

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة محمد الصديق بن يحيى - جيجل
Université Mohammed Seddik Benyahia - Jijel

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



كلية علوم الطبيعة و الحياة
قسم : علوم الأرض و الكون

Mémoire de fin d'études

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

Option : Géologie de l'Ingénieur et Géotechnique

Thème

Instabilités de terrain dans la commune de Djimla (Nord –Est Algérien) : Causes et conséquences, une étape vers l'évaluation et la gestion du risque

Membres de Jury

Président : M^{me} Bouazi Rekia

Examineur: M^{me} Nihad Bouroudi

Encadrante : M^{lle} Hassiba Kherrouba

Présenté par :

-Beltas Selma

-Medjider Rania

Année Universitaire 2020-2021

Numéro d'ordre (bibliothèque) :.....

Remerciements

Quelques mots en préambule de cette étude, qui met un point d'orgue à une année riche et intense.

Nous tenons tout d'abord à remercier « **ALLAH** » le tout puissant de nous avoir donné le courage, la patience et la santé pour accomplir ce modeste travail, et de nous avoir guidés vers le chemin du savoir.

Au terme de ce travail, nous tenons à remercier nos parents pour leurs soutiens et amour qui restent un port de sécurité et de sérénité dans notre vie, dans les meilleures et les pires moments.

Nous tenons également à remercier notre Encadrant M^{lle} **Kherrouba Hassiba**, enseignante au département des Science de la Terre et de l'Univers pour l'intérêt qu'il accorde à ce travail et pour ses précieux conseils, pour leur aide, sa patience aux corrections ultimes.

Nos vifs remerciements vont également aux membres de jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre travail, en acceptant de l'examiner et de l'enrichir par leurs propositions. Merci à Mme **Bouazi Rekia** d'avoir accepté d'honorer cette soutenance comme président de jury. Qu'il nos soit permettons de l'exprimer notre plus haute considération.

Merci également à Mme **Bouroudi Nihad** qui a bien voulu examiner ce travail et d'être membre de Jury.

Nos sincères remerciements vont également à nos enseignants du Département STU, chacun à son nom, pour tous les efforts consentis.

Nous terminons à remercier toute personne qui a contribué de près ou de loin à l'élaboration et la réalisation de ce travail.

Merci enfin à tous ceux qui ont lu et qui liront ce mémoire...

Selma & Rania

Dédicaces

Au nom d'**Allah**, je suis très heureuse de pouvoir dédier ce modeste travail :

À Mes Très chers Parents "**Nadia** et **Mohamed Laid**" pour l'amour qu'ils m'ont toujours donné, leurs encouragements et toute l'aide qu'ils m'ont apportée durant mes études. Aucun mot, aucune dédicace ne pourrait exprimer mon respect, ma considération, et mon amour pour les sacrifices qu'ils ont consentis pour mon instruction et mon bien-être.

À ma chère sœur "**Asma**" pour ses encouragements permanents, et leur soutien moral,

À mon chère frère "**Abd Allah**" pour son appui et ses encouragements.

À toute ma famille "**Harikch** et **Beltas**". petite et grande.

Sans oublier ma très chère amie et collègue dans ce mémoire "**Rania**" pour leur soutien moral, sa patience et sa compréhension tout au long de ce travail.

À notre amie "**Chebechoub Chahira**" pour son aide très précieuse et leur soutien moral.

À toutes mes copines surtout "**Ikram**", "**Magsson**", "**Mangl**" et "**Anissa**".

À mes chères amies et collègues: **Souad**, **Chahrazed** et **Ghada**, pour leurs encouragements et les bons moments que nous avons passés ensemble.

À mes collègues de **Master II** spécialité **Géologie de l'Ingénieur et Géotechnique (promotion 2021)** pour les bons moments qu'on a passé ensemble.

À Tous ceux que j'aime et qui m'aiment.

À tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible.

Selma

Dédicaces

Au nom d'Allah, C'est avec une grande modestie et un immense plaisir que je dédie ce modeste travail :

À mes très chers parents : **Chérifa** et **Ahmed**.

Aucun mot ne pourrait exprimer ma gratitude, mon amour et mon respect. Je vous remercie pour tous ses sacrifices, leur amour et tendresse, leurs soutiens et leurs prières tout au long de mes études, et que dieu leurs procure la bonne santé et une longue vie.

À mes chères adorables sœurs : **Ouassila** et **Fouzia** pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral.

À Mes chères frères ; **Abdenour**, **Bilal**, **Messaoud**, **Walid** et **Adel** pour ses appuis et ses encouragements.

À toute ma meilleure famille ; **Médjider** et **Belhadef**.

À ma chère amie et collègue de ce mémoire: **Selma** pour leur soutien moral, sa compréhension tout au long de ce travail.

À notre amie **Chèbehoub chahira** pour son aide et leur soutien moral.

À mes copines, **Amina**, **Hala**, **Magssoun** et **Kanza**.

À mes collègues de **Master II** spécialité **Géologie de l'Ingénieur et Géotechnique (promotion 2021)** pour les bons moments qu'on a passé ensemble.

À Tous ceux que j'aime et qui m'aiment.

À tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible.



Rania

Table des matières

Remerciements.....	
Dédicace.....	
Résumé.....	i
Abstract.....	ii
ملخص.....	iii
Liste des Figures.....	iv
Liste des Tableaux.....	vii

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

Chapitre I : Analyse bibliographique

I.1. Introduction.....	3
I.2. Mouvements et instabilités de terrain.....	3
I.2.1. Définition.....	3
I.2.2. Classification des mouvements de terrain.....	3
I.2.3. Typologie des mouvements de terrain.....	4
I.2.3.1. Mouvements lents et continus	4
a) Affaissement.....	4
b) Tassement par retrait gonflement.....	5
c) Fluage.....	5
d) Solifluxion.....	6
I.2.3.2. Mouvements rapides et discontinus.....	6
a. Effondrement.....	6
b. Chutes de pierres ou de blocs.....	7
c. Coulées boueuses.....	8
I.3. Glissements de terrain.....	9
1.3.1. Morphologie des glissements de terrain.....	10
1.3.2. Types des glissements de terrain.....	11
1) Glissement plan ou translationnel.....	11
2) Glissement circulaire ou rotationnel.....	11
3) Glissement quelconque ou composite.....	12
1.3.3. Principaux causes des glissements de terrain.....	12
1- Facteurs conditionnants.....	12

2- Facteurs déclenchants.....	13
I.3.4. Dynamique des glissements de terrain	14
I.3.5. Classification des glissements de terrain.....	15
I.3.5.1. Selon la vitesse.....	15
I.3.5.2. Selon la profondeur.....	16
I.3.6. Conséquences des glissements de terrain	17
I.3.7. Susceptibilité aux glissements de terrain.....	17
I.3.8. Rôle des logiciels de Système d'Information Géographique (SIG).....	17
I.4. Méthodes de confortement.....	18
I.4.1. Terrassements	18
I.4.2. Stabilisation par drainage.....	20
I.4.3. Stabilisation par renforcement.....	21
I.5. Conclusion.....	22

Chapitre II : Milieu physique et contexte géologique

II.1. Introduction	23
II.2. Description de la zone d'étude.....	23
II.2.1. Situation géographique.....	23
II.2.2. Climat.....	24
II.2.3. Relief.....	25
II.2.4. Morphologie.....	26
II.2.5. Réseau hydrographique.....	26
II.2.6. Végétation.....	27
II.3. Historique des travaux géologiques de la région.....	27
II.3.1. Contexte géologique local.....	28
II.3.1.1. Grands ensembles géologiques de la région de Djimla et environs.....	28
II.3.2. Description des formations lithologiques de la région de Djimla.....	31
II.3.2.1. Formations quaternaires.....	31
II.3.2.2. Formations du flysch Numidien.....	31
II.3.2.3. Formations du flysch Massylien.....	32
II.3.2.4. Formations telliennes.....	32
a) Lias basal.....	33
b) Crétacé.....	33
c) Eocène.....	33
II.3.2.5. Formations du Trias.....	34

II.3.2.6. Formation du socle Kabyle.....	35
II.3.3. Aspect Morpho-structural de la région de Djimla.....	35
II.4. Sismicité.....	36
II.4.1. Règles parasismiques Algériennes (RPA).....	36

Chapitre III : Synthèse hydroclimatologique

III.1. Introduction.....	39
III.2. Analyse des caractéristiques hydroclimatiques.....	39
III.2.1. Précipitations.....	40
➤ Estimation des précipitations à partir des données des stations pluviométriques.....	40
➤ Estimation des précipitations moyennes annuelles.....	43
III.2.2. Températures.....	45
III.2.3. Graphique ombrothermique.....	46
III.2.4. Bilan hydrologique.....	47
III.2.4.1. Calcul de l'évapotranspiration.....	48
III.2.4.2. Évapotranspiration potentielle ou ETP.....	48
III.2.4.3. Évapotranspiration réelle ou ETR.....	48
III.3. Conclusion.....	52

Chapitre IV : Cartographie de la susceptibilité aux glissements de terrain

IV.1. Introduction.....	53
IV.2. Système d'Information Géographique.....	53
IV.2.1. Définition.....	53
IV.2.2. Quelques notions.....	54
IV.2.3. Modes de représentation de l'Information géographique dans un SIG.....	54
a. Données vectorielles.....	54
b. Données raster.....	55
IV.2.4. Intérêt du SIG.....	55
IV.3. Elaboration du SIG glissement de terrain de la région d'étude.....	56
IV.3.1. Acquisition des données.....	57
IV.3.2. Données de base utilisées.....	57
1. Modèle Numérique de Terrain (M.N.T) de la région d'étude.....	57
2. Carte lithologique de la commune de Djimla.....	58
IV.3.3. Cartes dérivées.....	58
1. Cartes de direction et d'accumulation du flux hydrologique.....	58
2. Carte du réseau hydrographique de la commune de Djimla.....	60
3. Carte des courbes de niveau.....	60

4. Carte hypsométrique de la commune de Djimla.....	61
5. Carte des pentes de la commune de Djimla.....	62
6. Carte de l'exposition des versants de la commune de Djimla.....	63
IV.4. Création de la carte de susceptibilité aux glissements de terrain de la commune de Djimla.....	64
IV.4.1. Établissement de la carte de susceptibilité.....	64
IV.4.1.1. Méthode statistique utilisé.....	64
IV.5. Conclusion.....	67

Chapitre V : Validation des résultats (SIG) et Etude géotechnique

V.1. Introduction.....	68
V.2. Localisation des sites choisis pour validation.....	68
V.3. Les indices d'instabilité ressentis dans la zone en question.....	69
V.4. Campagne de reconnaissances géotechniques.....	70
V.4.1. Essai in-situ.....	70
V.4.1.1. Sondages carottés.....	70
V.4.2. Essais de laboratoire.....	73
V.4.2.1. Paramètres physiques.....	73
a) Teneur en eau naturelle (W) et degré de saturation(Sr).....	73
b) Densité ; sèche (γ_d) et humide (γ_h).....	74
c) Limites d'Atterberg.....	74
V.4.2.2. Les propriétés mécaniques.....	75
V.5. Principaux facteurs des mouvements de terrain du la commune de Djimla.....	76
V.6. Stabilité.....	78
V.7. Conséquences.....	79
V.8. Conclusion.....	79

Conclusion générale et recommandations.....	80
--	-----------

Références bibliographiques

Glossaire

Résumé

Les glissements de terrain sont considérés comme un risque majeur à Djimla (Nord- Est Algérien), car ils ont causé de nombreux dégâts aux infrastructures urbaines et rurales dans cette région. Ce travail a pour objectif de contribuer à la connaissance de ces glissements de terrain sur le plan géologique et géotechnique. Il s'agit de définir les principales causes de ces instabilités : facteurs géologiques, géomorphologiques, hydrogéologiques et géotechniques et ses conséquences.

En vue d'une meilleure gestion du risque, les décideurs doivent pouvoir disposer de cartes de susceptibilité aux glissements, leur permettant d'identifier les zones potentielles où de nouveaux glissements de terrain pouvant se déclencher au futur.

Cette étude propose de faire une cartographie de la susceptibilité aux glissements de terrain dans la zone de Djimla. Après une procédure de calage et de validation statistique des cartes obtenues comme une combinaison de facteurs de prédisposition à l'occurrence de glissement de terrain, les résultats ont permis de réaliser une carte finale de susceptibilité aux glissements en quatre classes et d'interpréter et de valider chacun de ces facteurs utilisés dans la cartographie. Cette carte pourra constituer un document de base pour tout aménagement proposé dans le futur.

Mots-clés : Djimla, Glissements de terrain, SIG (Système d'information géographique), Cartographie de la susceptibilité aux glissements.

Abstract

Landslides are considered a major risk in Djimla (North-Est Algeria), as they have caused extensive damage to urban and rural infrastructure in this region. This work aims to contribute to the knowledge of these landslides in view geological and geotechnical point, it is to define the causes of instabilities: geological, geomorphological, hydrogeological and geotechnical factors and their consequences.

In order to better evaluate risk, decision-makers must be able to have maps of susceptibility to landslides, allowing them to identify potential areas where new landslides may be triggered in the future.

This study proposed the susceptibility mapping of landslides in Djimla region. After a calibration procedure and statistical validation of the maps obtained as a combination of predisposing factors to the occurrence of landslides, the results made it possible to produce a final map of susceptibility to landslides in four classes and to interpret and validate each of these factors used in mapping. This map could constitute a basic document for all layout proposed in the future.

Keywords: Djimla, Landslides, GIS (Geographic Information System), Landslide Susceptibility mapping.

ملخص

تعتبر الانهيارات الأرضية من المخاطر الرئيسية في جيملة (شمال شرق الجزائر) حيث تسببت في اضرار جسيمة للبنية التحتية الحضرية والريفية في هذه المنطقة , يهدف هذا العمل الى المساهمة في معرفة هذه الانهيارات الأرضية على المستوى الجيولوجي الجيوتقني , والهدف هو تحديد الأسباب الرئيسية لعدم الاستقرار العوامل الجيولوجية والجيومرفولوجية والهدروجيولوجية و الجيوتقنية وعواقبها.

من اجل إدارة المخاطر بشكل أفضل يجب ان يكون صانعو القرار قادرين على الحصول على خرائط القابلية للانهيارات الأرضية , مما يسمح لهم بتحديد المناطق المحتملة التي قد تحدث فيها انهيارات أرضية جديدة في المستقبل.

تقترح هذه الدراسة تحديد مدى التعرض للانهيارات الأرضية في منطقة جيملة بعد اجراء المعايرة والتحقق الإحصائي للخرائط التي تم الحصول عليها كمجموعة من العوامل المهيئة لحدوث الانهيارات الأرضية , اتاحت النتائج خريطة نهائية لقابلية التعرض للانهيارات الأرضية في أربع فئات وتفسير والتحقق من صحة كل من هذه العوامل المستخدمة في رسم الخرائط . يمكن ان تشكل هذه الخريطة وثيقة أساسية لاي تهيئة مقترحة في المستقبل.

الكلمات المفتاحية : جيملة , الانهيارات الأرضية , نظم المعلومات الجغرافية , رسم خرائط القابلية للانهيارات الأرضية .

Liste des Figures

Figure. I.1. Le phénomène d'affaissement.....	05
Figure.I.2. Phénomène de tassement par retrait et gonflement.....	05
Figure.I.3. Schématisation du phénomène de fluage.....	06
Figure. II.4. Phénomène de solifluxion.....	06
Figure. I.5. Le phénomène d'effondrement.....	07
Figure. I.6. Différents types de chutes de bloc : a) éboulisation ; b) éboulement (< 100 m ³) ; c) écroulement (> 100 m ³) ; d) basculement ; e) glissement. Modifié de Highland, 2004.....	08
Figure. I.7. Phénomène de coulée boueuse.....	08
Figure. I.8. Morphologie générale d'un glissement de terrain.....	11
Figure. I.9. Les différents types de glissements de terrain.....	12
Figure. I.10. La dynamique d'un glissement de terrain.....	15
Figure. I.11. Différentes méthodes de stabilisation par terrassement.....	20
Figure. I.12. Action de drainage sur un talus soumis à une nappe.....	20
Figure. I.13. Exemple de clouage d'un glissement.....	22
Figure. I.14. Les différentes techniques de stabilisation par renforcement : a) Action mécanique par tirants sur un talus soumis à une rupture potentielle, b) Mur en béton armé préfabriqué.....	22
Figure. II.1.Situation géographique de la commune de Djimla.....	24
Figure. II.2. Carte pluviométrique de la wilaya de Jijel A.N.R.H (1996).....	25
Figure. II.3.Carte orographique de la région de Jijel.....	26
Figure. II.4. Réseau hydrographique de la région de Djimla (Kherrouba, 2019).....	27
Figure. II. 5.Coupe géologique des unités alpines de la Petite Kabylie-région de Jijel (in Boudergui et Idoui, 2018).....	28
Figure. II.6. Carte géologique de la commune de Djimla	29
Figure. II.7.Pourcentage (%) des différentes formations géologiques de la région d'étude.....	30
Figure. II.8. Coupe géologique N-S de la région de Djimla (Kherrouba, 2019).....	31
Figure. II.9. Photo illustrant des formations quaternaires.....	31
Figure. II.10. Photo illustrant des formations numidiennes.....	32
Figure. II.11. Photo illustrant des formations telliennes.....	33
Figure. II.12. Colonne lithologique des formations telliennes (Djellit, 1987).....	34

Figure. II.13. Photo illustrant des formations triasiques au niveau de l'oued Djimla.....	35
Figure. II.14. Carte de zonage sismique du territoire national (RPOA, 2008).....	36
Figure. III.1. Courbes exprimant les moyennes mensuelles des précipitations (station de Texenna et du col de Fedoulès (1961-1991).....	41
Figure.III.2. Courbes exprimant les moyennes mensuelles des précipitations (station : ⁽¹⁾ de Texenna (2002-2012), ⁽²⁾ du barrage El-Agrem (2002-2018) et ⁽³⁾ du col de Fedoulès (2004-2015).....	42
Figure. III.3. Répartition saisonnière de la pluie enregistrée aux stations de Texenna (2002-2012) et col de Fedoulès (2004-2015).....	43
Figure. III.4. Distribution de la pluviométrie moyenne mensuelle station du col de Fedoulès (2004-2015).....	44
Figure. III.5. Distribution des températures moyennes mensuelles en C° (station du barrage El-Agrem, période, 2002-2018).....	46
Figure. III.6. Diagramme ombrothermique (Station du barrage El-Agrem, période 2002-2018).....	47
Figure .III.7.Bilan hydrologique par la méthode de Thornthwaite.....	50
Figure. IV.1. Exemple des données raster.....	55
Figure. VI.2. Différentes couches des données dans le modèle d'évaluation de l'aléa.....	56
Figure. VI.3. Carte d'altitude de la commune de Djimla.....	57
Figure. IV.4. Carte lithologique de la commune de Djimla.....	58
Figure. VI.5. Carte de flux d'accumulation de la commune de Djimla.....	59
Figure .VI.6. Carte de flux de direction de la commune de Djimla.....	59
Figure. VI.7. Carte de réseau hydrographique de la commune de Djimla.....	60
Figure. VI.8. Carte des courbes de niveau de la commune de Djimla.....	61
Figure. VI.9. Carte d'altitude de la commune de Djimla.....	62
Figure. VI.10. Carte des pentes de la commune de Djimla.....	63
Figure. VI.11. Carte d'exposition des versants de la commune de Djimla.....	64
Figure. VI.12. Carte de susceptibilité aux glissements de terrain de la commune de Djimla.....	66
Figure. V.1. Localisation des glissements de terrain choisis (Google Earth Pro ,2021).....	69
Figure. V.2. Illustration d'un glissement de terrain au niveau d'une zone de broyage orientée Nord-sud au centre du village de Djimla.....	70
Figure. V.3. Photos illustrant :(a)l'inclinaison des arbres ;(b) l'inclinaison des poteaux électriques.....	70
Figure. V.4. Photo illustre le gabionnage endommagé.....	71

Figure. V.5. (a) Maison menacée par un glissement de terrain, (b) illustration de dégât engendré.....	71
Figure. V.6. Photo illustre la niche d'arrachement du glissement au PK1+200 (RN77A).....	71
Figure. V.7. Classification des sols selon l'abaque de plasticité de Casagrande.....	75
Figure. V.8. Localisation des trois glissements de terrain sur la carte lithologique et de réseau hydrographique.....	77
Figure. V.9. Localisation des trois glissements de terrain sur la carte des pentes obtenue.....	78
Figure. V.10. Photo illustre les fissures au niveau des routes.....	79
Figure. V.10. Construction menacée par des glissements de terrains.....	79

Liste des Tableaux

Tableau. I.1. Classification des mouvements de terrain (Varnes DJ, 1978).....	09
Tableau. I.2. La classification de glissement de terrain. Selon la vitesse Source : Office fédéral de l'environnement Division Prévention des dangers, 2009.....	16
Tableau. I.3. Classes de vitesses définies par Varnes (1978).....	16
Tableau. I.4. La classification de glissement de terrain. Selon la profondeur. Source : Office fédéral de l'environnement Division Prévention des dangers, 2009.....	17
Tableau. II.1. Répartition en (%) des différentes formations géologiques de la commune de Djimla.....	29
Tableau. II.2. Zones de différentes sismicités.....	36
Tableau. II.3. Coefficient d'accélération de zone A (RPOA, 2008).....	37
Tableau. III.1. Caractéristiques des stations pluviométriques dans (voisine) de la région de Djimla. (ANRH, 2018).....	39
Tableau. III.2. Moyennes mensuelles des précipitations (stations de Texenna et col du Fedoulès, période, 1961-1991).....	40
Tableau. III.3. Moyennes mensuelles des précipitations (stations Texenna, période, 2002-2012).....	41
Tableau. III.4. Moyennes mensuelles des précipitations (station de col du Fedoulès, période, 2004-2015).....	41
Tableau. III.5. Moyennes mensuelles des précipitations (station de barrage El-Agrem, 2002-2018).....	41
Tableau. III.6. Taux des précipitations saisonnières en (mm) et en (%), (Station de Texenna, période, 2002-2012).....	42
Tableau. III.7. Taux des précipitations saisonnières en (mm) et en (%), (station du col de Fedoulès, période 2004-2015).....	42
Tableau. III.8. Répartition de la neige (P. Seltzer, 1946).....	44
Tableau. III.9. Nombre moyenne des jours de la gelée blanche (P.Seltzer 1913-1938).....	45
Tableau. III.10. Distribution des températures moyennes mensuelles et saisonnières (Station du barrage El-Agrem, période 2002-2018).....	45
Tableau. III.11. Données moyennes mensuelles des précipitations et des températures (Station du barrage El-Agrem, période 2002-2018).....	46
Tableau. III.12. Valeurs de l'ETP calculées par la formule de Thornthwaite (station du barrage El-Agrem, période 2002-2018).....	49
Tableau. III.13. Résultats de calcul de l'évapotranspiration réelle selon Thornthwaite (Station du barrage El-Agrem, période 2002/2018).....	50

Tableau.VI.1. Répartition des pentes de la zone d'étude.....	63
Tableau. VI.2. Qualification des classes de susceptibilité.....	65
Tableau. VI.3. Répartition des classes de la susceptibilité aux glissements de terrain.	66
Tableau. V.1. Coordonnées géographiques des trois glissements de terrain choisis.....	68
Tableau. V.2. Caractéristiques des sondages mécaniques carottés, (Fondoaisl, 2010 ; S.E.T.Sétif, 2013 ; L.M.T.P.B, 2013).....	71
Tableau. V.3. Valeurs des principaux paramètres physiques mesurés (Fondoaisl, 2010 ; S.E.T. Sétif, 2013 ; L.M.T.P.B, 2013).....	73
Tableau. V. 4. Résultats obtenues des limites d'Atterberg. (Fondoaisl, 2010 ; S.E.T. Sétif, 2013 ; L.M.T.P.B, 2013).....	74
Tableau. V.5. Valeurs des caractéristiques intrinsèques (c) et (ϕ) mesurées (Fondoaisl, 2010 ; S.E.T. Sétif, 2013 ; L.M.T.P.B, 2013).....	75
Tableau. V.6. Valeurs d'essais de compressibilité (Fondoaisl, 2010 ; S.E.T. Sétif, 2013 ; L.M.T.P.B, 2013).....	76
Tableau. V.7. Valeurs de coefficients de sécurité Fs.....	78

A decorative horizontal banner with a light blue background and a brown-to-blue gradient. The banner has a scroll-like appearance with rounded ends and a slight shadow. The text is written in a dark blue, elegant serif font.

Introduction générale

Introduction générale

Les glissements de terrain sont considérés comme un risque majeur en Algérie et en particulier durant les périodes hivernales, en raison des dégâts importants et des conséquences que ce type d'aléa a engendré dans le passé, et au cours de ces dernières années. Notre région d'étude est confrontée à des risques des mouvements de terrain très prononcés, comme dans la plupart de territoire Algérien.

Plusieurs approches sont possibles pour l'évaluation et la gestion du risque du glissement de terrain comme par exemple : l'approche multidisciplinaire (la tomographie), aussi une approche qui consiste à évaluer et à cartographier l'aléa « glissement de terrain » des zones potentiellement instables.

La cartographie des risques permet d'analyser et interroger les risques dans leurs caractéristiques spatiales. Peut représenter soit la répartition spatiale des aléas, soit celle des enjeux (ce qui est susceptible d'être endommagé), soit celle des vulnérabilités, soit une combinaison des trois facteurs. L'apport du SIG est de première importance non seulement pour la localisation des événements porteurs du risque, mais aussi pour la modélisation des risques et pour l'organisation des préventions.

Notre travail rentre dans le cadre de l'étude des glissements de terrain qui se sont déclenchés dans la commune de Djimla (Nord-Est Algérien), aussi nous comptons de définir les causes et les conséquences de ces glissements de terrains.

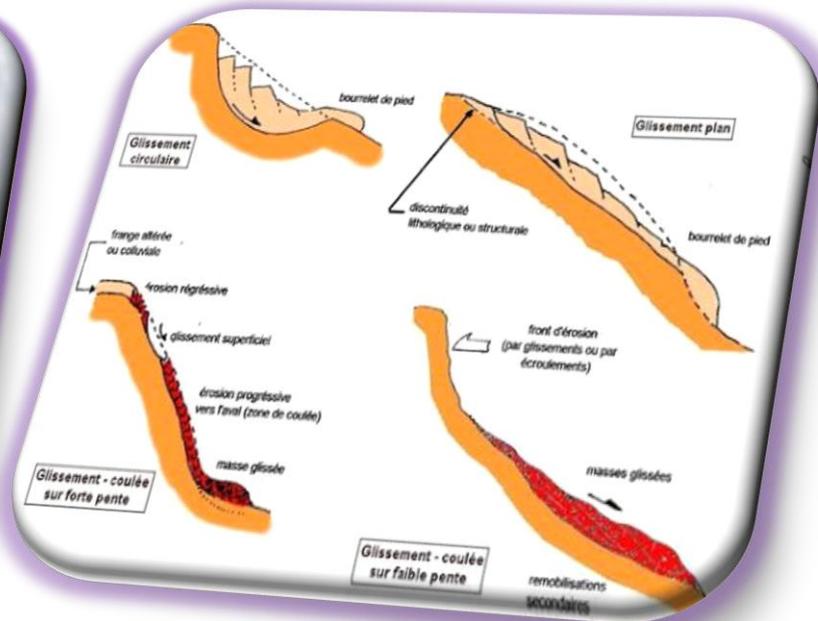
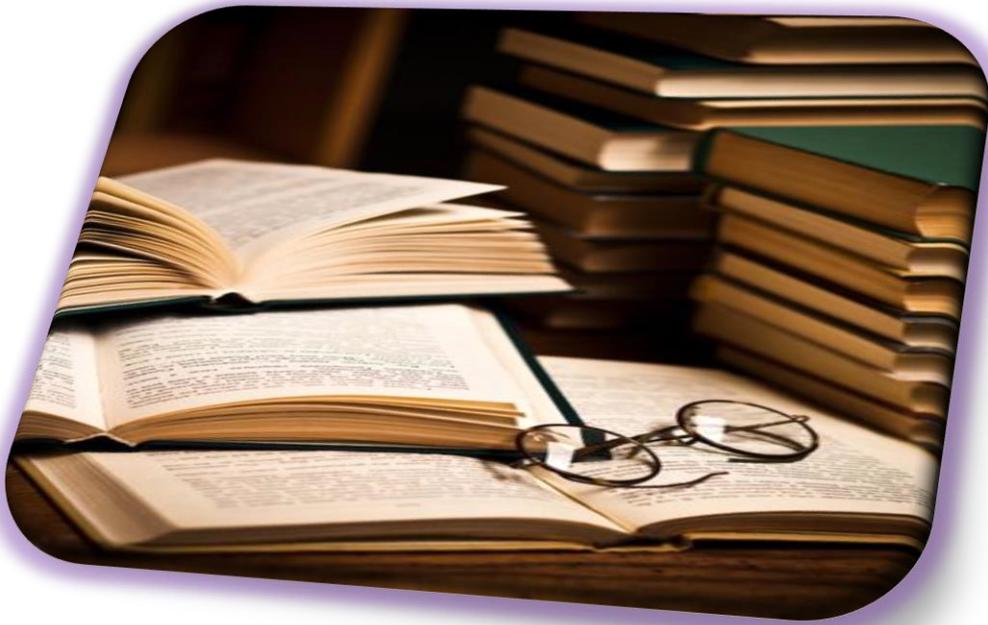
L'objectif principal de l'étude consiste en la mise au point d'un modèle de réalisation de cartes de facteurs de prédisposition, basées sur les caractéristiques géologiques et géotechniques; L'intérêt direct de ce travail serait la mise à la disposition des aménageurs de la wilaya, d'une carte de susceptibilité aux glissements qui aidera à la prise de décision dans l'acte de bâtir et d'aménager au moment de la mise au point des outils d'urbanisme de la région (POS, PDAU... etc).

Alors pour mener à bien cette étude nous avons adoptés le plan de travail suivant :

- ✓ Introduction générale,
- ✓ Chapitre I : porte des généralités sur les mouvements du terrain,
- ✓ Chapitre II : s'intéresse à une présentation du milieu physique de la zone étudiée, ainsi que leur contexte géologique local,
- ✓ Chapitre III : Synthèse hydroclimatologique,

- ✓ Chapitre IV : traite la modélisation par SIG de la répartition spatiale des glissements de terrains sur l'étendue de la zone d'étude,
- ✓ Chapitre V : consacré à l'étude géotechnique et une validation des résultats obtenus des SIG a été aussi abordée,
- ✓ Enfin une conclusion générale, regroupant les différents résultats obtenues par cette étude avec proposition des recommandations.

Analyse bibliographique



I.1. Introduction

De nombreux pays de monde sont confrontés par des phénomènes naturels importants susceptibles de provoquer parfois des catastrophes pour les personnes et les biens. Ces phénomènes sont d'origine très diverses, résultant de la déformation de la rupture et du déplacement du sol.

Un mouvement de terrain est un déplacement, plus ou moins brutal, du sol ou du sous-sol sous l'effet d'influences naturelles (agent d'érosion, pesanteur, séisme, etc.) ou anthropiques (exploitation de matériaux, déboisement, terrassement, etc.). Ce phénomène comprend diverses manifestations, lentes ou rapides, en fonction des mécanismes initiateurs, des matériaux considérés et de leur structure. Les glissements de terrain sont des accidents graves, parfois de grande ampleur, se produisent soudainement ou peuvent durer plusieurs mois. Ils affectent aussi bien des ouvrages construits par l'homme que des pentes naturelles.

Les mouvements de terrain sont très variés, par leur nature (glissements de terrains, éboulements rocheux, coulées de boues, effondrements de vides souterrains, affaissements, gonflement ou retrait des sols, ...etc.) et par leur dimension (certains glissements, peuvent atteindre plusieurs dizaines de millions de m³).

Dans leur principe, les mouvements de terrain sont bien compris : ils surviennent lorsque la résistance des terrains est inférieure aux efforts moteurs engendrés par la gravité et l'eau souterraine ou par les travaux de l'homme. Leur dynamique répond naturellement aux lois de la mécanique.

I.2. Mouvements et instabilités de terrain

I.2.1. Définition

Les mouvements de terrain sont les manifestations du déplacement gravitaire de masses de terrain déstabilisées sous l'effet de sollicitations naturelles (fonte des neiges, pluviométrie anormalement forte, séisme, etc.) ou anthropiques (terrassement, vibration, déboisement, exploitation de matériaux ou de nappes aquifères, etc.).

Ce phénomène comprend diverses manifestations : lentes ou rapides, en fonction des mécanismes initiateurs, des matériaux considérés et de leur structure. Dans la vie quotidienne ces phénomènes menacent en premier lieu les personnes c'est-à-dire présentent des risques sur sa vie et ses constructions.

I.2.2. Classification des mouvements de terrain

Les classifications des mouvements de terrain qu'ils soient d'origine naturelle ou anthropique sont nombreuses.

On peut citer la classification internationale (Hutchinson, 1988) ; la classification Européenne (Soldait, 1996) ; la classification automatique, (Dikau et al, 1996), etc. Divers caractéristiques ont été prises en compte dans ces classifications, elles peuvent se baser sur: les mécanismes et la composante principale du déplacement, (Varnes, 1984; Martin , 2006) ;La géométrie et l'état d'activité (Dikau et al, 1996); les caractéristiques géotechniques et les vitesses de déplacement (Hungret al, 2001); le type de matériaux (Corominas, 1998); le contexte géologique et géomorphologique (Hutchinson, 1988) et voire même la combinaison tous les critères précédents, (Antoine et Giraud, 1993; Hadji, 2015).

Selon la vitesse du déplacement deux types peuvent être distingués :

- Les mouvements lents : pour lesquelles la déformation est progressive et peut être accompagné par des ruptures : ils regroupent les affaissements, les tassements, les glissements, la solifluxion, le fluage, le retrait- gonflement et le fauchage.
- Les mouvements rapides : se propagent d'une manière brutale et soudaine, selon le mode de propagation des matériaux en masse ou à l'état remanié : les effondrements, les chutes de pierres ou blocs, les éboulements ou les écroulements, les laves torrentielles et les coulées boueuses.

On peut classer les mouvements de terrains en deux grands types :

- Les mouvements de pentes : concernent les déplacements obliques sur des surfaces libres inclinées ou ils affectent les pentes naturelles ou artificielles.
- Les mouvements verticaux : concernent les déplacements verticaux confinés abaissant sans rupture des surfaces horizontales.

I.2.3. Typologie des mouvements de terrain

I.2.3.1. Mouvements lents et continus

a) Affaissement

Les affaissements sont des dépressions topographiques en forme de cuvette à grande rayon de courbure dû au fléchissement lent et progressif du terrain de couverture avec ou sans fractures ouvertes (Fig.I.1).

Dans certains cas il peut être le signe annonciateur d'effondrement des bâtiments, s'ils ne présentent en général pas de risque pour les personnes, ils peuvent avoir des conséquences sur les ouvrages en surface, allant de la simple fissuration jusqu'à la ruine complète.

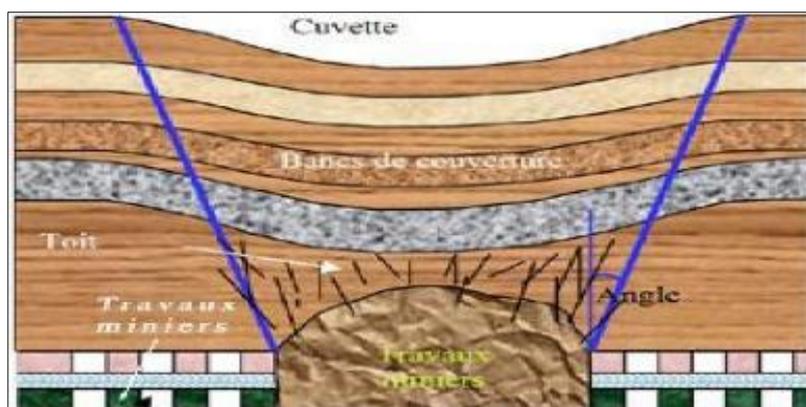


Fig. I.1. Le phénomène d'affaissement.

b) Tassement par retrait gonflement

Le retrait-gonflement des argiles est lié aux variations de teneur en eau des terrains argileux : ils gonflent avec l'humidité et se rétractent avec la sécheresse (Fig.I.2). Ces variations de volume induisent des tassements plus ou moins uniformes et dont l'amplitude varie suivant la configuration et l'ampleur du phénomène. Sous une habitation, le sol est protégé de l'évapotranspiration, et sa teneur en eau varie peu dans l'année.

Parmi les conditions d'apparition de ce phénomène on peut citer :

- La nature de sol concerne exclusivement les sols à dominante argileuse. ;
- Les phénomènes climatiques jouent un rôle assez important pour les déclencher dans les périodes de sécheresse ;
- La présence de la nappe et l'existence de circulations souterraines à faibles profondeurs ;
- La géomorphologie : un terrain en pente entraîne une dissymétrie des fondations ;
- Les racines des végétaux aspirent l'eau du sol ;
- Et les défauts de construction.

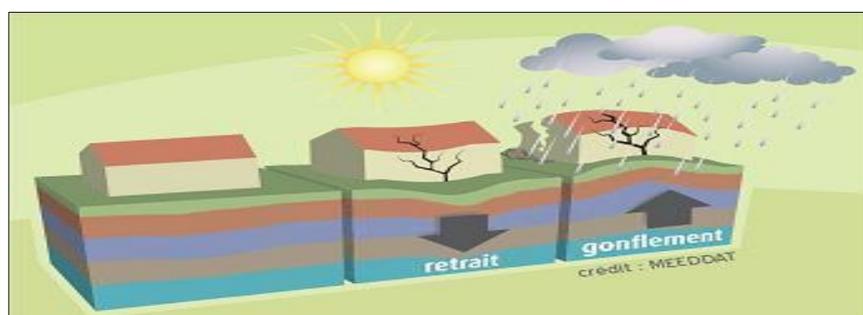


Fig.I.2. Phénomène de tassement par retrait et gonflement.

c) Fluage

Sont parfois regroupés dans la catégorie des glissements de terrain, il s'agit d'un mouvement lent de matériaux plastiques sur faible pente (Fig. I.3) qui résulte d'une déformation gravitaire continue

d'une masse de terrain non limitée par une surface de rupture clairement identifiée, mais par une zone de transition avec le massif stable.

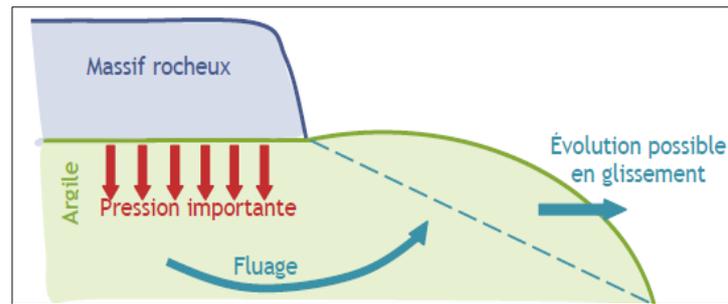


Fig.I.3. Schématisation du phénomène de fluage.

d) Solifluxion

La solifluxion est un phénomène d'écoulement des sols en surface sur des pentes très faibles. Elle correspond à un mouvement de masse superficiel qui est déclenché lorsque la charge en eau dépasse le seuil de plasticité du matériau. Le sol peut alors fluier dans la pente sur un plan de décollement saturé d'eau (Fig. I.4).

La grande majorité des chercheurs de ce domaine considèrent que le processus de solifluxion est composé principalement de deux mécanismes majeurs : la gélifluxion et la reptation (Benedict, 1970 ; Van Vliet-Lanoë, 1995 ; Ballantyne et Harris, 1994 ; Matsuoka, 1998 ; Matsumoto et al, 2010 ; Utz, 2013).

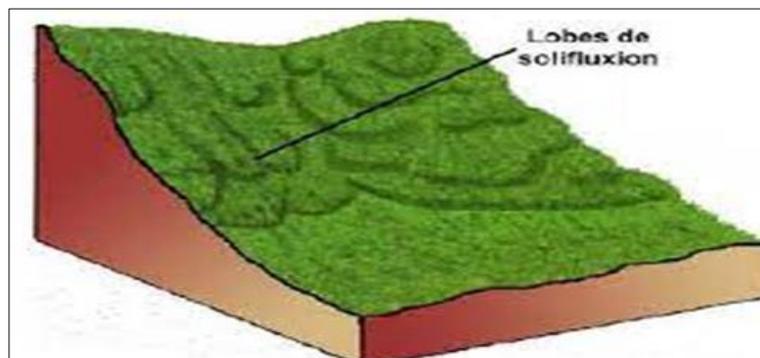


Fig. II.4. Phénomène de solifluxion.

I.2.3.2. Mouvements rapides et discontinus

a. Effondrement

Les effondrements sont des mouvements gravitaires à composante essentielle verticale, qui se produisent de façon plus ou moins brutal.

Ils sont le résultat d'une rupture des appuis ou du toit d'une cavité souterraine, jusqu'à l'ouverture d'une excavation cylindrique (Fig. I.5).

Les dimensions de cette excavation dépendent de plusieurs paramètres : la nature lithologique ; le volume et la profondeur de la cavité et le mode de rupture.

Ces phénomènes trouvent leur origine dans des paramètres naturels ou dans des activités passées d'extraction de matériaux dans le sous-sol.

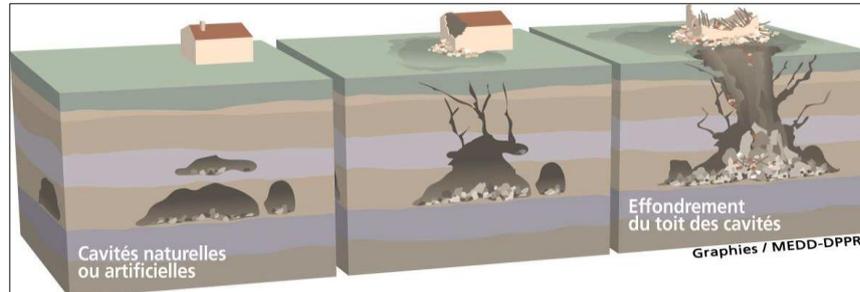


Fig. I.5. Le phénomène d'effondrement.

b. Chutes de pierres ou de blocs

Les chutes de masses rocheuses sont des mouvements d'une masse rocheuse, composé d'une ou de plusieurs particules, quand se sépare d'un versant rocheux, d'une paroi ou une falaise et se déplace, propulsée par l'action de la gravité, suivant une trajectoire verticale ou subverticale (Crudenet Varnes, 1996 ; Royán, 2015 ; Gallach, 2016). Ces mouvements sont l'origine de plusieurs facteurs de prédisposition et déclenchant tel que : la densité, l'orientation des discontinuités, la morphologie de versant (falaise, pente), les pressions hydrostatiques due à la pluviométrie et à la fonte de neige, les secousses sismiques ou anthropiques.

Selon le type du mouvement de propagation, on distingue trois types (Varnes, 1978) qui sont présentées par la Fig.I.6 ci-dessous :

- Les écroulements / éboulements en chute libre ;
 - Les chutes par rotation ou basculement du bloc ou masse rocheuse ;
 - Les glissements sur une surface inclinée.
- **Ecroulements**

Ce sont des chutes soudaines de masses rocheuses importantes. Ils sont généralement dus à des causes internes au massif. Ils peuvent se produire suite à la dislocation d'une masse rocheuse diaclases par altération interne ou accroissement de pressions interstitielles. Par Glissements banc sur banc d'une masse rocheuse stratifiée, par écroulements de masses mises en surplomb par érosion ou dislocation de couches tendres sous-jacentes. Ou par fluage ou glissement d'une couche sous-jacente (Hadji, 2015).

- **Eboulements**

Sont des chutes de matériel rocheux cohérent mobilisant un volume total inférieur aux 100 m³ (Deline, 2002). Sa trajectoire est généralement verticale, et les particules peuvent se fragmenter en plusieurs morceaux. Les éboulements sont des phénomènes catastrophiques, et peuvent être récurrents. (Gallach, 2016).

- **Basculements**

Ou bien le fauchage, Ils s'agissent comme des phénomènes lents assez fréquents qui affectent les matériaux qui sont soumis à un moment induit par la gravité sur une masse ne possédant pas suffisamment d'appuis à sa base. Il précède souvent des chutes de bloc ou induit des ruptures importantes dans un versant.

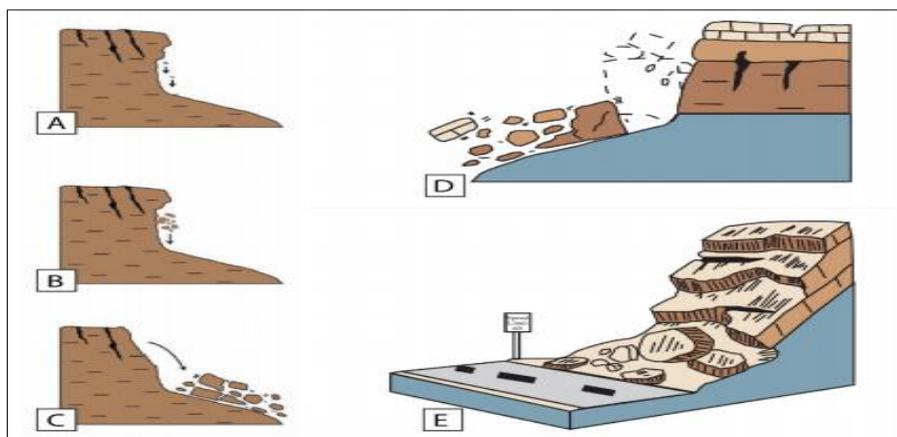


Fig. I.6. Différents types de chutes de bloc : a) éboulisation ; b) éboulement (< 100 m³) ; c) écroulement (> 100 m³) ; d) basculement ; e) glissement. Modifié de Highland, 2004.

c. Coulées boueuses

Les coulées boueuses sont des phénomènes très rapides affectant des masses de matériaux remaniés, soumis à de forte concentration en eau, sur de faibles épaisseurs généralement (0-5 m). Ce type de phénomène est caractérisé par un fort remaniement des masses déplacées, une cinématique rapide et une propagation importante. Elles prennent fréquemment naissance dans la partie aval d'un glissement de terrain (Fig. I.7).



Fig. I.7. Phénomène de coulée boueuse.

Tab. I.1. Classification des mouvements de terrain (Varnes DJ, 1978).

Type de mouvement		Type de matériau		
		Roches	Sols	
			Granuleux	Fins
Chutes (Falls)		Ecroulement rocheux (Rock fall)	Ecroulement de débris (Debris fall)	Ecroulement de terrain (Earth fall)
Basculements (Topples)		Basculement rocheux (Rock topples)	Basculement de débris (Debris topples)	Basculement de terrain (Earth topples)
Glissements (Slides)	Rotation (Rotational)	Affaissement rocheux (Rock slump)	Affaissement de débris (Debris slump)	Affaissement de terrain (Earth slump)
		Masse rocheuse en glissement (rock block slide)	Débris en glissement (Debris block slide)	Terrain en glissement (Earth block slide)
	Translation (Translational)	Glissement rocheux (Rock slide)	Glissement de débris (Debris slide)	Glissement de terrain (Earth slide)
Déplacement latéraux (Spreads)		Déplacement de roche (Rock spread)	Déplacement de débris (Debris spread)	Déplacement de terrain (Earth spread)
Ecroulement (Flows)		Avalanche de roche (Rock flow)	Lave torrentielle (Debris flow)	Coulée de terrain (Earth flow)
Complexes (Complex)		Combinaison d'au moins deux principaux types de mouvements.		

I.3. Glissements de terrain

Un glissement de terrain est un phénomène géologique regroupant un ensemble des déplacements, ces déplacements généralement lents (de quelques millimètres par an à quelques mètres par jour) sur une pente, le long d'une surface de rupture dite surface de cisaillement, d'une masse de terrain cohérente, de volume et d'épaisseur variables.

Le mouvement est engendré par l'action de la gravité, des forces extérieures (hydraulique, ou sismique), ou d'une modification des conditions aux limites.

Leur vitesse est variable. Plus les glissements sont superficiels, plus la fissuration du terrain est visible en surface.

Les indices caractéristiques pouvant être observés dans les glissements de terrain sont généralement la formation d'une niche d'arrachement, des fissurations, des bourrelets (au pied), des arbres basculés ou tordus, des zones de rétention d'eau. (Dejrbal, 2010).

I.3.1. Morphologie des glissements de terrain

Les divers éléments d'un glissement tels que propose par l'IAEG (International Association of Engineering Geologists) sont (Fig.I.8) :

- 1) Escarpement principal : Surface inclinée ou verticale, souvent concave limitant le glissement à son extrémité supérieure et prolongée en profondeur par la surface du glissement.
- 2) Escarpement secondaire : Surface circulaire semblable à l'escarpement principal, mais visible dans la masse remaniée. Ces escarpements confèrent à la masse en mouvement une structure en escalier.
- 3) Pied : Correspond à l'intersection aval de la surface topographique initiale et la masse glissée. Le pied est souvent masqué par le bourrelet.
- 4) Surface de glissement (Ou de rupture) : C'est la surface qui sépare la masse glissante des terrains en place.
- 5) Fissures et crevasse : rupture au sein du matériau se manifestant par des fentes d'importance et de formes diverses suivant leur position.
- 6) Couronne : sone située au-dessus de l'escarpement principal souvent peu affecte par le désordre. Seules quelques fissures ou crevasses témoignant de la mise en traction des terrains dans ces zones.
- 7) Tête : c'est la limite amont du glissement et plus précisément partie ou le matériau glissé se trouve en contact avec l'escarpement principal.
- 8) Élément : fraction de la masse glissée entre deux escarpements.
- 9) Flan : limite latérale du glissement prolongeant l'escarpement principal.
- 10) Extrémité inférieure (pouce) : zone aval du mouvement du terrain ou extrémité du bourrelet.
- 11) Rides transversales : elles se forment dans le bourrelet du mouvement du terrain, témoins d'effort de compression pouvant aboutir à des chevauchements dans le matériau.
- 12) Corps : partie centrale du glissement recourant la surface de rupture. (Taleb, 2019).

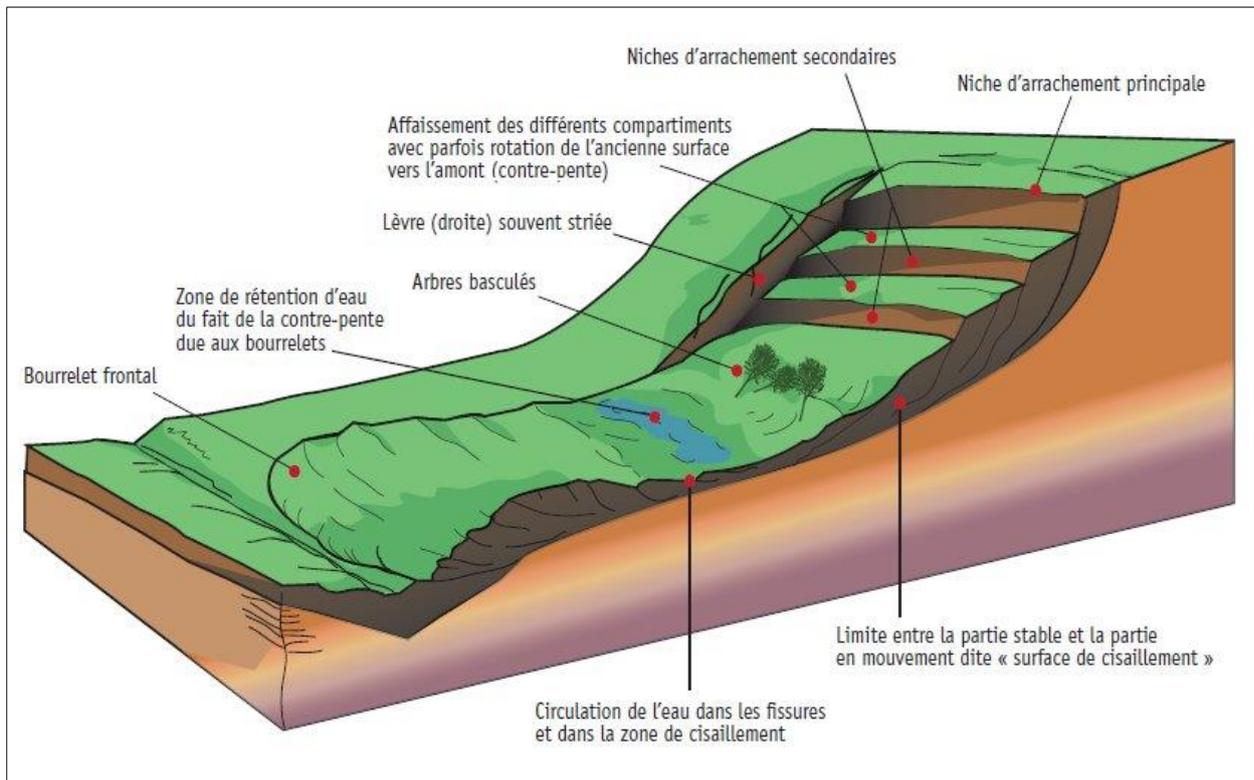


Fig.I.8. Morphologie générale d'un glissement de terrain.

I.3.2. Types des glissements de terrain

Selon la géométrie de la surface de rupture, on peut distinguer trois types principaux de glissement présenté dans la fig.I.9 :

1) Glissement plan ou translationnel

En générale, il se produit dans les sols stratifiés ou les roches fissurées. Lors d'un glissement plan, les couches de l'ensemble de terrain se déplacent selon une surface plus ou moins plane, il s'agit souvent du toit d'une couche de mauvaise résistance nommée « couche de savon».

2) Glissement circulaire ou rotationnel

Ils se forment principalement dans des milieux homogènes et isotropes, ils se manifestent par une rotation sur une surface de cisaillement ayant l'allure générale d'une cuillère vaguement sphérique, qui donne aux versants une topographie chaotique.

Ce type est regroupe en deux catégories :

➤ Glissement rotationnel simple

C'est le type de glissement le plus fréquent. La surface de rupture a une forme simple et peut être assimilée à une portion de cylindre.

➤ Glissement rotationnel complexe

Qui se manifeste généralement sous forme de surfaces multiples dues à des glissements en chaîne, causé généralement par :

- Caractéristiques mécaniques variant en profondeur ;
- Anisotropie de structure ;
- Anisotropie mécanique ;
- Suppression d'une butée de pied entraînant une rupture régressive ou un effondrement.

3) Glissement quelconque ou composite

Caractériser par une surface de rupture de forme nettement moins géométrique et parfois même tout à fait quelconque.

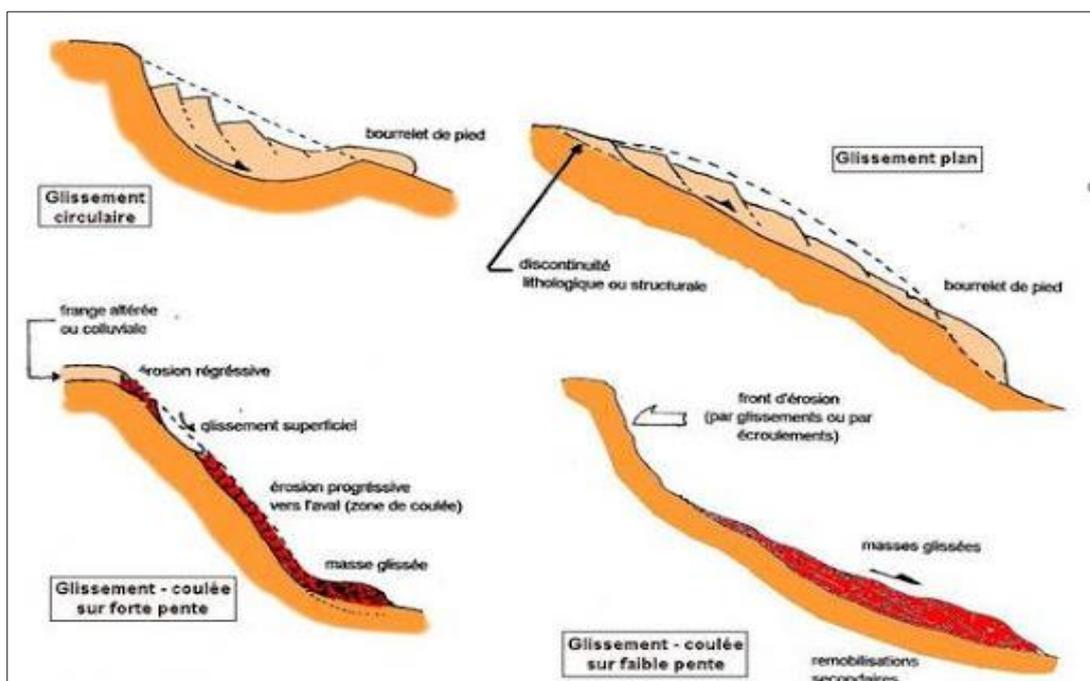


Fig.I.9. Les différents types de glissements de terrain.

I.3.3. Principaux causes des glissements de terrain

La manifestation des glissements de terrain résulte généralement de la combinaison des facteurs aggravants (permanents) ou déclencheurs, que l'on décrit ci-dessous :

1-Facteurs conditionnants

Les facteurs conditionnants sont ceux qui déterminent les conditions de stabilité ou d'instabilité du versant : (Kabou et Merad, 2013).

-Lithologie : représente un facteur conditionnant majeur dans la stabilité des versants. Elle étudie les caractéristiques des sols et roches existants sur le terrain, telle la composition, la texture, les caractéristiques mécaniques, la perméabilité, la susceptibilité d'altération.

-La pente : est l'un des facteurs déterminant dans la genèse des glissements de terrain.

En effet, pour qu'une rupture puisse se produire sur un versant, il faut qu'il y ait l'intervention de la gravité accompagnée d'un appel au vide. Ce phénomène ne pouvant prendre naissance sur des terrains plats, la prise en compte du degré de pente des versants et des couches est d'une importance capitale.

Relief par sa composante altimétrique représente aussi l'un des facteurs les plus déterminants dans la genèse des glissements de terrains. Ainsi, plus l'altitude augmente, plus le risque d'occurrence de mouvement de terrain est présent.

-La structure : le pendage, la présence de joints de stratification, de plis, de schistosité constituent des zones de faiblesse dans un massif.

-Proximité du réseau de drainage : est généralement liée au phénomène d'érosion hydrique parmi lesquels on trouve les sapements de berges. Ce phénomène se développe généralement dans les portions des cours d'eau où la vitesse d'écoulement est suffisamment puissante pour éroder la partie basale d'un versant.

-L'activité tectonique récente à actuelle : peut conditionner ou déclencher un mouvement de masse au niveau de la zone de broyage des failles (cisaillements et/ou décrochements) formée de matériaux fracturés. L'occurrence des mouvements de masse se trouve généralement accentuée à proximité des résurgences.

2-Facteurs déclenchants

Les facteurs déclenchants engendrent les mouvements par changements rapides des conditions du versant définies par les facteurs déterminants :

-L'eau, déclencheuse et accélératrice de glissement : lorsque l'eau s'infiltré dans le sol, elle prend la place qu'occupait l'air dans les interstices. L'eau étant plus lourde que l'air, le terrain peut se retrouver surchargée, ce qui joue en faveur de la gravité au détriment de la force de cohésion.

- Précipitations : tiennent un rôle direct dans le déclenchement des mouvements de masse. En effet, la pluviométrie agit directement sur le déclenchement des mouvements de masse en diminuant la résistance au cisaillement et en rendant les terrains gorgés d'eau plus plastiques ; ce qui a pour conséquence directe le déplacement de la masse sous son propre poids.

-Sismicité : ne peut déclencher un mouvement de masse qu'à partir d'une magnitude critique d'activation de l'ordre de $M = 4$ (Guzzetti et al. 1999). Cependant on peut assister à de petits écoulements lors de libération d'énergies inférieures à la magnitude critique.

-Les cours d'eaux et les résurgences : Sont souvent responsable indirectement dans le déclenchement des mouvements de masse. En effet, leur action érosive (ravinement, sapement de berge, érosion régressive, etc....) engendre souvent déstabilisation de versants. L'action de l'eau

peut être aussi de nature chimique lorsqu'elle entraîne une altération des matériaux par différentes actions comme l'oxydoréduction, l'hydrolyse, l'hydratation, la dissolution, etc.

-Végétation : la couverture végétale joue un rôle très important dans la stabilité des talus qui peut être favorable (les racines augmentent la cohésion du sol), ou défavorable (l'effet du vent sur les arbres qui constitue un effort moteur, l'effet de levier qui peut arracher les arbres et laisser des vides dans le sol, l'érosion de la roche...), de plus, elle peut nous renseigner sur la position de la nappe.

-**Les causes mécaniques** : on peut citer :

- ✓ Les vibrations : dues à un séisme ou à des activités humaines (explosion, passage d'un train). Il y a une augmentation momentanée du poids du terrain qui peut suffire pour que le seuil de stabilité soit franchi et que le terrain se mette en mouvement.
- ✓ Les surcharges : Le déclenchement peut intervenir en jouant directement sur la force motrice par effet de surcharge gravitaire. Cette surcharge résulte d'un stockage naturel de matériaux sur le versant instable.

I.3.4. Dynamique des glissements de terrain

Les glissements de terrain se caractérisent par des phases d'activité où les vitesses de déplacement sont élevées alternées avec des phases de calme.

K. Terzaghi (1950) proposent quatre phases (Djrbal.2009) (Fig.I.10)

- La phase de préparation : dans cette phase on remarque une absence d'évolution mesurable ou un mouvement de faible amplitude qui peut conduire à une diminution progressive des caractéristiques du terrain.
- La phase du paroxysme (rupture) : c'est une période généralement de courte durée pendant laquelle on observe des déplacements importants. La stabilisation de glissement a lieu généralement après cette phase.
- La phase d'amortissement (relaxation) : elle succède immédiatement à la phase de paroxysme c'est la phase la plus couramment rencontrée par le géotechnicien car il est amené à intervenir dans cette phase pour stabiliser ou surveiller le phénomène.
- La phase de stabilisation : le versant est stabilisé pour une durée indéterminée.

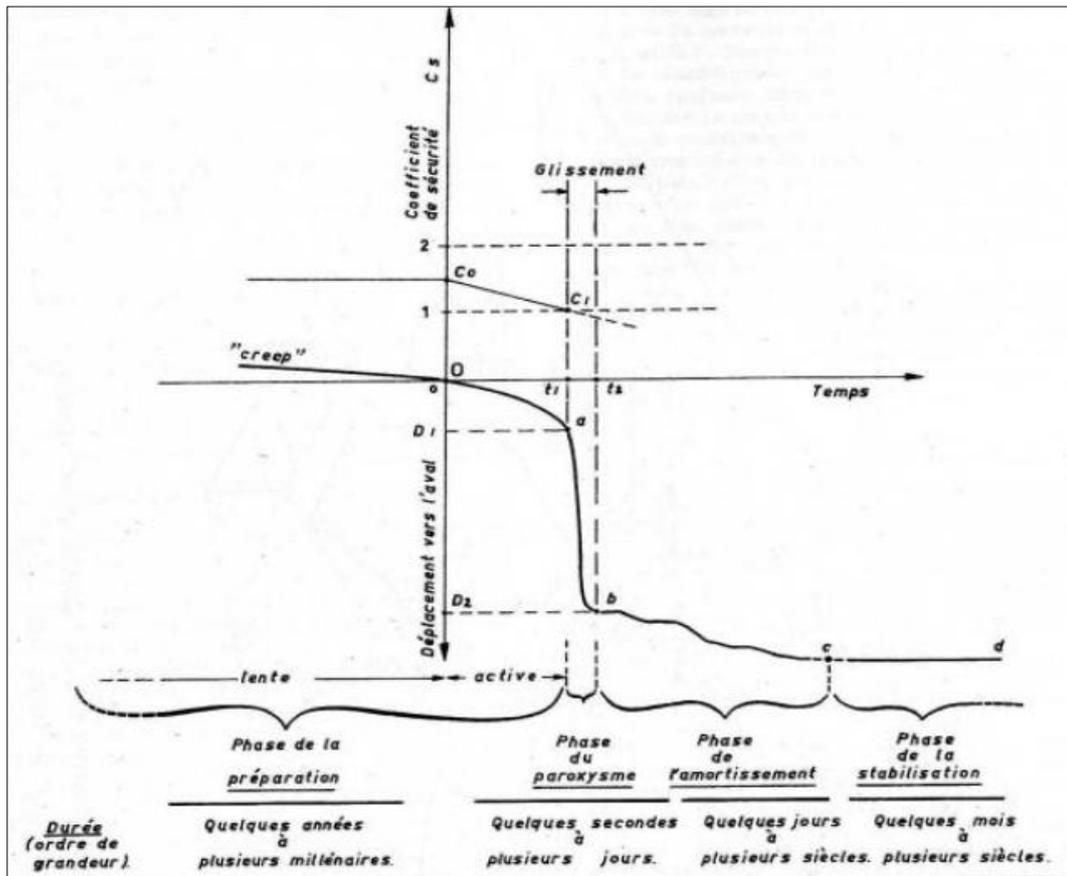


Fig.I.10. La dynamique d'un glissement de terrain.

I.3.5. Classification des glissements de terrain

Les glissements de terrain peuvent être classés selon la profondeur estimée de la surface de glissement et selon le degré d'activité, défini par une évaluation de la vitesse moyenne à long terme des mouvements (Tab.I.2).

I.3.5.1. Selon la vitesse

La vitesse de glissement d'un terrain permet de distinguer les glissements permanents et les glissements spontanés.

- **Glissement de terrain permanent** : Le mouvement est régulier vers l'aval sur une longue période, la masse se déplace le long d'une surface de glissement existante.
- **Glissement de terrain spontané** : Le mouvement terrain meuble et/ou de roche est relativement rapide vers l'aval suite à un déclenchement subit ; contrairement au glissement permanent. Ce glissement forme toujours une nouvelle surface de glissement ou zone de rupture (coulée de boue par exemple).

Tab.I.2. La classification de glissement de terrain. Selon la vitesse

Source : Office fédéral de l'environnement Division Prévention des dangers, 2009.

Glissement	Vitesse
Substabilité, très lent	0-2cm/an
Peu actif, lent	2-10cm/an
Actif	>10cm/an

A partir des classes de vitesses définies par Varnes (1978), les bornes de ces classes ont été redéfinies en 1994. pour chacune de sept classes de vitesse des types de réaction et des impacts significatifs en termes de vies humaines ou de dégâts aux constructions ont été proposés qui sont montrées dans le Tableau.I.3.

Tab.I.3. Classes de vitesses définies par Varnes (1978).

Classe	Description	Vitesse	Effets
01	Extrêmement lent	Moins de 16 mm/an	Pas de dommage aux structures construites.
02	Très lent	De 1,6 m/an à 1,6 mm/an	Quelques structures sont sans dommage peuvent réparées.
03	Lent	De 1,3 m/mois à 1,6 m/an	Les routes et les structures peuvent conservées à partir de lourds travaux.
04	Modéré	De 1,8 m/h à 13 m/mois	Les structures localisées sur la masse déplacée sont extrêmement endommagées
05	Rapide	De 3 m/min à 1,8 m/h	Les constructions sont détruites par les mouvements.
06	Très rapide	De 5 m/s à 3 m/min	Destruction majeure avec la morte de quelques personnes
07	Extrêmement rapide	Plus de 5m/sec	Catastrophe majeure conduite à dégâts importantes des personnes et des biens.

I.3.5.2 Selon la profondeur

En fonction de la profondeur, on distingue (Tab.I.4) :

a. Glissement superficiel

Dus à des pics de pression interstitielle. Ils peuvent également être modifiés indirectement par les changements climatiques.

b. glissement semi profond

Où la profondeur est comprise entre 2m à 10m.

C. Glissement profond

Les glissements profonds se rapportent à des phénomènes d'instabilité de plus grande ampleur, qui

peut affecter l'ensemble d'un versant.

Tab.I.4. La classification de glissement de terrain. Selon la profondeur.
Source : Office fédéral de l'environnement Division Prévention des dangers, 2009.

Glissement	Profondeur
Glissement superficiel	0-2m
Glissement profond	2-10m
Glissement semi profond	10-30m
Glissement très profond	>30m

I.3.6. Conséquences des glissements de terrain

Du fait des fissures, des déformations et des déplacements en masse, les glissements peuvent entraîner des dégâts importants aux constructions. Dans certains cas, ils peuvent provoquer leur ruine complète (formation d'une niche d'arrachement d'ampleur pluri métrique, poussée des terres incompatibles avec la résistance mécanique de leur structure.

L'expérience montre que les accidents de personnes dus aux glissements et coulées sont peu fréquents, mais possibles (cas d'un phénomène relativement rapide et/ou survenant de nuit, les modifications importantes affectant le terrain conduisent à des mouvements différentiels notables du sous-sol et portent un sérieux préjudice à la stabilité des bâtiments.

Suite aux fissures qui se développent dans les éléments de structure du bâtiment, aux tassements qu'ils subissent et à leur basculement, une destruction partielle ou totale des bâtiments est possible. Les portes et les fenêtres ne peuvent plus être utilisées. Les hommes et les animaux sont mis danger dans les bâtiments.

I.3.7. Susceptibilité aux glissements de terrain

La susceptibilité aux glissements de terrain une composante dans l'équation de ce type de risque, celle-ci étant définie comme la probabilité d'occurrence du phénomène dans un certain secteur. Son évaluation suppose l'appréciation quantitative et qualitative de la classification de volume de la superficie et de la distribution spatiale des glissements de terrain qui existent et/ou qui peuvent apparaître (Achour, 2017).

I.3.8. Rôle des logiciels de Système d'Information Géographique (SIG)

Les systèmes d'information Géographique (SIG) ont permis de développer de nouvelles techniques de cartographie de la susceptibilité. Fondées sur des algorithmes statistiques (méthode

bivariée, multivariée, méthode combinant différentes approches), ces méthodes permettent de s'affranchir de la subjectivité liée à l'expert.

Elles mettent en relation les glissements de terrain et des variables prédictives (les facteurs de prédisposition) pour obtenir des cartes de susceptibilité (van Westev, 1993 ; Carrera et al, 1995 ; Soeters et van Westen, 1996 ; Van Westen et al, 2003 ; Chung et al, 2003 ; van Westen, 2004 ; van Westen et al, 2006). Les logiciels de système d'information Géographique (SIG) permettent de produire l'information, de l'organiser, de la représenter et de l'interpréter.

D'abord ils permettent d'exploiter les données existantes, ainsi que la création d'un inventaire des glissements à partir de l'observation des orthophotos. de plus ils rendent possible la production d'information à partir de données, puis une fois toutes les variables créées, organisées et géoréférencées elles peuvent être représentées. Enfin la superposition de ces informations peut être exploitée (Achour, 2017).

I.4. Méthodes de confortement

Dans la plupart de cas l'étude d'un glissement de terrain conduit à définir une solution confortative et à exécuter des travaux de stabilisation. Cette solution doit tenir compte de la faisabilité des travaux liée à : (Dib, 2015).

- L'investissement consenti ;
- L'accessibilité du site ;
- La période de l'année choisie pour l'exécution des travaux ;
- La cinématique du glissement.

Les méthodes de confortement au glissement sont définies comme un ensemble des méthodes qui servent à stabiliser la masse de terrain instable, par la connaissance pas seulement des dimensions mais aussi son origine (chargement, écoulement d'eau, altération des sols, ruissellement singulier).

De façon générale, les méthodes de confortement peuvent être groupées en quatre groups :

- ✓ Les terrassements : actions sur la géométrie et l'équilibre des masses ;
- ✓ Les drainages : actions sur le régime hydraulique et les pressions interstitielles ;
- ✓ Les renforcements : renforcements mécaniques ;
- ✓ Protection superficielles (végétalisation, plantation, etc.) (Sanglerat, Olivari et Cambou, 1983 ; Dib, 2015).

I.4.1. Terrassements

Les conditions de stabilité étant directement liées à la pente du terrain, le terrassement reste le moyen d'action le plus naturel. On peut distinguer trois groupes de méthodes de stabilisation par terrassement (Fig.I.11) : (Dib, 2015 ; Durville et Sèv, 1999).

- Les actions sur l'équilibre des masses : allègement en tête, remblai en pied ;
- Les actions sur la géométrie de la pente : purge et reprofilage ;
- Les substitutions partielles ou totales de la masse instable (Gilles et Pierre, 1988).

a) Remblai de pied

Il est appelée aussi banquettes, c'est une technique souvent utilisée, agit de deux manières : d'une part, il équilibre les forces motrices et, d'autre part, il permet de contenir les déplacements de la masse instable.

La stabilité au grand glissement suppose deux vérifications :

- L'ouvrage de butée doit limiter les risques de reprise du glissement en amont ;
- L'ouvrage de butée ne doit pas déclencher d'autres glissements, par exemple à l'aval (Gilles et Pierre, 1998).

b) Allègement en tête

L'allègement en tête de glissement consiste à venir terrasser dans la partie supérieure. Il en résulte une diminution du poids moteur et, par conséquent, une augmentation du coefficient de sécurité. La méthode de dimensionnement consiste en un calcul de stabilité le long de la surface de rupture déclarée en prenant en compte la modification de la géométrie en tête (Bendjeddou, 2015).

c) purge

Les techniques de terrassement s'accompagnent fréquemment de purges du matériau déplacé par le glissement. Son utilisation est limitée aux glissements de taille modeste (Bendjeddou, 2015).

d) Reprofilage

Les conditions de stabilité d'un talus sont directement liées à sa géométrie. On peut naturellement augmenter la sécurité d'un talus par retalutage du terrain naturel en réduisant sa pente. Dans ce sens, le procédé s'apparente à l'allègement en tête : il consiste en un adoucissement de la pente moyenne (Hadji, 2015).

e) Substitution

La substitution totale consiste à venir purger l'ensemble des matériaux glissants ou susceptibles de glisser, et à les remplacer par un matériau de meilleure qualité.

La purge est évidemment un traitement très radical qui nécessite toutefois de prendre quelques précautions :

- Être bien certain du volume concerné par le glissement ;
- Purger plus profondément que la surface de glissement sous peine de réaliser un confortement sans aucune efficacité ;
- Assurer un bon accrochage au contact massif sol en place et un bon drainage du massif de substratum.

Ces techniques peuvent être totales ou partielles sous forme de bèche, contreforts, masques drainants, éperons drainants.

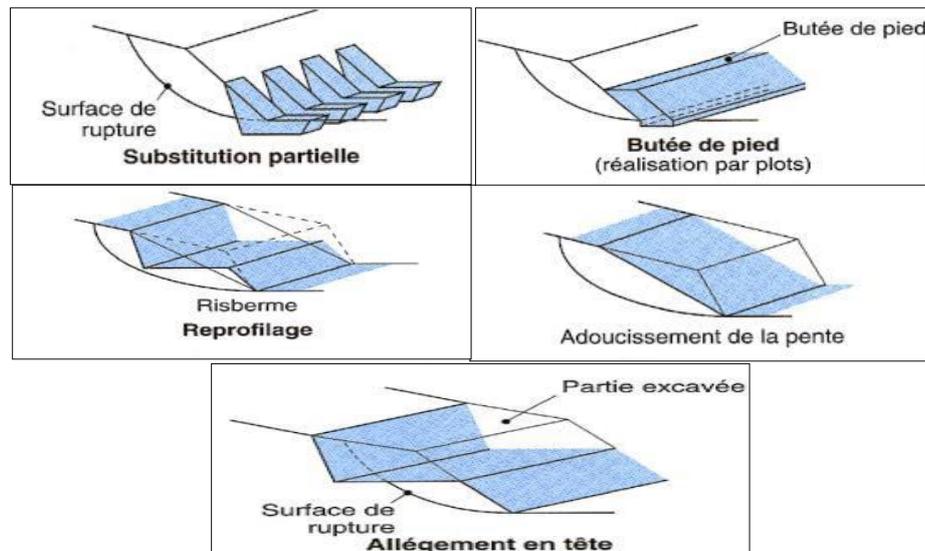


Fig.I.11. Différentes méthodes de stabilisation par terrassement.

I.4.2. Stabilisation par drainage

L'eau joue un rôle négatif sur la stabilité des talus, afin de réduire ce risque les dispositifs de drainages sont les solutions les plus efficaces.

Le drainage peut évacuer l'eau de la zone ou encore éviter l'alimentation en eau de la zone par collecte et canalisation des eaux de surface (Fig.I.12). Le drainage d'un massif instable peut être réalisé du plusieurs façon (Sellami et Belamri, 2014 ; Hadji, 2015).

- Par drainage superficiel pour réduire les infiltrations et l'érosion en réalisant des fossés, des descentes d'eau, caniveaux, etc.
- Par drainage profond pour rabattre la nappe en mettant en place des galeries, des tranchées, des éperons drainants, des drains subhorizontaux ou drains verticaux, puits et galeries drainantes.

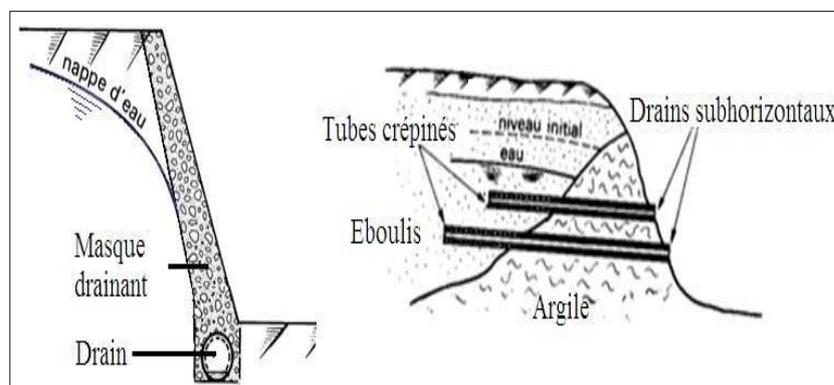


Fig. I.12. Action de drainage sur un talus soumis à une nappe.

I.4.3. Stabilisation par renforcement

Ce principe de renforcement des sols repose sur l'introduction dans le sol des inclusions, destinées à améliorer les caractéristiques mécaniques du sol. (Hubert, 1979).

Le renforcement par éléments résistant est classé en deux catégories :

- ❖ **Les renforcements rigides** : dans ce cas il s'agit d'un traitement homogène du sol qui se manifeste par une forte augmentation de certains paramètres notamment : la cohésion, la rigidité et la densité, en fonction : compression, traction et la flexion.
- ❖ **Les renforcements souples** : ces produits permettent au l'ouvrage de résister à la sollicitation par les efforts de traction comme les produits géosynthétiques : géomembrane, géocomposite.
- ❖ Le soutènement

C'est un écran rigide ou souple qui bloque le volume en mouvement. Rigide, les efforts mis en jeu sont importants et peuvent amener à la rupture (Fig.I.14. b) (Launay et al, 2017).

- ❖ Tirants d'ancrages

Le principe consiste à réduire les forces actives du glissement et à accroître les contraintes normales effectives sur la surface de rupture. Pour ce faire, on ancre des tirants constitués de câbles d'acier multi torons dans le terrain stable situé sous la surface de rupture, et on applique en tête un effort de traction (Fig.I.14. a) (Bendjeddou, 2015).

- ❖ Le coulage

Ce dispositif transfère par un système d'accrochage (pieux, clous) les efforts du volume en mouvement vers le volume fixe (Fig. I.13) (Launay et al, 2017).

Son utilisation est favorite dans deux domaines : la stabilité des pentes et le soutènement des excavations.

- ❖ Protection superficielle

La stabilité générale du talus étant assurée, cependant son état de surface peut se dégrader par érosion sous l'action des agents météoriques pluie, vent, gel. C'est une protection active dont le but est de limiter l'érosion superficielle (liée au gel-dégel et aux eaux de ruissellement), de la matrice meuble des talus, responsable du déchaussement de pierres ou de petits blocs lors de fortes précipitations. (Durville et Gilles, 2000).

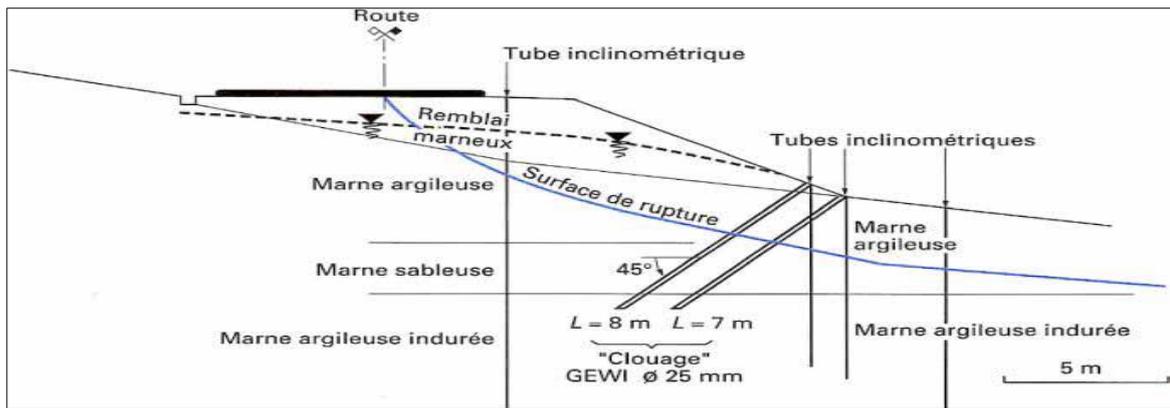
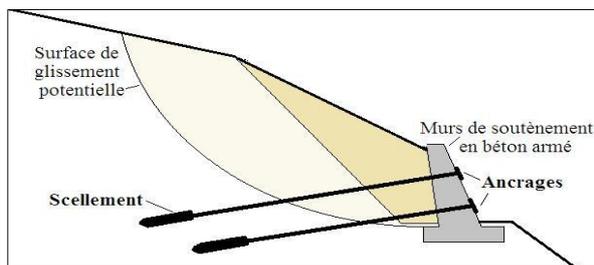


Fig. I.13. Exemple de clouage d'un glissement.



(a)



(b)

Fig.I.14. Les différentes techniques de stabilisation par renforcement : a) Action mécanique par tirants sur un talus soumis à une rupture potentielle, b) Mur en béton armé préfabriqué.

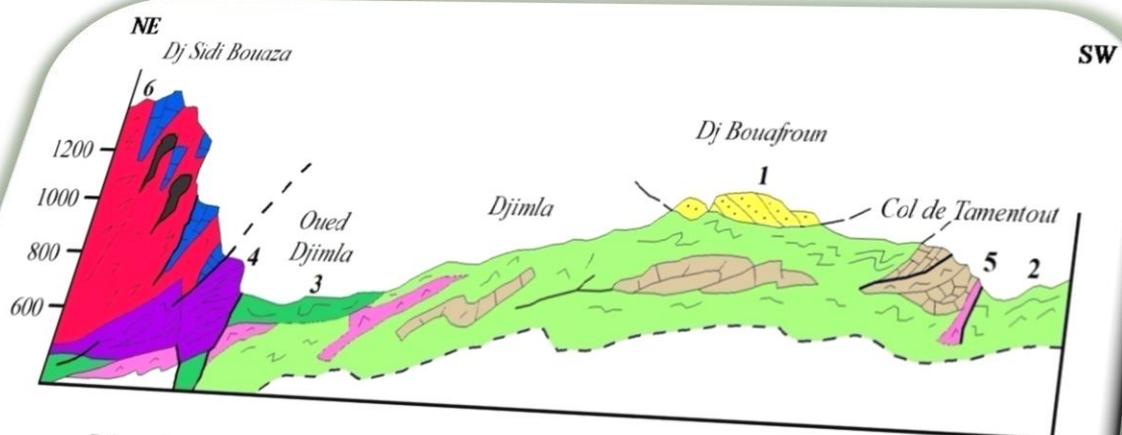
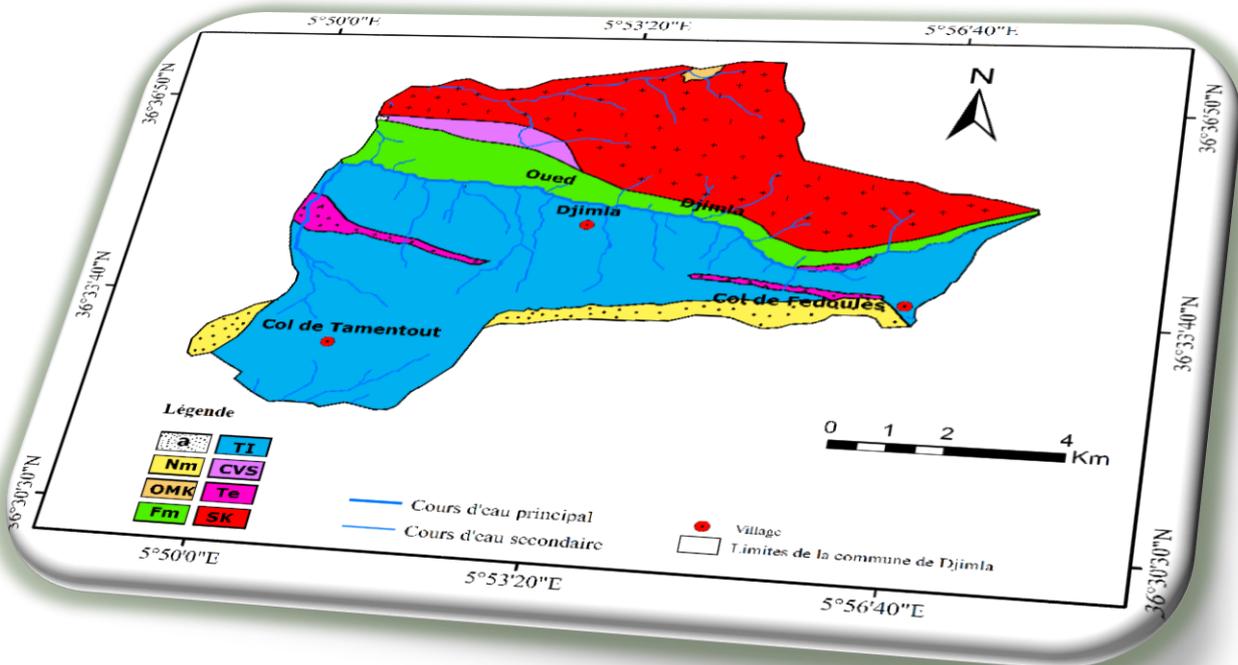
I.5. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons définis les différents types de mouvements de terrain quelques soit lente ou rapide et on base sur les glissements de terrain ; en effectuant une classification selon la profondeur et la vitesse du mouvement.

Nous avons aussi traité les différents types (plan, rotationnel), et les phases d'un glissement de terrain ainsi les principaux causes pouvant induire ou déclencher une instabilité. Ces derniers sont dus : soit la géologie, la végétation...etc.

Ensuite, on a identifié et différenciée plusieurs types de soutènement et de confortement possible en fonction des contraintes des sites étudiée et de la faisabilité des travaux de confortement.

Milieu physique et contexte géologique



Légende

Echelle 250 m

1 : Flysch numidien (Aquitano – Burdigalien). 2 : Tellien Marno –calcaires et calcaire à silex (Paléogène – Sénonien). 3 : Flysch massylien schisto – gréseux (Albo – Aptien). 4 : CVS caleschiste, roches vertes – série quartzo péliques (Jurassique présumé). 5 : Trias gypsifère. 6 : Socle Kabyle granulitique ; marbre et gneiss.

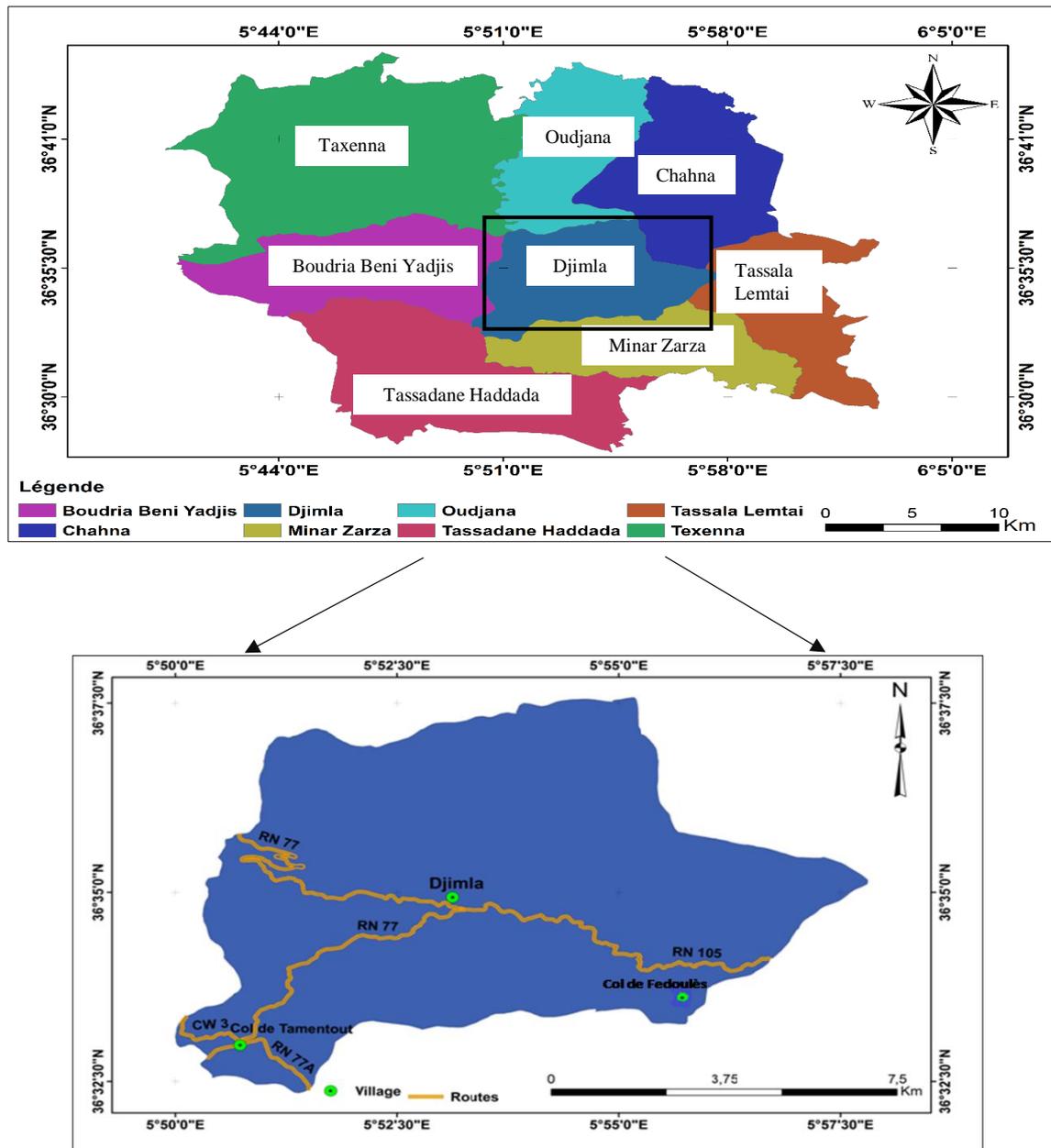


Fig.II.1. Situation géographique de la commune de Djimla.

II.2.2. Climat

La région de Jijel est classée parmi les régions les plus pluvieuses de l'Algérie, elle est caractérisée par un climat méditerranéen subissant l'influence de la mer méditerranée au Nord, et des reliefs au Sud. Ces deux raisons font que le climat de la région est tempéré, avec des températures élevées en été et basses en hiver.

Les précipitations annuelles varient entre 900 et 1600 mm/an (Fig.II.2). En plus d'une importante pluviométrie. Cette pluviométrie classe cette région parmi les zones les plus arrosées de l'Algérie.

La commune de Djimla est souvent recouverte par d'importantes quantités de neige. Quant à l'influence du relief sur le climat, ce dernier joue le rôle de barrière face aux masses saturées en

humidité et froides qui donnent d'importantes précipitations. Cette dernière révèle un potentiel hydrique très important.

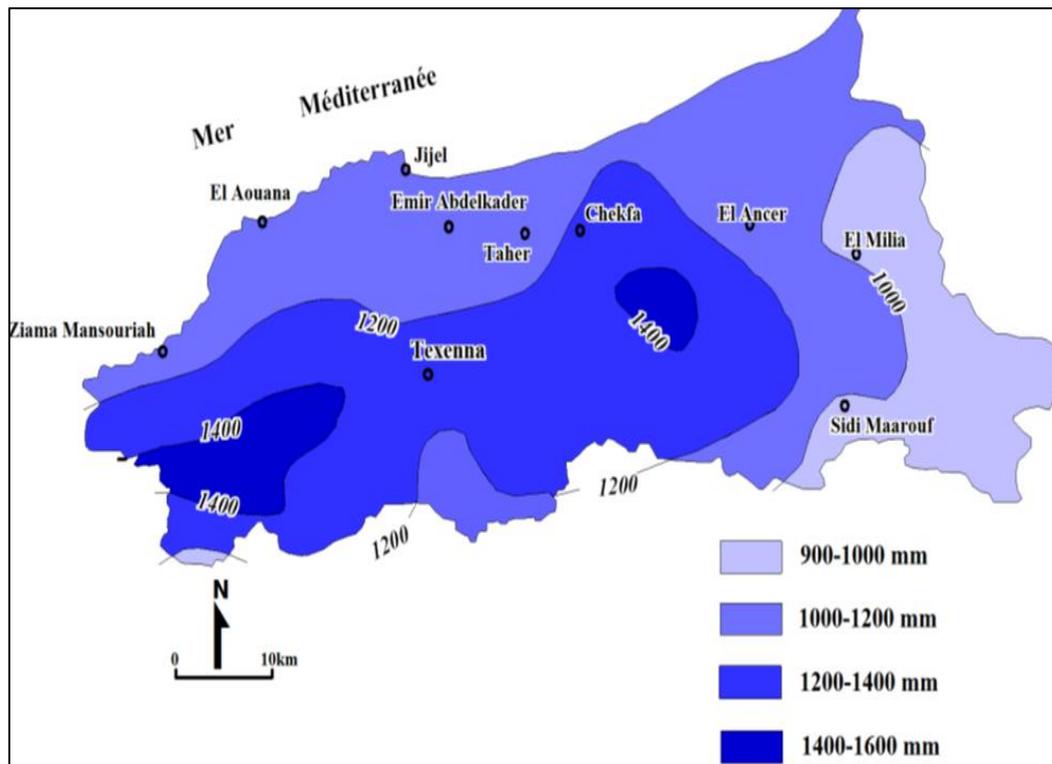


Fig.II.2. Carte pluviométrique de la wilaya de Jijel A.N.R.H (1996).

II.2.3. Relief

Le relief de la Wilaya de Jijel est marqué par une contradiction importante (Fig.II.3), qu'est caractérisé par des sommets culminants à 1600m (Tamesguida) et des fonds de vallées à 200m (Oued Djendjen). Tandis que l'altitude moyenne soit de 600 m à 1000 m, on distingue principalement deux régions physiques :

- ✓ Les zones de plaines : Situées au nord, le long de la bande littorale allant des petites plaines d'El-Aouana à l'Ouest, le bassin de Jijel, les vallées de l'Oued El-Kebir, et Oued Boussiaba à l'Est.
- ✓ Les zones de montagnes : Elles constituent l'essentiel du territoire de la wilaya (82%) et sont composées de deux groupes.
 - Groupe 1 : Zones de moyennes montagnes situées dans la partie sud des plaines littorales ne dépassant pas les 1000m d'altitude.
 - Groupe 2 : Zones de hautes montagnes à reliefs dépassants les 1500m d'altitude limitent le territoire de la wilaya de Jijel vers le sud : Tamesguida, Tababour, Sidi Bouaza, et Seddat.

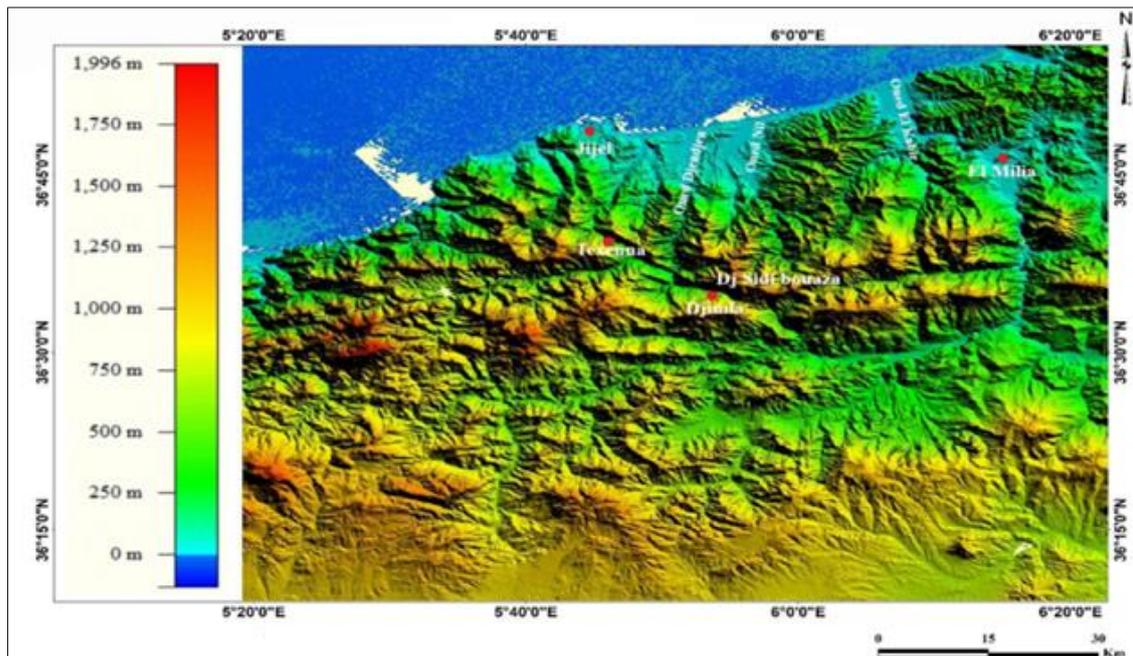


Fig.II.3. Carte orographique de la région de Jijel.

II.2.4. Morphologie

La wilaya de Jijel est caractérisée par un relief montagneux. L'examen du modèle numérique du terrain de la région étudiée, fait apparaître que la région est caractérisée par des pentes moyennes à fortes, car elle appartient à la zone des montagnes au Sud de Jijel. Sur les terrains les observations de détail montrent assez bien des brusques changements des pentes.

II.2.5. Réseau hydrographique

La région d'étude est caractérisée par un réseau hydrographique assez important en relation surtout avec la lame d'eau précipitée durant l'année. Ce réseau est représenté par les différents drains, alimentés surtout par les ressources et les ruissellements de surface en liaison sur tout avec la fonte des neiges des reliefs élevés.

Les principaux cours d'eau importants sont :

- Oued Djendjen : résurgent en amont par le barrage d'Irraguène, et s'écoule le long de 46.840 Km, et se jet en aval à la mer méditerranée.
- Oued Missa : il prend sa source dans le massif de Rakkada de Taxenna.
- Oued Reha : il prend sa source à Djebel Sidi Bouazza au Nord-Est et Sud-Ouest par la source d'Ain Messouda, est confluent par l'oued Djimla et oued El-Grou.

Ces oueds sont caractérisés par un écoulement permanent (Fig.II.4).

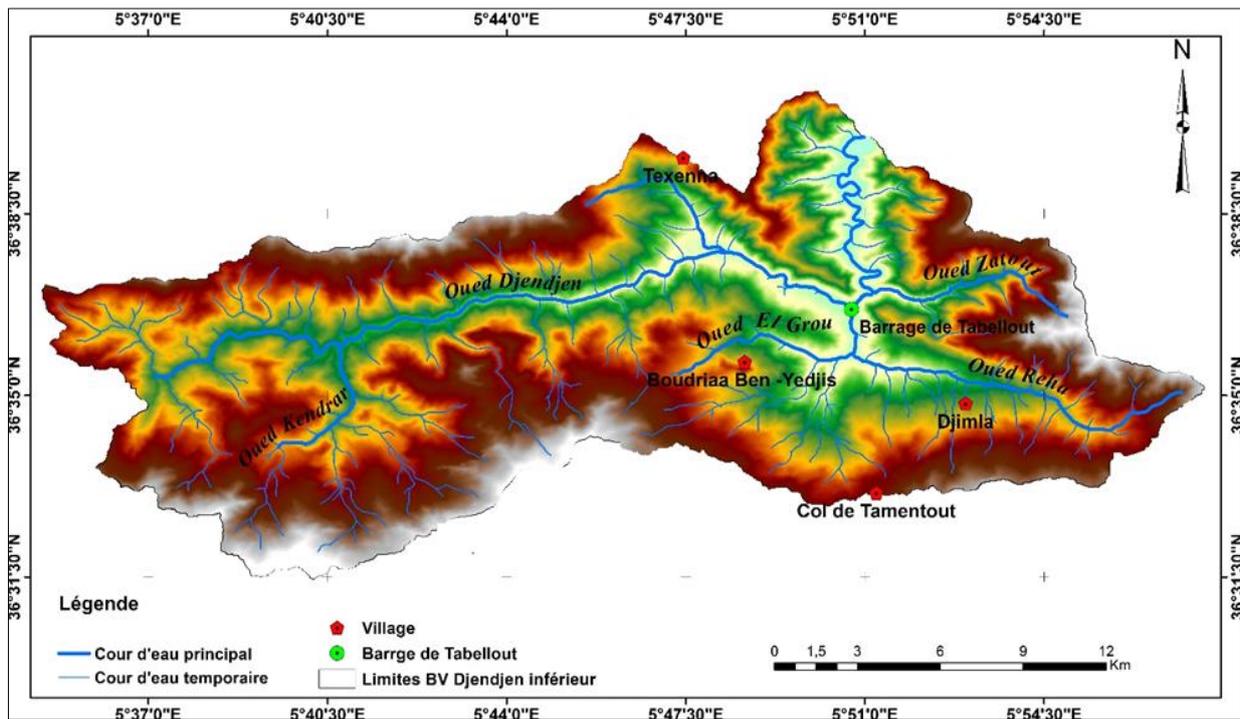


Fig.II.4. Réseau hydrographique de la région de Djimla (Kherrouba, 2019).

II.2.6. Végétation

La région d'étude est caractérisée par une couverture végétale assez dense, favorisée par l'importance des précipitations. Les conditions climatiques et la nature des terrains de la région ont permis le développement de forêts très denses. Ces forêts sont représentées essentiellement par du chêne-liège, des chêne-zen, des broussailles, et autres arbres fruitiers, à l'image de la forêt de Djimla au niveau de Dj. Bouafroune et la forêt de Dj. Tamesguida. En général, ce potentiel forestier confère à la région une vocation agricole et forestière.

II.3. Historique des travaux géologiques de la région

La région de Djimla avait depuis longtemps attiré l'attention des géologues, en effet, cette région montagneuse est caractérisée par un contraste géologique assez important, qui a fait d'elle un sujet de recherche pour de nombreux géologues. Parmi les travaux géologiques réalisés dans cette région on peut citer :

- Durand Delga (1955) : a réalisé les levés de la région de Jijel. Dans les monographies stratigraphiques dressées par ce dernier, on trouve une étude régionale portant sur la partie ouest de la chaîne numidique avec commentaire d'une cartographie détaillée.
- Djellit (1987) : portant sur l'évolution Tectono-métamorphique du socle kabyle et polarité de mise en place des nappes de flysch en petite Kabylie occidentale (Algérie).
- Kherrouba (2008) : portant sur l'étude géologique et géotechnique des zones instables de la région de Taxenna-Djimla.

II.3.1. Contexte géologique local

II.3.1.1. Grands ensembles géologiques de la région de Djimla et environs

La région de Jijel-Textenna-Tamesguida, où se situe la transversale de la coupe géologique (Fig. II.5), est localisée sur la terminaison occidentale des massifs de la Petite Kabylie (Durand Delga, 1955 ; Djellit, 1987). Sur le plan géologique, cette zone est directement située sur plusieurs contacts tectoniques, d'âge alpin. Ces contacts tectoniques représentent en fait des accidents ayant servi aux transports puis à la superposition anormale des différentes unités tectoniques qui composent ces reliefs. Le plus important d'entre eux est le Contact Frontal Sud Kabyle (Fig. II.5), séparant les unités profondes métamorphiques du socle Kabyle de celles des zones externes alpines (Bouillin, 1977 ; Djellit, 1987). A ce titre on peut d'emblée énoncer que la région recèle, en conséquence, les accidents géologiques les plus importants de la chaîne alpine nord-Algérienne (Durand Delga, 1971).

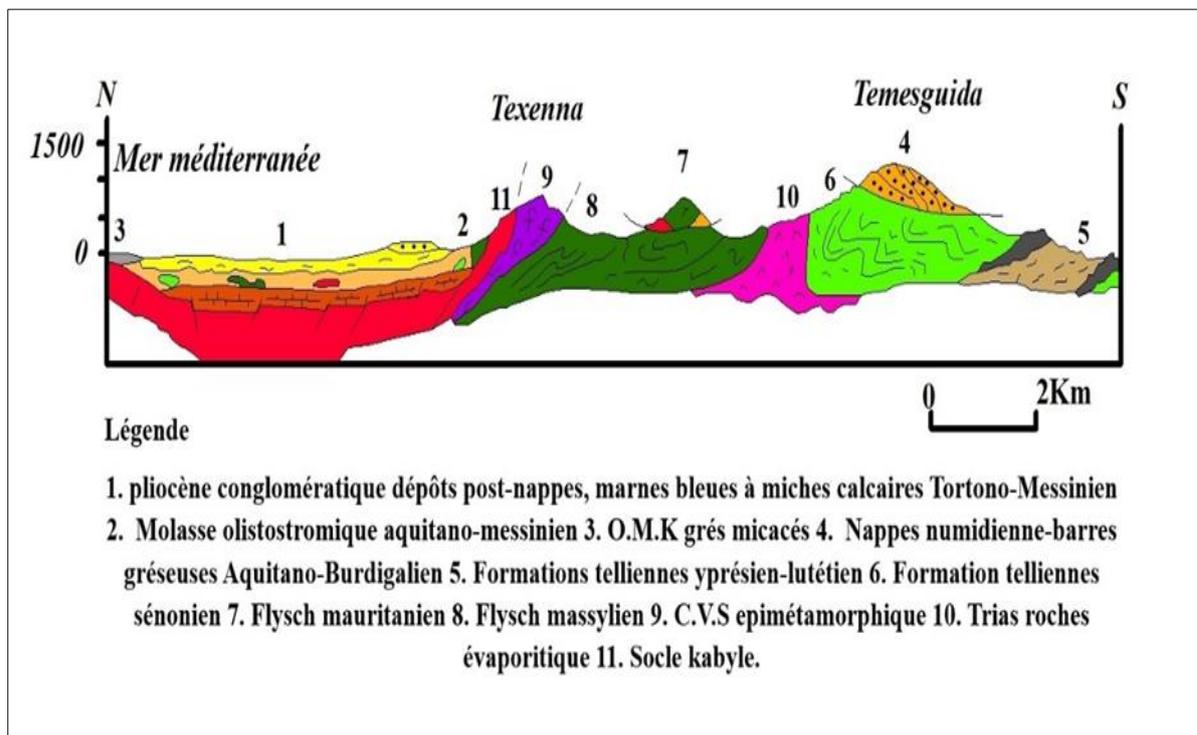


Fig. II. 5. Coupe géologique des unités alpines de la Petite Kabylie-région de Jijel (in Boudergui et Idoui, 2018).

La région d'étude appartient au sous-bassin versant Djendjen inférieur. À partir des cartes géologiques disponibles de la région, celle de (Ehrman, 1928 ; Durand Delga, 1955 et Djellit, 1987). On a réalisé une carte géologique de la commune de Djimla en utilisant le logiciel Arc Gis10.4.

La carte géologique obtenue (Fig. II.6) fait ressortir 8 formations lithologiques.

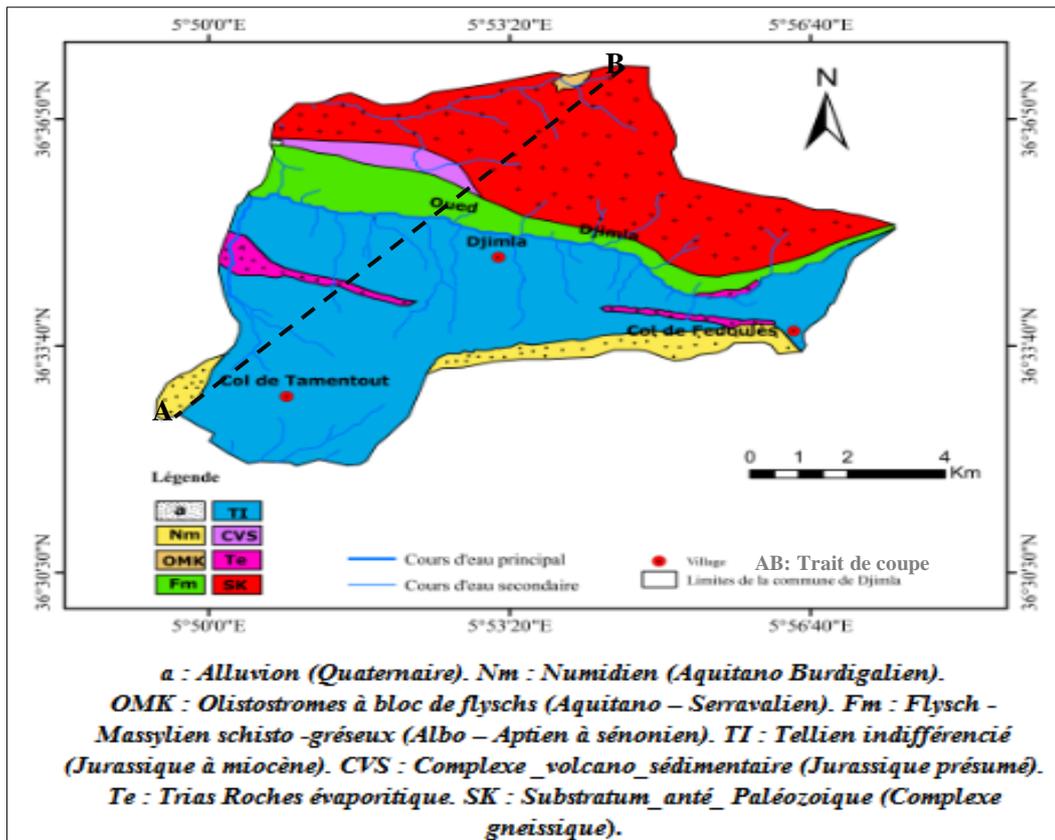


Fig.II.6. Carte géologique de la commune de Djimla.

Les différentes formations lithologiques de la commune de Djimla sont regroupées dans le Tableau II.1 et la Fig. II.7 :

Tab.II.1. Répartition en (%) des différentes formations géologiques de la commune de Djimla.

Formations lithologiques	Surfaces (Km ²)	Surface (%)
Alluvion	0.03	0.24
Flysch numidien	3.07	4.7
OMK	0.17	0.28
Flysch massylien	6.21	5.1
Tellien	32.68	49.96
CVS	1.07	1.63
Trias	1.22	1.68
Socle Kabyle	20.89	32.00
Totale	65.28	100%

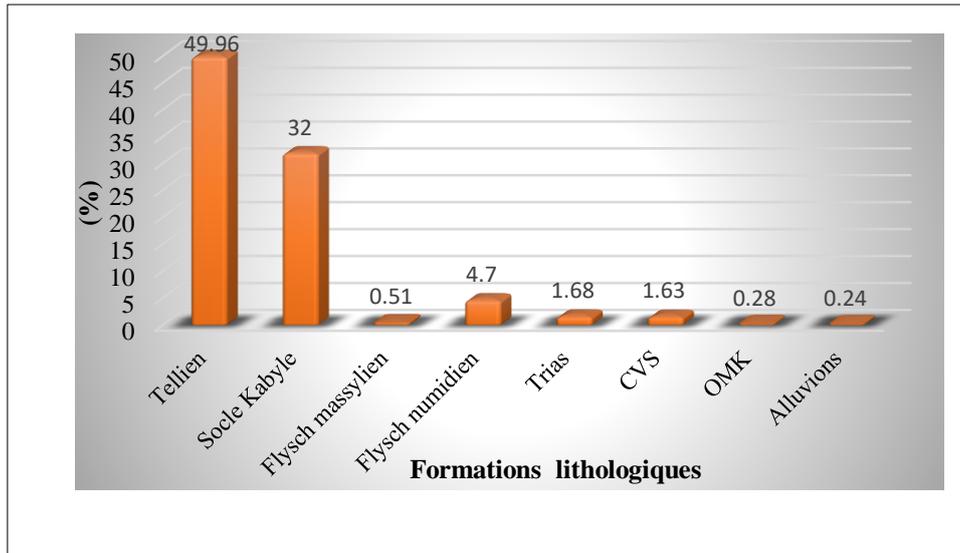


Fig.II.7. Pourcentage (%) des différentes formations géologiques de la région d'étude.

La région de Djimla, se trouve dans la zone de transition du domaine interne, représenté par les formations cristallophylliennes du socle kabyle et le domaine externe, représenté par les formations de type flysch et les formations telliennes. (Djellit, 1987).

Les formations géologiques qui affleurent dans la région de Djimla sont principalement représentées dans la fig.II.8.de haut en bas par :

- ✓ Les formations quaternaires ;
- ✓ Les formations du flysch numidien ;
- ✓ Les formations du flysch massylien ;
- ✓ Les formations telliennes ;
- ✓ Les formations du Trias ;
- ✓ Les formations cristallophylliennes du socle Kabyle.

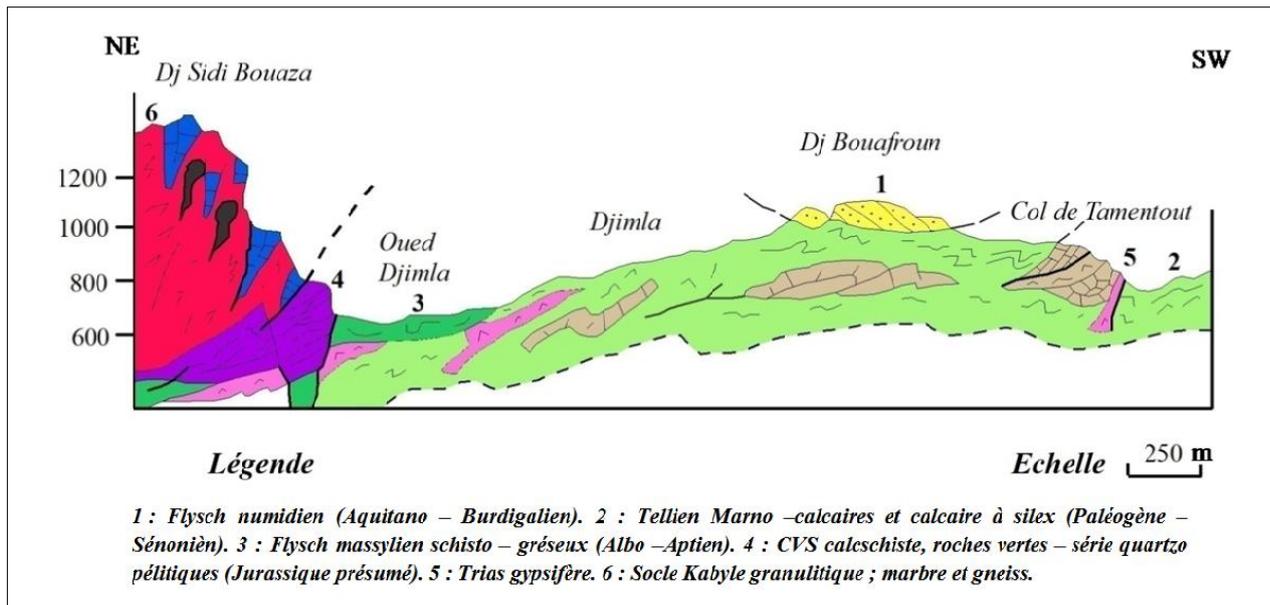


Fig.II.8. Coupe géologique N-S de la région de Djimla (Kherrouba, 2019).

II.3.2. Description des formations lithologiques de la région de Djimla

II.3.2.1. Formations quaternaires

Dans la région d'étude, les formations du quaternaire (Fig.II.9) sont représentées par des éboulis de pente, composé par une matrice argilo-sableuse dans laquelle est enchâssé des blocs, galets de grès numidien de différente taille. En majorité, elles sont représentées par une tranche de terre végétale.



Fig.II.9. Photo illustrant des formations quaternaires.

II.3.2.2. Formations du flysch Numidien

Le flysch numidien occupe une position structurale la plus haute dans l'édifice Alpin. Cette formation est bien présentée au niveau Djebel Bouafroune (1353m) et Djebel Tamesguida (1623 m) au sud de Djimla. Il est composé de trois termes qui sont en continuité stratigraphique de haut en bas (Fig.II.10).

- Un terme supérieur comportant une assise gréseuse épaisse à dragée de quartz ; leur âge est Aquitanien ;
- Un terme médian formé d'une alternance argilo-gréseuse ;
- Un terme de base comportant des argiles sous-numidiennes.

Dans toute la région d'étude, le chaînon de Tamesguida doit ses hauts sommets aux formations du flysch numidien essentiellement gréseuses. Entre le col de Fedoulès et Tamentout et le long de la route nationale N°77 se trouve un premier grand affleurement (forêt de Djimla). À l'Ouest de Tamentout, nous ne voyons pas de particularités notables à signaler dans le massif proprement dit du Tamesguida. Le terme inférieur à Tubotomaculum a été repéré jusqu'au Nord de Beni-Aziz (Durand Delga, 1955). La couche numidienne, se repose en discordance sur les marnes telliennes.



Fig.II.10. Photo illustrant des formations numidiennes.

II.3.2.3. Formations du flysch Massylien

Dans la région d'étude l'affleurement le plus visible et le plus étendu du flysch Massylien est celui situé au sud de Texenna avec une alternance irrégulière de bancs gréseux avec des niveaux pélitiques, présentant parfois des micros plissements très spectaculaires.

Au niveau de notre zone d'étude, le flysch Massylien affleure au nord de Djimla le long d'oued Djimla et jusqu'à l'oued Djendjen limitant le contact anormal avec les formations du socle. Il est caractérisé par une alternance de schistes et de bancs de grés quartzitiques, décimétriques, parfois centimétriques, surmontées par des micros brèches calcaires à ciment pélitiques et des marnes. Admettant en intercalation des niveaux de phanites noires (Djellit, 1987).

II.3.2.4. Formations telliennes

Ces formations étudiées par Durand Delga (1955) et Obert (1981). Elles sont caractérisées par des formations, lacuneuses et à nombreuses discordances, allant du Lias au Miocène (Fig.II.11 et Fig.II.12).

a) Lias basal

Au niveau de notre région d'étude, le lias est bien représenté au niveau du village de Ben Yadjis au niveau de Djebel Sidi-Mansour à 912 m d'altitude, il est constitué de calcaires compacts, en grandes dalles, de teinte assez claire, montrant parfois des grains de quartz, plus loin à 500 m de l'ouest à l'est, ils sont totalement transformés en une dolomie grise, où la stratification est entièrement disparue. Ces calcaires et dolomies sont attribuables au Lias inférieur- Pliensbachien (Durand Delga, 1955 ; Djellit, 1987).

b) Crétacé

Ils sont représentés par des calcaires et marnes en plaquettes qui appartiennent très probablement au Néocomien-Barrémien, Les affleurements du crétacé inférieur et moyen, sous le faciès marneux, n'apparaît, dans la région d'étude, qu'en petit nombre d'affleurements, de dimensions très réduites en général. Il n'a été individualisé qu'en deux petits affleurements, au Kef Bou-Hani et au Djebel Tigamounene (Durand Delga, 1955).

Dans la région de Djimla, le crétacé supérieur (sénonien) est formé de marnes jaunes à débit en plaquettes avec des intercalations de minces bancs de marno-calcaires, bruns parfois grisâtres, centimétriques à décimétriques, parfois avec des boules jaunes. Ces unités sont surmontées par des alternances centimétriques de marnes noires et de grés fins calcaireux (Djellit, 1987).



Fig.II.11. Photo illustrant des formations telliennes.

c) Eocène

L'Eocène repose en légère discordance sur les marnes sénoniennes, dont la base est constituée de marnes noires à nodules calcaires jaunes, surmontées par des calcaires à patine blanche, avec souvent des silex noirs, il s'agit du classique faciès des calcaires « Suessoniens » à globigérines (Durand Delga, 1955). Non loin au NW du col de Tamentout, l'éocène est impliqué dans de petits plis couchés au Nord. Il comporte, 600 m au Nord de la maison forestière, des calcaires lités, apparemment plissés

en synclinal couché ; ceux-ci sont séparés des marnes noires à boules jaunes par des marno-calcaires feuilletés, blanchâtres (Durand Delga, 1955 ; Djellit, 1987).

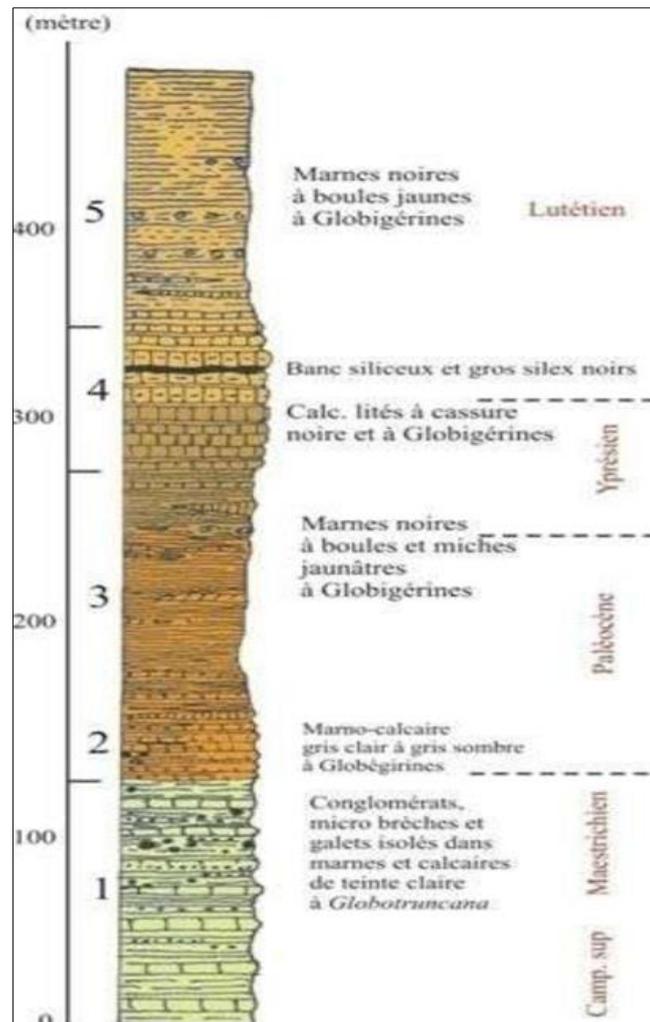


Fig.II.12. Colonne lithologique des formations telliennes (Djellit, 1987).

II.3.2.5. Formations du Trias

Dans la région d'étude, le Trias se présente sous forme d'une bande le long de l'oued Djimla et s'étale jusqu'au environ de Sidi Marouf. On rencontre du Trias diapértique comportant du gypse, des marnes gypsifères, des argiles bariolées, et des argiles de couleur lie de vin (Fig.II.13).

Ces formations apparaissent en contact anormal avec les formations telliennes et les formations du flysch Massylien. Des affleurements triasiques sont injectés dans le crétacé suivant un alignement E-W. Ceux-ci pourraient être expliqués par l'injection de ces formations le long des accidents d'orientation E-W (Durand Delga, 1955 ; Djellit, 1987).

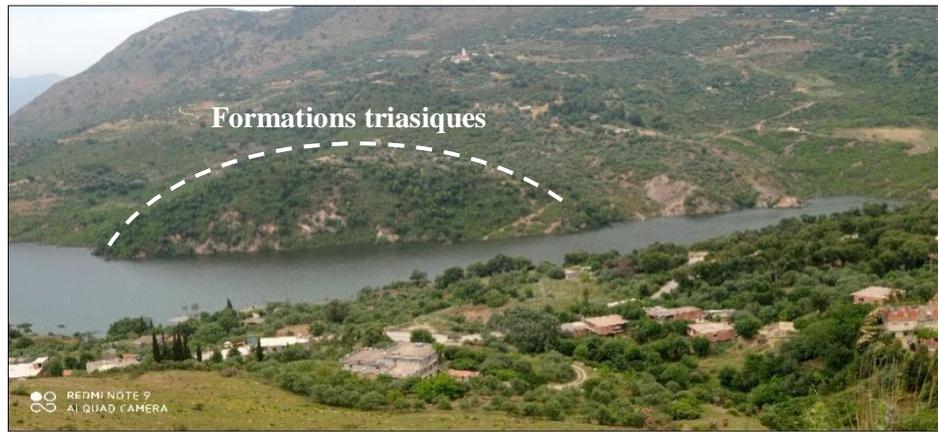


Fig.II.13. Photo illustrant des formations triasiques au niveau de l'oued Djimla.

II.3.2.6. Formations du socle Kabyle

Au Nord de Djimla, les formations du socle Kabyle sont représentées d'une part par les Formations du complexe volcano-sédimentaire du Djebel Draa El-Fertassa, et d'autre part les formations cristallophylliennes du socle Kabyle, regroupant des schistes, des micaschistes, des gneiss et des calcaires métamorphiques bien visible au niveau de Djebel Sidi Bouazza (Kherrouba, 2008).

Elles sont caractérisées par des terrains métamorphiques de nature variée (Vila, 1980), ils comprennent à sa base, des gneiss à intercalations de marbres et d'amphibolites, sur lesquels se déposent des phyllades et des porphyroïdes ocellés (Wildi, 1983).

L'ensemble de ces formations est charrié vers le Sud sur les formations du flysch Massylien. Le contact de chevauchement est situé à environ 250 m au Nord de l'oued Djimla, et plus exactement au niveau de la rive droite du barrage de Tabellout (Kherrouba, 2008).

II.3.3. Aspect Morpho-structural de la région de Djimla

Il existe deux caractéristiques structurales de la géologie au niveau de la région ont été observées par Durand Delga(1955) et Bouillin(1977) qui sont :

- ✓ Une phase tectonique anté-néocomienne qui est à l'origine, du moins au Nord-est de Texenna des fortes discordances angulaires du Néocomien sur son substratum.
- ✓ Une phase Anté-sénonienne, caractérisée dans les chaîons du Dj Sidi Mansour, Dj. Tigmounane et Kef-Dardja par de fortes discordances, par la mise en place de klippes sédimentaires et par la sédimentation de conglomérats sénoniens.

II.4. Sismicité

La région de Jijel est située dans une région sismique classée (Bockel, 1999), comme région pouvant subir des secousses supérieures à l'intensité 8, les épicentres de la plupart des secousses ressenties sont localisés entre Bejaia et Sétif dans la zone des Bibans et des Babors.

Les données historiques relatives à la sismicité font état d'un événement majeur survenu le 21 août 1856 au large de Jijel (ex. Djedjelli). Les autres foyers sismiques sont situés à plus de 50Km du côté Est du barrage d'El-Agrem.

Les études les plus récentes réalisées par (Yelles et al, 1999) montrent l'existence d'une faille supposée active dans la zone de la pente continentale au large de Jijel. Le séisme est traité comme une action accidentelle.

II.4.1. Règles parasismiques Algériennes (RPA)

D'après le canevas des règles parasismiques algérienne (R.P.A) version 2003, le territoire algérien est subdivisé en quatre zones de sismicité (Tab. II.2) :

Tout ouvrage exposé au domaine d'application des règles parasismique Algériennes, RPA 99, version 2003, doit être classé dans l'un de quatre groupes définis ci-après :

Tab.II.2. Zones de différentes sismicités.

Zone	Sismicité
Zone 0	Sismicité négligeable
Zone I	Sismicité faible
Zone IIa et IIb	Sismicité moyenne
Zone III	Sismicité très élevée

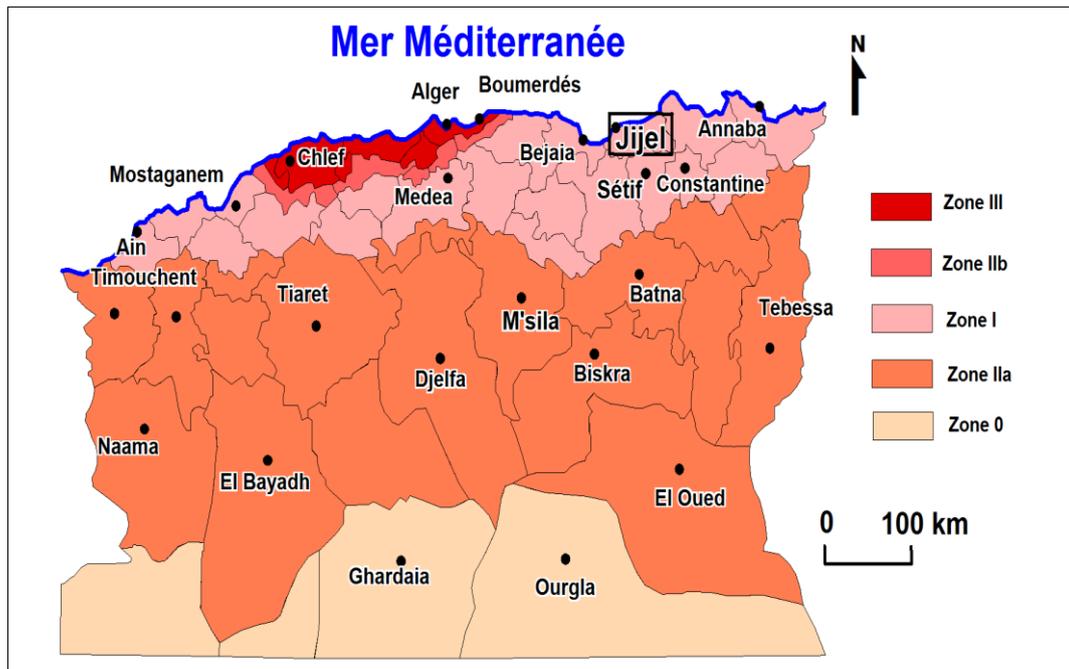


Fig.II.14. Carte de zonage sismique du territoire national (RPOA, 2008).

D'après la carte du zonage sismique (Fig.II.14) la wilaya de Jijel fait partie de la zone (IIa) de moyenne sismicité. Elle a connu un évènement majeur survenu le 21 Août 1856 au large de Jijel (ex. Djedjelli). Le dernier séisme ressenti dans la région est celui de Jijel en 2021.

Cependant, la présence de grands accidents tectoniques dans la région de Jijel fait augmenter le risque sismique. En effet, des secousses peuvent être engendrées par les réajustements tectoniques des grands accidents affectant la région (Kherrouba, 2008).

La région de Jijel est classée dans la zone de moyenne sismicité IIa La région de Jijel est classée dans la zone de moyenne sismicité IIa.

La classe des ouvrages rentre dans le groupe des ponts « 1 » (Tab.II.3).

Tab.II.3. Coefficient d'accélération de zone A (RPOA, 2008).

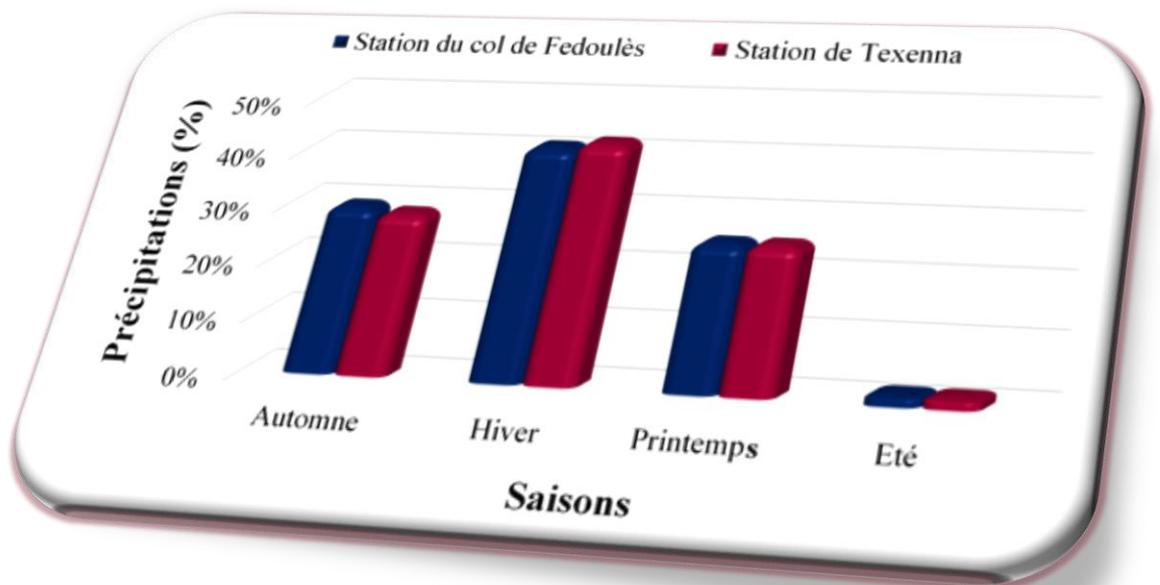
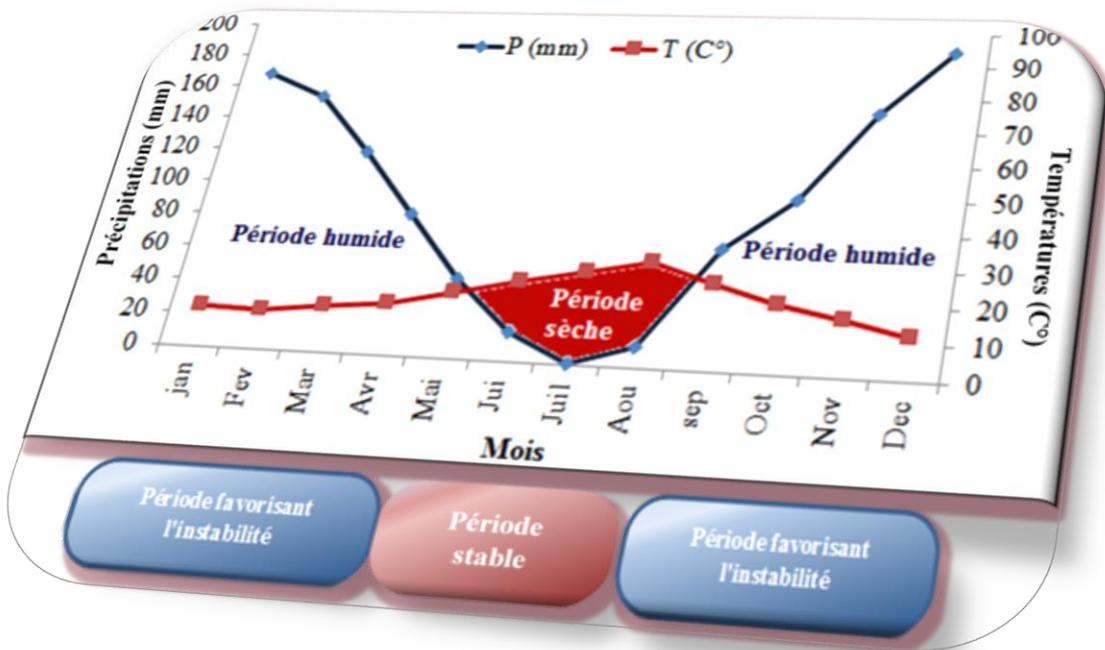
Groupe de Pont	Zone sismique			
	I	IIa	IIb	III
1	0.15	0.25	0.30	0.40
2	0.12	0.20	0.25	0.30
3	0.10	0.15	0.20	0.25

Comme indiqué dans la norme (RPOA, 2008), les sites peuvent être classés en quatre catégories en fonction des propriétés mécaniques des couches de sols qui les constituent.

- ✓ Catégorie S1 : site rocheux
- ✓ Catégorie S2 : site ferme
- ✓ Catégorie S3 : site meuble
- ✓ Catégorie S4 : site très meuble

Par ailleurs, la classification des sites pourrait envisager les valeurs moyennes harmoniques des caractéristiques mécaniques, mesurée au moyen d'essais réalisées sur site ou en laboratoire.

Synthèse hydroclimatologique



III.1. Introduction

Le rôle primordial que joue l'eau dans les instabilités de terrain nous mène à réaliser une étude climatologique de la région auquel appartient notre site d'étude, autrement dit caractériser certains termes du cycle de l'eau responsables des glissements de terrains. Les variations dans les conditions climatiques et par conséquent hydrologiques, essentiellement la pluviométrie, est l'une des principales causes d'instabilité des terrains. Les auteurs montrent qu'il y a une relation directe entre les pluies de forte intensité et les différents mouvements des sols.

Dans cette étude, on s'attachera plus particulièrement à déterminer les apports d'eau (précipitations, évapotranspiration, infiltration et ruissellement). Ainsi, on essayera d'établir le bilan hydrologique afin de pouvoir comprendre les mécanismes d'alimentation et de circulation des eaux de surface et souterraines.

III.2. Analyse des caractéristiques hydroclimatiques

L'estimation de la quantité d'eau imprégnant la région étudiée est indispensable, car l'action de l'eau sur le sol se manifeste de plusieurs façons. La source principale de cette eau provient des précipitations liquides (pluviométrie). Aux précipitations s'ajoutent d'autres facteurs climatiques à savoir la température et l'évapotranspiration réelle, paramètres nécessaires à tout essai de bilan hydrologique.

Le manque des stations hydroclimatologiques au niveau de la région d'étude, nous a contraints d'opter pour le choix et le traitement des données des stations les plus proches de notre zone d'étude.

Les stations météorologiques de Texenna, du barrage El-Agrem et celle du col de Fedoulès dont les coordonnées géographiques sont représentées dans le Tableau.III.1 ci-dessous, ont été prises en considération dans l'analyse des caractéristiques climatiques de notre travail.

Tab.III.1. Caractéristiques des stations pluviométriques dans (voisine) de la région de Djimla. (ANRH, 2018).

Nom et Code de la station	Longitude	Latitude	Pluies moyennes annuelles (mm)	Période d'obs. (années)
Barrage El-Agrem 03. 03. 03	05° 50' 11"	36° 44' 06"	1155,6	50
Texenna 03 03 02	547 E	3639 N	1229.4	50
Col de Fedoulès 03. 04. 03	557 E	3633 N	966,6	50

III.2.1. Précipitations

Le terme précipitation inclut toutes les eaux météoriques, et la hauteur de la lame d'eau recueillie par le pluviomètre.

La région de Djimla est considérée parmi les régions qui reçoivent les précipitations les plus importantes en Algérie. Cette étude s'intéresse aux précipitations liquides (pluies), qui constituent le facteur principal dans le comportement hydrologique de la région. Elles sont relativement très importantes, variables et irrégulières. Cependant le changement de température ou pression provoqueront des précipitations solides (neige, grêle, gelée blanche).

➤ Précipitations liquides

➤ Estimation des précipitations moyennes partir des données des stations pluviométriques

La répartition mensuelle des précipitations dans l'année et ses variations conditionnent (avec les facteurs thermiques et lithologiques), l'écoulement, le régime des cours d'eau et celui des nappes aquifères qui en sont liée.

* Série ancienne

On utilise dans cette étude les données anciennes de la série qui s'étend de (1961-1991) pour les stations de Texenna et du col de Fedoulès.

Tab. III.2. Moyennes mensuelles des précipitations (stations de Texenna et col du Fedoulès, période, 1961-1991).

Mois Station	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Aou	Total
Texenna	40.1	137.5	221.6	264.4	169.7	119.2	109.9	77.5	60.5	15.7	8.1	5.2	1229.4
Col de Fedoulès	48.2	201.6	231.5	296.6	181.2	139.4	112.9	94.7	56.5	16.2	9.3	6.9	1395

Les données du Tableau.III.2 montrent que Texenna reçoit annuellement de 1229.4 mm par an. Alors que la station du col de Fedoulès indique une moyenne de 1395 mm par an pour la région de Djimla. La variation des principaux paramètres permet de définir le régime pluviométrique de la région : quantité de pluie annuelle, quantité de pluie mensuelle, et saisonnière.

a) Variations annuelles et comparaison entre les deux stations (Série ancienne)

La répartition annuelle (1961-1991) des précipitations dans les stations pluviométriques de Texenna et du col de Fedoulès est présentée dans la Fig.III.1 ci-dessous :

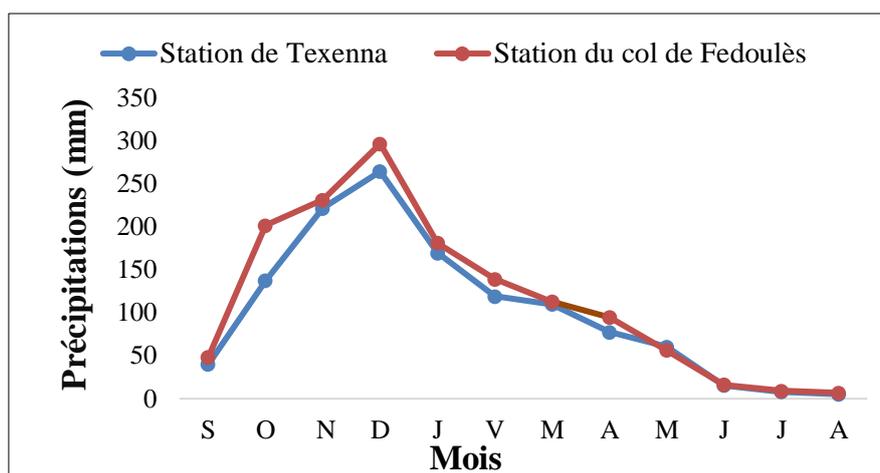


Fig. III.1. Courbes exprimant les moyennes mensuelles des précipitations (station de Texenna et du col de Fedoulès (1961-1991)).

Cette figure montre que la station du col de Fedoulès présente la pluviométrie la plus importante avec une moyenne annuelle de 1395mm.

*** Série récente**

Pour les précipitations de la série récente on prend les données de la période (2002-2012) pour la station de Texenna, de (2004-2015) pour la station du col de Fedoulès et de (2002-2018) pour la station du barrage El-Agrem. Les Tableaux.III.3, III.4 et III.5 donnent les moyennes mensuelles des précipitations :

Tab. III.3. Moyennes mensuelles des précipitations (stations Texenna, période, 2002-2012).

Mois / Station	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Aou	Total
Texenna	77.6	101.4	188.4	245.0	143.1	132.2	111.8	136.4	68.1	16.1	1.26	3.47	1225.35

Tab. III.4. Moyennes mensuelles des précipitations (station de col du Fedoulès, période, 2004 2015).

Mois / Station	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Aou	Total
Col du Fedoulès	56.7	80.8	142.7	170.9	148.1	96.0	120.7	89.8	44.5	6.9	0.3	9.2	966.6

Tab.III.5. Moyennes mensuelles des précipitations (station de barrage El-Agrem, 2002-2018).

Mois / Station	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Aou	Total
Barrage El-Agrem	167.6	153.6	119.7	82.6	45.8	16.4	0.8	11.5	69.1	98.5	150.8	188.8	1106.23

❖ Variations mensuelles et comparaison entre les trois stations (Série récente)

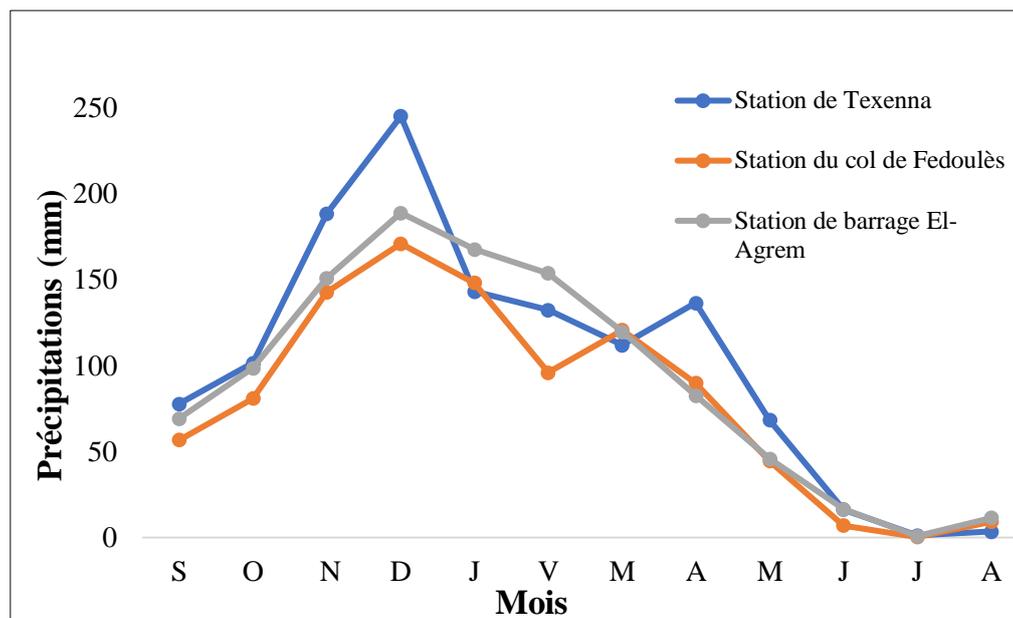


Fig. III.2. Courbes exprimant les moyennes mensuelles des précipitations (station : ⁽¹⁾ de Texenna (2002-2012), ⁽²⁾ du barrage El-Agrem (2002-2018) et ⁽³⁾ du col de Fedoulès (2004-2015).

On remarque :

A partir des deux Figs. III.2 et III.3, les trois stations donnent un maximum pluviométrique pendant les mois de novembre, décembre et janvier (pour les deux séries ancienne et récente).

c) Variations saisonnières

Tab. III.6. Taux des précipitations saisonnières en (mm) et en (%), (Station de Texenna, période, 2002-2012).

Station \ Saison	Automne	Hiver	Printemps	Été	Total
	Texenna	367.55	540.42	316.49	20.89
	30%	42%	26%	2%	100%

Tab. III.7. Taux des précipitations saisonnières en (mm) et en (%), (station du col de Fedoulès, période 2004-2015).

Station \ Saison	Automne	Hiver	Printemps	Été	Total
	Col de Fedoulès	280.2	415	255	16.4
	29%	43 %	26%	2%	100%

D'après les Tableaux.III.6 et III.7, on remarque que dans les deux stations, l'ordre est le même. En effet, nous avons du plus fort au plus faible taux de précipitations la succession suivante : Hiver, Automne, Printemps, Eté.

C'est en hiver que la région d'étude enregistre le plus fort taux (43%) et même plus de sa pluviométrie annuelle. Alors, on peut dire que presque la moitié de la lame reçue dans la zone étudiée apparaît en hiver.

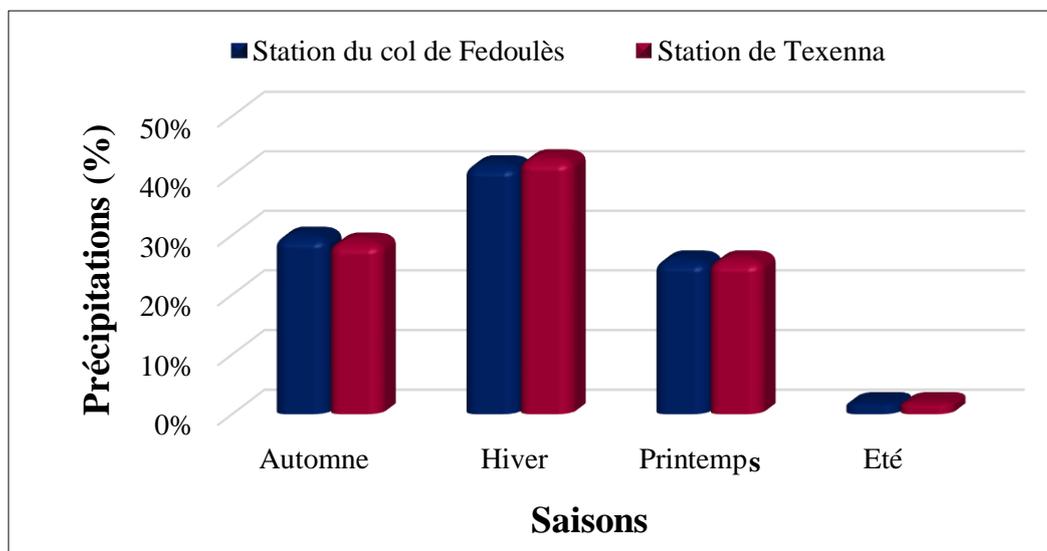


Fig. III.3. Répartition saisonnière de la pluie enregistrée aux stations de Texenna (2002-2012) et col de Fedoulès (2004-2015).

➤ Estimation des précipitations moyennes annuelles

L'étude des précipitations moyennes annuelles s'est effectuée à partir des données récentes de la série qui s'étend de (2004-2015) pour la station du col de Fedoulès.

Les données de la station météorologique de la station de Fedoulès montrent que la région de Djimla reçoit annuellement 966.6 mm /an. La variation des principaux paramètres permet de définir le régime pluviométrique de la région : quantité de pluie annuelle, quantité de pluie mensuelle et saisonnière. Le Tableau.III.4 donne les moyennes mensuelles des précipitations de la station du col de Fedoulès pour la période (2004-2015).

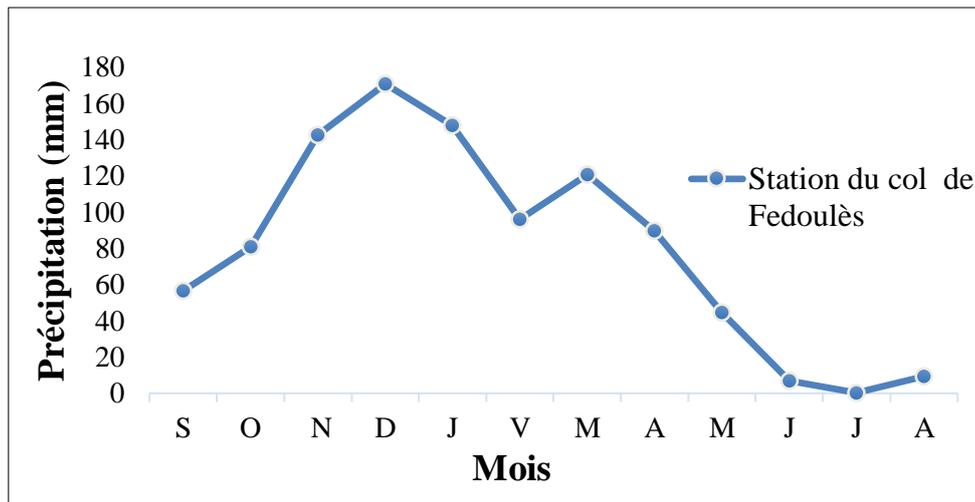


Fig. III.4. Distribution de la pluviométrie moyenne mensuelle station du col de Fedoulès (2004-2015).

D'après les résultats obtenus (Fig. III.2 et III.4), nous constatons que décembre est le mois le plus pluvieux, par contre juillet est le mois le plus sec. En général, l'évolution des précipitations dans le temps est croissante d'août à décembre.

- La saison la plus pluvieuse est l'hiver avec des précipitations de l'ordre de 415 mm, soit 43% des précipitations annuelles.
- La saison la plus sèche est l'été avec des précipitations de l'ordre 16,4 mm, soit 2% des précipitations annuelles.

❖ Précipitations solides

-Neige

L'enneigement se fait seulement au début de l'hiver sur les hautes altitudes de Texenna (800 m). L'altitude exerce donc une influence prépondérante sur les chutes de neige. Ainsi, nous avons d'après P. Seltzer le Tableau.III.8 suivant :

Tab. III.8. Répartition de la neige (P. Seltzer, 1946).

Enneigement neige	Nombre de jours ou il a neigé	Nombre de jours d'enneigement
Texenna	3	2

Jusqu'à 1500 mètres d'altitude, la neige commence à fondre aussitôt tombée (P. Seltze, 1946). Sur les sommets, la fusion est retardée ou interrompue momentanément par la gelée.

L'imbibition des matériaux est liée à la vitesse de la fusion. Une fusion lente, permet une infiltration importante qui alimenterait les réservoirs à perméabilité en grand.

-Grêle

Sont des précipitations atmosphérique constituée de grains de glace formés dans les nuages à la suite d'un brusque abaissement de température. On remarque que les épisodes de grêle les plus fréquents sont connus en hiver.

-Gelée blanche

En plus des anciennes données de P.Seltzer (1946), nous avons pour les stations de Taher (port et aéroport Ferhat Abbés) une série des données plus récente. Nous donnons dans le Tableau.III.9 (extrait des travaux réalisés par Tekkouk (2005) toutes les données relatives à la gelée blanche à la station de Taxenna.

La gelée est fréquente dans notre région d'étude. On remarque qu'elle s'accroît avec l'altitude. Elle vaut 2,1 à 5,95 à Jijel, et atteint 9 jours par an à Texenna.

Tab. III.9. Nombre moyenne des jours de la gelée blanche (P.Seltzer 1913-1938).

Mois Station	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	Total
Texenna													
Données de P.Seltzer 1913/1938	0.0	0.1	0.3	2.1	3.6	1.9	0.6	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	9.0

Ce tableau montre que la gelée blanche est plus importante pendant les mois de décembre, janvier et février. Durant cette période, elle peut présenter un apport d'eau supplémentaire à la pluie.

III.2.2. Températures

La température est l'un des facteurs influençant sur le bilan hydrologique et permet l'estimation de l'évapotranspiration. Le Tableau.III.10 et la Fig.III.5 représentent la répartition des températures moyennes mensuelles pour la période 2002-2018 au niveau de la station du barrage El-Agrem.

Tab. III.10. Distribution des températures moyennes mensuelles et saisonnières (Station du barrage El-Agrem, période 2002-2018).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Température moyennes mensuelles et saisonnières (C°)	24.63	19.6	16.00	12.1	11.68	11.4	13.5	15	18.9	23.1	26.5	26.8
	Automne			Hiver			Printemps			Eté		
	20.06			11.7			15.8			25.46		
Température moyenne en (C°)	18.25											

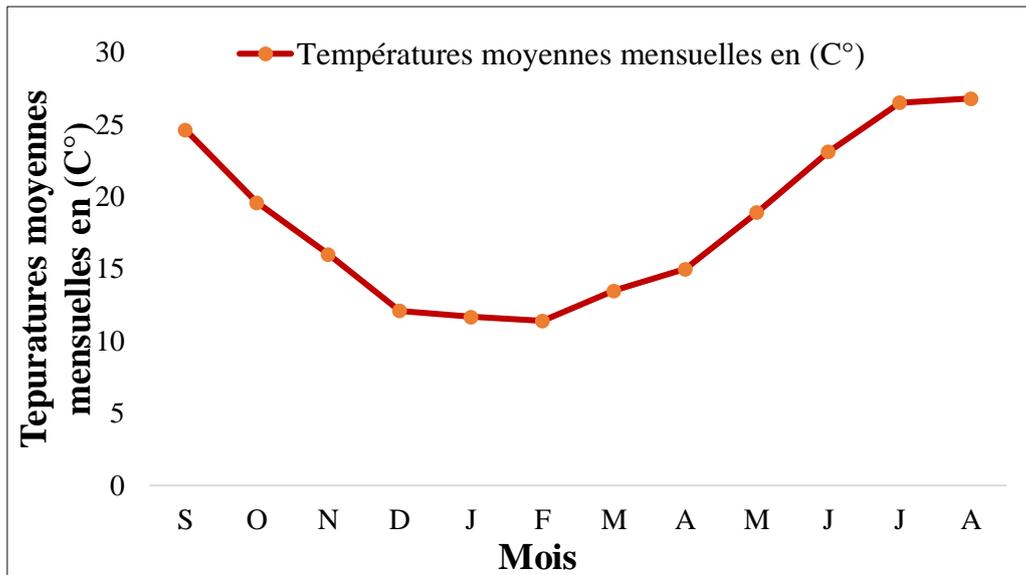


Fig.III.5. Distribution des températures moyennes mensuelles en C° (station du barrage El-Agrem, période, 2002-2018).

Les valeurs obtenues dans le Tableau.III.10 donnent une température saisonnière maximale de 25 C° enregistré au mois d'Aout, par contre la minimale quant à elle revient au mois de janvier et février, elle vaut 11C° avec une moyenne de l'ordre de 18C°.

III.2.3. Graphique ombrothermique

Le diagramme ombrothermique est établi selon la règle de Gausсен et Bagnoulis, ce diagramme est dressé selon le rapport des précipitations sur les températures (P/T).

Gausсен et Bagnoulis, (1953) définissent la saison sèche comme étant l'ensemble des mois ou totale mensuelle des précipitations est inférieure ou égale au double de la température moyenne mensuelle ($P < 2T$). Les données sont regroupées dans le Tableau.III.11 suivant :

Tab. III.11. Données moyennes mensuelles des précipitations et des températures (Station du barrage El-Agrem, période 2002-2018).

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	Sept	Oct	Nov	Dec
P moy (mm)	167.6	153.6	119.7	82.6	45.8	16.4	0.8	11.5	69.1	98.5	150.8	188.8
T moy (c°)	11.68	11.4	13.5	15.00	18.9	23.1	26.5	29.8	24.63	19.6	16.00	12.1
P/2T	7.17	6.74	4.43	2.75	1.21	0.35	0.02	0.19	1.40	2.51	4.71	7.80

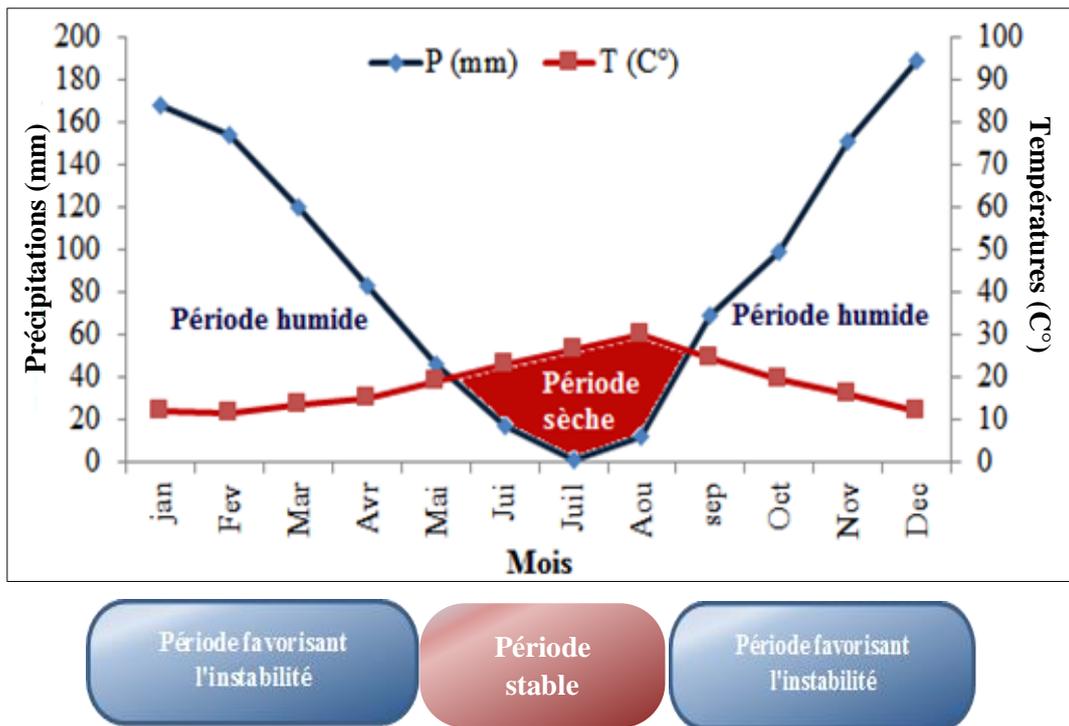


Fig.III.6. Diagramme ombrothermique (Station du barrage El-Agrem, période 2002-2018).

D’après le graphique de la Fig.III.7, on peut déduire ce qui suit :

- La période humide ou hivernale débute au mois de septembre et s’étale jusqu’à la fin du mois de mai.
- La période sèche ou période déficitaire s’étale entre la fin du mois de mai et va jusqu’au début du mois de septembre.

III.2.4. Bilan hydrologique

L’établissement d’un bilan hydrologique est indispensable pour l’évaluation des réserves d’eau transmise ou emmagasinée dans une région. Il est représenté par la formule suivante :

$$P=ETR+R+I+Wa..... (1)$$

Avec :

- **P** : Précipitations moyennes annuelles en mm ;
- **ETR** : Evapotranspiration réelle en mm ;
- **I** : Infiltration en mm ;
- **Wa** : Variation des réserves (négligeable) ;
- **R** : Ruissellement, mm.

Ce bilan s’effectue sur une année hydrologique, avec une période de 12 mois.

III.2.4.1. Calcul de l'évapotranspiration

L'évapotranspiration est un transfert de l'eau de la terre vers l'atmosphère par évaporation des eaux de surface et de sol et par transpiration de la végétation. Donc l'émission de vapeur d'eau ou évapotranspiration qui s'effectue dans tous les milieux est considéré comme une perte par les hydrogéologues, elle résulte de deux phénomènes : l'un physique (évaporation), l'autre biologique (transpiration).

III.2.4.2. Evapotranspiration potentielle ou ETP

L'évapotranspiration c'est la quantité d'eau qui serait évaporée sur un sol gorgé d'eau, avec un tapis dense. Plusieurs méthodes peuvent être utilisées, celle de Thornthwaite à l'avantage d'être simple et robuste sous différentes latitudes.

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

$$ETP = 16. \left(\frac{10.T}{I} \right)^a \dots\dots\dots(2)$$

- **ETP** : Evapotranspiration potentielle non corrigée, mensuelle en mm pour 1 mois avec durée d'ensoleillement de 12 heures.
- **T** : Températures moyennes mensuelles en C°.
- **I** : Indice thermique annuel égal à la somme des indices mensuels des 12 mois de l'année :

$$I = \sum_i^{12} i \dots\dots\dots (3)$$

- **i** : Indice thermique mensuelle d'où : $I = \left(\frac{T}{5} \right)^{1.514}$
- **a** : Exposant climatique calculé à partir de la formule suivante : $a = 0,016 (I) + 0,5$

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

$$ETP \text{ corrigé} = ETP.K \dots\dots\dots (4)$$

Avec ; **K** : coefficient d'ajustement de la formule de Thornthwaite en fonction de l'altitude.

Tab.III.12. Valeurs de l'ETP calculées par la formule de Thornthwaite (station du barrage El-Agrem, période 2002-2018).

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Aou	Total
P (mm)	69.1	98.5	150.8	188.83	167.6	153.6	119.7	83.6	45.8	16.4	0.80	11.5	1106.23
T(C°)	24.63	19.6	16	12.1	11.6	11.4	13.5	15	18.9	23.1	26.5	29.8	18.51
i	11.17	7.91	5.81	3.81	3.57	3.48	4.5	5.28	7.49	10.14	12.49	14.91	90.56
ETP	111.45	71.55	48.26	28.07	25.86	25.01	34.71	42.58	66.68	98.41	128.45	161.3	842.33
K	1.03	0.97	0.86	0.84	0.87	0.85	1.03	1.01	1.21	1.22	1.24	1.16	
ETPc (mm)	114.79	69.40	41.50	23.58	22.50	21.26	35.45	46.84	80.68	120.06	159.28	187.11	921.75

La valeur obtenue de l'évapotranspiration potentielle annuelle est de 921.75 mm pour un indice thermique annuel de 90.56. Nous notons qu'elle est largement inférieure aux précipitations qui sont de l'ordre de 1106.23 mm.

III.2.4.3. Évapotranspiration réelle ou ETR

Somme des quantités de vapeur d'eau évaporées par le sol et par les plantes quand le sol est à une certaine humidité et les plantes à un stade de développement physiologique et sanitaire spécifique.

La méthode de Thornthwaite permet d'établir un bilan hydrologique mensuel et donne pour chaque mois les paramètres suivants :

- L'évapotranspiration réelle (**ETR**).
- La réserve facilement utilisable contenue dans le sol (**RFU**).
- Le déficit agricole (**Da**) ; ($Da = ETP - (P + RFU)$)
- L'excédent (**EX**) ; (le ruissellement à l'échelle du bassin versant).

Le principe de raisonnement est le suivant :

- Si $P > ETP$: $ETP = ETR$, la quantité d'eau qui reste ($P - ETR$) va alimenter la **RFU** jusqu'à son maximum (100 mm).
- Pour un mois $P < ETP$, et Si $\begin{cases} P + RFU > ETP & ETR = ETP \\ P + RFU < ETP & ETR = P + RFU \end{cases}$
- Lorsque $P < ETP$ et $RFU = 0$ $ETR = P$

On commence le calcul du bilan par le mois de septembre où on considère que la RFU est nulle.

Tab.III.13. Résultats de calcul de l'évapotranspiration réelle selon Thornthwaite (Station du barrage El-Agrem, période 2002/2018).

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Aou	Total
P (mm)	69.1	98.5	150.85	188.83	167.6	153.6	119.7	83.6	45.8	16.4	0.8	11.5	1106.23
ETPc (mm)	114.79	69.40	41.50	23.58	22.50	21.26	35.75	46.86	80.68	120.06	159.28	187.11	922.71
P-ETPc	-45.69	29.10	109.30	165.25	145.10	132.34	83.95	36.76	-34.88	-103.66	-158.48	-174.61	
RFU	0	29.10	100	100	100	100	100	100	65.12	0	0	0	
EX (mm)	0	0	38.4	165.25	145.10	132.34	83.95	36.76	0	0	0	0	
DA	45.69	0	0	0	0	0	0	0	0	38.54	158.48	174.61	417.32
ETR (mm)	69.1	69.40	41.50	23.58	22.50	21.26	35.75	46.84	80.68	81.52	0.8	11.5	504.43

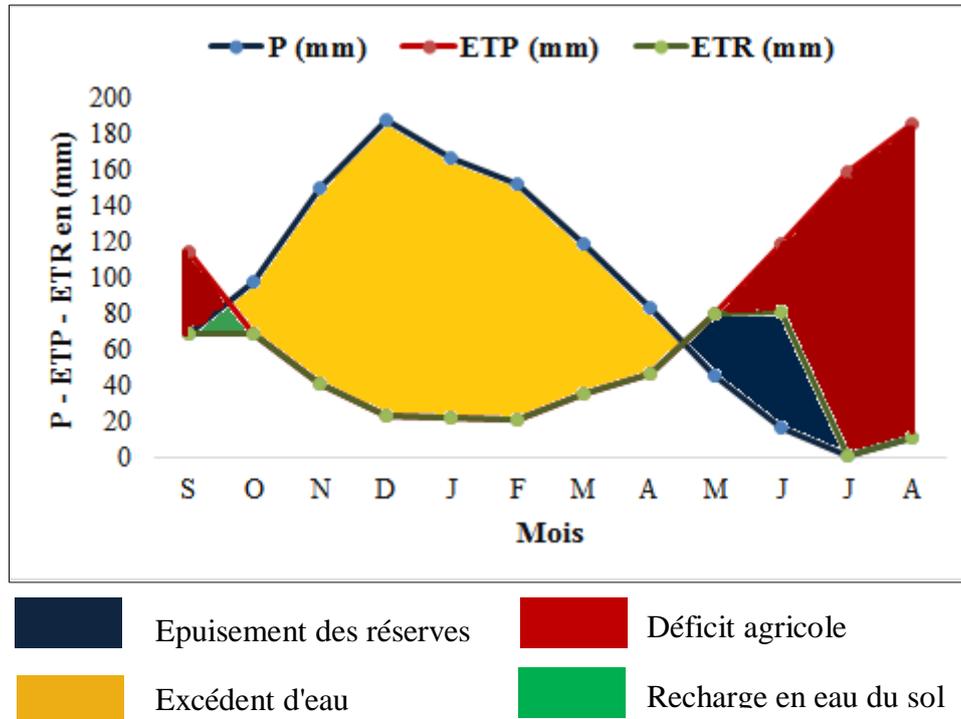


Fig.III.7. Bilan hydrologique par la méthode de Thornthwaite.

L'examen du graphique de la Fig.III.7 permet d'établir les constatations suivantes :

- La période hivernale s'étale du mois d'octobre au mois d'avril, durant laquelle les précipitations liquides sont très abondantes et supérieures à l'évapotranspiration. Les pluies tombées servent en premier lieu à alimenter les réserves, cela continue jusqu'au mois de novembre. A partir de ce mois le plein des réserves est atteint, l'excédent d'eau va donc s'écouler. Les ruissellements atteignent leur maximum au mois de décembre.
- La période estivale s'étale du mois de mai au mois de septembre, c'est une période déficitaire avec une valeur annuelle de 394.99mm où les précipitations sont très faibles à pratiquement nulles.

L'évapotranspiration est élevée (504.43 mm), les infiltrations sont nulles, les réserves sont épuisées et les cours de ruissellement sont asséchés.

Estimation du ruissellement et de l'infiltration

Il est important de connaître la quantité d'eau ruisselée sur le bassin versant topographique et la quantité d'eau infiltrée dans les aquifères contenues dans ce bassin pour estimer les réserves en eau pour différents besoins.

Pour le calcul des ruissellements et des infiltrations on utilise :

Evapotranspiration potentielle. ETP = 922.75 mm.

Précipitations moyennes annuelles. P = 1106.23mm.

Evapotranspiration réelle. ETR = 504.43mm.

a- Ruissellement

La lame d'eau ruisselée est estimée à partir de la formule Numer Chuck, son expression est comme suite :

$$R = P^3 / 3 \dots \dots \dots (5)$$

Avec:

R: Ruissellement en (mm).

P: Précipitations moyennes annuelles.

Donc : $R = (1106.23)^3 / 3 = 0.451 \text{ m}$ 

$$R(\%) = (R * 100) / P = (451 * 100) / 1106.23$$

R(%) = 

La valeur du ruissellement (R) obtenue est de 451 mm, correspondant à 40.76% des précipitations.

b- Infiltration

Est le processus physique par laquelle l'eau pénètre dans les sols ou un autre substrat et alimente les nappes. Elle est liée à la conductivité hydraulique à saturation du sol près de la surface.

L'infiltration (I) est calculée par la formule suivante :

$$I = P - (ETR + R) \dots \dots \dots (6)$$

Donc: $I = 1106.23 - (504.43 + 451) =$  150.8

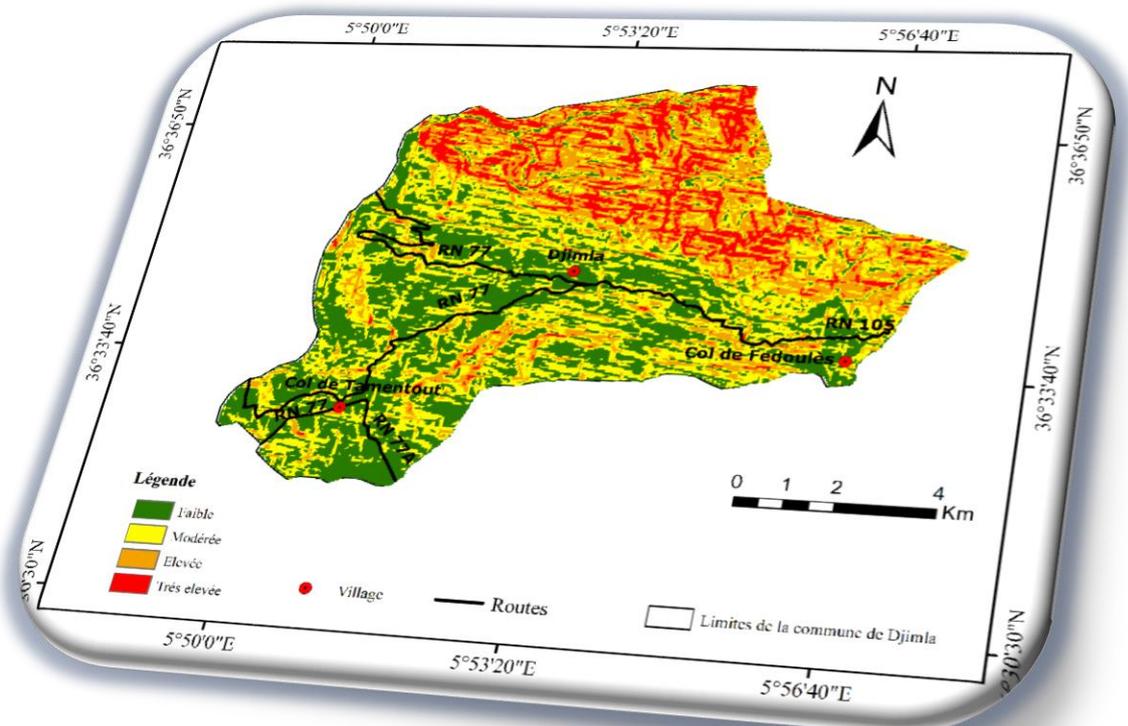
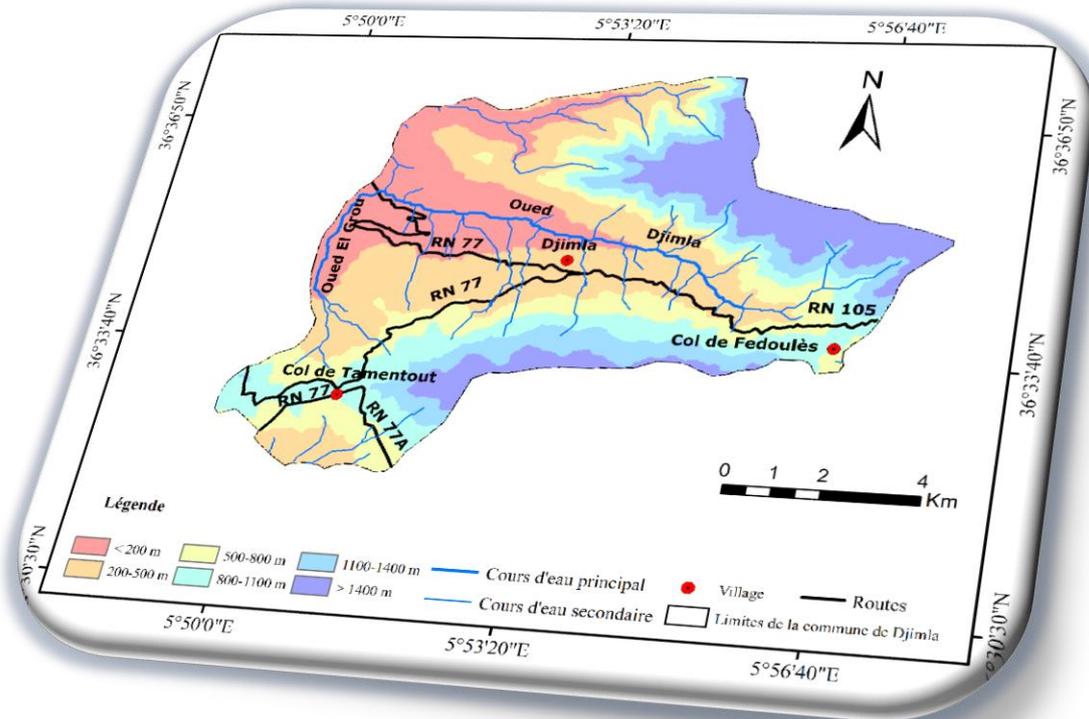
En pourcentage : $I(\%) = (150.8 * 100) / 1106.23 =$  13.63%

III.3. Conclusion

A partir de cette étude climatologique de la zone d'étude, on peut conclure ce qui suit :

- La région d'étude possède un climat méditerranéen tempéré avec un hiver pluvieux et froid et un été chaud et sec .les précipitations durant la période (2002-2018) sont relativement très importantes et elles sont de l'ordre de 1106.23 mm en moyenne annuelle, la température moyenne annuelle est de l'ordre de 18C°.
- L'évapotranspiration potentielle (ETP) et l'évapotranspiration réelle (ETR) déterminées par la méthode de Thornthwaite, sont respectivement égales à 921.75mm et 504.43mm.
- Le bilan hydrologique de Thornthwaite est dans son ensemble déficitaire.
- Le ruissellement (R) estimé par la formule de Numer Chuck est de l'ordre de 451 mm/an, soit 40.76% des précipitations moyennes annuelles.
- L'infiltration (I) est estimée de l'équation du bilan hydrologique, elle est de l'ordre de 150.8 mm/an, soit 13.63 % des précipitations.
- Les facteurs hydroclimatologiques jouent un rôle important dans la dynamique des zones instables de notre région d'étude.

Cartographie de la susceptibilité aux glissements de terrain



VI.1. Introduction

Afin de contribuer à une meilleure gestion du risque glissement de terrain dans la zone d'étude, la méthodologie adoptée dans cette étude est basée sur une approche SIG.

En premier lieu, nous allons mettre l'accent sur les systèmes d'informations géographiques (SIG), cela nécessite de rappeler quelques éléments de base tel que : les définitions des SIG, ses composants, Modes de représentation de l'information géographique dans un SIG, intérêt des SIG...etc.

Par la suite, l'étape de cartographie a été commencée, on utilisant le logiciel ArcGIS 10.4 à partir de la saisie des données géographique ou attributaires jusqu'à la réalisation de la carte thématique.

VI.2. Système d'Information Géographique

VI.2.1. Définition

Un Système d'Information Géographique est un moyen de gestion de base de données conçu pour saisir ,stocker , manipuler ,analyser, combiner et afficher des données à référence spatiale en vue de résoudre des problèmes complexes de gestion et de planification (Fischer et al, 1993 ; Hammoumet al, 2010). Les SIG sont des outils d'aide à la décision. Ils permettent une meilleure gestion des aléas naturels (tel que les mouvements de terrain ; les inondations.....) et les risques technologiques .ces systèmes utilisent des donnée spatiales issues de plusieurs moyens d'acquisition (la topométrie, la géodésie, la photogrammétrie .la télédétection) il est actuellement utilisé dans de nombreux domaines tels que la géographie, la géologie...etc (Djeral, 2013).

Selon Berger et al. (2005), un SIG peut être défini comme un ensemble coordonné d'opérations généralement informatisées destinées à transcrire et à utiliser des données géographiques sur un même territoire. Ce dispositif vise particulièrement à combiner au mieux les différentes sources accessibles : bases de données, savoir-faire, capacité de traitement selon les applications demandées. On identifie un SIG grâce à quatre principales fonctionnalités (Hessas, 2005) :

- L'acquisition des données d'entrée ;
- Stockage, récupération et gestion de bases de données ;
- Manipulation et analyse des données ;
- Affichage des données permettant à l'utilisateur d'appréhender les phénomènes spatiaux.

VI.2.2. Quelques notions

- Géoréférencement : Est le processus dans lequel on applique à une entité cartographie un emplacement spatial en lui donnant des coordonnées géographiques et en appliquant une transformation.
- Digitalisation : Est le procédé qui vise à transformer un objet, un outil en un code informatique afin de le remplacer et le rendre plus performant.
- Raster : Un raster se compose d'une matrice de cellules (ou pixels) organisées en lignes et en colonnes (grille) dans laquelle chaque cellule contient une valeur représentant des informations. Les rasters sont des photographies aériennes numériques, des images satellitaires, des images numériques, voir des cartes numérisées.
- Arc Catalogue : Est un explorateur de données tabulaires et cartographiques offrant des outils de gestion et d'organisation analogues à ceux offerts par les systèmes d'exploitation comme WINDOWS ou DOS (copier, renommer, effacer, créer des icônes, etc).
- ArcMap : Est une application fondamentale du logiciel ArcGIS. Elle contient une boîte à outils, organisés sous forme de modules indépendants (extensions), permettant de gérer, manipuler, analyser et éditer les différentes couches d'informations de la base de données.
- ArcToolbox : Est une boîte à outils permettant d'effectuer des conversions et de transferts de format et aussi de projection (Soudani, 2006).

VI.2.3. Modes de représentation de l'Information géographique dans un SIG

Les modalités d'acquisition des données ainsi que les représentations des objets sont très variées. De même les méthodes de stockage de ces données et leur représentation, sont différentes. Deux types de représentations des objets sont possibles : Les coordonnées géographiques des objets peuvent être archivées sous la forme de vecteurs (mode vecteur) ou sous forme d'images (mode raster). D'après Berger et al. (2005), le choix du type de représentation constitue une étape importante dans la mesure où il va considérablement influencer la méthode de généralisation de l'information spatiale (Mellali, 2014).

a. Données vectorielles

La structure vectorielle est composée d'un grand nombre de points. Chaque point est décrit par ses coordonnées en X et Y dans un système de référence ou de projection (en latitude, longitude ou kilométrique tel que Lambert) et par un attribut ou un numéro d'identification qui est relié à une base de données. Chaque point peut représenter un objet (bâti, borne géodésique). La structure vectorielle permet de représenter les points en arcs. Ces derniers une fois associés, donnent naissance à des objets linéaires qui représentent la réalité (courbes de niveau, cours d'eau, ruisseaux...). Un arc fermé, peut représenter une surface (parcelle, une retenue collinaire, un bassin

versant...); Il implique une représentation en mode d'objet. Ce dernier est bien adapté pour décrire la topologie pour des bases de données thématiques telles que les types de sols, couvert végétal.

De plus, elle limite la quantité d'informations à stocker. Par ailleurs, il est mal adapté pour décrire des variables spatiales continues comme l'altitude ou la température (Mellali, 2014).

b. Données raster

Le mode raster est plus adapté pour représenter des variables continues. De plus, la représentation sous forme de grille correspond bien à l'organisation informatique des données. L'inconvénient de ce mode réside dans la taille des fichiers, étant donné que chaque pixel contient une information. Une même surface peut être représentée par un grand nombre de pixels. Ce mode est également adapté pour l'utilisation de méthodes de traitements numériques de l'information pour la description de certains éléments géographiques naturels. Il est difficile de séparer ou de tracer une limite arbitraire dans une forêt entre deux essences forestières, alors que sur le terrain, il existe en fait une zone de transition où sont observés deux gradients d'essences. Leur manipulation est plus aisée car le contour des objets suffit pour les décrire. Elle est plus adaptée à des données discrètes dont les limites sont précises (réseaux, séparations administratives...etc) (Fig. IV.1).

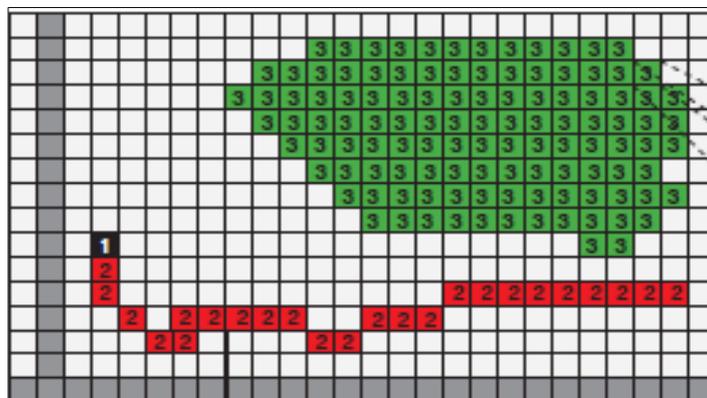


Fig. IV.1. Exemple des données raster.

VI.2.4. Intérêt du SIG

Les informations sont stockées de façon claire et définitive ;

- Gérer une multiplicité d'informations attributaires sur des objets ;
- Comprendre les phénomènes, prévoir les risques (simulations) ;
- Etablir des cartographies rapides ;
- Localiser dans l'espace et dans le temps ;
- Réagir rapidement après des évènements ayant un impact sur le territoire ;
- Calculer des coûts ou des bénéfices ;
- Associer un plus grand nombre de partenaires aux choix d'aménagement ;

- Fournir des itinéraires, des plans adaptés (Habert, 2000).

VI.3. Elaboration du SIG glissement de terrain de la région d'étude

La commune de Djimla est située dans une région montagneuse au Sud- Est de la wilaya de Jijel. Sa morphologie la rend exposée à un fort potentiel d'aléa glissements de terrains, contrôlée par l'action conjuguée de différents facteurs géologiques, géomorphologiques, hydrologiques et structuraux...etc. Pour l'évaluation de susceptibilité relative aux glissements de terrains dans cette région, nous avons réalisés un inventaire détaillé des masses instables en utilisant des photos satellitaires, des images de Google Earth et des visites de cartographie géologique sur le terrain. Cet inventaire comprend la géologie détaillée, les glissements (lithologie, type, pente...etc), les précipitations et la morphologie (MNT)...etc.

Les informations recueillis ont été introduits dans un logiciel de Système d'Information Géographique ArcGIS 10.4 qui fait des traitements automatisés à partir de données de bases, permettant de produire de l'information, de l'organiser et de la représenter. Nous avons obtenu une carte de susceptibilité d'où cette dernière varie de plus élevée à faible degrés de susceptibilité. Celle-ci pourra constituer un document de base pour les planificateurs et les décideurs dans l'aménagement futur de la région (Fig. IV.2).

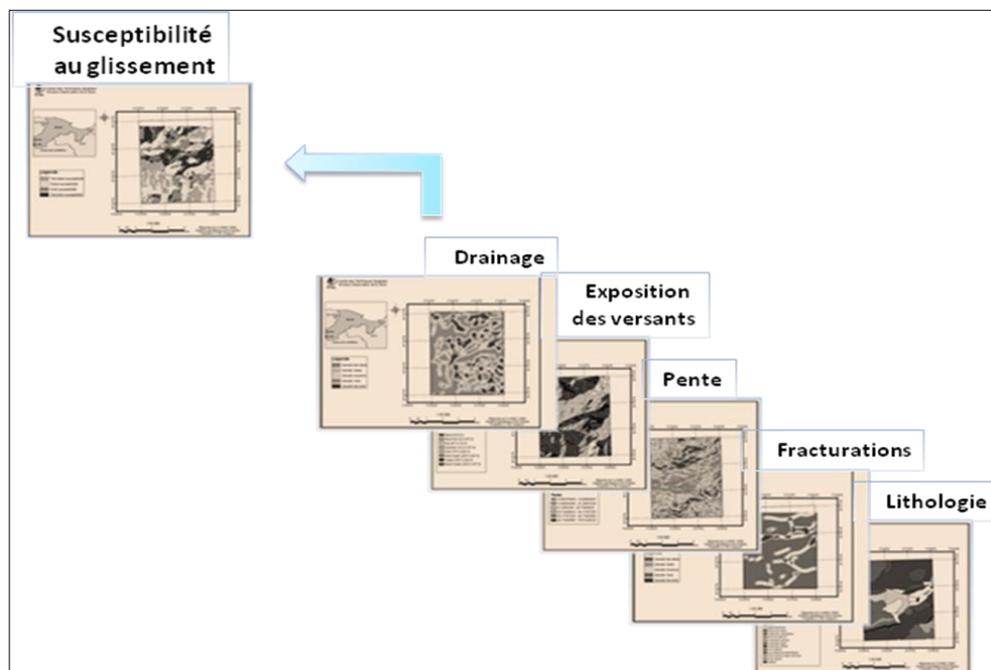


Fig. VI.2. Différentes couches des données dans le modèle d'évaluation de l'aléa.

VI.3.1. Acquisition des données

Le projet SIG de notre zone d'étude est constitué initialement de plusieurs couches d'informations de base. Elles sont utilisées pour effectuer des opérations diverses afin d'obtenir

des couches d'informations dérivées. Ces différentes couches (basiques et dérivées) sont utilisées dans la modélisation en fonction de certains critères pour définir un modèle logique qui conduit à la production d'un produit final interprété par la carte de susceptibilité aux mouvements de terrain.

VI.3.2. Données de base utilisées

Les cartes de base se composent des cartes topographique et géologique (géoréférencées), le MNT et des séquences satellitaires.

1. Modèle Numérique de Terrain (M.N.T) de la région d'étude

C'est une représentation de la topographie d'une zone terrestre. A partir desquels différents paramètres morphologiques sont extraits (pente, exposition, courbure... etc).

La couleur grise caractérise les hautes altitudes, la couleur bleue correspond aux altitudes les plus basses, et les tendances du jaune représentent les altitudes comprises entre les deux classes précédentes (Fig.VI.3).

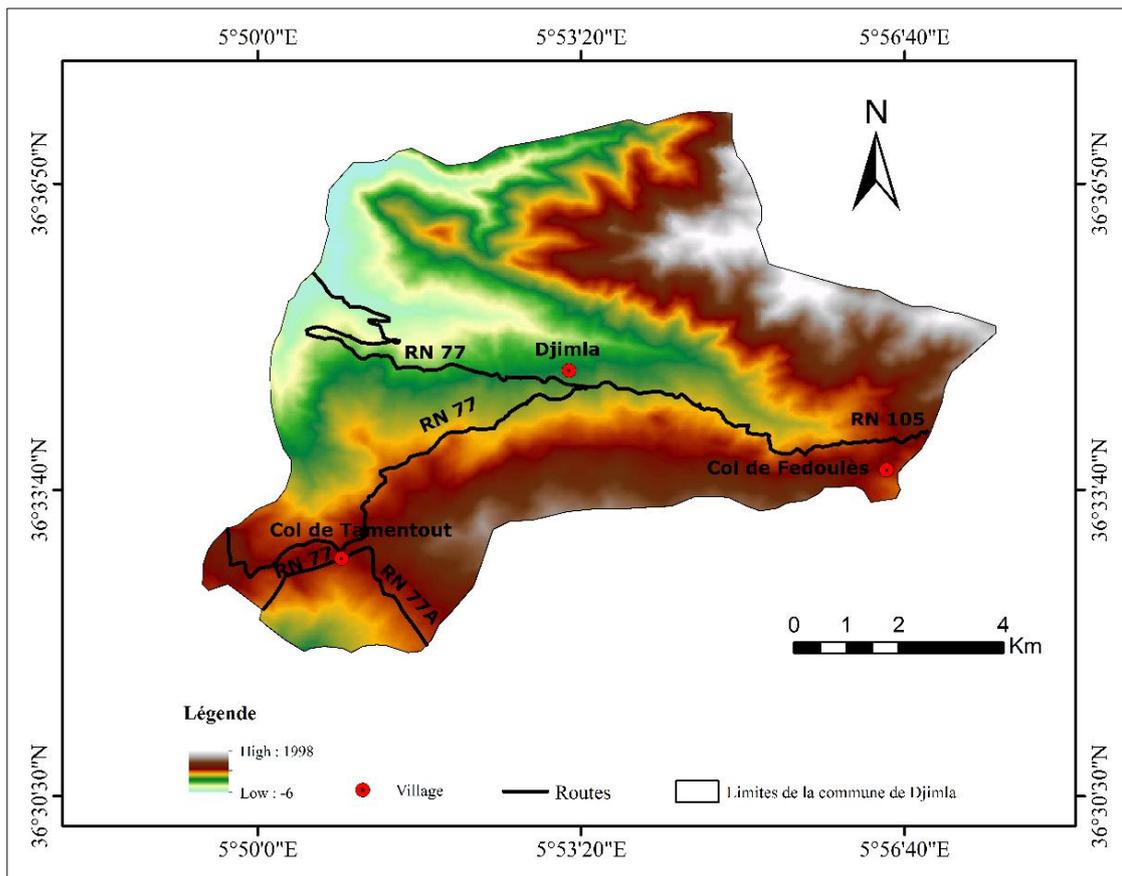


Fig. VI.3. Carte d'altitude de la commune de Djimla).

2. Carte lithologique de la commune de Djimla

La lithologie joue un rôle très important dans le déclenchement des glissements de terrain, elle est traduite par une carte lithologique simplifiée issue de la numération des cartes géologiques et

de la cartographie géologique sur le terrain. Nous avons réalisés une carte lithologique de notre zone d'étude sous forme d'une couche vectorielle en utilisant le logiciel ArcGIS 10.4 Nous avons scannée et géoréférencée dans le système de coordonnées (UTM : Nord Sahara Zone 31N), (Fig.VI.4).

Les différentes formations lithologiques rencontrées dans notre zone d'étude sont subdivisées en 8 formations de faciès et âge géologique différents.

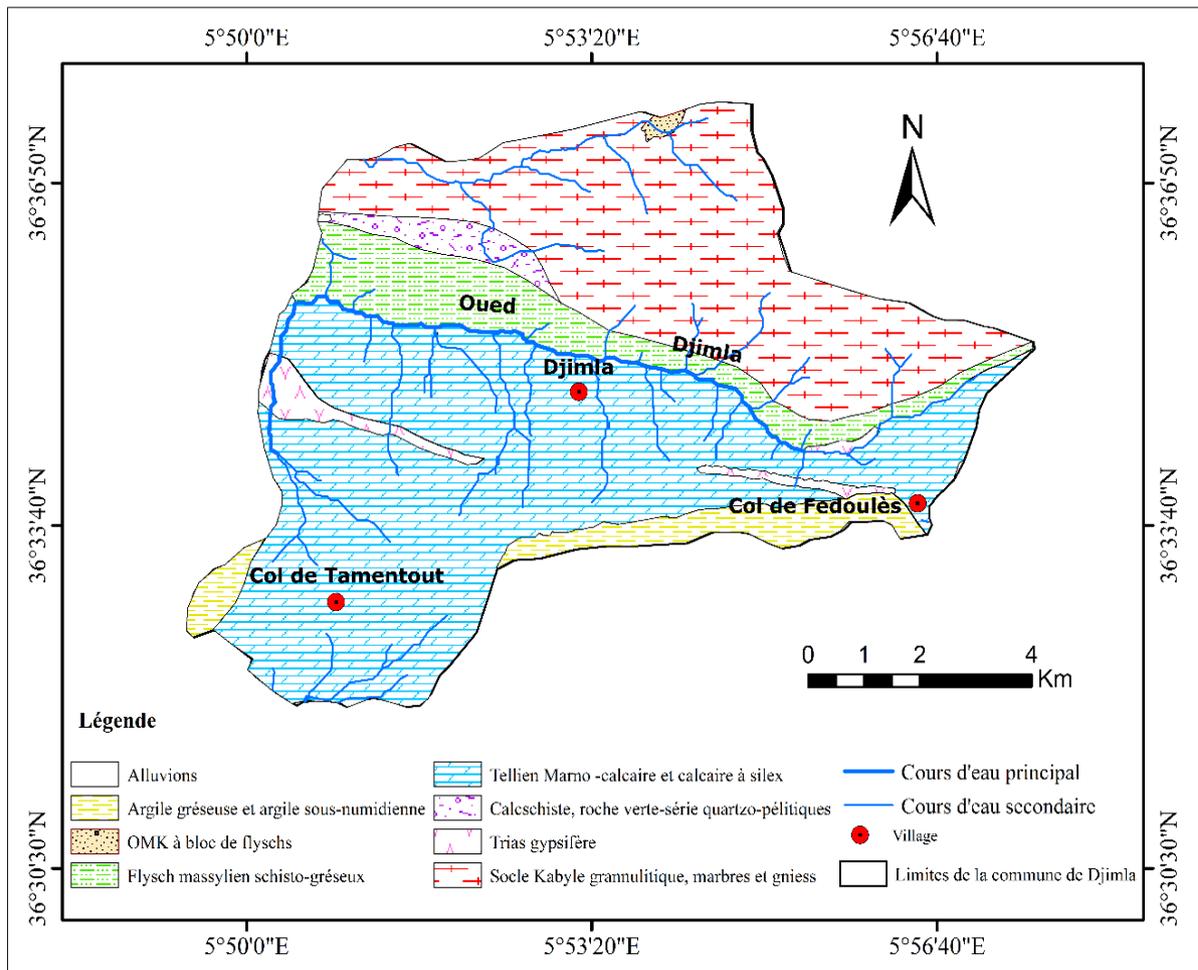


Fig. IV.4. Carte lithologique de la commune de Djimla.

VI.3.3. Cartes dérivées

A partir du Modèle Numérique de Terrain (MNT), les cartes suivantes ont été dérivées :

1. Cartes de direction et d'accumulation du flux hydrologique

La création des cartes de direction et d'accumulation du flux hydrologique (Fig. IV.5) et (Fig. IV.6) à partir du Modèle Numérique de Terrain (MNT) nous a permis de réaliser la carte du réseau hydrographique de la zone d'étude.

• Carte d'accumulation de flux

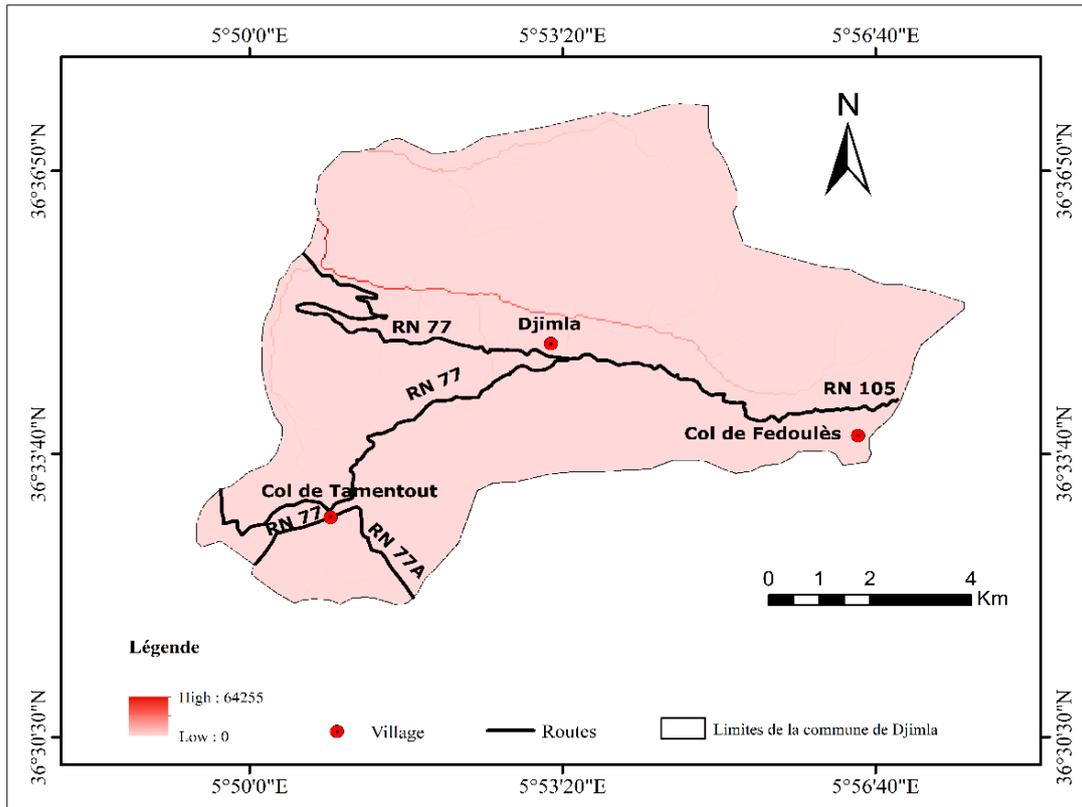


Fig. VI.5. Carte de flux d'accumulation de la commune de Djimla.

• Carte de flux de direction

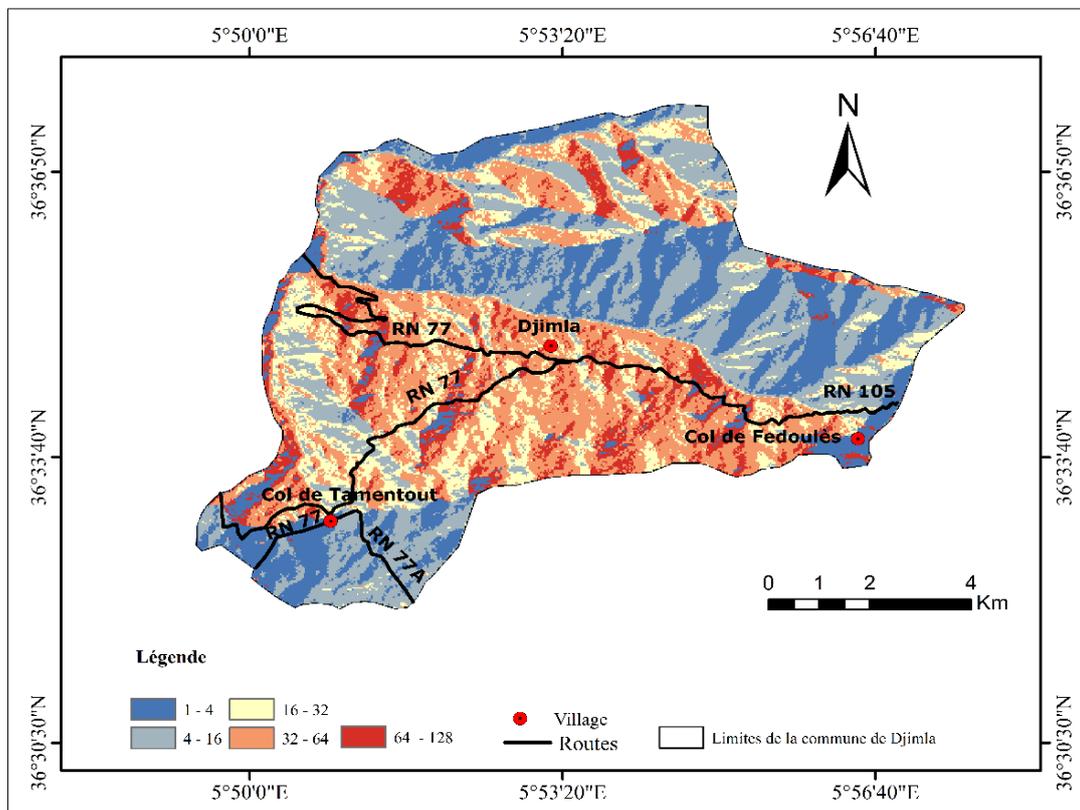


Fig. VI.6. Carte de flux de direction de la commune de Djimla.

2. Carte du réseau hydrographique de la commune de Djimla

Réalisée dans le but de localiser les lieux de concentration des eaux d'écoulement. Un modèle de drainage a été réalisé sous ArcGis à partir du MNT (Fig. IV.7). Cette carte permet de constater que la région d'étude présente un réseau hydrographique très dense, constitué pour la plupart par des oueds permanents tels que oued Djimla et oued El Grou.

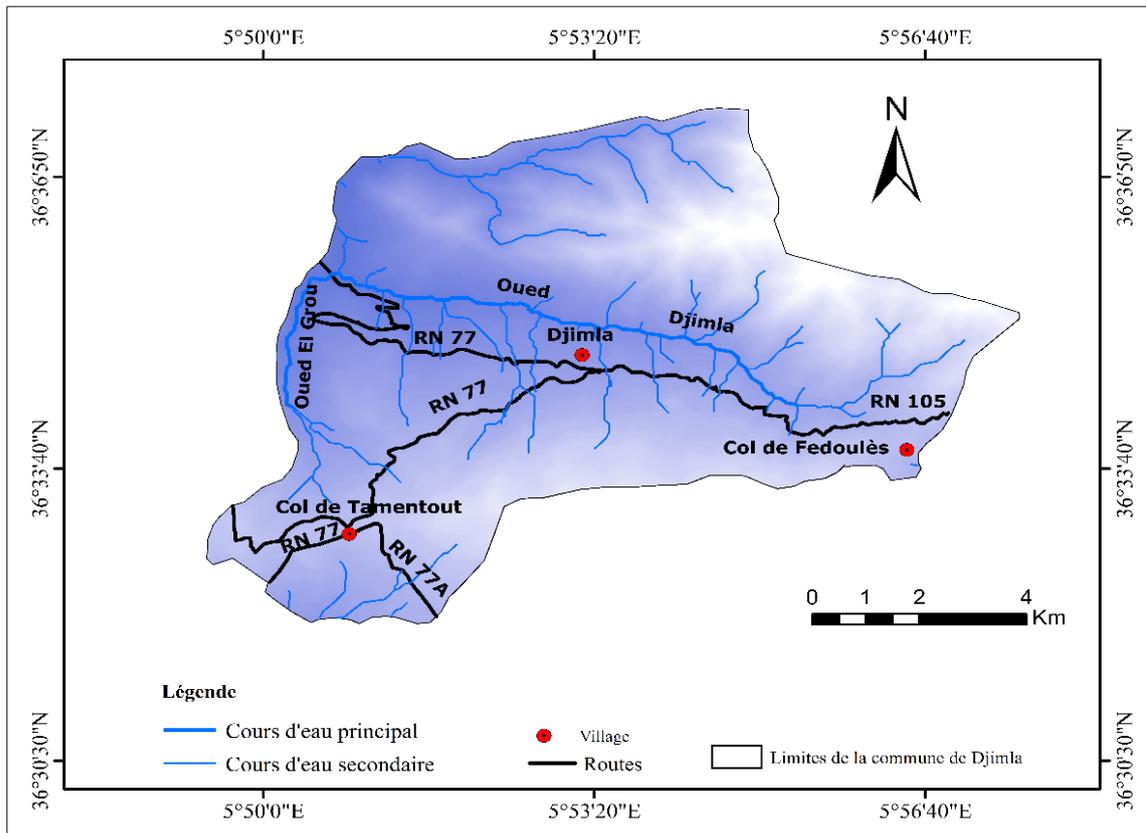


Fig. VI.7. Carte de réseau hydrographique de la commune de Djimla.

3. Carte des courbes de niveau

Une carte des courbes de niveau est une carte topographique qui permet de relier tous les points situés à la même altitude. Les courbes de niveau permettent de représenter les reliefs en deux dimensions espacées par une équidistance qui est égale à 100 m (Fig. VI.8).

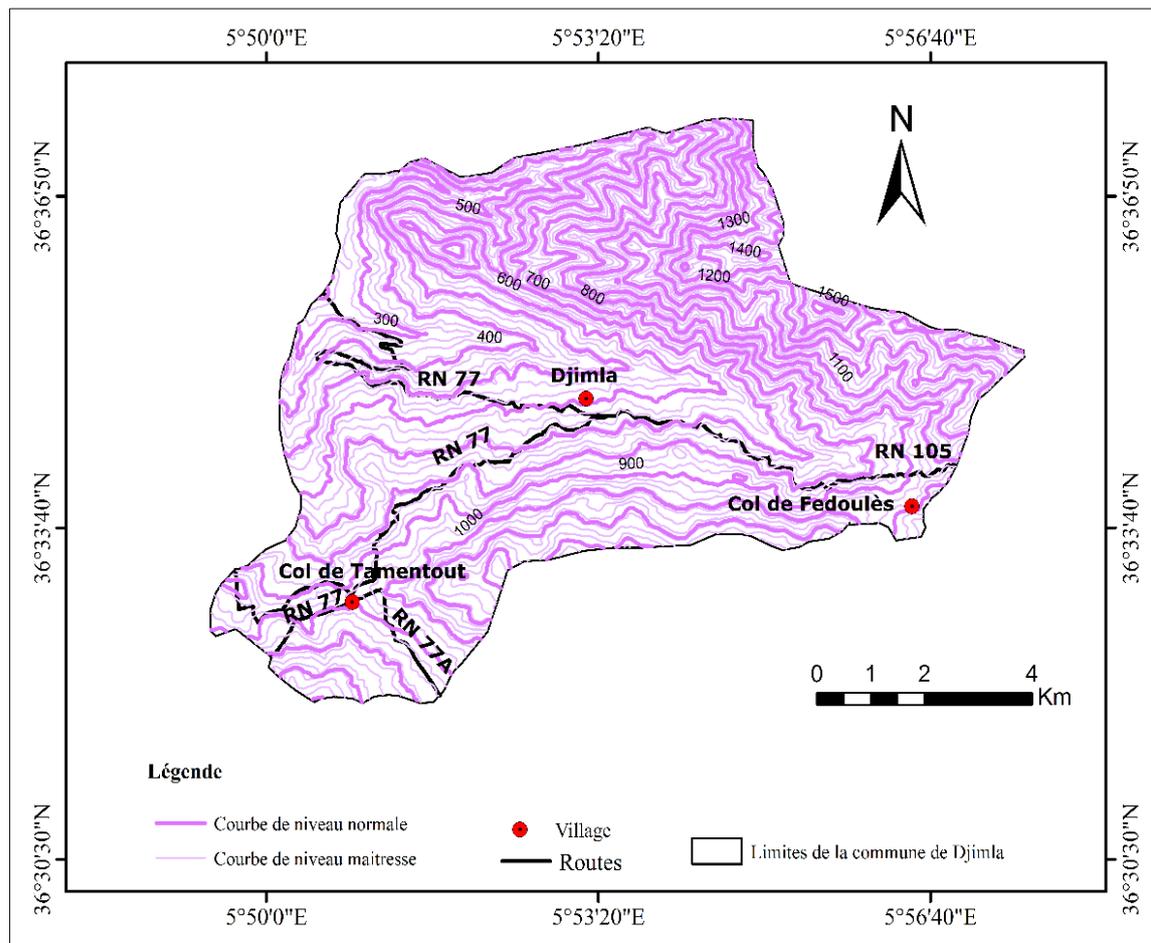


Fig.VI.8. Carte des courbes de niveau de la commune de Djimla.

4. Carte hypsométrique de la commune de Djimla

La carte d'élévation a été extraite du MNT. A partir des altitudes trouvés, on peut dire que notre zone d'étude est subdivisée en 6 classes de différentes altitudes (<200m à >1400m). (FigVI.9).

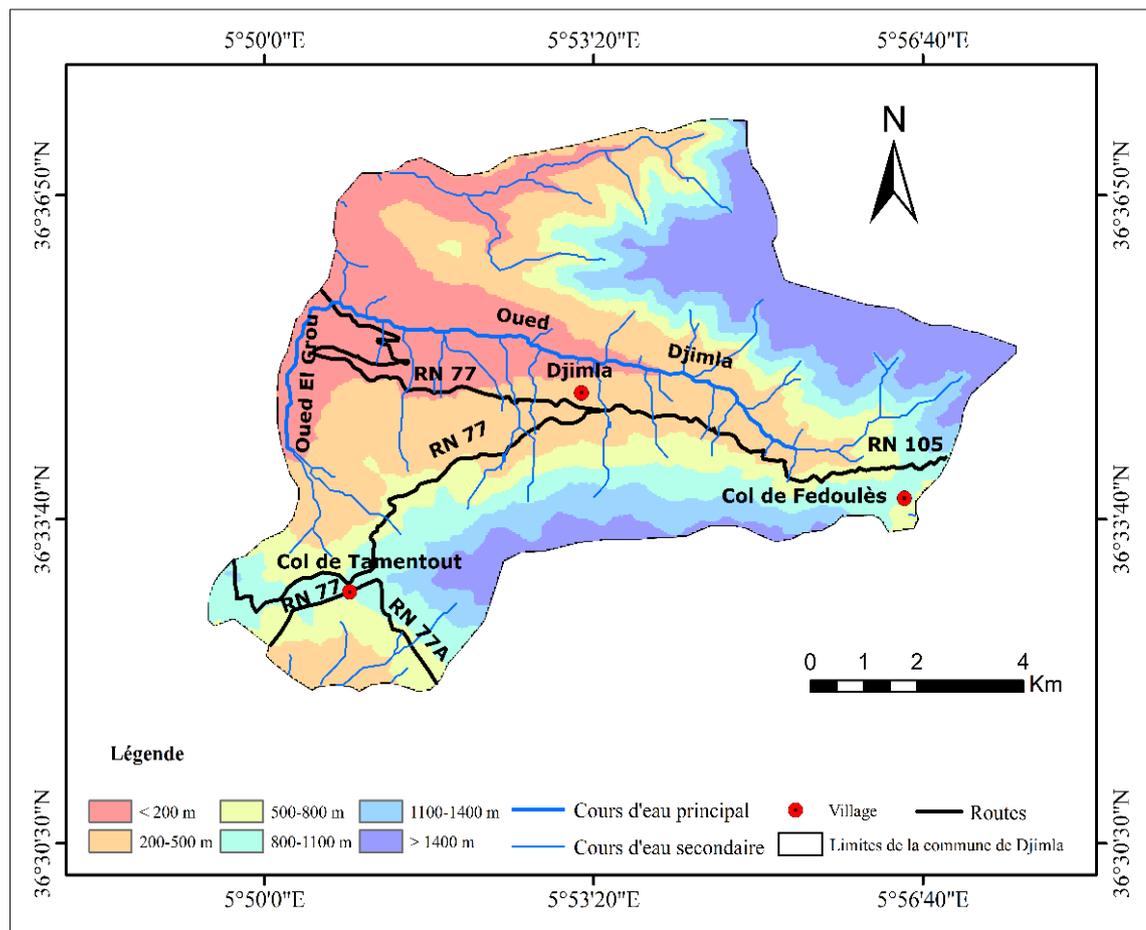


Fig. VI.9. Carte d'altitude de la commune de Djimla.

5. Carte des pentes de la commune de Djimla

C'est une représentation graphique des pentes par des couches de surimpression de différentes couleurs, chaque couleur correspond à une classe de pente. La pente constitue un facteur très important dans la susceptibilité des sols aux glissements de terrain.

La carte des pentes de la zone étudiée a été dérivée du MNT (Fig. VI.10), sous forme d'une carte raster avec la même taille du pixel que le MNT. Une classification des classes de pente a été effectuée en divisant les pourcentages de pente en cinq classes différentes dont la pente varie entre 0 et plus de 40% (Tab. VI.1).

Les classes de (0-10%), (10-20%) et (20-30%) sont dominantes dans la zone d'étude, avec des pourcentages de 17.60%, 43.65% et 23.34% respectivement. Les deux autres classes occupent seulement 15.41% de la surface totale. On remarque que la zone d'étude est caractérisée par une variation des classes de pente dont la partie Nord-Est présente les pentes les plus élevées et qui dépassent les 40%.

Tab.VI.1. Répartition des pentes de la zone d'étude.

Pentes	0-10%	10%-20%	20%-30%	30%-40%	>40%	Total
Surface (Km ²)	11.48	28.49	15.23	8.21	1.83	65.28
Surface (%)	17.60	43.65	23.34	12.58	2.83	100

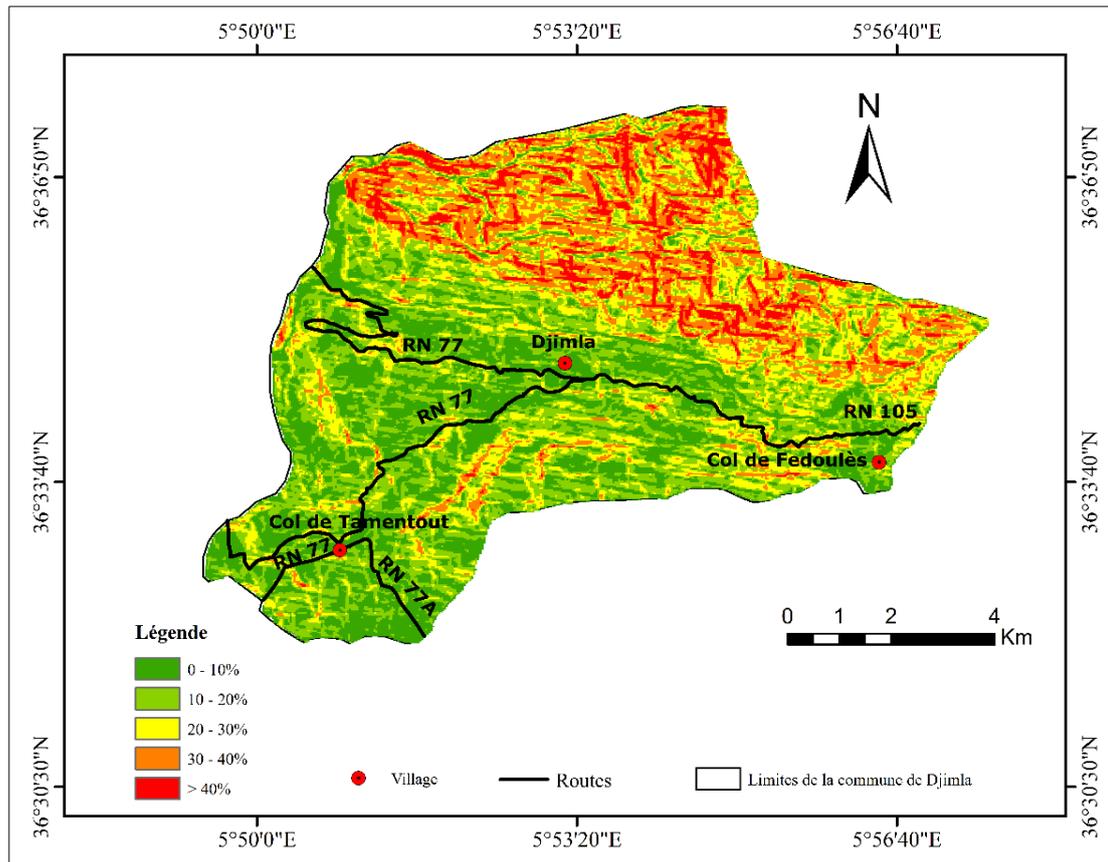


Fig.VI.10. Carte des pentes de la commune de Djimla.

6. Carte de l'exposition des versants de la commune de Djimla

C'est une carte dérivée du MNT (Modèle Numérique de Terrain) avec la fonction « Aspect » d'ArcGIS (10.4). L'exposition des versants joue un rôle essentiel dans l'occurrence des glissements de terrain. Dwitee (2006) a noté que l'orientation des versants peut influencer les propriétés physiques de la pente et donc sa susceptibilité aux mouvements. Plusieurs facteurs sont influencés par l'orientation des pentes : la radiation reçue du soleil et la végétation. Ces dernières peuvent aussi influencer la résistance des sols et donc la susceptibilité aux glissements de terrain. L'analyse de la Fig.VI.11. Nous à permet de constater que la majorité des versants sont orientés beaucoup plus vers le Nord, suivie par les versants orientés vers le Nord–Ouest et enfin vers le Sud –Est. Donc il y a risque que les glissements se produisent dans ces zones dans le futur.

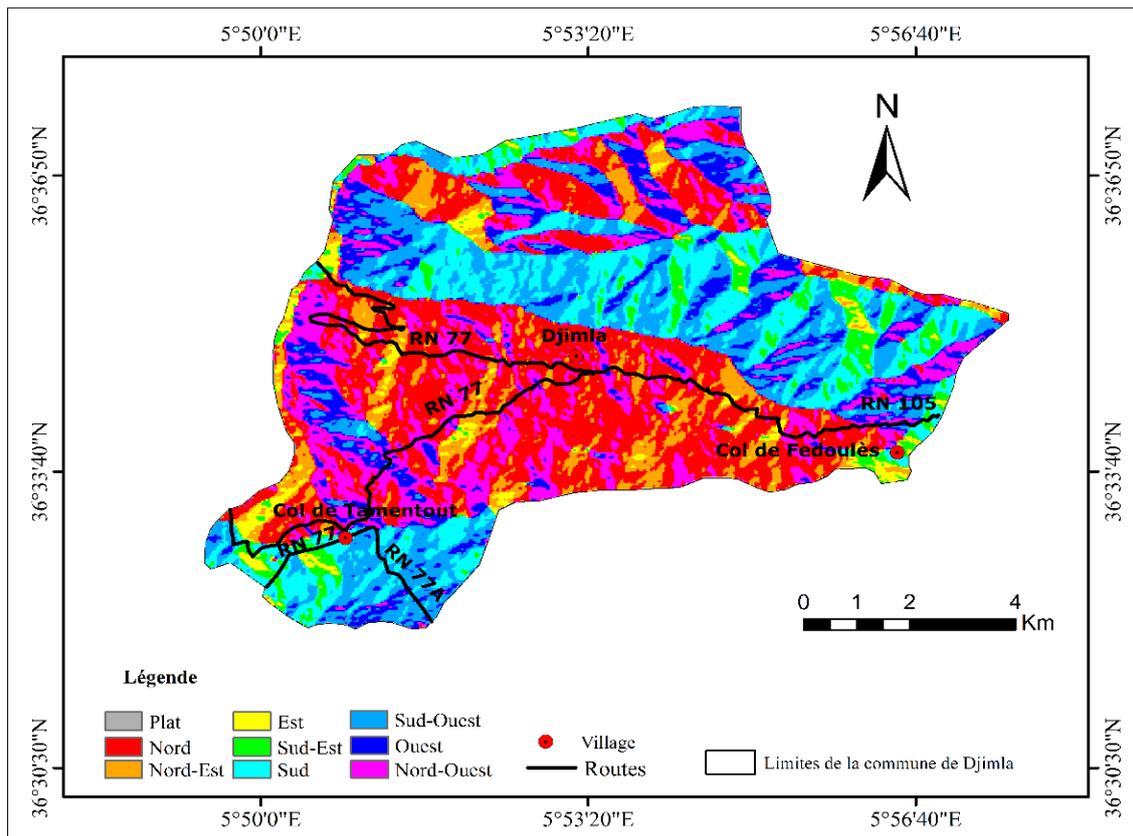


Fig. VI.11. Carte d'exposition des versants de la commune de Djimla.

VI.4. Création de la carte susceptibilité aux glissements de terrain de la commune de Djimla

Pour pouvoir délimiter les zones où peuvent se produire des glissements de terrain. On a combiné la carte des conditions géologiques, de pente, d'exposition, d'altitude, carte de direction et d'accumulation des flux.

On a défini trois hiérarchies d'aléa fort, aléa moyen, aléa faible et aléa nul, Ces classes sont définis en fonction de l'intensité du phénomène et de sa probabilité d'apparition.

VI.4.1. Établissement de la carte de susceptibilité

La susceptibilité est définie comme la probabilité spatiale qu'un glissement de terrain de se produise sur un territoire à cause de différentes conditions environnementales locales.

VI.4.1.1. Méthode statistique utilisé

Cette technique statistique est introduite en 1988 par Yin et Yan, elle repose sur la densité de phénomène par facteur. Les pondérations sont obtenues par le logarithme de la densité par facteur divisée par la densité de la surface totale (Jarde et Sarkar, 1993).

$$W = \ln \left(\frac{\text{Densité classe}}{\text{Densité map}} \right) = \ln \left(\frac{\frac{S_i}{N_i}}{\frac{S}{N}} \right)$$

D'où :

- ✓ W= le poids d'une classe i ;
- ✓ Si = le nombre de cellules ou la surface de la classe i qui a glissé ;
- ✓ Ni = le nombre de cellules ou la surface de la classe i ;
- ✓ S = le nombre total de cellules ou la surface totale qui a glissé ;
- ✓ N = le nombre total de cellules ou la surface totale des unités de pentes pour le site d'étude.

L'approche SIG suivie au cours de ce chapitre est basé sur les données tel que, satellitaires, topographique, géologiques ainsi sur des mesures et des observations effectuées. Notre travail a pour but d'évaluer la susceptibilité aux glissements de terrains dans la commune de Djimla. D'une manière générale un projet d'aléa géologique a pour objectifs de mettre en évidence les caractéristiques suivantes :

- Identifier les zones à risque en définissant la nature des formations géologiques.
- Identifier et délimiter les zones sensibles aux glissements de terrain et aux éboulements.

Tab.VI.2. Qualification des classes de susceptibilité.

Classe	Susceptibilité des terrains aux glissements
1	Faible
2	moyenne
3	Forte

La carte ci-dessous (Fig. IV.12) a donné la susceptibilité aux glissements de terrain de notre zone d'étude. Dans cette carte on a basé sur 3 facteurs : La lithologie des formations. La pente topographique et le réseau hydrographique. La combinaison sous ArcGis et suivant les règles de décision mentionnées (proposés) sur le Tableau.VI.2, a permis de produire la carte de la susceptibilité aux glissements de terrain de la région d'étude.

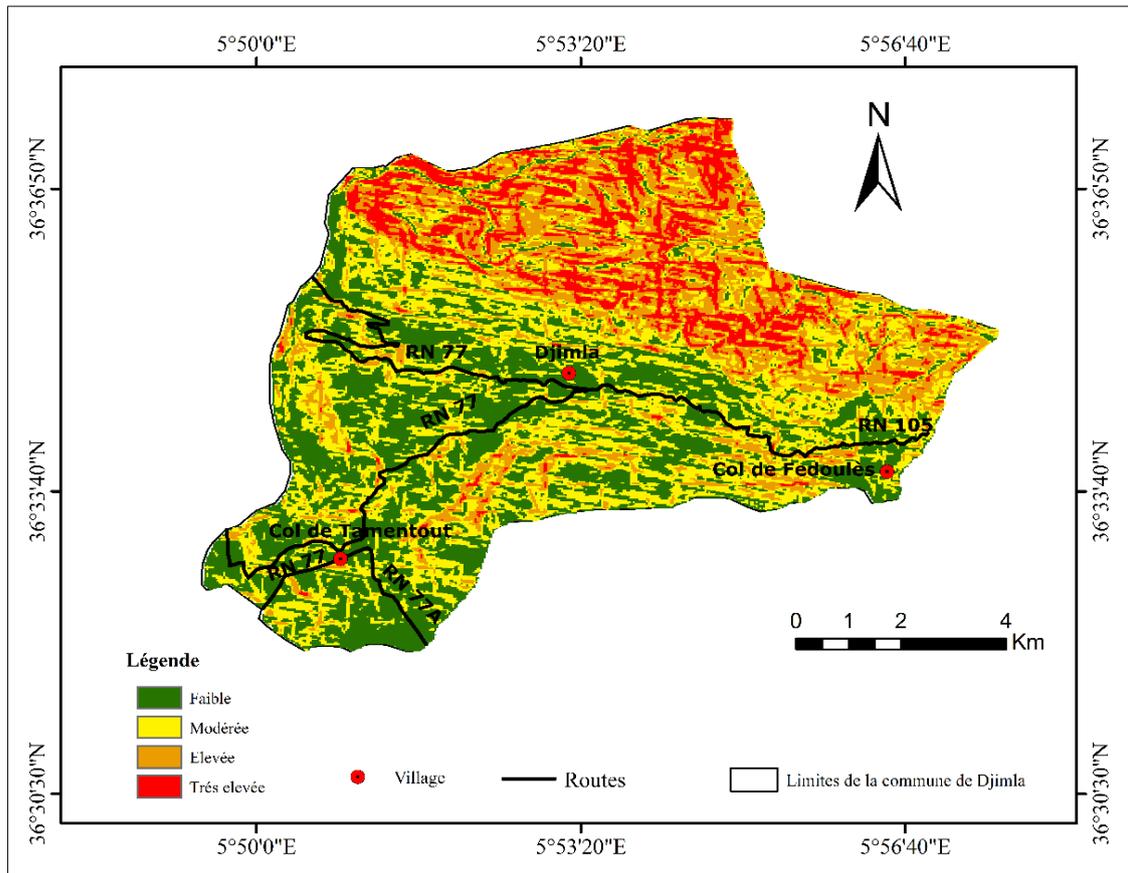


Fig. VI.12. Carte de susceptibilité aux glissements de terrain de la commune de Djimla.

Une cartographie de la susceptibilité finale en quatre classes finalement a été retenue (Fig. IV.12), permettant en particulier de bien définir la classe la plus élevée qui atteint une surface 11.93%. Suivie par la classe moyenne avec un pourcentage de 34.77%, alors que les espaces de susceptibilité faible sont mieux ciblés avec un ratio glissement surface élevé 32.93 % de la zone d'étude (Tab. VI.3).

Tab. VI.3. Répartition des classes de la susceptibilité aux glissements de terrain.

Classe	Surface (Km ²)	Surface (%)
Faible	21.50	32.93
Modérée	22.70	34.77
Elevée	13.29	20.36
Très élevée	07.79	11.93
Totale	65.28	100

VI.5. Conclusion

Ce chapitre avait pour objectif d'analyser la susceptibilité aux glissements de terrain. La carte de susceptibilité aux glissements de terrain obtenue identifie tous les secteurs où les caractéristiques intrinsèques de l'environnement (caractéristiques géologiques et géomorphologiques) sont susceptibles de favoriser les glissements de terrain à se déclencher. Cette carte présente quatre zones dont la susceptibilité varie du faible au très élevée degré. Les résultats de ce travail montrent l'intérêt de l'utilisation des SIG dans la cartographie et l'évaluation de la susceptibilité aux glissements de terrain.

La carte de susceptibilité aux glissements de terrain élaborée pourrait constituer un document de base pour tout aménagement proposée. L'étendue de ces zones mérite un suivi et une surveillance en vue de sécuriser les populations et les infrastructures socio-économiques de la région.

Validation des résultats (SIG) et Etude géotechnique



V.1. Introduction

Les investigations géologiques de terrain nous ont permis de relever plusieurs zones instables, particulièrement après la quantité de pluies et de neiges tombés sur la région au cours des dernières années.

Pour valider les résultats obtenus dans la carte de susceptibilité de la zone d'étude, nous avons choisi trois glissements de terrain qui se trouvent au centre (G1), et l'Est du village de Djimla (G2) (RN105), et au niveau du col de Tamentout (G3) (RN77A au PK1+200). La vérification a été faite directement sur le terrain, et aussi sur les cartes obtenues à l'aide du logiciel ArcGIS 10.4.

V.2. Localisation des sites choisis pour validation

La région de Djimla est une zone exposée au risque de glissements de terrain ainsi que des coulées boueuses importantes. Le Tableau.V.1 donne les coordonnées géographiques des trois glissements de terrain choisis cité précédemment.

Tab.V.1. Coordonnées géographiques des trois glissements de terrain choisis.

Glissement de terrain	Longitude	Latitude
G1	5° 52' 26''N	36° 34' 42''E
G2	5° 54' 56''N	36° 34' 13''E
G3	5° 51' 25''N	36° 32' 28'' E

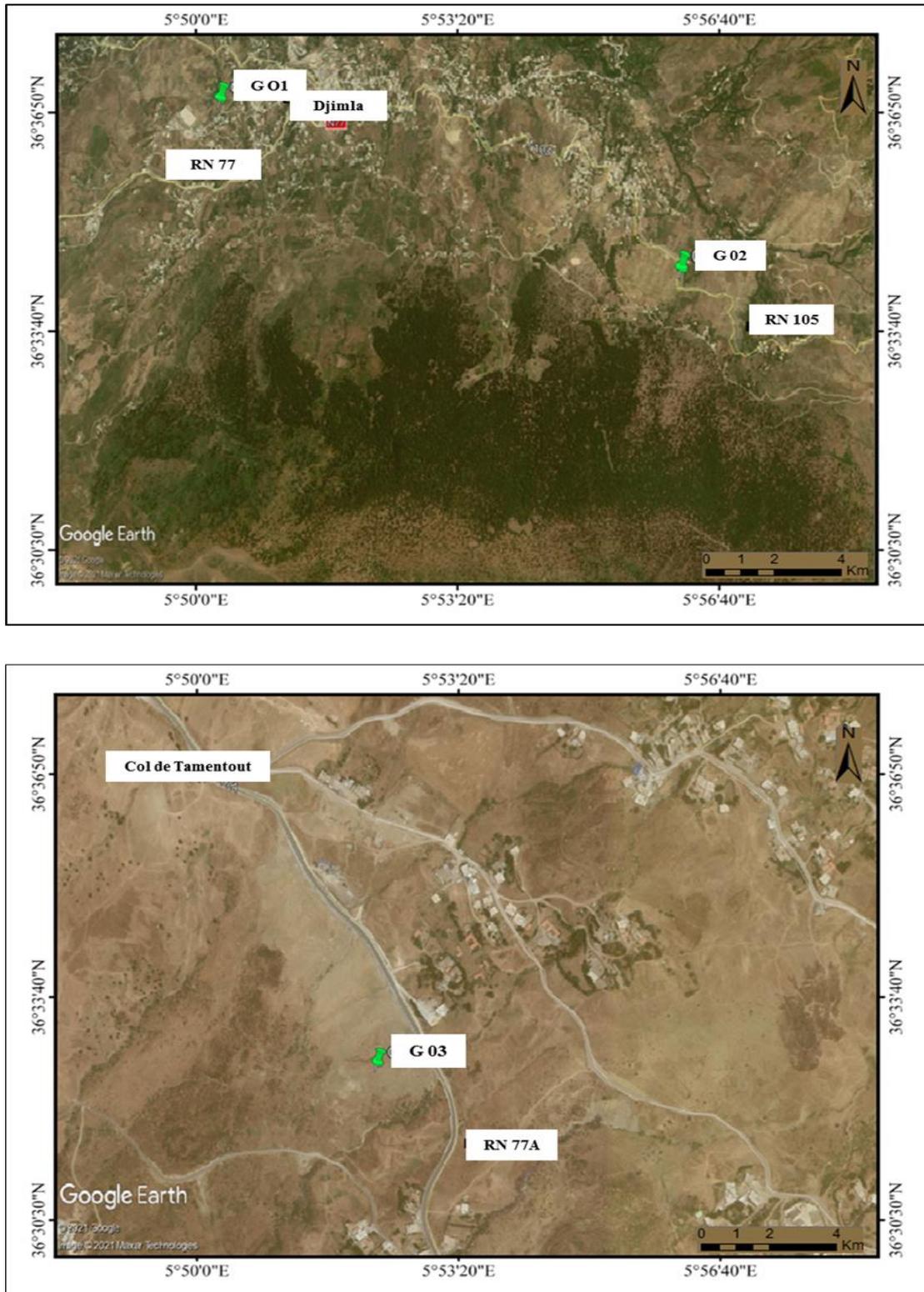


Fig.V.1. Localisation des glissements de terrain choisis (Google Earth Pro ,2021).

V.3. Les indices d'instabilité ressentis dans la zone en question

Nous avons constaté les désordres causés par les glissements dans la zone d'étude, à savoir :

- Affaissement très important de la chaussée au centre du village de Djimla avec des fissurations et rupture de sol surtout au niveau des zones de faiblesse tectonique (Fig.V.2).



Fig.V.2. Illustration d'un glissement de terrain au niveau d'une zone de broyage orientée Nord-sud au centre du village de Djimla.

-Présence d'indices d'instabilités matérialisées par de nets Affaissements, présence de bourrelets ; on y relève également des fissures d'attraction, inclination des arbres et poteaux électriques vers le bas de la pente (Fig.V.3).



Fig.V.3. Photos illustrant :^(a) l'inclinaison des arbres ;^(b) l'inclinaison des poteaux électriques.

- Le gabionnage mis en place dans la partie avale du glissement (PK 1+200 de la RN77A) a été endommagé (Fig.V.4), ce qui incite à dire que le mouvement est toujours actif, et aussi l'importance des poussées des terres vers le bas de la pente.



Fig.V.4. Photo illustre le gabionnage endommagé.

- Des constructions ont été touchées par ces mouvements de terrain. Les maisons qui se trouvent au centre du village de Djimla sont des exemples types de déplacement latéral sur le versant car les poussées des terres sont importantes.



Fig V.5. (a) Maison menacée par un glissement de terrain, (b) illustration de dégâts engendrés

- Présence des niches d'arrachement et des bourrelets au niveau du glissement de Tamentout (Fig.V.6).



Fig.V.6. Photo illustre la niche d'arrachement du glissement au PK1+200 (RN77A).

V.4. Campagne de reconnaissance géotechnique

V.4.1. Essais in-situ

V.4.1.1. Sondages carottés

Les sondages mécaniques donnent beaucoup de renseignements sur le sous-sol, ils fournissent une coupe lithologique précise des terrains rencontrés. Ils doivent être implantés après une étude géologique approfondie et une campagne géophysique détaillée (Chermat et al, 2013 ; Benseghier et Leknouch, 2014 ; Touitou et Adjroud, 2017).

Quatre (04) sondages carottés ont été sélectionnés de ceux réalisés dans la zone étudiée, avec une profondeur varie entre 0 m et 21 m, en vue de mettre en évidence les différentes couches constituants le terrain et de déterminer leurs épaisseurs.

- Les SC1 et SC2 ont été effectués en 2010 au centre du village de Djimla par le bureau d'étude Fondasoil.
- Le SC3 a été effectué en 2013 dans la partie Est du village de Djimla au niveau du (PK 1+200, RN105) par la Société d'Etude Technique de Sétif (S.E.T. Sétif).
- Le SC4 a été implanté et réalisé en 2013 dans la partie avale à 50 m environ de la RN77A au PK 1+200 par le laboratoire de la Mitidja des Travaux publics et bâtiments (L.M.T.P.B).

Les descriptions de ces sondages carottés sont regroupées dans le Tableau.V.2 suivant :

Tab.V.2. *Caractéristiques des sondages mécaniques carottés, (Fondoaisl, 2010 ; S.E.T. Sétif, 2013 ; L.M.T.P.B, 2013).*

Site	Sondage	Profondeur m	Nature lithologique
Centre du village	SC N° 01	10.00m	- Argile sableuse limono-sableuse avec des blocs de grés
	SC N° 02		
RN105 PK1+200	SC N°03	00.00-04.00	Remblai
		04.00-09.00	Argile limoneuse à graveleuse jaunâtre
		09.00-20.00	Marne
RN77A au PK1+200	SC N° 04	2.80-3.40	Argile graveleuse à caillouteuse brunâtre
		8.00-11.00	Marne altéré
		20.00-21.00	Marne schisteuse grisâtre compacte

A partir des résultats trouvés des sondages carottés (Tab. V.2), on peut conclure que le terrain est constitué principalement d'une couche de surface représentée par des argiles limono-sableuse tendres et friables, surmontant un bed-Rock composé de marnes grises telliennes compactes.

V.4.2. Essais de laboratoire

Des essais de laboratoire ont été effectués sur des échantillons prélevés des sondages carottés réalisés dans les trois sites de glissements à différentes profondeurs.

V.4.2.1. Paramètres physiques

Les valeurs des principaux paramètres physiques mesurés pour les formations rencontrées sont représentées dans le Tableau.V.3 :

Tab.V.3. Valeurs des principaux paramètres physiques mesurés (Fondoaisl, 2010 ; S.E.T. Sétif, 2013 ; L.M.T.P.B, 2013).

Sondage	Profondeur (m)	Densité humide (γ_h)	Densité sèche (γ_d)	Teneur en eau w (%)	Degré de saturation Sr (%)
SC1	1.7-2	1.98	1.57	26.59	99.28
	2.15-2.6	1.96	1.52	28.56	100
	3-3.5	2.07	1.65	25.20	100
SC2	4.0-4.5	2.07	1.70	21.57	100
	6.0-6.4	2.00	1.57	27.79	100
	6.8-7.3	2.00	1.55	28.46	100
SC3	4.00-5.20	2.04	1.79	14.25	79
	5.50-6.00	1.93	1.65	17.26	75
	9.00-9.80	2.02	1.77	13.92	75
SC4	2.80-3.40	1.91	1.95	22.65	/
	1.60-2.20	1.56	1.76	10.59	/

❖ Interprétation des résultats

a) Teneur en eau naturelle (W) et degré de saturation(Sr) :

- La teneur en eau (W) : $10.59\% < W < 28.56\%$.

- Le degré de saturation (Sr) : $75\% < Sr < 100\%$.

De ces résultats, on peut dire que les sols rencontrés sont dans un état humide à mouillé.

b) Densité ; sèche (γ_d) et humide (γ_h) :

- Densité sèche ; (γ_d) : $1.52 < \gamma_d < 1.95$.

- Densité humide ; (γ_h) : $1.56 < \gamma_h < 2.07$.

Les valeurs des densités obtenues indiquent que nous sommes en présence d'un sol traduisant un état moyennement dense à dense.

c) Limites d'Atterberg

Les limites d'Atterberg permettent d'identifier les sols par rapport à leur consistance, ainsi que les différents états des sols à savoir : état plastique, état liquide et état solide. Les résultats des essais des limites d'Atterberg, y compris la limite de plasticité (W_P), la limite de liquidité (W_L), l'indice de plasticité (I_P) et l'indice de consistance (I_c) sont reportés dans le Tableau.V.3 :

Tab.V.3. Résultats obtenues des limites d'Atterberg.
(Fondoaïsl, 2010 ; S.E.T. Sétif, 2013 ; L.M.T.P.B, 2013).

Sondage N°	Profondeur en (m)	W_L (%)	W_P (%)	I_P (%)	I_c
SC1	3.5-3.7	34	24	10	/
SC3	4.00-5.20	52.97	25.23	27.59	1.40
	5.50-6.00	54.79	24.24	30.56	1.23
	9.00-9.80	39.12	19.80	19.80	1.27
SC4	2.80-9.80	25.43	21.16	24.07	0.94
	8.00-11.00	41	21	19	/
	20.00-21.00	33.36	18.9	20.17	/

À partir des résultats obtenus, on remarque que les valeurs de la limite de liquidité sont comprises entre 25.43% et 54.79% avec des indices de plasticité varient entre 10% et 30.56%. Ces valeurs sont reportées sur le diagramme de Casagrande (Fig.V.7).

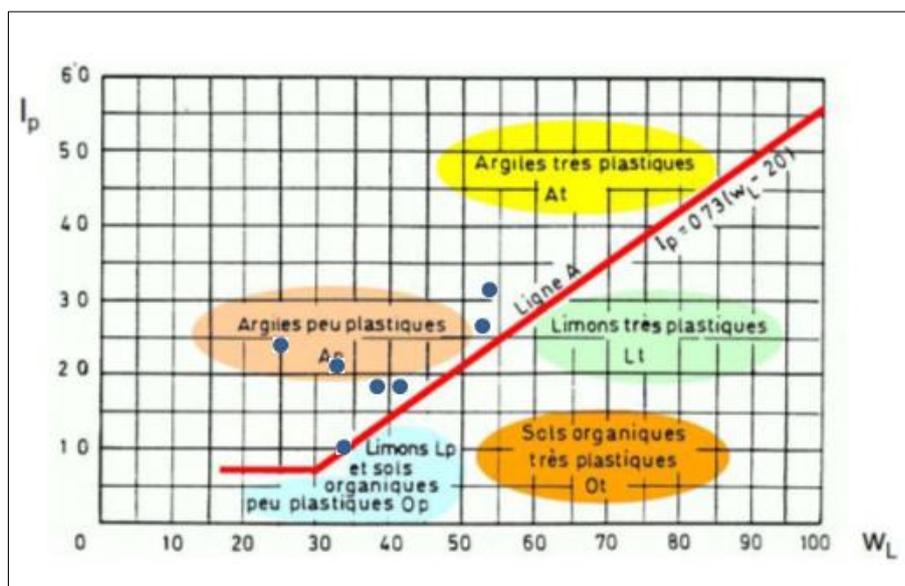


Fig.V.7. Classification des sols selon l'abaque de plasticité de Casagrande.

D'après cette classification on peut dire qu'on est en présence d'une argile peu plastique (A_P) de consistance très dure.

V.2.1.2. Les propriétés mécaniques

- **Essais de cisaillement rectiligne**

Les caractéristiques intrinsèques (c , ϕ), ont été mesurées par des essais de cisaillement rectiligne de type non-consolidé non-drainé (UU) à l'aide de la boîte de Casagrande. Les valeurs obtenues sont représentées dans le Tableau.V.5 :

Tab.V.5. Valeurs des caractéristiques intrinsèques (c) et (ϕ) mesurées (Fondoaisl, 2010 ; S.E.T. Sétif, 2013 ; L.M.T.P.B, 2013).

Sondages N°	Profondeur (m)	C (bar)	(ϕ)
SC1	2.15-2.69	0.89	9
	3.0-3.5	0.33	24
SC2	4.0-4.5	1.02	3
	6.8-7.3	0.37	23
SC3	4.00-5.20	0.31	17.72
	5.50-6.00	0.30	15.30
	9.00-9.80	0.18	14.36
SC4	2.80-3.40	0.19	4.15

D'après les résultats affichés dans le Tableau.V.5.On peut déduire ce qui suit :

- Les valeurs de la cohésion (C_{uu}) obtenues sont moyennes, et varient entre 0.18 et 1.02 ;
- L'angle de frottement interne (ϕ_{uu}) compris entre 3° et 24° caractérisant des sols argilo-sableux.

Dans l'ensemble, ces résultats caractérisent des sols cohérents, moyennement frottant avec des caractéristiques de cisaillement acceptables.

▪ Essai de compressibilité à l'œdomètre

Les résultats obtenus sont présentés dans le Tableau.V.6.

Tab.V.6. Valeurs d'essais de compressibilité (Fondoaisl, 2010 ; S.E.T. Sétif, 2013 ; L.M.T.P.B, 2013).

Sondage N°	Prof (m)	(Pc) en bars	(Cc) en %	(Cg) en %
SC2	6.0-6.8	1.6	23.93	5.35
	6.8-7.2	1.9	13.15	2.10
SC3	4.00-5.20	3.63	10.89	2.22
	9.00-9.80	4.87	27.02	4.91
SC4	2.80-3.40	6.68	30.36	3.65

Les résultats obtenues montrent que :

- L'indice de compressibilité (Cc) varie entre 10.8 % et 30.36%, ce qui confère que le sol a un caractère moyennement compressible.
- L'indice de gonflement (Cg) est varié entre 2.10% et 5.35%, ce qui permet de classer le sol dans la catégorie des sols pouvant gonfler.
- $1.6\% < P_c < 6.68\%$: d'après ces résultats. On peut dire que ces sols rangent dans la catégorie des sols sur-consolidés.

V.5. Principaux facteurs des mouvements de terrain de la commune de Djimla

Avant tout mouvement, il existe un état d'équilibre entre les différents facteurs, les causes des mouvements doivent donc être recherchées dans les variations possibles de ces facteurs. Un glissement de terrain a rarement une cause unique, c'est le plus souvent l'action conjointe de plusieurs facteurs négatifs qui le déclenche. La combinaison de plusieurs facteurs est à l'origine du déclenchement de ce mouvement de terrain tels que :

- La nature lithologique : La lithologie de la zone de Djimla est représentée par des formations essentiellement argileuses à caractère limono-sableux avec des blocs de grés reposant sur un substratum de marnes grises telliennes. Donc ce terrain est très favorable aux glissements (Fig.V.8).

- Causes d'origine naturelle : la forte pluviométrie, les eaux de ruissellement (Fig.V.8) et la couverture neigeuse, favorise elle aussi, lors de sa fonte lente l'imbibition des terrains qu'elle recouvre.

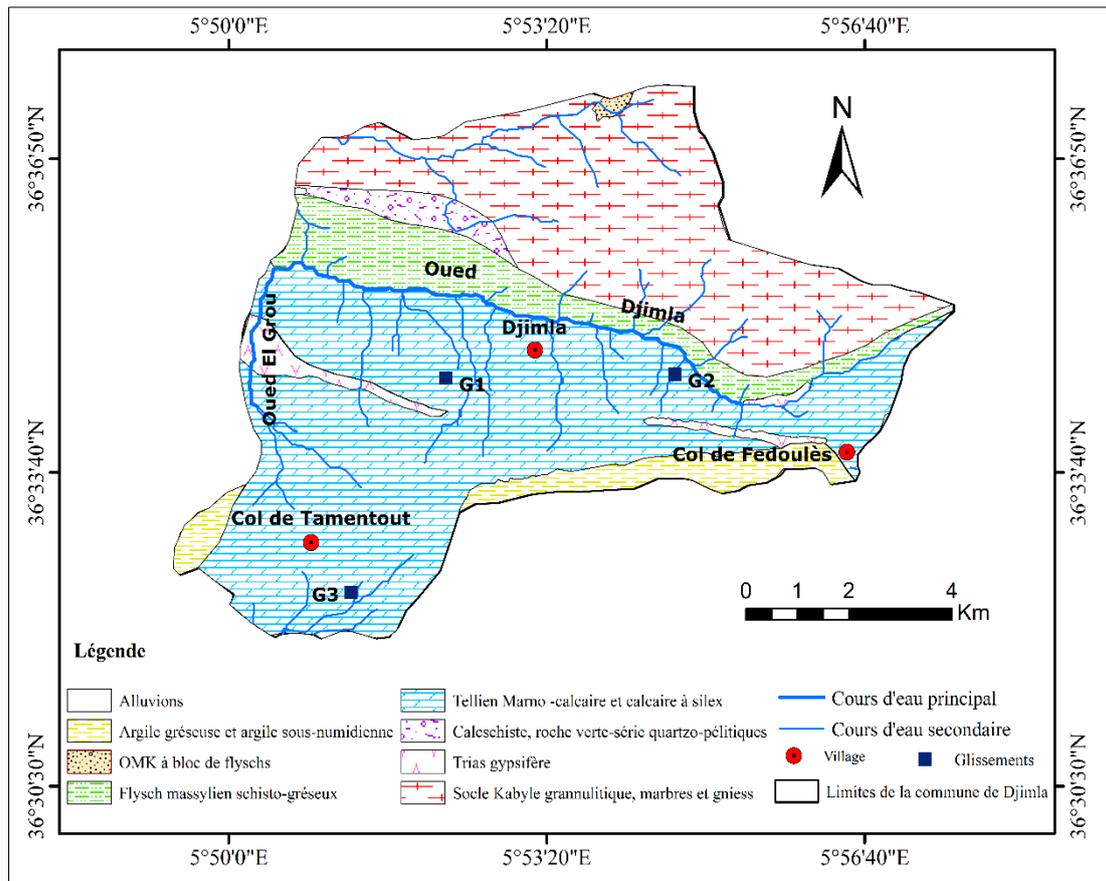


Fig.V.8. Localisation des trois glissements de terrain sur la carte lithologique et du réseau hydrographique.

- Le contexte géomorphologique : la zone étudiée présente un relief accidenté, caractérisé par des pentes moyennes à fortes orientée Nord-Sud, ce qui favorise un déplacement de terrain par gravité.

- La pente topographie : Les conditions de stabilité d'un talus étant directement liées à sa pente. La zone d'étude présente généralement une pente moyenne de l'ordre de 20% à 30%, cette dernière est supérieure à l'angle de frottement interne de la couche superficielle ($\phi = 3^{\circ}$ - 24°), c'est pour cela les trois glissements de terrain ont été enregistrés (Fig.V.9).

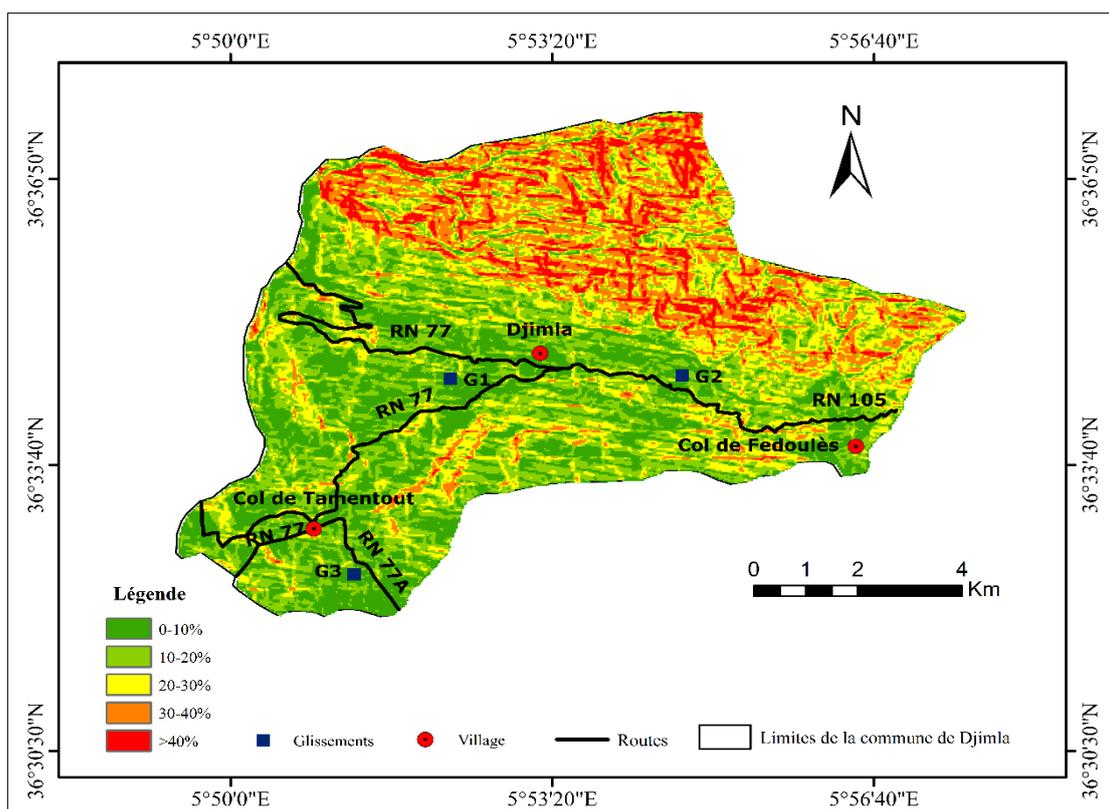


Fig.V.9. Localisation des trois glissements de terrain sur la carte des pentes obtenue.

- Accidents tectoniques : Axes principaux des zones instables (présence des failles régionaux).
- Facteurs anthropiques : Suite à des travaux de terrassements (surcharge en tête du talus déjà instable, décharge en pied supprimant une butée stabilisatrice, rejet d'eaux...etc.).

V.6. Stabilité

D'après les travaux de Chermat et al, 2013 ; Benseghier & Leknouche, 2014 et Toutou & Adjroud, 2017, le calcul de stabilité dans les trois sites choisis a été réalisé par le logiciel Géoslope, ce dernier utilise la théorie de l'équilibre limite basée sur la méthode des tranches utilisé par Fellenius, Bishop et Janbu (Tab.V.7). Les résultats des coefficients de sécurité trouvés sont regroupés dans le Tableau V.7. suivant :

Tab.V.7. Valeurs des coefficients de sécurité F_s .

Site	Méthode de calcul	F_s
Village de Djimla	Bishop	$0.77 < F_s < 0.91$
RN105 pk1+200	Fellenius	0.936
	Bishop	0.998
	Jambu	0.878

D'après les résultats obtenus, on peut dire que les terrains en question présentent des $F_s < 1$ donc l'état des talus est instable, il faut les conforter.

V.7. Conséquences

L'impact d'un glissement de terrain peut être considérable, incluant des pertes en vie humaines, la destruction des infrastructures, des dommages causés aux terres et de la perte des ressources naturelles.

- Routes détruites ou recouvertes de masse de terre (Fig.V.10).



Fig.V.10. Photo illustre les fissures au niveau des routes.

-Maisons endommagées ; arbres déracinés : perte de terrain (Fig.V.11).



Fig.V.10. Désordres enregistrés aux niveaux des Constructions.

V.8. Conclusion

Vu les résultats obtenus de l'approche SIG, et d'après l'analyse des différents facteurs d'instabilité ; voir même les indices d'instabilité marqués dans la zone de Djimla, on remarque une concordance des données avec les phénomènes de glissements enregistrés dans la région de Djimla. Donc cela signifie que le phénomène de glissement de terrain est survenu en général dans la région de Djimla.

A decorative graphic of a scroll with a light blue background and a brown-to-blue gradient. The scroll is unrolled, with the top edge curled up on the right and the bottom edge curled down on the left. The text is written in a dark blue, italicized serif font.

*Conclusion générale
et recommandations*

Conclusion générale et recommandations

Cette étude a permis de disposer rapidement d'une carte de susceptibilité, certes préliminaire, à l'échelle d'une commune (Djimla) de la wilaya de Jijel (Nord-Est Algérien), en prenant en compte les principaux facteurs de prédisposition connus et en évaluant leurs poids respectifs.

La cartographie des risques naturels (aléa glissement de terrain) permet d'avoir une idée générale sur des données régionales, ainsi que de simplifier une multitude d'informations parfois très difficile à assimiler. Les données collectées au cours de cette étude constituent une riche banque de données en différents thèmes de SIG. Ils ont été interprétés individuellement.

L'utilisation du Système d'Information Géographique permet d'ouvrir des perspectives de traitement de problèmes complexes variables dans le temps et dans l'espace.

La cartographie de la susceptibilité aux glissements de terrain est obtenue par la combinaison des cartes de répartition spatiale de différents facteurs susceptibles de provoquer une instabilité de terrain. Cette étude nous a permis de ressortir quatre (4) classes de susceptibilité : faible, modérée, élevée et très élevée.

L'étude de vérification de certains cas choisis concernant les glissements survenus sur le site de la commune de Djimla. Elle a été faite dans l'esprit de contribuer à un meilleur diagnostic de cet aléa et à l'identification des facteurs qui sont à l'origine ainsi leurs conséquences. Cette étude s'est basée sur la combinaison des données géologiques, hydrologiques et géotechniques.

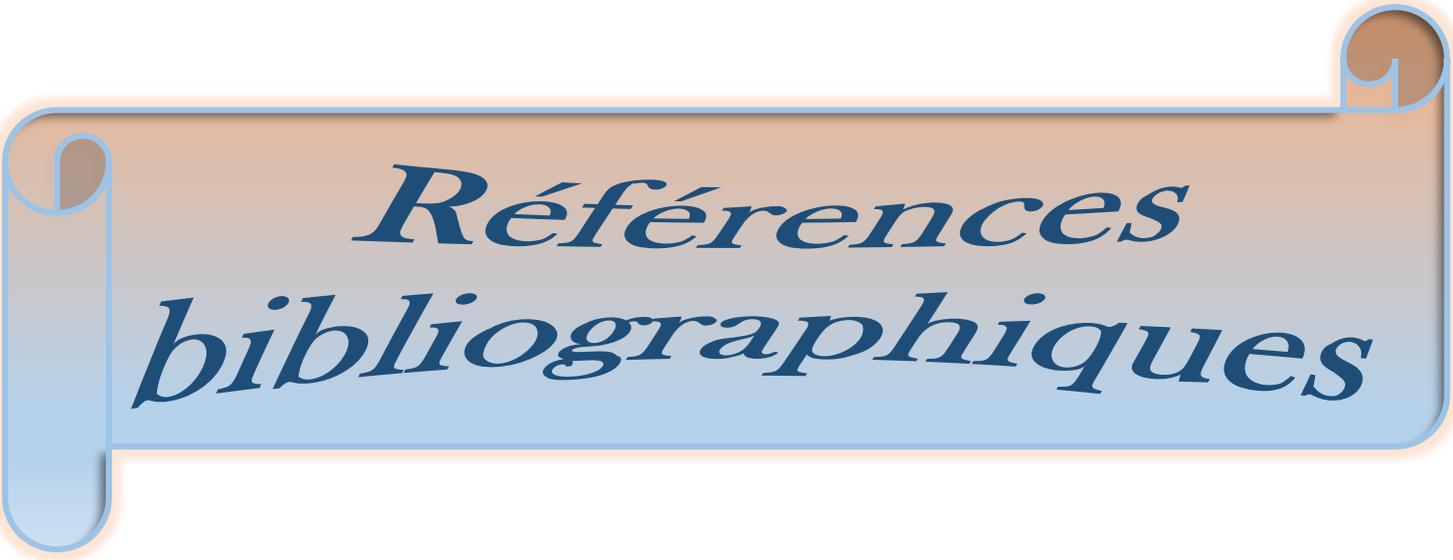
Les résultats de cette étude apparaissent comme cohérents et la méthode semble donc reproductible à large échelle vers d'autres secteurs ou régions du Sud-Est de la ville de Jijel affectés par des glissements de terrain.

Dans une perspective de l'aide à la décision, la cartographie de la susceptibilité apparaît comme un préalable indispensable à l'évaluation du risque « glissement de terrain », pouvant participer à une meilleure gestion du risque et à l'élaboration des futurs plans de prévention.

Nous recommandons :

- ✓ Déterminer le poids relatif des facteurs déterminants, dans le déclenchement des mouvements de terrains.

- ✓ Réactualisation des données de terrain du point de vue géologique, géotechnique et géophysique afin : d'examiner tous les mécanismes et les facteurs qui influencent l'instabilité ; et de confectionner des cartes d'évaluation de risques de mouvement de terrain plus précises.
- ✓ Mettre au point des outils méthodologiques rigoureux (appareillage expérimental, modèles, etc.), un système d'information géographique notamment, pour la mesure de la vulnérabilité de la région aux risque mouvements de terrain et la prévision dans le temps.
- ✓ Les données géologiques mettent en évidence que les zones instables de cette région correspondent aux zones de broyages des grands accidents tectoniques, notamment les accidents de direction E-W. Les études réalisées auparavant n'ont pas bien diagnostiqué les zones de broyage, correspondant aux axes de glissements de terrain. A ce propos, il est recommandé de faire une étude géologique et géotechnique ponctuelle de ces zones de broyage.



*Références
bibliographiques*

Références bibliographiques

- Achour Y. (2017). Cartographie des zones à risqué de glissements de terrain au voisinage de l'autoroute Est/Ouest (Algérie) dans sa partie Est entre Constantine et Azzaba et estimation des risques associés. Thèse de Doctorat. Univ Annaba, 136p.
- Bali O, Boukeras A. (2018). Etudes géotechnique de glissements de terrain a mascara. Mém de master. Univ Djilali Bounaama de Khemis Miliana, 5p.
- Bendjeddou A. (2015). Etude des glissements routiers Au Nord Est de l'Algérie. Mém de master. Univ Mohamed Khider – Biskra, 54-63p.
- Benkechkache I. (2012). Investigation de la dégradation du cadre bati sous l'effet du glissement de terrain cas de Constantine. Mém de magister. Univ Mentouri de Constantine, 16-22p.
- Benseghier H, Leknouche A. (2013-2014). Diagnostic Analyse et confortement des glissements de terrain sur la RN105 entre Djimla et Tassala-l....Mémde master. Univ Mohammed Seddik Benyahia -Jijel, 31-45p.
- Berdi I. (2017). Application d'un SIG à la cartographie de l'aléa glissements de terrain : Cas de la commune de Texenna (Nord-Est Algérien). Mém de master. Univ Mohammed Seddik Benyahia -Jijel, 28-42p.
- Besson L, Durville J, Garry G, Grasz E, Hubert T, Toulemont M. (1999). Plan de prévention des risques naturels. Risque de mouvement de terrain. Guide méthodologique. Paris, 9-16p.
- Charmat M, Mirouh L, Abdellah H. (2012-2013). Cartographie des zones instables poslet 2 de Djimla. Mém de magister. Univ Jijel, 29-50p.
- Djerbal L. (2009-2010). Dynamique d'évolution du glissement de terrain d'Ain El Hammam. Mém master. Univ Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 183p.
- Desodt C, Launay J, Horsin Molinaro H. (2017). Les glissements de terrain, modélisation et prévision. Ecole normale supérieur. Paris-Saclay, 16p.
- Djahmi K. (2012). Modélisation par code de calcul castem des glissements de terrain : cas du glissement d'Ain Senour. Mém de magister. Univ Guelma, 4p.
- Djellit H. (1987). Evolution tectono-métamorphique du socle Kabyle et polarité de mise en place des nappes de flysch en Petite Kabylie occidentale (Algérie). Thèse Doct. Univ. D'Orsay Paris, 206p.
- Dib S. (2015). Contribution à la simulation au glissement de terrain de talus de la cwo2 entre Baghlia et Nasiriya w. Boumerdes. Mém de master. ENS D'hydraulique-Arbaoui Abdellah, 91p.
- Durand Delga M. (1955). Etude géologique de l'Ouest de la chaîne Numidique. Thèse d'Etat. Paris. publ. Serv. Carte géol. Algérie, 24-533p.

- Foerster E. (2009). Vulnérabilité : état de l'art sur les concepts et méthodologies d'évaluation. BRGM/Rp -57471-Fr, 9p.
- Habert E. (2000). Qu'est-ce qu'un système d'information géographique, institut de recherche pour le développement. 2000, 13p.
- Hadji R. (2015). Cours de mécanique des sols. Univ Sétif 1, 80-88p.
- Hessas. (2005). Evaluation cartographique et évolution diachronique par télédétection du risque incendie de forêt. Simulation de la propagation du feu dans le bassin versant du Paillon, Nice, Alpes -Maritimes. Thèse Doctorat, Institut de Géographie Alpine, Université Joseph Fourier - Grenoble, France, 378 p.
- Iboukhoulé S. (2014). Etude de la dégradation du sol et du bâti sous l'effet du glissement de terrain d'Ain El Hammam. Mém de master. Univ Mouloud Mammeri De Tizi-Ouzou, 29p.
- Idoui I, Boudergui F. (2018). Contexte géologique et étude géotechnique du viaduc V.28.8sis entre PK28+8 ET PK 29+200.pénétrante autoroutière 77.Mém de Master2. Univ Jijel-Algérie, 61p.
- Kabou Y, Merad L. (2013). Etude de stabilité et de confortement de glissement de terrain de targua ouzumure (Bejaia). Mém de master. Univ Abderrahmane Mira de Bejaia, 140p.
- Kherrouba et al. (2019). Slope stability analyses and characterisations of certain landslides at Djimla, Jijel in Northwest Algeria by electrical resistivity imaging. 2nd conference of the Arabian Journal of Géosciences (CAJG). Sousse. Tunisie., 261p.
- Kherrouba H. (2008). Etude géologique et géotechnique des zones instables de la région de Texenna-Djimla, wilaya de Jijel, (Algérie). Mém de Magister. Univ Jijel. Algérie, 173p
- Maameri R, Tebboub M. (2018-2019). Apport de l'imagerie géophysique à l'étude des glissements de terrain sis au PK42+260 et PK43+050.Pénétrante autoroutière 77-région de Tamentout –Jijel (Nord Est Algérien).Mém de master. Univ Mohammed Seddik Benyahia -Jijel, 108p.
- Mezhoud L (2012). La vulnérabilité aux glissements de terrain et les enjeux dans la partie Ouest et Sud-Ouest de la ville de Constantine. Mém magister. Univ Mentouri Constantine, 40p.
- Melalli T. (2014). Utilisation d'un système d'information géographique (SIG) pour la création d'une base de données phytoécologique. Commune de Tircine, daïra d'Ouled brahim Wilaya de saida. Mém de master. Univ Abou Bakr Belkaid –Telmcen, 2-8p.
- Obert D. (1981). Etude géologique des Babors orientaux (Domaine Tellien, Algérie). Thèse de Doc. Univ de Paris, 635p.
- RPOA (2008). Règles parasismiques applicables au domaine des ouvrages d'art, Document Technique Règlementaire (DTR), Ministère des Travaux Publics, Algérie.
- Saaoui L. (2016-2017). Etude de la stabilité et de confortement d'une section de la RN 24 à Seket (Bejaia). Mém de master. Univ Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 70p.

- Sedan O, Terrier M, Hohmann A, Kobayashi H, Mathon C, Rohmer J. (2011). Scénario départementale de risque de mouvement de terrain. Méthodologie et processus de réalisation. BRGM/Rp-59065-Fr, 31p.
- Sellami S, Belamri S. (2014). Etude de stabilité et de confortement du glissement de terrain CW 16 Ait Idriss Bejaia. Mém de master. Univ Abderrahmane Mira de Bejaia, 18p.
- Soudani K. (2006). Initiation aux Systèmes d'Informations Géographiques sous ARCGIS 9. Faculté des Sciences d'Orsay. Paris, 35p.
- Taleb H. (2019). Généralités sur les glissements des terrains 43p.
- Tekkouk M. (2005). Etude de la pollution par les sulfates des eaux du bassin versant de l'oued Djen-Djen. Mém de Magister. Univ. Constantine. Algérie, 262p.
- Touitou H, Adjroud R. (2016-2017). Etude de glissement de terrain au niveau de la RN 77A du PK1+ 200 au PK1+540, Tamentout, wilaya de Jijel. Mém de master. Univ Mohammed Seddik Benyahia -Jijel, 41-52p.
- Utz S. (2013). Solifluxion dans les environnements alpins : définition, processus et morphologie. Mém de master en géographie. Univ de Lausanne, 30p
- Vila J. M. (1980). La chaîne Alpine d'Algérie orientale et des confins Algéro-Tunisiens Thèse Docte. Univ. Pierre et Marie Curie (Paris VI) ,3 vol, Paris, 663p.
- Wildi W. (1983). La chaîne tello-rifaine (Algérie, Maroc, Tunisie) : Structure, stratigraphie et évolution du Trias au Miocène. Rev. Géol. dyn. Géogr. Phys., vol.24, fasc. 3, 201-297p.

Liste des sites web

- <https://www.researchgate.net/publication/331983733>.
- <http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-57471-FR.pdf>.
- <http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-59065-FR.pdf>.
- <http://www.mementodumaire.net/wp-content/uploads/2012/03/pr%C3%A9vention-mouvement-terrain-2012.pdf>.
- <http://observatoire-regional-risques-paca.fr/article/retrait-gonflement-sols-argileux>.
- <https://d1n7iqsz6ob2ad.cloudfront.net/document/pdf/5385b4b5b79cd.pdf>.
- <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00011605/document>.
- <https://www.inc-conso.fr/content/la-realisation-detudes-geotechniques-sur-des-sols-argileux>.
- <https://iast.univ-setif.dz/documents/Cours/TD3-Bersi.pdf>.



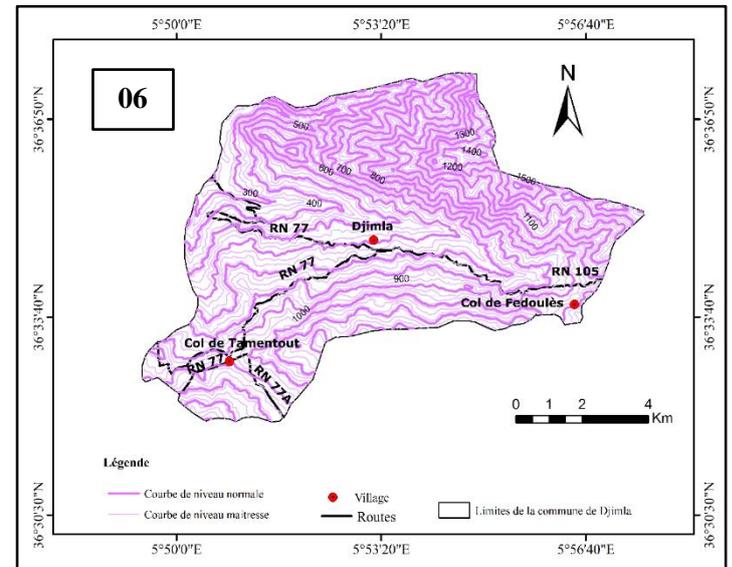
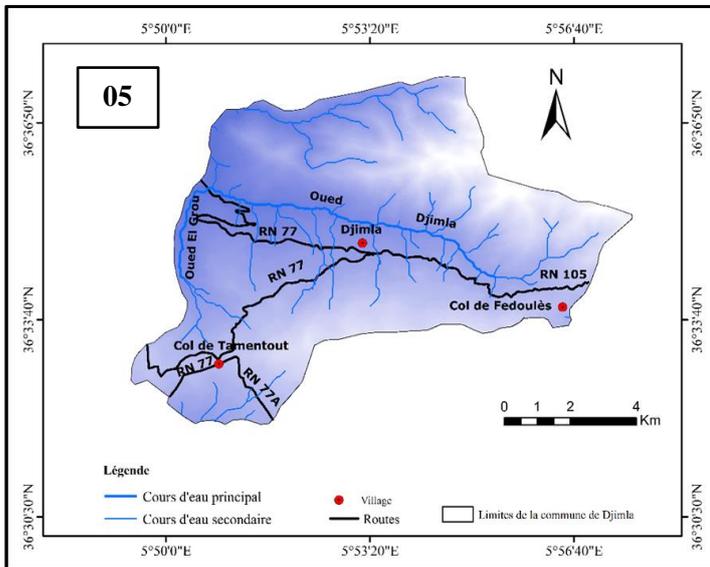
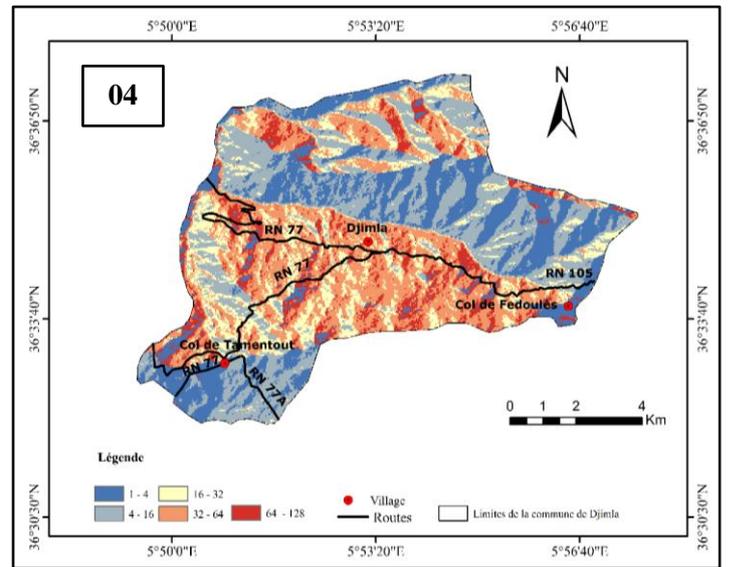
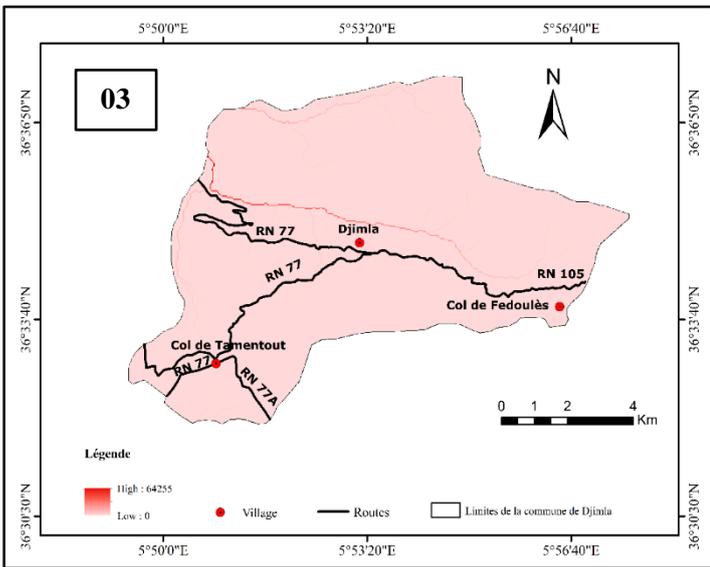
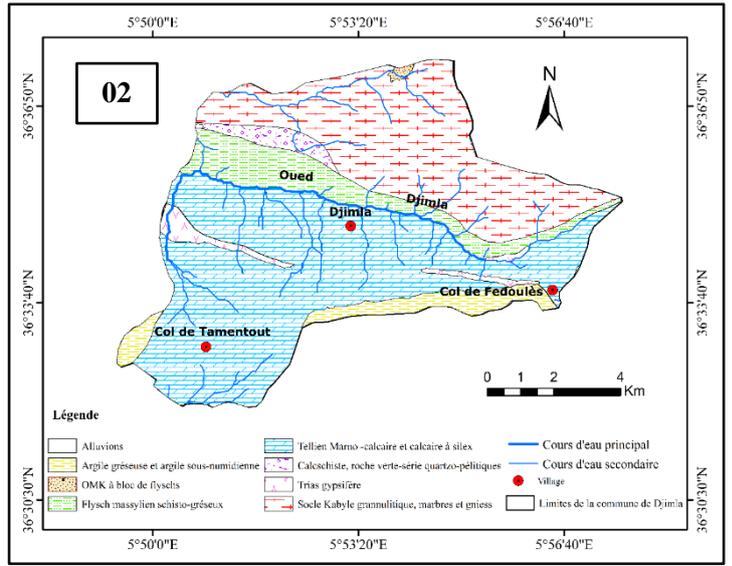
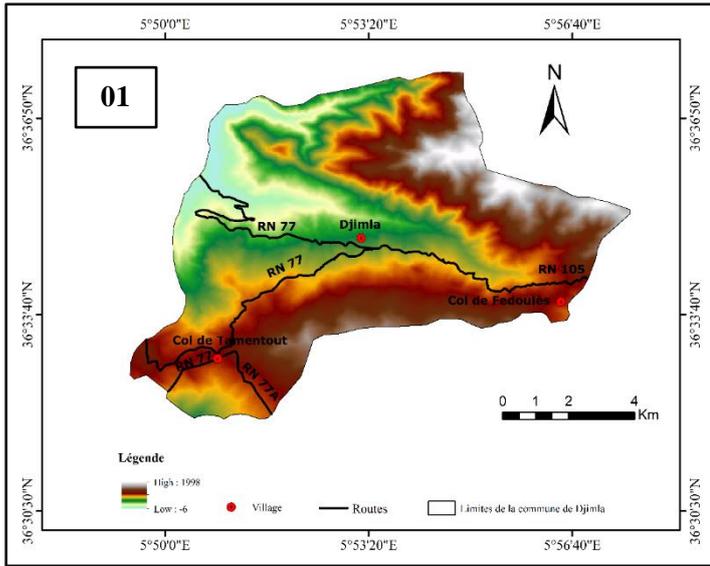
Glossaire

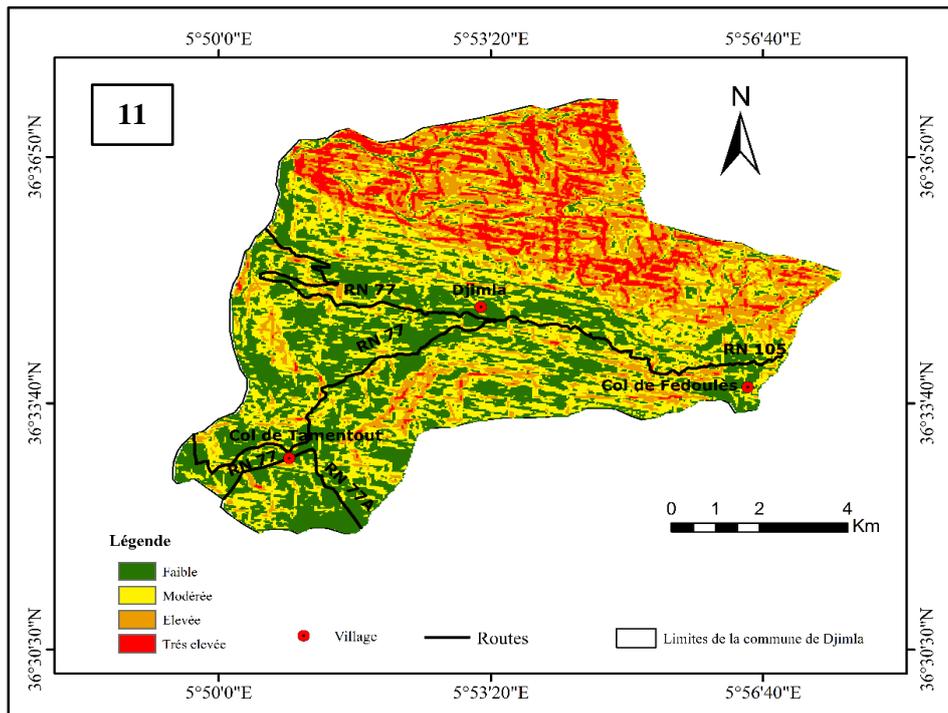
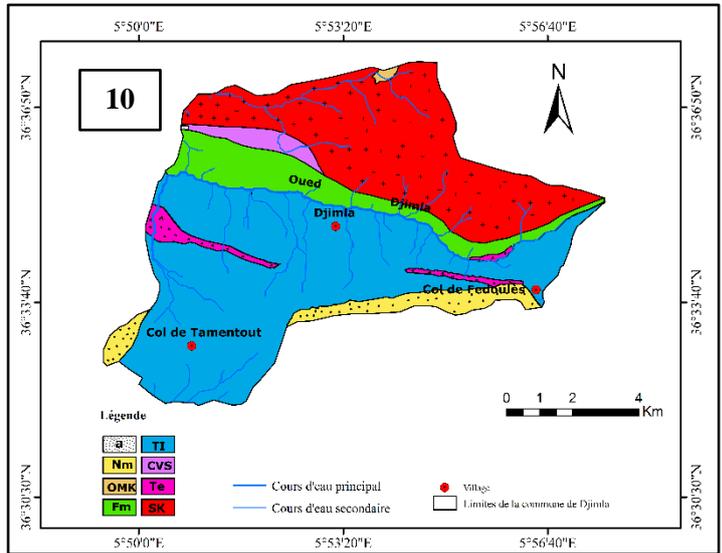
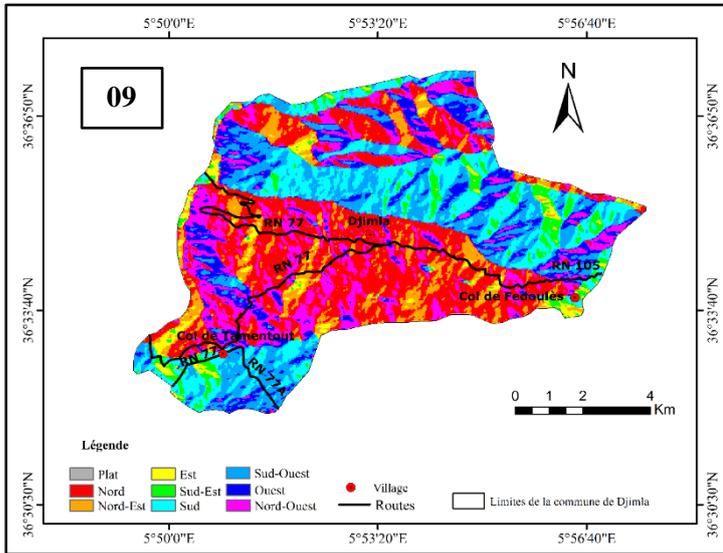
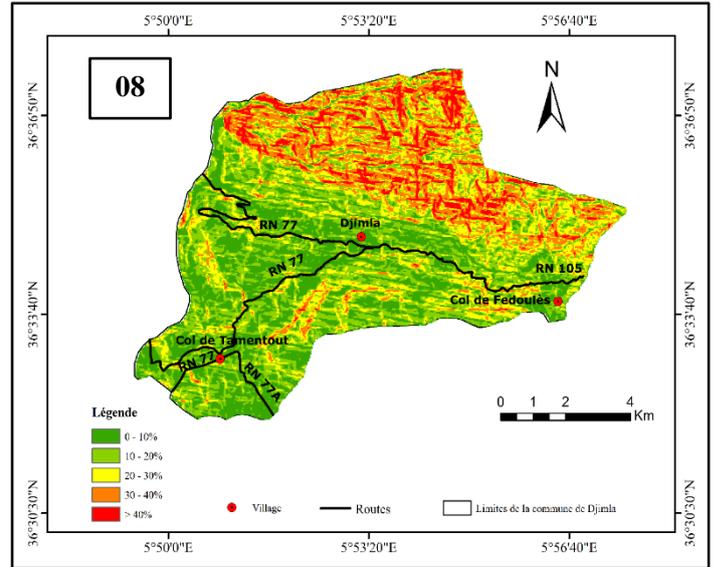
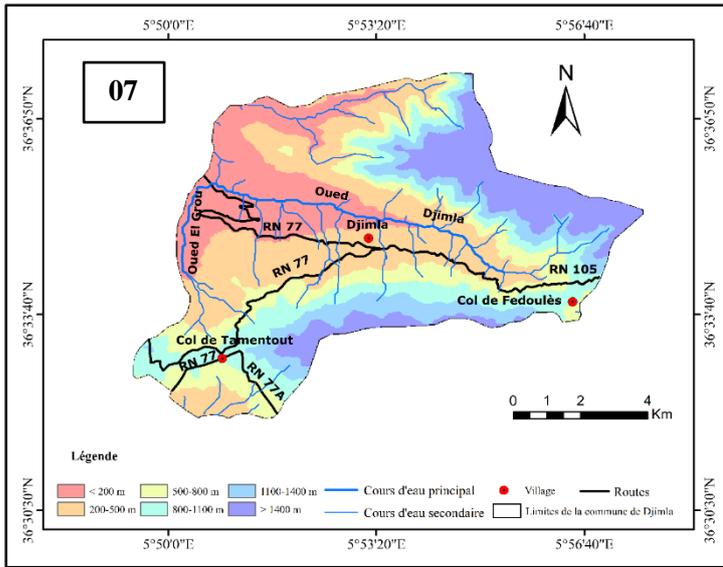
Glossaire

En préalable à la description des mouvements de terrain et plus précisément les glissements de terrains nous rappelons quelques notions des termes souvent utilisées pour les définir.

- L'aléa : est la manifestation d'un phénomène naturel d'occurrence et d'intensité donnée.
- La vulnérabilité : qui représente la prédisposition d'un ou plusieurs éléments exposés ou enjeu (infrastructure ; bâtiment ; personnes ; service.....) à être affecter, endommager ou détruit du fait de la survenue de cet évènement. (Foerster. 2009).
- Le risque : est la conséquence d'un aléa d'origine naturelle ou humaine et dont les effets peuvent mettre en jeu un grand nombre de personnes, occasionner des dégâts importants et dépasser les capacités de réaction des instances directement concernées.
- L'enjeu : est l'ensemble des personnes, des biens et des activités susceptible d'être affecté par un mouvement de terrain.
- L'intensité : un mouvement de terrain est caractérisé par plusieurs paramètres influant sur la capacité du mouvement à générer des dommages. Ces paramètres concernent la vitesse ou l'énergie cinétique du mouvement, le volume déplacé, le poids des matériaux, la profondeur de rupture, la largeur de la zone de propagation et de réception.

Cependant, aujourd'hui il n'existe pas de définition et de classification officielle décrivant les degrés d'intensité de mouvement de terrain. Par contre il est considéré que le volume et la vitesse du mouvement sont les paramètres principaux influant directement sur le niveau du dommage.





Résumé

Les glissements de terrain sont considérés comme un risque majeur à Djimla (Nord- Est Algérien), Ce travail a pour objectif de contribuer à la connaissance de ces glissements de terrain sur le plan géologique et géotechnique. Il s'agit de définir les principales causes de ces instabilités : facteurs géologiques, géomorphologiques, hydrogéologiques et géotechniques et ses conséquences.

Cette étude propose de faire une cartographie de la susceptibilité aux glissements de terrain dans la zone de Djimla. Après une procédure de calage et de validation statistique des cartes obtenues comme une combinaison de facteurs de prédisposition à l'occurrence de glissement de terrain, les résultats ont permis de réaliser une carte finale de susceptibilité aux glissements en quatre classes. Cette carte pourra constituer un document de base pour tout aménagement proposé dans le futur.

Mots-clés : Djimla, Glissements de terrain, SIG (Système d'information géographique), Cartographie de la susceptibilité aux glissements.

Abstract

Landslides are considered a major risk in Djimla (North-Est Algeria), This work aims to contribute to the knowledge of these landslides in view geological and geotechnical point. , it is to define the causes of instabilities: geological, geomorphological, hydrogeological and geotechnical factors and their consequences.

This study proposed the susceptibility mapping of landslides in Djimla region. After a calibration procedure and statistical validation of the maps obtained as a combination of predisposing factors to the occurrence of landslides, the results made it possible to produce a final map of susceptibility to landslides in four classes This map could constitute a basic document for all layout proposed in the future.

Keywords : Djimla, Landslides, GIS (Geographic Information System), Landslide Susceptibility mapping.

ملخص

تعتبر الانهيارات الأرضية من المخاطر الرئيسية في جيملة (شمال شرق الجزائر). يهدف هذا العمل الى المساهمة في معرفة هذه الانهيارات الأرضية على المستوى الجيولوجي الجيوتقني , والهدف هو تحديد الأسباب الرئيسية لعدم الاستقرار العوامل الجيولوجية والجيومرفولوجية والهيدروجيولوجية و الجيوتقنية وعواقبها.

تفترح هذه الدراسة تحديد مدى التعرض للانهيارات الأرضية في منطقة جيملة بعد اجراء المعايرة والتحقق الإحصائي للخرائط التي تم الحصول عليها كمجموعة من العوامل المؤهبة لحدوث الانهيارات الأرضية , اتاحت النتائج خريطة نهائية لقابلية التعرض للانهيارات الأرضية في أربع فئات. يمكن ان تشكل هذه الخريطة وثيقة أساسية لاي تهيئة مقترحة في المستقبل.

الكلمات المفتاحية : جيملة , الانهيارات الأرضية , نظم المعلومات الجغرافية , رسم خرائط القابلية