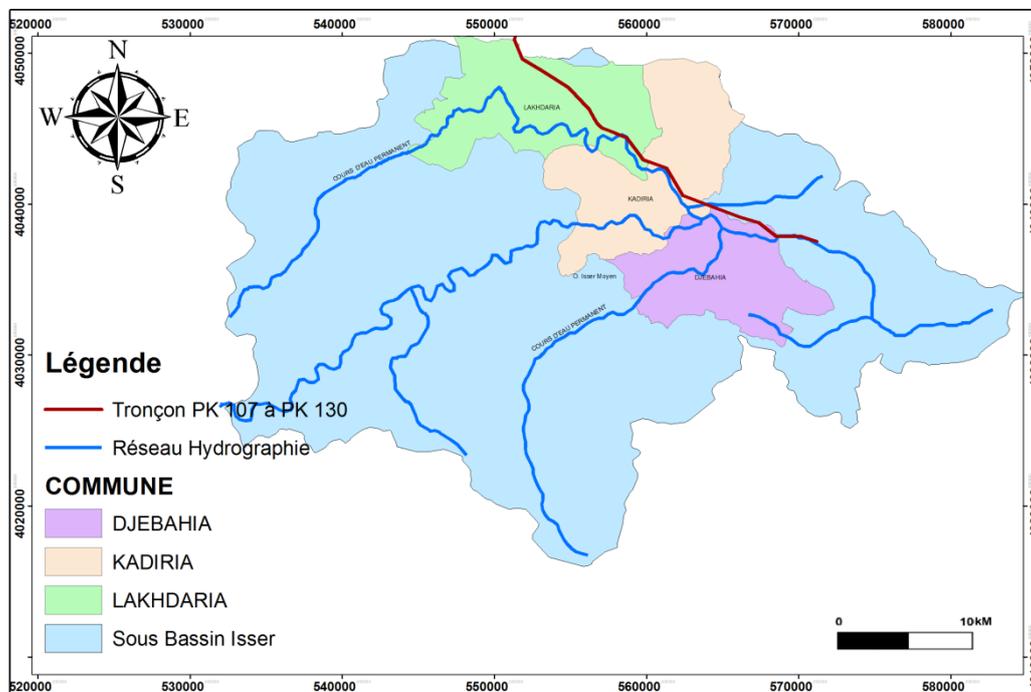


Figure 4.9 Carte de réseau hydrographique de zone d'étude (Djebahia, Kadiria et Lakhdaria).

La zone d'étude (Djebahia Kadiria et Lakhdaria) fait partie de bassin versant Isser (N° 09) qui est subdivisé en plusieurs sous bassins versants, chacun d'entre eux à ces propres caractéristiques hydromorphométriques (Fig 4.9) comme suit :

- + **Le bassin versant Isser et Djemaa** : qui est Entravé dans les contreforts de l'Atlas tellien, présente sensiblement la forme d'un quadrilatère d'orientation sud-ouest et nord-est et s'étend sur 4 149 km² étalée sur la wilaya de Boumerdès et une partie de la wilaya de Bouira (Lakhdaria, Kadiria, Djabahia). Le cadre géographique dans lequel se développe le bassin est constitué essentiellement de l'Atlas tellien algérois

au nord qui culmine à 1 130 m au Djebel Tamesguida et de la chaîne des Bibans au sud qui culmine à 1 700 m au Djebel Dira.

✚ **Les oueds (ou réseaux hydrographiques) :** dans le bassin d'Isser et Djemaa on note deux principaux cours d'eau et un secondaire :

- Au PK 121+300, l'Oued Djemaa qui draine un bassin versant de 144 km²;
- Au PK 142+800, l'Oued Isser qui forme un bassin versant de 4 149 km²;
- Au PK 112+200, le tracé entrecroise un important oued, soit l'Oued Roukham qui forme un bassin de 40,4 km² ;

À partir d'un ensemble des sondages carottés, et des essais piézomètres qui enregistré les niveaux d'eau souterraine (**Tab 4.1**), ont permet de tirer les remarques suivantes :

- Les formations du bassin d'Isser constituée d'alluvions et conglomérats du plateau Miocène post-nappes permettent la circulation d'eau souterraine, à l'exception des zones de dépressions et de stagnations.
- Les formations rencontrées au niveau d'Djebahia sont constituées des marnes miocènes qui sont définies comme des marnes altérées jaunâtres à grisâtres en surface, et compactes en profondeur, renfermant quelques lentilles et bancs de grès friables ce qui leurs confèrent une caractéristique de perméabilité. La raison pour laquelle, les niveaux d'eau prélevés ont enregistré de faibles valeurs.

Du point de vue hydrogéologique, les eaux dans la région d'étude sont générées par les infiltrations de précipitations atmosphériques (**Fig 4.10**) et par la perte des eaux d'oueds, et pour ce paramètre nous avons opté pour une valeur de poids **3** (**Tab 4.8**). Cependant, après des précipitations à long terme, l'espace interstitieux est entièrement occupé par l'eau et augmente, donc le poids des sédiments croit. En d'autres termes, la puissance qui pousse les sédiments à se déplacer vers le bas est donc augmentée.

Par leur liaison avec les formations géologiques (**Fig4.3**), leur mode de gisement et leur extension, elles se répartissent en deux types sont :

- Les eaux souterraines liées au Quaternaire ;
- Les eaux souterraines liées au Crétacé.

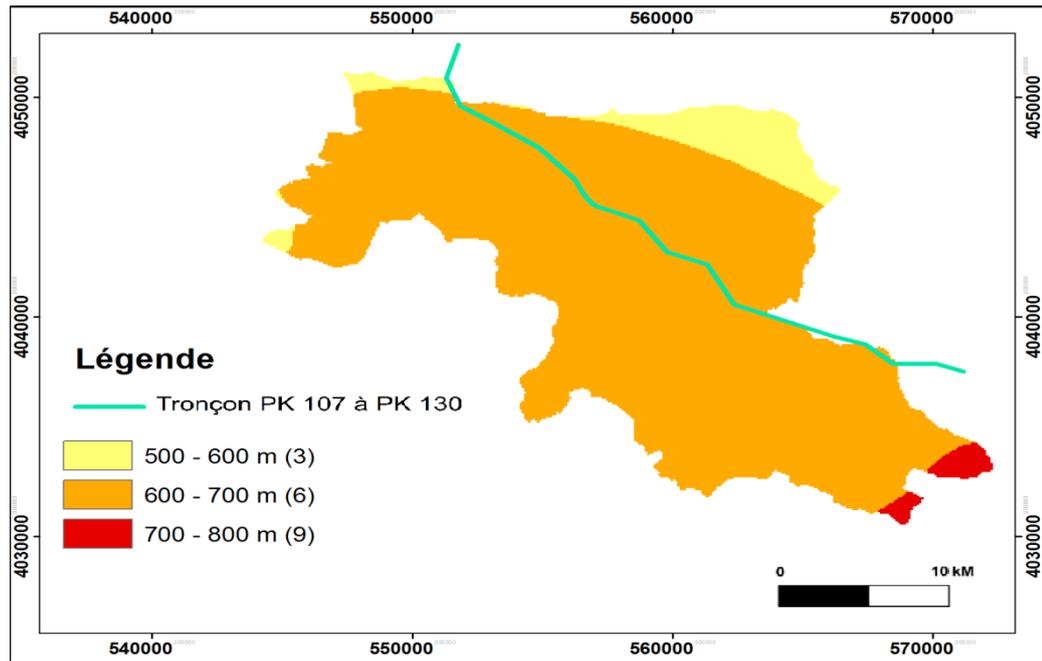


Figure 4.10 La carte de la précipitation de zone d'étude (Djebahia, Kadiria et Lakhdaria).

Tableau 4.8 : Classification spécifiques (Cotes, et poids) à la région d'étude pour le précipitation.

Précipitation (m)	Cote : TR	Poids : TW	Indice: TR x TW(%)
500 - 600	1	3	3
600 - 700	2		6
700 - 800	3		9

Donc, la connaissance de l'hydrogéologie de notre zone d'étude permet de dire si les terrains argilo-marneux intercalés par des bancs de grès sont susceptibles de renfermer une nappe d'eau, car la présence de cette dernière contribue du point de vue géotechnique à la modification des caractéristiques des sols, d'où le risque d'instabilité notamment les mouvements de fluages et les glissements rotationnels (cause de la géologie, la morphologie et de la précipitation).

4.4 La carte de la susceptible finale du glissement de terrain

La combinaison de ces cartes des paramètres (l'inventaire de glissement, la géologie, la pente et la précipitation) a permis la production d'une carte de susceptibilité au glissement. Le traitement de la base des données permet de faire sortir les classes des facteurs qui contribuent le plus dans le déclenchement des glissements de terrain.

La carte de susceptibilité est obtenue par la superposition des cartes thématiques et la somme des valeurs informatives de chaque paramètre. En mode vectoriel, chaque polygone de thème possède une valeur informative et le résultat de la somme des valeurs informatives des différents polygones issus de la superposition quantifie à susceptibilité au glissement pour chaque zone du terrain d'étude. Les valeurs résultantes sont également regroupées en trois classes, la carte de susceptibilité est obtenue par la superposition des cartes résultantes des premiers croisements (Carte susceptible = Carte d'inventaire de glissement **G** + Carte des pentes **P** + Carte géologique **Géo** + Carte de précipitation **Pr**).

Le calcul de la somme des valeurs informatives et leur groupement en trois classes (**Fig 4.11**), la carte obtenue permet d'identifier les zones suivant le degré de susceptibilité :

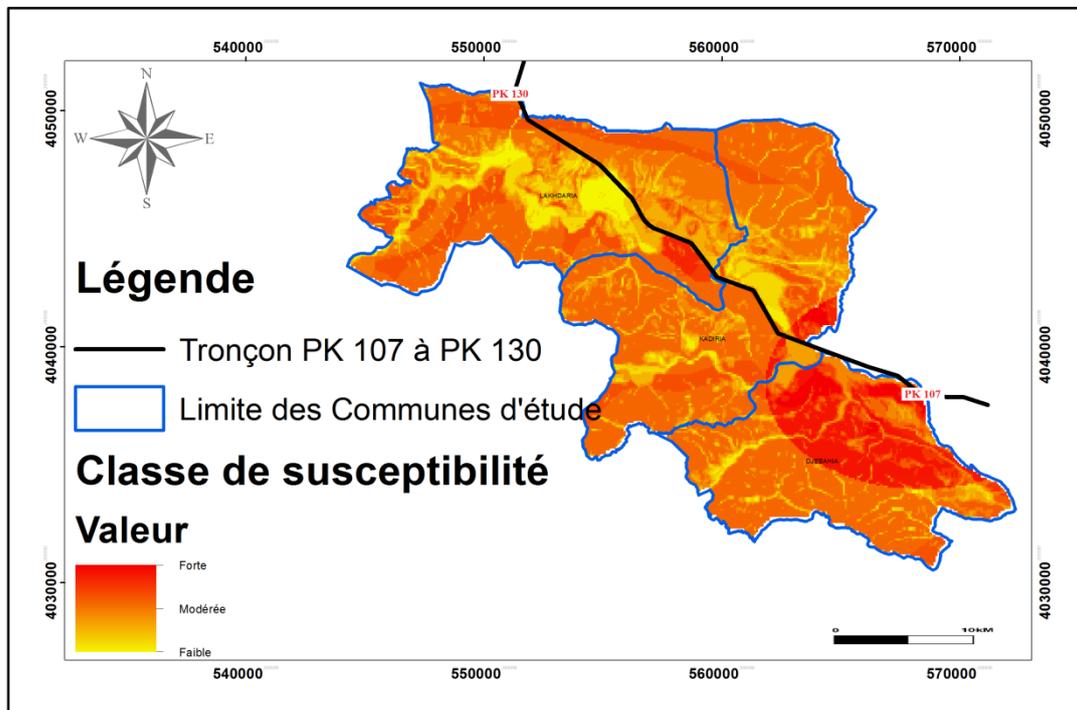


Figure 4.11 Carte susceptibilité du glissement de terrain à la zone d'étude (Djebahia, Kadiria et Lakhdaria).

- **Susceptibilité faible** : Possibilité faible de déclenchement d'un glissement de terrain à l'échelle de la zone d'étude. Les conditions environnementales locales (gradient de pente faible à modéré [5-15%] et texture compacte du sol « type des faciès ») sont faiblement favorables au déclenchement de glissements de terrain dans les parties planes.

- **Susceptibilité modérée** : Possibilité modérée de déclenchement d'un glissement de terrain à l'échelle de la région d'étude. Les conditions environnementales locales sont favorables au déclenchement de glissements de terrain (gradient de pente modéré à fort [15-20%], présence de rupture de pente et absence ou mauvais état des dispositifs de drainage).
- **Susceptibilité forte** : Possibilité forte de déclenchement d'un glissement de terrain à l'échelle de la région d'étude. Les conditions environnementales locales sont très favorables (gradient de pente fort]>20%], sol fortement dégradé ou raviné, dominance des sols meubles) à la présence des glissements de terrain. En théorie, aucun aménagement n'est possible. Toute fois on tiendra compte de l'ampleur généralement enregistré avant toute décision active de la part des décideurs.

L'analyse et l'interprétation de la carte de susceptibilité au glissement de terrain, le long de tracé PK 107 à PK 130 nous montre ce qui se suit :

- **Susceptibilité forte** : Elle est observé dans la partie Est de la zone d'étude le long du tronçon plus exactement dans les PK 107 au PK 114 +900 dans la commune Djebahia (environ de 8Km) et dans les PK 120 au 125+400 dans la commune Kadiria (environ de 5Km) nous observiez une zone de forte susceptibilité au glissement de terrain qui se apparaît par la coulure rouge au niveau de la carte (**Fig 4.11**).
- **Susceptibilité modérée** : Elle est montré sur la partie Nord Est et Nord Ouest de la commune de Lakhdaria plus exactement dans les PK 128 au PK 130 et dans la partie Ouest de la ville de Kadiria au niveau le long du PK 114+900 au PK 125+400 nous avons constaté quand on est dans une zone de susceptibilité moyennement favorable au glissement de terrain apparaît par la coulure orange sur la carte (**Fig 4.11**).
- **Susceptibilité faible** : Elle est représenté dans la partie Ouest de la ville de Lakhdaria exactement au PK 125+400 au PK 128 (environ de 3 Km) et dans la partie Est de la commune de Kadiria le long du tracé de PK 114+900 au PK 125+400 nous caractérisent une zone de faible susceptibilité au glissement de terrain qui apparaît par la coulure jaune dans la carte (**Fig 4.11**).

Donc notre cas d'étude, et d'après des études sur le terrain, les résultats obtenu présente une disparité au niveau des classes de susceptibilité. Ce qui permet de définir les zones de forte susceptibilité, celles de susceptibilité modérée et aussi des zones de faible

susceptibilité. Ce résultat met aussi en exergue le caractère épars de l'aléa. Les zones fortement influencées correspondent aux passages de notre tronçon. Ce qui justifie leur influence sur le déséquilibre du milieu et surtout sur l'occurrence de l'aléa.

4.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons établi une base de données sur les facteurs prédisposants, ces données ont été obtenues, traitées et cartographiées à l'aide de l'Arc Gis 10.8 pour obtenir les cartes des paramètres de prédisposition (l'inventaire de glissement, la géologie, la pente, et la précipitation 'hydrographiques'). Afin de cartographier la susceptibilité au glissement de terrain dans notre zone d'étude (Djebahia, Kadiria et Lakhdaria).

Les résultats de la carte de susceptibilité au glissement de terrain de la région d'étude nous ont montré que se suit :

- ✓ Faible susceptibilité représenté dans des quelques zones par rapport au surface total de la région environ de 30% ;
- ✓ Moyenne susceptibilité représenté dans la majorité de la région d'étude environ de 50 % ;
- ✓ Forte susceptibilité est représentée au milieu et dans la partie Sud Ouest de la zone d'étude environ de 20 %.

Donc le long du tronçon PK 107 à PK 130 (23 km) de projet de la ligne ferroviaire double voie électrifiée (BBA - Thenia) est caractérisée par degré variable de susceptibilité au glissement de terrain représenté comme suit :

- **Susceptibilité faible** : Elle est représenté dans la ville de Lakhdaria d'environ de 3 Km le long de notre tracé et un partie dans la commune de Kadiria d'environ de 10 Km.
- **Susceptibilité modérée** : Elle couvre une partie de la commune de Lakhdaria sur long de tracé a environ de 2 Km de longueur et dans la ville de Kadiria sur une longueur d'environ de 10 Km.
- **Susceptibilité forte** : Elle est occupé par une longueur d'environ de 8 Km dans la commune Djebahia (environ de 8Km) et dans la commune de Kadiria d'environ de 5 Km.

**CONCLUSIONS GÉNÉRALES,
RECOMMANDATIONS ET
PERSPECTIVES**

1. Conclusions générales

Nous avons commencé en premier lieu par une partie bibliographique où le premier chapitre a été consacré sur des généralités pour les mouvements de terrain (définition, des types, classifications, causes ...ect), et ensuite dans le chapitre deux nous avons donné des détails théoriques sur les méthodes de cartographie (qualitative, quantitative) et des techniques et moyens (logiciel Arc Gis) pour le faire.

Dans la partie expérimentale nous avons abordé on premier lieu une représentation générale sur les différentes communes de la région étudiée (Djebahia, Kadiria et Lakhdaria) sont caractérisées comme suit :

- ✓ **Géologiquement** par des formations crétacées moyennes représentées par des affleurements de marno-schisteuses et marnes argileuses qui représentent la majorité des fasciées ;
- ✓ **De point de vue Hydrogéologique et hydrologique** la zone d'étude (Djebahia Kadiria et Lakhdaria) fait partie de bassin versant Isser (N° 09) est caractérisée par des différents oueds (oued Isser et oued Djemaa), et nous avons trouvé au niveau de Lakhdaria des formations (alluvions et conglomérat) qui possède un caractère drainant (circulation des eaux souterraines) et dans Djebahia on a des marnes altérées en surface, et compactes en profondeur, renfermant quelques lentilles et bancs de grès friables ce qui leur confère une caractéristique de perméabilité.
- ✓ **Géomorphologiquement** : La zone d'étude est représentée par des reliefs variables avec des pentes faibles à modérées sur la majorité de la surface d'étude et quelques reliefs forts.

En deuxième lieu, nous avons atteint notre objectif d'étude par la réalisation d'une carte de susceptibilité au glissement de terrain dans notre zone d'étude (Djebahia, Kadiria et Lakhdaria) qui permet d'effectuer un zonage de la région d'étude en fonction du glissement du terrain. Cette carte finale est résultée par la superposition des différentes cartes des facteurs importants dans l'instabilité (l'inventaire de glissement, la géologie, la pente, la précipitation, l'hydrogéologie et hydrologie) qui sont réalisées par logiciel Arc GIS sous une méthode quantitative directe.

Nous avons déduit que la zone d'étude est caractérisée par trois zones de susceptibilité au glissement de terrain (faible, modérée, forte) la première catégorie concerne les zones à risques de glissement faibles à nul, la deuxième concerne les zones à glissement moyen, et la troisième concerne les zones à glissement fort, ainsi nous avons retenu que le tronçon PK

107 à PK 130 qui passé dans cette zone d'étude (Djebahia, Kadiria et Lakhdaria) est caractérisé par des différents points kilométriques instables (faible, modéré et forte).

2. Recommandations

Les recommandations suivantes doivent être respectées :

- ✓ Evité de faire des terrassements durant la période hivernal ;
- ✓ Protégé les zones instables par des soutènements avant l'opération de terrassement de projet ;
- ✓ Evité de faire des terrassements de grand masse dans les zones a susceptibilités modéré a forte;
- ✓ Prévoir un système de drainage dans les zones très proches au réseau hydrographique (Oued Isser, Ouedes Djemaa, des talwegs et des Chaaba ... ect) ;
- ✓ Mètre un système de protection contre les effets des eaux souterraines ;
- ✓ Evité de mettre des remblais de terrassement dans les zones à susceptibilités modérées à forte sure le long du tracé.

3. Perspectives

Malgré que l'objectif de notre mémoire (la cartographie des zones instables) soit plus au mois attend, mais nous avons constaté qui nécessaire à'apprendre d'autre paramètres (les paramètres géotechniques, l'occupation des sols... ect) en considération pour arriver a la réalisation d'une carte de susceptibilité très efficace et complète. Et dans sont cadre des recherches sera programmé ultérieurement pour l'année prochaine.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Abdallah, S (2019) ; Intervention de la Géodésie Classique et Perspective de la Géodésie Spatiale dans les Mesures des glissements de terrain dans la ville de Constantine (Est Algérien). Thèse de Doctorat.

Aissa, M. H., & Haddouche, K. (2011); Analyse et modélisation d'un glissement de terrain. Cas de Sidi Youcef (Béni Messous, Alger). Mémoire de Master. Centre universitaire Khemis Miliana .143p.

Aleotti, P., & Chowdhury, R. (1999) ; Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives. *Bulletin of Engineering Geology and the environment*, 58(1), 21-44.

ANESRIF, 2013 ; Rapport d'investigation géotechnique APD.

ANESRIF, 2017 ; Criteres de conception APS enrichi.

Bachange, E. G., & Deuboue, G. R. (2019) ; Susceptibilité Des Versants Au Glissement De Terrain, Et Evaluation Des Enjeux Potentiels Exposes A Bandja (Ouest Cameroun). *EAS Journal of Humanities and Cultural Studies*, 1(3), 11.

Bangsbo, J., Kjær, M., & Hellsten, Y. (2014). Bengt Saltin (1935–2014). *The Journal of physiology*, 592(Pt 23), 5149.

Belaidi 2011 ; Application de l'essai de cisaillement direct dans l'étude des glissements de terrain le long des plans de stratification des sols ; mémoire pour l'obtention diplôme du master ; 13-18p.

Belbachir ., & Lakhel (2017) ; Caractérisation de quelques types de sols entourant la zone industrielle de l'Oued El Berdi (wilaya de Bouira Mémoire de Master. Université Akli Mohand Oulhadj – Bouira.

Bendjeddou, A (2015) ; Bendjeddou Azzedine : Etude des glissements routiers Au Nord Est de l'Algérie ; mémoire pour l'obtention diplôme de Magister en Génie Civil ; 2731p.

Benouis, D (2010) ; L'étude d'un glissement de terrain par différentes méthodes'' ; mémoire d'ingénieur ; ingénieure d'état en génie civil option construction civile et industrielle ; université de Saida ; Page (21), (13) ; (Alger).

Besson, L., Durville, J. L., Garry, G., Graszka, E., Hubert, T., & Toulemont, M. (1999). Plans de prévention des risques naturels (PPR): Risques de mouvements de terrain. *Guide méthodologique. La Documentation Française, Paris.*

Boudiaf, M (1996) ; Etude sismotectonique de la région d'Alger et de la Kabylie : Utilisation des modèles numériques de terrain (MNT) et de la télédétection pour la reconnaissance des structures tectoniques actives : Contribution à l'évaluation de l'aléa sismique. Thèse de doctorat, Montpellier, France, p 274.

Christopher, W. A. P. P., Harankahawa, S. B., De Silva, N., Attanayake, A. M. A. N. B., & Jayasinghe, P. (2020) ; Characterization of landslides: a preliminary vertical electrical sounding approach. *Journal of the Geological Society of Sri Lanka*, 21(2).

Corominas, J., van Westen, C., Frattini, P., Cascini, L., Malet, J. P., Fotopoulou, S., ... & Smith, J. T. (2014). Recommendations for the quantitative analysis of landslide risk. *Bulletin of engineering geology and the environment*, 73(2), 209-263.

Coutelle, A (1979) ; Géologie du Sud-Est de la Grande Kabylie et des Babors d'Akbou. Thèse Sciences, université. Bretagne Occidentale, France, p 567.

De Melo, C.B.C. (2000). Seismic coefficients for pseudo static slope analysis. University of Idaho, USA.

Dib, S (2015) ; Contribution a la simulation au glissement de terrain cas de talus de la CW02 entre Baghlia et Naciria W.Boumerdas. Ecole National Supérieur d'Hydraulique -Arbaoui Abdellah-.

ETIENNE, D. (2007) ; Evaluation quantitative et cartographie du risque" glissement de terrain" Application au Bassin de Barcelonnette.

Fettouche, H ., & Menad, A (2020) ; Etude cartographique de la pluviométrie annuelle dans le Bassin versant du nord Chélif. Mémoire de Master. Université Djilali Bounaama de Khemis-Miliana.

Guide technique (1998) ; stabilisation des glissements de terrain-laboratoire central des pontset chaussées, 97 pages.

Guirous, L (2017) ; Caractérisation et modélisation du glissement de terrain de Tizirt sous l'effet du signal sismique de Boumerdes, Thèse de Doctorat, université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.

Hamas, M (2010) ; Apporte de l'analyse multicritère et l'analyse floue à l'évaluation de l'alea glissements de terrain et risque associés dans les talus naturels (Approche Méthodologique). Mémoire de Magister. Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene.

Harkat , M (2020) ; Evaluation d'aléa de glissement de terrain dans la zone de Tachta, Inventaire, chorologie et écologie. Mémoire de Master. Université Akli Mohand Oulhadj – Bouira.

Itatahine, B ., & Ouaad, M (2019) ; Apport de la géophysique et la géotechnique à l'évaluation du glissement de terrain apparu le long du tracé de la conduite AEP Acerdoune Djebahia (Bouira). Mémoire de Master. Université Djilali Bounaama de Khemis-Miliana.

Keteb ., & Mechta (2019) ; Caractérisation géotechnique et géophysique de l'aléa de glissement de terrain dans le versant de Djebahia (wilaya de Bouira). Mémoire de Master. Université Djilali Bounaama de Khemis-Miliana.

Khelil ., & Senad (2014) ; Etude de stabilité, modélisation et confortement du glissement de terrain de la cité des 50 logements MEZGHITANE (JIJEL), Mémoire de Master. Université d'Abderrahmane Mira de Bejaia.

Khemissa (2006) ; Méthodes d'analyse de la stabilité et techniques de stabilisation des pentes. Actes des JNGG.

Kuzichkin, O., Dorofeev, N., Grecheneva, A., Bykov, A., & Romanov, R. (2017) ; The use of vertical electrical sounding by the method of two components for allocation of an initial phase of a landslide. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM, 17*, 1025-1032.

Labriki, A., Chakiri, S., Nouaim, W., Allouza, M., & Ezzayani, J. (2016). Approche méthodologique d'évaluation de susceptibilité des versants aux glissements de terrain par un modèle volumique de l'alea; application au secteur de Boujibar Al Hoceima (Rif, Maroc). *European Scientific Journal (ESJ)*, 206-220.

Lahmid, E, A (2021) ; Utilisation des SIG pour la modélisation de la susceptibilité des terrains aux glissements de terrain dans la région de Bouira. Mémoire de Master. Université de Mohamed Elbachir El Ibrahimi Bordj Bou Arreridj.

Ledig (2003) ; Opportunité, évaluation économique et méthodologie de mise en oeuvre et de développement d'un système d'information géographique dans les collectivités territoriales (Doctoral dissertation).

Lefriki, S (2015), Effet de la variation de la cohésion sur le comportement des pentes. Mémoire de Master. Université Mohamed Khider – Biskra.

Levasseur, M. (2003). *Contribution des systèmes d'information géographique à l'analyse quantitative de l'aléa (glissement de terrain): exemple d'application au secteur de Ville de La Baie, Québec* (Doctoral dissertation, Université du Québec, Institut national de la recherche scientifique).

Lourebam Chanu, M., & Oinam, B. (2021) ; Impact study for landslide contributing factors using a multi-criterion approach for landslide susceptibility. *Arabian Journal of Geosciences, 14*(18), 1-12.

Maafi ., & Mechachou (2020) ; Confortement du Glissement de Terrain de Boufharma du PK 33+150 au PK 33+250 (Projet de la pénétrante Tizi Ouzou-Bouira). Mémoire de Master. Université Djilali Bounaama de Khemis-Miliana.

Mansouri (2017) ; Cartographie des pluies annuelles appliquée au bassin des Issers .Mémoire de master.

Mezerreg, N. E. H., Kessasra, F., Bouftouha, Y., Bouabdallah, H., Bollot, N., Baghdad, A., & Bougdal, R. (2019) ; Integrated geotechnical and geophysical investigations in a landslide site at Jijel, Algeria. *Journal of African Earth Sciences, 160*, 103633.

MEZHOUD, L., & BENAZZOUZ, M. T. (2018). Evaluation de la susceptibilité à l'aléa «glissement de terrain» par l'utilisation de l'outil SIG: Application à la ville de Constantine (Algérie). *Sciences & Technologie. D, Sciences de la terre*, 91-103.

Meziani, B (2018) ; Apport de l'imagerie Géophysique à l'étude de quelques cas en Algérie d'instabilités gravitationnaires ou de zones humides. Thèse doctorat. Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene.

Mohamad Mouloud (2017); Etude géologique et géotechnique du glissement de terrain de Texanna, Wilaya de Jijel. Mémoire de Master. Université Larbi Ben M'hidi-Oum El Bouaghi.

Naak (1996) ; Du rifting téthysien au cadre alpino-méditerranéen d'un élément interne de l'orogénie maghrébin : la Dorsale kabyle du Djurdjura, Algérie. Vers la prédiction du modèle transformant de cette évolution. Doctoral dissertation, Thèse de Doctorat d'État, université d'Alger, Algérie, p 260.

NO de l'Algérie Risques: (Sismique, glissement de terrain, inondation). Thèse de Doctorat d'État. Université d'Oran 2.

Omani, M (2020) ; Contribution à la connaissance des orchidées de Bouira :

Philippe, S (1988) ; Mécanique des sols avancée : Stabilité des pentes .Laboratoire Central des Ponts et Chaussées .80p.

Pierre, T., Rivet, F., & Vanoudheusden, E. (2010, July). Evaluation quantitative du risque" mouvement de terrain" à l'échelle urbaine= Quantitative assessment of ground-movement-related risks at city's scale. In *Journées Nationales de Géotechnique et de Géologie de l'Ingénieur JNGG2010* (pp. 8-p).

Poiraud, A. (2013, September). Cartographie de la susceptibilité aux glissements de terrain lents dans le bassin tertiaire du Puy-en-Velay: apport des combinaisons de méthodes. In *Journées Aléa Gravitaire*.

Rfifi, N (2017) ; Risk assesement (Sliding of field) by probabilistic analysis : application to the rif oriental of Marocco

Roukh, M (2020) ; Cartographie algébrique d'aléa multirisque du Littoral Oranais,

Sellemi ., & Belarmi (2015) ; Etude de stabilité et de confortement du glissement de terrain CW 16 Ait idriss Bejaia. Mémoire de Master. Université Abderrahmane MIRA- Bejaia

SETI-RAIL, 2018 ; Rapport géologique du PK 0 au PK 126+225.28 APS enrichi.

SI YOUCEF H, MIZAB S.2004 ; Contribution à l'étude des proprités physico-chimiques et phosphatées des sols sous oliveraies de Kabylie. Mémoire d'ingénieur d'état en agronomie. Université MOULOUD Mammeri de Tizi-Ouzou, 70p.

Stieltjes (2004) ; Evaluation du risque mouvements de terrain – Etat de l'art sur l'aléa mouvements de terrain – Analyse du risque mouvement de terrain.

Taïbi 2011 ; Analyse du régime climatique au nord de l'Algérie.Thèse de magister.

Thiery, Y., & Terrier, M. (2018) ; Évaluation de l'aléa glissements de terrain: État de l'art et perspectives pour la cartographie réglementaire en France. *Revue Française de Géotechnique*, (156), 3.

Thiery, Y., Malet, J. P., Sterlachini, S., Puissant, A., & Maquaire, O. (2005) ; Analyse spatiale de la susceptibilité des versants aux glissements de terrain. *Revue Internationale de Géomatique*, 15(2), 227-245.

WASSIM, F. (2012). 'Caractérisation et résilience des risques géotechniques dans un projet routier. *Mémoire pour l'Obtention du Diplôme de Master en Génie Civil Option Infrastructure de Base et Géotechnique. Université Aboubekr Belkaid-Tlemcen Faculté de*

Technologie Département de Génie Civil.

Wieczorek (1999) ; Landslide Triggering Mechanisms, Landslides: Investigation and Mitigation, Special Report 247. Transportation Research Board, National Research Council, 129-177.

Les sites internet

<https://hal-brgm.archives-ouvertes.fr/hal-00524302>.

<https://resources.arcgis.com>.

<https://www.depechedekabylie.com>.

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

www.american-jiras.com.

www.geotech-fr.org/sites/default/files/congres/jngg/184.pdf.

www.polymtl.ca/merlin/downloads/Laville-Memoire.pdf.