

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

**Contribution de la tomographie géophysique à la caractérisation de quelques
glissements de terrain survenus lors de la réalisation de la pénétrante autoroutière,
Wilaya de Jijel (Nord-Est Algérien).**

Membres de Jury :

Président : Mr. S.Mahdid

Examineur : M^{me} N.Bouroudi

Encadrant : M^{elle} H.Kherrouba

Présenté par:

Mokhnache Chahrazed

Mettai Souaâd

Année Universitaire 2020-2021

Numéro d'ordre (bibliothèque) :

Remerciements

Nos premiers remerciements vont à ALLAH SOUBHANOU WA TAALA le tout puissant pour nous avoir donné, la volonté, la santé, le courage et la patience pour réaliser ce travail.

Nos remerciements s'adressent tout particulièrement à notre promotrice Mme **Kherrouba Hassiba** d'avoir accepté de nous encadrer et pour ses efforts et ses conseils précieux tous au long de ce travail.

Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements aux membres du jury, qui ont accepté d'évaluer ce travail. Merci à Mr. **Mahdid Souhil** d'avoir accepté de présider le jury de soutenance. Merci également à Mme **Bouroudi Nihad** d'avoir accepté d'examiner notre mémoire et de faire partie de nos jurys.

Nous adressons nos sincères remerciements à tous les enseignants du département des Sciences de la Terre et de l'Univers de l'Université de Jijel ainsi que les administrateurs, intervenants et toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont guidé nos réflexions et ont accepté à me rencontrer et répondre à mes questions durant notre cycle.

Un merci tout spécial à Monsieur **Baz Abdenour** le chef du projet de la pénétrante autoroutière Djen-Djen_El-Eulma, et tous les ingénieurs de l'Agence Nationale des Autoroutes pour leurs impulsions, leurs suggestions, et leur gentillesse et collaboration, se sont manifesté Jusqu'au dernier instant.

Un merci tout spécial à Monsieur le maître d'ouvrage **Bouguerroudja Yacine**.

Nos remerciements vont aussi à tous les ingénieurs d'entreprises : **Rezzani de Eccher** chacun à son nom spécialement **Bouabdallah.Naim**.

Nous tenons également à remercier tout le personnel de l'ANRH (Agence Nationale des Ressources Hydrauliques).

Un grand merci à nos parents pour leur soutien moral et matériel.

À tous nos amis et collègues de notre promotion Master GIG 2021 et à tous ceux qui nous ont aidé et encouragé à la réalisation de ce travail et nous ont soutenu quand le moral était au plus bas.

Nous tenons à remercier toutes les personnes qui nous ont aidés de près ou de loin pour la réalisation de ce travail.



Dédicace



Au nom du Dieu, J'ai le grand plaisir de dédier ce modeste travail :

À ceux qui m'ont donnés la vie et que ma vie n'est rien sans eux,

*À mon très cher père **Mahdi** pour ses encouragements, son soutien, surtout pour son amour et sacrifice pour que rien n'entrave le déroulement de mes études.*

*À ma chère mère **Massouada**, qui m'a donnée toujours l'espoir de vivre et qui n'a jamais cessé de prier pour moi.*

*Que **ALLAH**, le tout puissant, vous préserve et de procure santé et longue vie.*

Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel, Je vous remercie pour tous le soutien moral et matériel, l'amour que vous me portez depuis mon enfance, j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours, je souhaite seulement qu'Allah me les garde et je n'oublierais jamais ce que vous avez fait pour moi pour devenir ce que je suis aujourd'hui.

*À Mes chères adorables sœurs : **Fatim Zohra, Amina** et sa famille, **Salima, Djamilia** et **Zineb** qui m'ont données l'envie d'aller en avant, leurs soutien et encouragements me donnent toujours la force de continuer, je souhaite qu'Allah me les garde.*

*À Mes chères adorables frères : **Abd Albaki** et sa famille, **Abd Alatif** et sa fiancé **Wissam, Yassine** et **Lokmane** pour leurs soutien et fidélité. Je les souhaite de tout mon cœur qu'ils seront heureux dans leurs vies.*

*À ma chère amie et collègue de ce mémoire: **Souaâd**.*

*À toutes mes amies et collègues chacune à leur nom surtout : **Samiha, Sana, Soumia, Ibtissam, Liela, Ghada, Karima, Sara, Ines, Selma** et **Rania**, je les remercie pour les moments inoubliables que nous avons partagés ensemble.*

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

*Aux collègues des autres spécialités **RMG** et **Hydro** (Promotion 2021).*

À tous ceux qui sont chers et proches de mon cœur.

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.

Chahrazed





Dédicace

Au nom du Dieu, J'ai le grand plaisir de dédie ce modeste travail :

*À mes très chers parents, **Mehieddine** et **Safia***

Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel, Je vous remercie pour tous le soutien moral et matériel, l'amour que vous me portez depuis mon enfance, j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours, je souhaite seulement qu'Allah me les garde et je n'oublierais jamais ce que vous avez fait pour moi pour devenir ce que je suis aujourd'hui.

*À mes très chers sœurs et frères : **Amel, Ahlam, Soulaf, Ilyes, Haytem, Mouhamed**, qui ont toujours été là pour moi.*

*À mon fiancé **Anis.B**, mon soutien moral et source de joie et bonheur, je le remercie pour l'encouragement et l'aide qu'il m'a toujours accordé.*

*À tous les membres de la famille **Mettai** et **Benabied**, petite et grande.*

*À ma chère amie et collègue de ce mémoire : **Chahrazed**.*

*À mes cousines et meilleures amies : **Ghada** et **Nouria**.*

*À toutes mes amies et collègues chacune à leur nom surtout : **Samihha, Soumia, Ibtissem, Ghada, Sana, Leila, Faten, Asma, Karima, Ines, Selma** et **Rania**, je les remercie pour les moments inoubliables que nous avons partagés ensemble.*

*Sans oublier la merveilleuse sœur **Djellit Yasmina**, qui m'a accompagné tout au long de mon parcours universitaire, je la remercie pour ses encouragements et conseils.*

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

*Aux collègues des autres spécialités **RMG** et **Hydro** (Promotion 2021).*

À tous ceux qui sont chers et proches de mon cœur.

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.

Souaâd



Résumé

Les glissements de terrain sont des phénomènes complexes dont l'étude nécessite une approche multidisciplinaire basée sur un large éventail d'observations incluant la cartographie géologique et géomorphologique, les investigations géotechniques et géophysiques. Ces dernières années, l'application des méthodes géophysiques (sismiques, tomographie de résistivité électrique...etc.) aux études de glissements de terrain a considérablement évolué.

Ce travail a pour objectif l'étude de deux glissements de terrain dans la région de Tamentout située au Sud-Est de la ville de Jijel au niveau des PK43+050 et 44+500. Du point de vue géologique ces terrains appartiennent au domaine tellien, sont représentés par des marnes d'âge sénonien surmontées en discordance par les formations du flysch numidien d'âge Aquitano-Burdigalien avec une pente topographique variant de 10 à 15°. L'approche géophysique consiste à traiter des données géophysiques disponibles de résistivité électrique en exploitant ces données sous forme d'images électriques du sol. Cette approche géophysique a pour but de caractériser la structure interne, l'état hydrique de la masse en mouvement, et la profondeur de la rupture associée à ces glissements de terrain.

Les résultats de la tomographie électrique, couplés aux données de campagne de reconnaissances géologique et géotechnique montrent une très bonne corrélation de la structure des glissements de terrain étudiés. La localisation précise de la profondeur de la zone de cisaillement est d'une importance capitale pour mener à bien les travaux de confortement de cette zone instable.

Mots-clés : Tamentout, glissement de terrain, Tomographie de résistivité électrique (ERT), géotechnique.

Abstract

Landslides are complex phenomena whose study requires a multidisciplinary approach based on a wide range of observations including geological and geomorphological mapping, geotechnical and geophysical investigations. In recent years, the application of geophysical methods (seismic, electrical resistivity tomography, etc.) to landslide studies has evolved considerably.

This work aims to study two landslides in the Tamentout region located south-east of the city of Jijel at the level of PK43 + 050 and 44 + 500. From a geological point of view these lands belong to the Tellian domain, are represented by marls of Senonian age surmounted in discordance by the formations of the Numidian flysch of Aquitano-Burdigalian age with a topographic slope varying from 10 to 15 °. The geophysical approach consists of processing available geophysical data of electrical resistivity by exploiting this data in the form of electrical images of the ground. This geophysical approach aims to characterize the internal structure, the water state of the moving mass, and the depth of the rupture associated with these landslides.

The results of electrical tomography, coupled with data from geological and geotechnical surveys, show a very good correlation of the structure of the landslides studied. The precise location of the depth of the shear zone is of paramount importance for the successful completion of work to reinforce this unstable zone.

Keywords: Tamentout, landslide, Electrical resistivity tomography (ERT), geotechnical.

ملخص

الانهيارات الأرضية هي ظاهرة معقدة تتطلب دراستها نهجًا متعدد التخصصات يعتمد على مجموعة واسعة من الملاحظات بما في ذلك رسم الخرائط الجيولوجية والجيومورفولوجية والتحقيقات الجيوتقنية والجيوفيزيائية. في السنوات الأخيرة ، تطور تطبيق الأساليب الجيوفيزيائية (التصوير المقطعي بالمقاومة الزلزالية والكهربائية ، وما إلى ذلك) في دراسات الانهيارات الأرضية بشكل كبير.

يهدف هذا العمل الى دراسة اثنين من الانهيارات الأرضية في منطقة تامنتوت الواقعة في الجنوب الشرقي من مدينة جيجل في PK43 + 050 و PK 44 + 500 . من الناحية الجيولوجية تنتمي هذه الأراضي إلى مجال Tellian ، ويمثلها المارل السنيوني تعلوه تكوينات flysch النوميدي بشكل غير متوافق إضافة الى منحدر طوبوغرافي يتراوح من 10 إلى 15 درجة. يتمثل النهج الجيوفيزيائي في معالجة البيانات الجيوفيزيائية المتاحة عن المقاومة الكهربائية عن طريق استغلال هذه البيانات في شكل صور كهربائية للأرض. يهدف هذا النهج الجيوفيزيائي إلى توصيف البنية الداخلية ، ومحتويات الماء في الكتلة المتحركة ، وعمق التمزق المرتبط بهذه الانهيارات الأرضية.

تُظهر نتائج التصوير المقطعي الكهربائي ، إلى جانب بيانات الاستطلاع الجيولوجي والجيوتقني المصاحب ، وجود علاقة جيدة جدًا ببنية الانهيارات الأرضية المدروسة. يعد الموقع الدقيق لعمق منطقة القص ذا أهمية قصوى لإنجاز الأعمال بنجاح لتعزيز هذه المنطقة غير المستقرة.

الكلمات المفتاحية

تامنتوت ، الانهيار الأرضي ، التصوير المقطعي بالمقاومة الكهربائية ، جيوتقني.

Table des matières

Remerciements	
Dédicaces	
Résumé.....	i
Abstract	ii
ملخص.....	iii
Table de matières	iv
Liste des Figures	iv
Liste des Tableaux	vii
Introduction générale.....	1

Chapitre I : Synthèse bibliographique

I.1. Introduction.....	3
I.2. Mouvements et instabilités de terrain.....	3
I.2.1. Définition des mouvements de terrain	3
I.2.2. Classification des mouvements de terrain	3
I.2.2.1. Mouvements rapides et discontinus.	4
a) Effondrements.....	4
b) Eboulement, chutes de blocs et de pierres	5
I.2.2.2. Mouvements lents et continus	6
a) Affaissement	6
b) Fluage	6
c) Glissements de terrain	7
I.3. Processus du glissement de terrain	8
I.3.1. Principaux facteurs du glissement de terrain	8
I.3.1.1. Facteurs Prédispositions.....	8
a) Géologiques	8
b) Morphologie (pente).....	8
c) Hydrologie	8
d) Végétation	8
e) Contexte climatique.....	9
f) Action de l'homme	9

I.3.1.2. Facteurs préparatoires et déclenchant	9
a) Précipitations.....	9
b) Sismicité/Vibrations	9
c) Climat (causes thermique)	9
I.3.2. Types des glissements de terrain.....	10
I.3.2.1. Glissement plan	10
I.3.2.2. Glissement rotationnel ou circulaire.	11
I.3.2.3. Glissement complexe	11
I.4. Classification des glissements de terrain	12
I.4.1. Selon la vitesse.....	12
I.4.1.1. Glissement de terrain permanent	12
I.4.1.2. Glissement de terrain spontané.....	12
I.4.2. Selon la profondeur.....	13
I.4.2.1. Glissement superficiel.....	13
I.4.2.2. Glissement semi-profond.....	13
I.4.2.3. Glissement profond	13
I.5. Différentes méthodes de calcul.....	13
I.5.1. Méthode analytique : l'équilibre limite	14
I.5.1.1. Méthode de Fellenius (1927).....	14
I.5.1.2. Méthode de Bishop (1955)	14
I.5.1.3. Méthodes simplifiée de Janbu et al. (1956)	14
I.7. Conclusion	15

Chapitre II : Contexte géographique et géologique la zone d'étude

II.1. Introduction	16
II.2. Généralités sur la zone d'étude	16
II.2.1. Situation géographique de la région étudiée.....	16
II.2.2. Aperçu climatique	18
II.2.3. Orographie	18
II.2.4. Morphologie.....	19
II.2.5. Réseau hydrographique	19
II.2.6. Végétation	20
II.3. Les grands ensembles géologiques de la région de Texenna et environs.....	20

II.4. Les grands ensembles géologiques de la région de Djimla et environs	22
II.4.1. Description des formations lithologiques de la région de Djimla	24
II.4.1.1. Les formations quaternaires	24
II.4.1.2. Les formations du flysch numidien.....	24
II.4.1.3. Les formations du flysch Massylien	25
II.4.1.4. La série Tellienn.....	25
II.4.1.5. Les formations du Trias	27
II.4.1.6. Les formations du socle Kabyle.....	27
II.5. Aspect Morpho-structural de la région de Djimla-Tamentout	28
II.6. Sismicité	28
II.6.1. Règles parasismiques Algériennes (RPA)	28
II.7. Conclusion	30

Chapitre III : Synthèse hydroclimatologique

III.1. Introduction	31
III.2 Analyse des paramètres climatiques.....	31
III.2.1. Précipitations	32
III.2.1.1. Précipitations liquides	32
a) Estimation des précipitations à partir des données des stations pluviométriques	32
b) Estimation des précipitations moyennes mensuelles.....	34
III.2.2. Températures	35
III.2.3. Diagramme Ombrothermique.....	36
III.2.4. Bilan hydrologique.....	37
III.2.4.1. Evapotranspiration potentielle ou ETP	38
III.2.4.2. Évapotranspiration réelle ou ETR	39
III.2.4.3. Estimation du ruissellement et de l'infiltration	41
a) Ruissellement.....	42
b) Infiltration	42
III.3. Conclusion.....	43

Chapitre IV : Reconnaissances géophysiques

IV.1. Introduction.....	44
IV.2. Prospection géophysique par méthodes électrique et sismique.....	44
IV.2.1. Prospection électrique.....	44
IV.2.1.1. La résistivité électrique	45
IV.2.1.2. Les facteurs influant sur la résistivité électrique	45
a) La porosité	45
b) La teneur en eau... ..	46
c) Présence de la fraction argileuse	45
IV.2.1.3. Principe et acquisition de l'imagerie électrique	47
IV.2.1.4. Procédure	47
a) Protocole de mesure	47
IV.2.1.5. Les différentes configurations	48
a) La configuration Schlumberger	48
b) Configuration de Wenner	49
IV.2.1.6. Interprétation de données en tomographie électrique	50
a) Définition d'une pseudo-section.....	50
b) Modèle d'inversion.....	50
c) Pseudo-section calculée.....	51
IV.2.2. Prospection sismiques.....	52
IV.2.2.1. Tomographie sismique.....	52
IV.3. Conclusion	53

Chapitre V : Auscultation géophysique et géotechnique

V.1. Introduction	54
V.2. Description et causes des glissements de terrain étudiés	54
V.3. Matériels et méthodes	56
V.3.1. Méthode Géotechnique	56
V.3.1.1. Essai in-situ... ..	56
a) Sondages carottés.....	56
b) Niveau piézométrique.....	58
V.3.1.2. Essais de laboratoire	59
a) Essais physiques	59
b) Limites d'Atterberg	60

c) Essais mécaniques.....	62
V.4. Approche géophysique	63
V.4.1. Matériel utilisé.....	63
V.4.5. Résultats et Discussion	65
V.4.5.1. Interprétation des résultats des profils de l'imagerie électrique	65
V.4.5.2. Interprétation des résultats des profils de la tomographie sismique	68
V.4.6. Identification des surfaces de rupture	70
V.4.7. Comparaison des résultats obtenus par les deux méthodes	73
V.5. Conclusion.....	74
Conclusion générale.....	75
Références Bibliographiques	

Listes des figures

Fig.I.1. Différents types de mouvements de terrain (Gilles & Pierre, 1998).....	4
Fig.I.2. Schéma Explicatif des phénomènes : Effondrements des cavités souterraines (Bacou et al.).....	5
Fig.I.3. Schéma Explicatif des phénomènes : éboulements, chutes de blocs et de pierres.....	5
Fig.I.4. Affaissement lié à une exploitation ancienne avec un recouvrement d'une centaine de mètre, (Temoum, 2013).....	6
Fig.I.5. Le phénomène de fluage (Desodt et al, 2017).....	7
Fig.I.6. Élément morphologique du glissement de terrain (Cheriguene, 2015).....	7
Fig.I.7. Principaux facteurs du glissement de terrain (SSGm, 2002).....	10
Fig.I.8. Types des glissements de terrain.....	10
Fig.I.9. Glissement plan (Desodt, 2017).....	11
Fig.I.10. Schématisation du phénomène de glissement circulaire(a)avant activation(b) après activation (Launay et al, 2017).....	11
Fig.I.11. Glissement rotationnel complexe (Gilles & Pierre, 1998), (Philipponnat & Bertrand, 2003).....	12
Fig.II.1. Situation géographique de la commune de Djimla.....	17
Fig.II.2. Situation géographique des sites d'étude (extrait de la carte topographique NJ_31_VI_44 Ouest Texenna 1/25000).....	17
Fig.II.3. Carte pluviométrique de la wilaya de Jijel A.N.R.H (1996).....	18
Fig.II.4. Carte présente l'orographie de la région de Jijel.....	19
Fig.II.5. Réseau hydrographique de la region de Djimla (Kherrouba, 2019).....	20
Fig.II.6. Coupe géologique des unités alpines de la Petite Kabylie-région de Jijel.....	21
Fig.II.7. Carte géologique de la région étudiée.....	21
Fig.II.8. Répartition en (%) des différentes formations géologiques de la région d'étude.....	22
Fig.II.9. Carte géologique de la région de Djimla.....	23
Fig.II.10. Coupe géologique N-S de la région de Djimla (Kherrouba, 2019).....	23
Fig.II.11. Photo illustrant des formations numidiennes le long de la RN77A au Sud du village de Djimla.....	25
Fig.II.12. Colonne lithologique des formations telliennes (Djellit, 2014).....	26
Fig.II.13. Photo illustrant des formations triasiques à gypse au niveau l'oued Djimla.....	27
Fig.II.14. Carte sismique d'Algérie selon le RPA (Version 2003).....	29
Fig.III.1. Courbes exprimants les moyennes mensuelles des précipitations	

[Stations du barrage El-Agrem (2002-2018), et du col de Fedoulès, (2004-2015)].....	33
Fig. III.2. Répartition saisonnière de la pluie enregistrée à [(Station du barrage El-Agrem période (2002-2018) et Station du col de Fedoulès période (2004-2015))].....	34
Fig. III.3. Distribution des températures moyennes mensuelles (Station du barrage El-Agrem, période 2002-2018).....	36
Fig.III.4. Diagramme ombrothermique (Station du barrage El-Agrem, période 2002-2018)...	37
Fig.III.5. Bilan hydrologique par la méthode de Thornthwaite.....	41
Fig.IV.1. Dispositif des électrodes pour la prospection électrique sur un terrain homogène (C1, C2, P1 et P2). (Hebbache, 2017).....	44
Fig.IV.2. Résistivité électrique de différents minéraux, roches et liquides. (Telford et al. 1976 ; Palacky, 1988; Reynolds, 2011).....	45
Fig.IV.3. Dispositif de mesure de tomographie électrique. L'image obtenue après l'inversion correspond à une tomographie électrique 2D (Aning, 2012, modifié).....	47
Fig.IV.4. Illustration de la technique tomographique.....	48
Fig.IV.5. Configuration de Schlumberger.....	48
Fig.IV.6. Configuration de Wenner.....	49
Fig.IV.7. Carte de pseudo-section.....	50
Fig.IV.8. Modèle d'inversion.....	51
Fig.IV.9. Pseudo-section calculée.....	51
Fig.V.1. Dégradations observées au niveau du site d'étude.....	55
Fig.V.2. Localisation des glissements de terrain étudiés sur la carte des pentes de a zone étudiée.....	56
Fig.V.3. Coupe lithologique au niveau e la zone étudiée.....	58
Fig.V.4. Classification des sols selon l'abaque de plasticité de Casagrande.....	61
Fig.V.5. matériels utilisés.....	64
Fig.V.6. Implantation de profils électriques, sismiques et les sondages verticaux.....	65
Fig.V.7. Implantation de profils électriques, sismiques et les sondages verticaux.....	65
Fig.V.8. Pseudo-section au niveau du PK43.....	66
Fig.V.9. Pseudo-section au niveau du PK44.....	68
Fig.V.10a. Profil d'imagerie sismique (PK43).....	69
Fig.V.10b. profils d'imagerie sismique (PK44).....	70
Fig.V.11. Identification des surfaces de glissement (PK43+050).....	71
Fig.V.12. Identification des surfaces de glissement (PK44+500).....	73

Liste des Tableaux

Tab.I.1. Classification selon l'activité (en fonction de la vitesse moyenne de glissement) (Benouis, 2010).....	15
Tab. I.2. Classification d'après la profondeur de la surface de glissement (Doumi, 2016)....	16
Tab.II.1. Coefficient d'accélération de zone A (RPOA 2008).....	30
Tab.III.1.Caractéristiques des stations pluviométriques voisines de la région d'étude (ANRH, 2018).....	31
Tab.III.2. Moyennes mensuelles des précipitations (Station du barrage El-Agrem, période, 2002-2018).....	32
Tab.III.3. Moyennes mensuelles des précipitations (Station du col de Fedoulès, période, 2004-2015).....	32
Tab.III.4. Taux des précipitations saisonnières en (mm) et en (%) [Station du barrage El-Agrem, période, (2002-2018) et du col de Fedoulès période, (2004-2015)].....	33
Tab.III.5. Distribution des températures moyennes mensuelles et saisonnières (Station du barrage El-Agrem, période 2002-2018).....	35
Tab.III.6. Données moyennes mensuelles des précipitations et des températures (Station du barrage El-Agrem, période 2002-2018).....	36
Tab.III.7. Valeurs de l'ETP calculées par la formule de Thornthwaite (Station du barrage El-Agrem, période 2002-2018).....	39
Tab.III.8. Résultats de calcul de l'évapotranspiration réelle selon Thornthwaite (Station du barrage El-Agrem, période 2002/2018).....	40
Tab.IV.1. les différentes configurations (Bouali & Saïb, 2018).....	49
Tab.IV.2. Les gammes de Vitesses des ondes P et S.....	53
Tab.V.1. Résultats des sondages carottés (Rizzani De Eccher, 2017).....	57
Tab.V.2. Résultats de niveau piézométrique mesurés (Rizzani De Eccher, 2017).....	58
Tab.V.3. Caractéristiques physiques des sols (L.C.T.P, 2015).....	60
Tab.V.4. Résultats des essais de limites d'Atterberg (Rizzani De Eccher, 2017).....	60
Tab.V.5. Résultats des essais œdométriques (Rizzani De Eccher, 2017).....	62
Tab.V.6. Résultats des essais de cisaillement (UU), (Rizzani De Eccher, 2017).....	63

Introduction

Générale

Introduction Générale

Les glissements de terrain sont des phénomènes géologiques complexes qui peuvent avoir des conséquences socio-économiques considérables. L'investigation de ce phénomène nécessite une approche multidisciplinaire. Les déformations internes générées par les mouvements peuvent provoquer des changements dans les paramètres géophysiques, d'où les techniques géophysiques sont l'une des approches utilisées pour mesurer les paramètres physiques liées directement ou indirectement avec les caractéristiques lithologiques, hydrogéologiques ou géotechniques. Ces techniques fournissent des informations intégrées sur un plus grand volume de sol surmontant ainsi la caractéristique à l'échelle des points des mesures géotechniques classiques. Parmi les techniques géophysiques in-situ, la tomographie de résistivité électrique (ERT), qui est de plus en plus utilisée pour les enquêtes sur les glissements de terrain. Cette technique est basée sur la mesure de la résistivité électrique et peut fournir des images 2D et 3D de sa distribution dans le sous-sol.

Les méthodes non intrusives de la géophysique, telles que la tomographie électrique, sont plus adaptées à l'étude structurale des glissements de terrain, et à la compréhension de leurs mécanismes internes de déformation et de rupture. La résistivité électrique est un paramètre qui expose des valeurs très variées, elle est influencée par différents facteurs à savoir la minéralogie, plus particulièrement la fraction argileuse, la teneur en eau et sa conductivité et l'altération et fissuration de la roche, ce qui explique sa large utilisation dans l'investigation des glissements de terrain.

Les Glissements de terrain sont très répandus dans la région de Jijel, en raison de la morphologie difficile de ses reliefs et de la complexité géologique, ainsi que ses conditions climatiques. Tous ces paramètres sont à l'origine des instabilités de terrain de tous types. Parmi les glissements de terrain dans la région de Jijel, il y a ceux de Tamentout (Sud-Est de la ville de Jijel).

Ce mémoire présente les résultats d'une investigation géophysique par tomographie de résistivité électrique (ERT) réalisée sur la zone des deux glissements de terrain localisés au niveau des PK43+050 et 44+500 (Tamentout) de la pénétrante autoroutière Djendjen-El-Eulma, wilaya de Jijel pour obtenir des informations géophysiques sur les matériaux impliqués dans le mouvement, pour améliorer la connaissance du cadre géologique et de caractériser la géométrie de cette portion de glissement de terrain. A travers ce travail, nous mettrons en évidence l'intérêt

de la combinaison des résultats obtenus par les études géologiques, géotechniques, et la tomographie électrique réalisés au niveau du site investigué.

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

- Introduction générale ;
- Chapitre I : porte sur des généralités sur les mouvements du terrain.
- Chapitre II : s'intéresse à une présentation milieu physique de la zone étudiée ainsi leur contexte géologique local ;
- Chapitre III : Synthèse hydroclimatologique ;
- Chapitre IV : porte sur des généralités sur les méthodes géophysiques utilisées dans l'étude des glissements de terrain (méthodes électrique et sismique). Nous avons mis l'accent sur les techniques de tomographie électrique et sismique.
- Chapitre V : consacré à l'étude géophysique et géotechnique afin de déterminer les paramètres indispensables pour l'analyse et l'étude du glissement et présenter des résultats de tomographie électrique avec interprétation et discussion.
- Enfin une conclusion de cette étude regroupant les différents résultats avec proposition de recommandations.

Chapitre I

Chapitre I

Synthèse bibliographique

Synthèse bibliographique

I.1. Introduction

De nombreuses régions du monde sont confrontées à des phénomènes naturels susceptibles de provoquer des catastrophes. Ces phénomènes sont d'origines très variées : géophysique avec les séismes et les éruptions volcaniques, hydrométéorologique avec les cyclones et tempêtes, les inondations et les avalanches ou bien encore géomorphologique avec les mouvements de terrain. Leurs fréquences et leurs intensités varient d'une région à une autre (Tellia & Boualam, 2015).

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

Leurs répartition spatiale est guidée par la topographie et par la géologie (nature et fracturation des formations affleurantes, hydrogéologie) c'est-à-dire par l'environnement physique. Ils concernent non seulement les régions montagneuses et côtières, mais aussi les bassins à forte densités de vides souterrains (naturels ou miniers), les sols argileux sensibles aux variations de teneur en eau, ... Leur occurrence est très marquée par les variations climatiques (périodes de fortes pluies, fonte des neiges, sécheresse) mais peut aussi être liée à des secousses sismiques ou encore être induite par les activités humaines.

Dans leurs principes, 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 (Kherrouba, 2008).

I.2. Mouvements et instabilités de terrain

I.2.1. Définition des mouvements de terrain

Les mouvements de terrain sont des phénomènes géologiques qui évoluent dans le temps avec des phases de mouvements lents, des phases catastrophiques ou des périodes de rémission. Les mouvements de terrain regroupent un ensemble de déplacement, plus ou moins brutaux 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.), (Varnes, 1978).

I.2.2. Classification des mouvements de terrain

Par sa diversité et le nombre de facteurs intervenant au déclenchement des mouvements des terrains, il existe plusieurs classifications, qui ont été proposées par des géologues, des

mécaniciens ou des géotechniciens. Ces classifications nous permettent de dénommer les principaux types de mouvement de pentes (**Fig.I.1**). Pour des classifications plus récentes, on peut citer à titre d'exemple, Cruden et Varnes (1996), qui se sont basés d'une part sur la nature des matériaux en cause (rocher, sol ou débris) et d'autre part sur le type de mécanisme de déformation et de rupture (chutes de matériaux, basculements, glissements plans ou rotationnels, etc.).

K. Sassa (1985) a proposé une classification plus géotechnique en fonction de deux critères, l'un est relatif au matériau, et l'autre est relatif au type de mouvement (Soufane & Boucharma, 2017).

Il existe deux types des mouvements de terrain :

- Mouvements lents et continus;
- Mouvements rapides et discontinus.

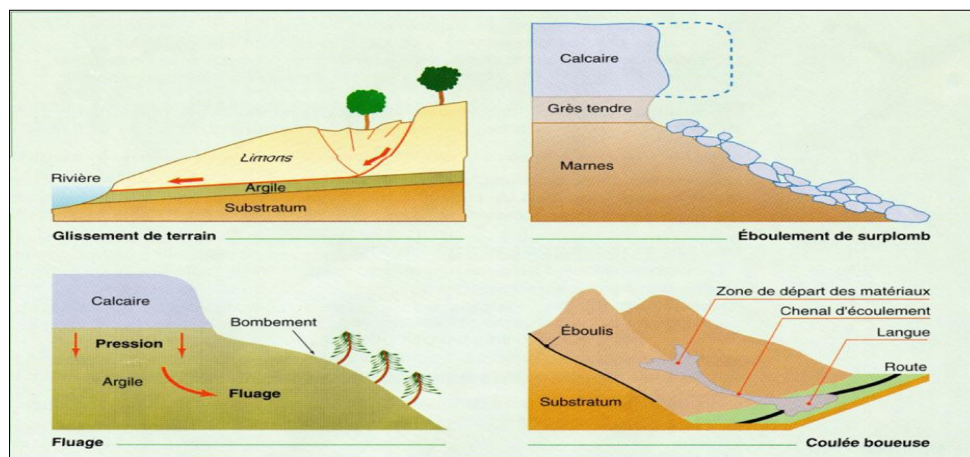


Fig.I.1. Différents types de mouvements de terrain (Gilles & Pierre, 1998).

I.2.2.1. Mouvements rapides et discontinus

Ils se propagent de manière brutale et soudaine. Ils regroupent l'effondrement, les chutes de pierres et de blocs, l'éboulement et les coulées boueuses.

Les mouvements rapides touchent majoritairement les personnes, avec des conséquences souvent dramatiques. Ces mouvements ont des incidences sur les infrastructures (bâtiments, voies de communication...etc.), allant de la dégradation à la ruine totale (Tellia & Boualam, 2015).

a) Effondrements

Ce sont des déplacements verticaux instantanés de la surface du sol qui résultent de la rupture brutale de cavités souterraines préexistantes, naturelles ou artificielles (**Fig.I.2**). Ils se manifestent par l'ouverture d'excavations grossièrement cylindriques (Leone, 1996).

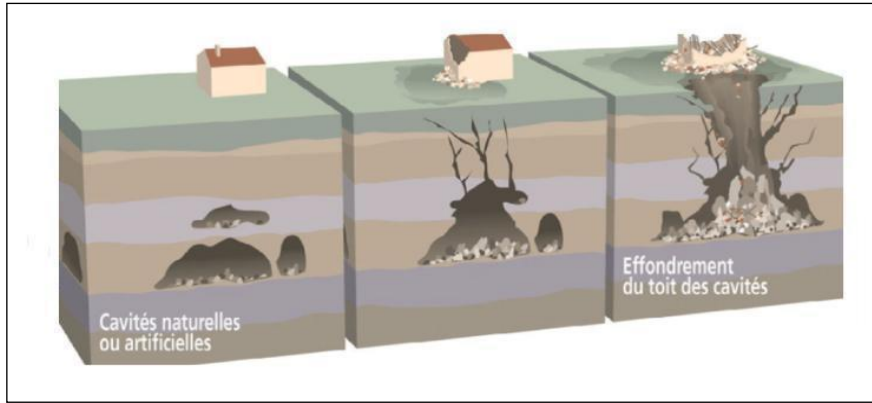


Fig.I.2. Schéma Explicatif des phénomènes : Effondrements des cavités souterraines, (Bacou et al.2010).

b) Eboulement, chutes de blocs et de pierres

C'est un phénomène rapide, dangereux et brutal qui affecte des roches rigides et fracturées sur une pente raide le long d'une surface sur laquelle se développent une rupture par cisaillement.

(Soufane & Boucherma, 2017). Dans ce type de mouvement, un massif rocheux généralement en surplomb s'écroule sous son propre poids ou sous les effets d'une charge à son sommet. De tels éboulements génèrent une chute de gros rochers, qui peuvent par la suite emporter avec eux d'autres gravats, ce qui amène à une avalanche de débris (**Fig.I.3**).

Généralement avant l'éboulement, des fractures et des variations géométriques faibles apparaissent dans la roche. Si reconnaître les zones à risque est aisé, être capable prédire le moment exact de l'éboulement est très complexe, souvent impossible (Launay et al, 2017).

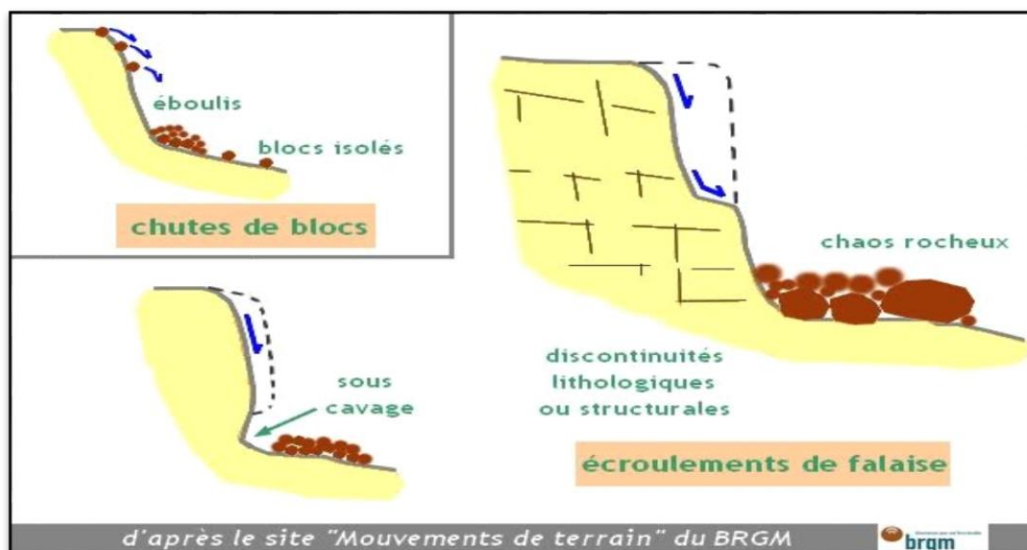


Fig.I.3. Schéma Explicatif des phénomènes : éboulements, chutes de blocs et de pierres.

I.2.2.2. Mouvements lents et continus

Ces mouvements entraînent une déformation progressive des terrains, pas toujours perceptible par l'homme. Ils regroupent : l'affaissement, le tassement, le glissement, la solifluxion, le fluage, le retrait-gonflement et le fauchage. Ils touchent principalement les biens, à travers la fissuration des constructions. Ces désordres peuvent se révéler si grave pour la sécurité des occupants et par conséquent la démolition des bâtiments s'impose (Iboukhoulef, 2014).

a) Affaissement

L'affaissement est un mouvement progressif qui correspond à un tassement souple des terrains subjacents en gardant leur continuité et faisant suite à l'effondrement de travaux miniers (**Fig.I.4**). Il est lié à la présence de zones exploitées de grandes profondeurs (de plus de 50 mètres à plusieurs centaines de mètres), (Achir & Medjoudj, 2017).

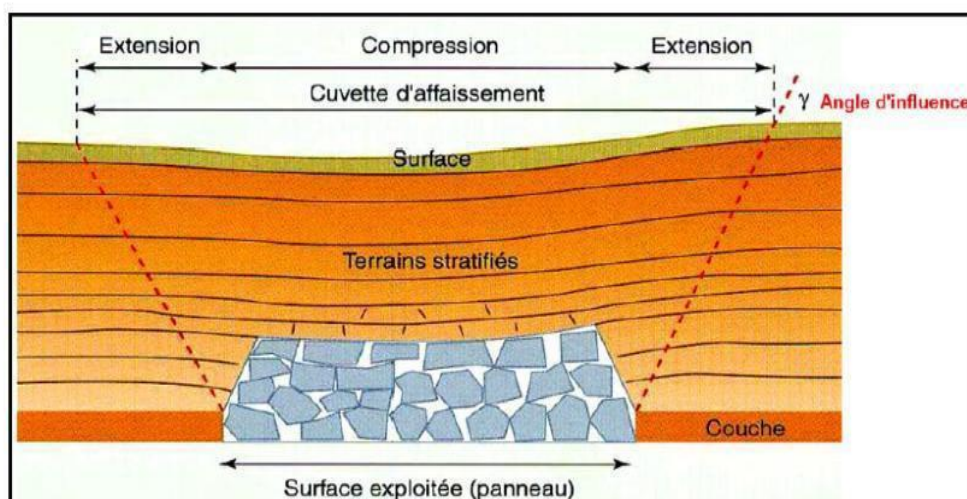


Fig.I.4. Affaissement lié à une exploitation ancienne avec un recouvrement d'une centaine de mètre, (Temoum, 2013).

b) Fluage

Le fluage est caractérisé par des mouvements lents et continus, mais à des vitesses faibles (**Fig.I.5**). Dans le cas du fluage, il est difficile de mettre en évidence une surface de rupture.

Le mouvement se produit généralement sans modification des efforts appliqués (contrairement aux glissements) : en fait le matériau est sollicité à un état proche de la rupture. Ce type de mouvement peut : soit se stabiliser, soit évolué vers une rupture (Benkechkache, 2012).

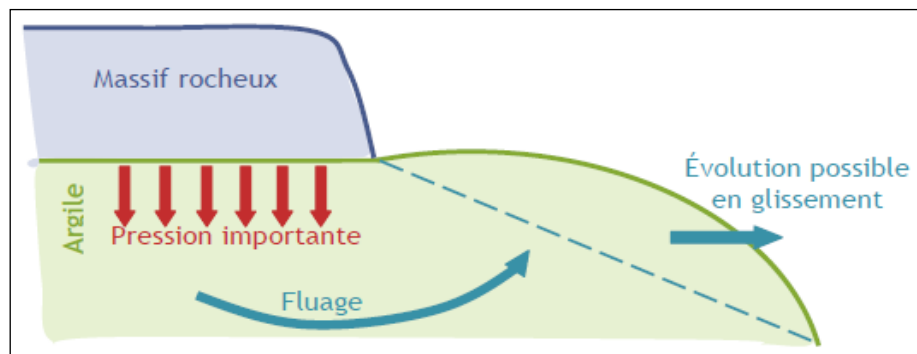


Fig.I.5. Le phénomène de fluage (Desodt et al, 2017).

c) Glissements de terrain

Les glissements de terrain sont des phénomènes naturels qui résultent du mouvement de descente le long d'une pente, sous l'effet gravitationnelle. Ces instabilités de terrains, se produit le plus souvent dans les dépôts cohérents meubles et plus particulièrement dans les dépôts argileux. Les masses de sol affectées par les glissements varient de quelques mètres cubes (glissements pelliculaires) à plusieurs dizaines de millions de mètres cubes (Soufane & Boucherma, 2017).

Le glissement de terrain est défini comme le déplacement d'une masse de terrain bien délimitée, meubles ou rocheux au long d'une surface de rupture par cisaillement qui correspond souvent à une discontinuité préexistante (**Fig.I.6**). Le mouvement est engendré par l'action de la gravité, de forces extérieures (hydrauliques ou sismiques).

C'est un phénomène généralement lent, mais (en particulier sur une surface plane liée à une discontinuité) il peut s'accélérer brutalement.

Des indices caractéristiques peuvent être observés dans les glissements de terrains actifs: niches d'arrachement, fissures, bourrelets, arbres basculés, zone de rétention d'eau (Iboukhoulef, 2014).

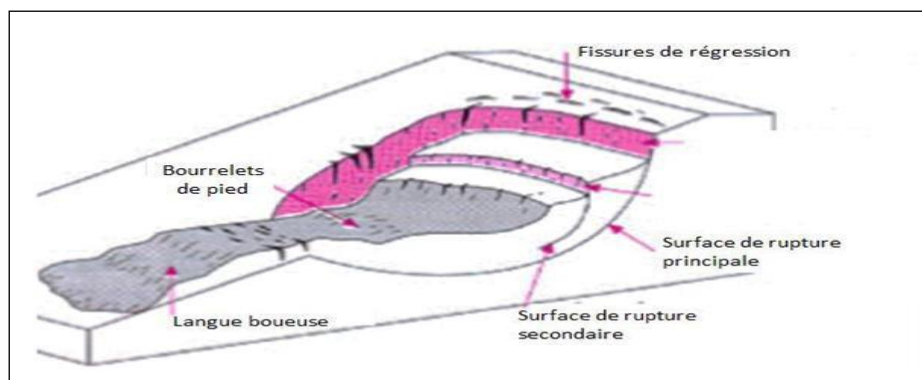


Fig.I.6. Élément morphologique du glissement de terrain (Cheriguene, 2015).

I.3. Processus du glissement de terrain

Un glissement de terrain est un phénomène géologique regroupant un ensemble de déplacements, plus ou moins brutaux, du sol ou du sous-sol sur un plan de glissement incliné.

Ils résultent le plus souvent d'une rupture par cisaillement à la limite inférieure de la masse en mouvement. Les volumes en jeux sont compris entre quelques mètres cubes et quelques millions de mètres cubes. L'origine, le déroulement et les effets des mouvements de terrain sont extrêmement hétérogènes.

Les glissements de terrain peuvent se produire sur des pentes modérées à raide de 10° à 40° degrés et se différencient selon la nature du sol et l'influence de l'eau. Les mouvements de terrain varient par leur vitesse et par leur forme (Iboukhoulef, 2014).

I.3.1. Principaux facteurs du glissement de terrain

Le passage de l'état stable à l'état instable est lié à des causes nombreuses et variées qui viennent s'ajouter aux conditions initiales, intrinsèques au terrain. On distingue plusieurs facteurs qui influencent le phénomène du mouvement de masse (**Fig.I.7**) : les prédispositions (facteurs passifs) et les facteurs préparatoires et déclenchant (facteurs actifs), (Sellami & Belamri, 2014).

I.3.1.1. Facteurs Prédispositions

a) Géologiques : représentent des facteurs d'instabilité permanente, la lithologie, la stratigraphie de la roche (orientation et angle d'inclinaison), les discontinuités stratigraphiques et structurelles, et l'altération des roches (altération hydrothermale et/ou météorisation), (Sellami & Belamri, 2014).

b) Morphologie (pente) : 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 (Sellami & Belamri, 2014).

c) Hydrologie : Les mouvements de masse se produisent avant tout lorsqu'un important volume d'eau pénètre dans le sol sur une période prolongée (Sellami & Belamri, 2014).

d) Végétation : la végétation diminue l'érosion du sol. Néanmoins, lorsque le couvert végétal est très dense, le poids est plus important, ce qui augmente les forces motrices (Sellami & Belamri, 2014).

e) Contexte climatique : soit la pluviométrie annuelle totale, la répartition des précipitations annuelles, la possible accumulation de neige, la température moyenne ainsi que l'évolution climatique (Sellami & Belamri, 2014).

f) Action de l'homme

- Les modifications de l'équilibre naturel des pentes : Fouille et affouillement du pied. Surcharge et pente de crête;
- Modifications des conditions hydrologiques du milieu naturel ; rejets d'eau, pompage excessif d'eau;
- Déboisement du site (Sellami & Belamri, 2014).

I.3.1.2. Facteurs préparatoires et déclenchant

a) Précipitations : Lorsqu'une quantité importante d'eau s'infiltré dans le sol, la force de cohésion et la force de frottement peuvent diminuer en raison de la poussée verticale, ce qui peut entraîner un glissement de terrain. Lorsque, en plus de cela, la quantité d'eau qui pénètre dans la pente est supérieure à la quantité d'eau qui s'en écoule, une pression interstitielle se forme. Cette pression peut déclencher un glissement de terrain subit (Sellami & Belamri, 2014).

b) Sismicité/Vibrations : Les séismes ou les activités humaines provoque l'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 (Sellami & Belamri, 2014).

c) Climat (causes thermique) : alternance de phases de gel/dégel (massage thermique et cryoclastie) ; Dégradation du pergélisol, (ciment) des montagnes avec le réchauffement global (Sellami & Belamri, 2014).

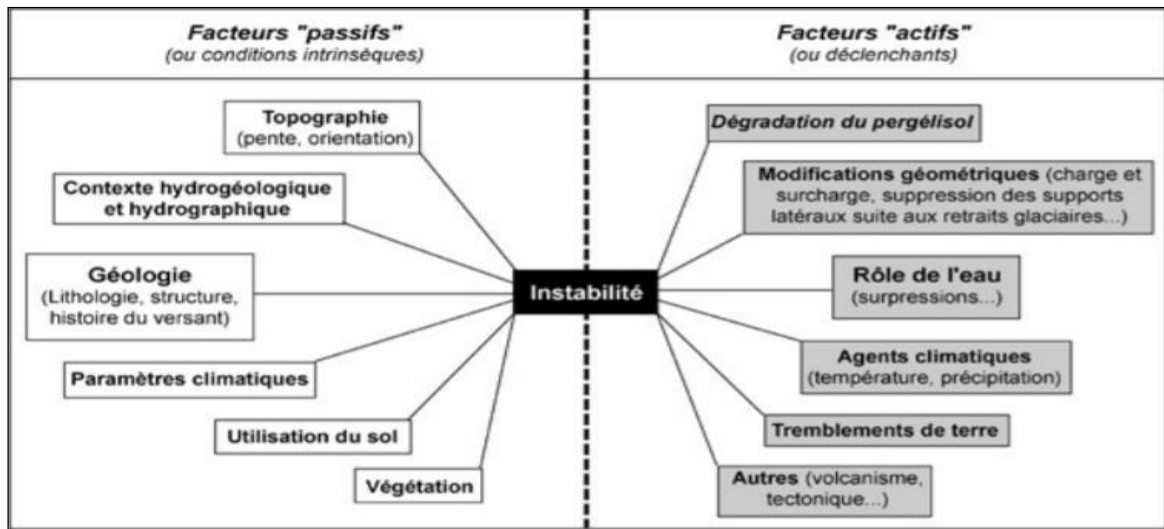


Fig.I.7. Principaux facteurs du glissement de terrain (SSGm, 2002).

I.3.2. Types des glissements de terrain

Selon la forme de la surface de rupture (**Fig.I.8**), on distingue trois types de glissement :

- Glissement plan, le long d'une surface plane
- Glissement circulaire ou rotationnel, le long d'une surface convexe
- Glissement quelconque ou composite lorsque la surface de rupture est un mélange des deux types (Philippe, 1988).

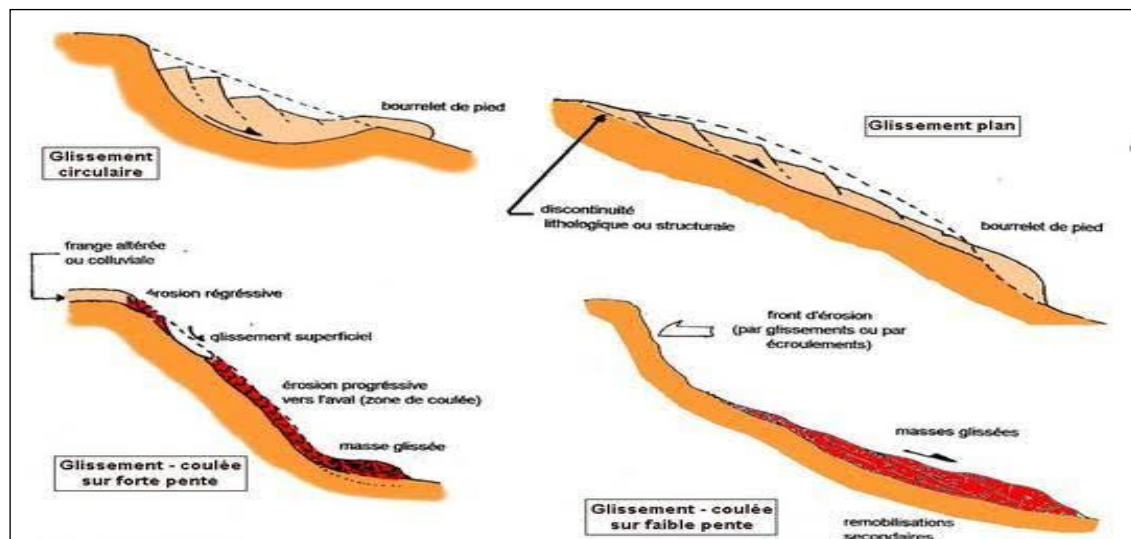


Fig.I.8. Types des glissements de terrain.

I.3.2.1. Glissement plan

Il se manifeste lorsqu'il existe une surface topographique pouvant guider une rupture plane: telle qu'une couche mince de caractéristiques médiocres sur un substratum (**Fig.I.9**). Les

volumes des masses en mouvement varient de quelques mètres cubes à plusieurs dizaines de millions de mètres cubes (Philipponnat & Bertrand, 2003).

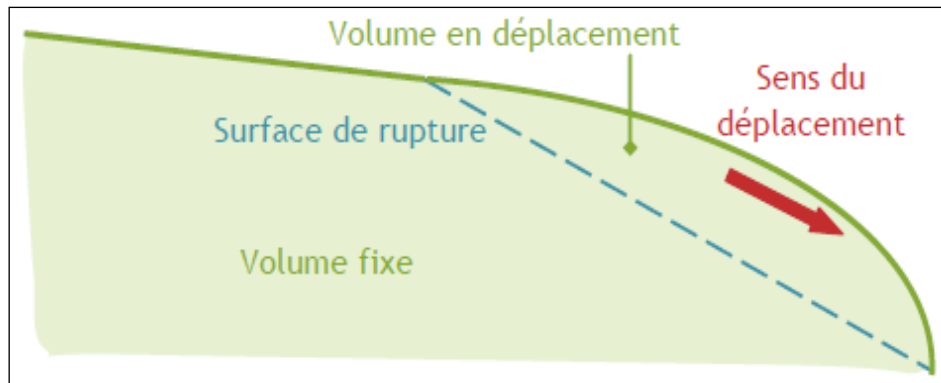


Fig.I.9. Glissement plan (Desodt, 2017).

I.3.2.2. Glissement rotationnel ou circulaire

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. L'analyse de risque de rupture par le calcul est alors abordable par des méthodes classiques (**Fig.I.10**).

Le plus souvent, la ligne de rupture peut être assimilée à un cercle : il s'agit alors d'un glissement circulaire. Si la ligne de rupture a une forme plus complexe, le glissement est appelé glissement non circulaire (Philipponnat & Bertrand, 2003).

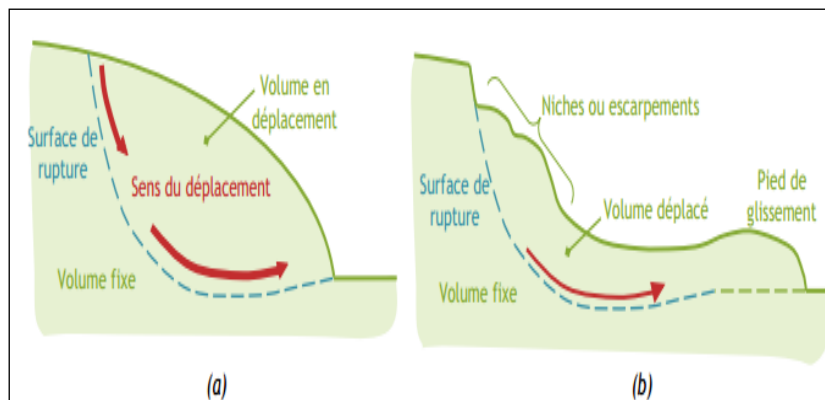


Fig.I.10. Schématisation du phénomène de glissement circulaire : (a) avant activation (b) après activation (Launay et al, 2017).

I.3.2.3. Glissement complexe

Il s'agit de glissements multiples « emboîtés » les uns dans les autres (**Fig.I.11**). L'apparition de premier glissement, en bas de la pente, conduit à une perte de butée pour les terres situées au-dessus, et ainsi provoque des glissements successifs remontant vers l'amont (Philipponnat & Bertrand, 2003).

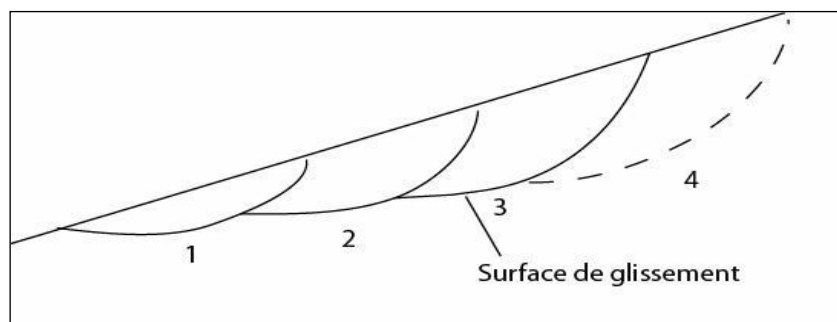


Fig.I.11. Glissement rotationnel complexe (Gilles & Pierre, 1998), (Philipponnat & Bertrand, 2003).

I.4. Classification des glissements de terrain

Les glissements de terrain peuvent être classés en fonction de la profondeur de leur surface de glissement et de la vitesse moyenne du mouvement.

I.4.1. Selon la vitesse

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

I.4.1.1. 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 (Iboukhoulef, 2014).

I.4.1.2. 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 (Iboukhoulef, 2014), le glissement spontané forme toujours une nouvelle surface de glissement ou zone de rupture (coulée de boue par exemple).

Tab.I.1. Classification selon l'activité (en fonction de la vitesse moyenne de glissement) (Benouis, 2010).

Glissement	Vitesse de glissement
Substabilisé très lent	0-2 cm /an
Peu actif lent	2-10cm/an
Actif (ou lent avec phase rapide)	Sup à 10cm/an

I.4.2. Selon la profondeur

Selon la profondeur on distinguera :

I.4.2.1. Glissement superficiel

Dans les pentes où la couche superficielle se trouve en état d'équilibre limite, une dégradation temporaire de la qualité du sol, par saturation lors de pluies notamment, entraîne soit des écoulements sans limites nettes (solifluxion), soit des glissements avec des arrachements superficiels mettant à nu la surface. La profondeur limite théorique admise entre glissement profond et superficiel est de 2m.

Le glissement superficiel peut être actif ou peu actif. Un glissement superficiel est actif quand il montre un mouvement supérieur à 10cm/an et il peut se stabiliser (par réduction progressive de la pente et colonisation par la végétation par exemple) Par ailleurs, un glissement peu actif, peut par moment entrer dans une phase rapide (rupture soudaine), (Iboukhoulef, 2014).

I.4.2.2. Glissement semi-profond

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

I.4.2.3. Glissement profond

Où la profondeur est supérieure à 10m.

Le glissement profond est caractérisé par la présence de niches d'arrachement, généralement multiples, bien marquées, avec un déplacement d'une masse de matériaux meubles ou rocheux le long d'une ou de plusieurs surfaces de glissement situées en profondeur et de moindre résistance (Iboukhoulef, 2014).

Tab. I.2. Classification d'après la profondeur de la surface de glissement (Doumi, 2016).

Glissement	Surface de glissement (sous la surface du sol)
Superficiel	0-2 m
Semi profond	2-10 m
Profond	Sup à 10 m

I.5. Différentes méthodes de calcul

Les méthodes se différencient essentiellement par le choix de la surface de rupture, la détermination de la répartition des contraintes le long de cette surface, la définition du coefficient

de sécurité et la vérification ou non de toutes les équations de l'équilibre (Sellami & Belamri, 2014).

I.5.1. Méthode analytique : l'équilibre limite

De manière classique, il est supposé que l'équilibre limite existe au moment de la rupture le long de la ligne de glissement. Alors, l'ensemble des forces qui interviennent sur le massif se décomposent en forces de cisaillement le long de la surface de rupture et en forces de résistance au cisaillement que peut mobiliser le sol. Les conditions d'équilibre limite sont définies en utilisant un coefficient de sécurité. Ce dernier se définit comme le rapport de la résistance au cisaillement du sol τ_{max} à la contrainte de cisaillement τ s'exerçant réellement sur la surface : $Fs = \tau_{max}/\tau$. Le facteur de sécurité peut être un rapport de forces, de moments, de grandeurs par rapport à une grandeur limite. L'objectif de calcul consiste à rechercher la surface le long de laquelle le coefficient de sécurité F est le plus faible.

Il existe plusieurs méthodes d'analyse de la stabilité des pentes, qui reposent sur un calcul à l'équilibre limite. La plupart de ces méthodes utilisent la technique dite des tranches (Mokhbi & Aissous, 2019).

I.5.1.1. Méthode de Fellenius (1927)

Cette méthode a été proposée par Fellenius en 1927, dans le cas d'un sol purement cohérent.

La méthode de Fellenius vérifie l'équilibre global des moments tout en négligeant les forces entre-tranches (Djerbal, 2013).

I.5.1.2. Méthode de Bishop (1955)

Bishop ne néglige pas les forces horizontales inter-tranches et obtient une formule implicite dont la programmation pose quelques problèmes.

La méthode de Bishop vérifie l'équilibre des moments ainsi que l'équilibre vertical pour chaque tranche, mais elle néglige l'équilibre horizontal des forces (Faure, 2000).

I.5.1.3. Méthodes simplifiée de Janbu et al. (1956)

Janbu vérifie l'équilibre des forces horizontales et verticales tout en négligeant l'équilibre des moments (Djerbal, 2013).

I.6. Conclusion

Dans ce chapitre, par une recherche bibliographique, nous avons défini le phénomène de glissement de terrain, leur classification selon différents critères (morphologie de la surface de rupture, vitesse, profondeur...), les principales causes pouvant induire ou déclencher ce phénomène, les approches de calcul de stabilité, ainsi les différentes méthodes de confortements. Cette recherche bibliographique nous a permis de constater que l'étude d'un glissement de terrain est une opération complexe et délicate, alors pour réaliser cette étude il doit effectuer :

- Une étude géologique et géomorphologique : nature du terrain du substratum, épaisseur des formations superficielles, présence de failles...etc.
- Une étude hydrologique et hydrogéologique : repérage du niveau d'eau dans les puits, recueil des données météorologiques, mesures de débits de sources, mesures piézométriques ...etc.
- Une étude géotechnique : détermination des caractéristiques physiques et mécaniques de sol.
- Une étude de stabilité par les différentes approches et méthodes.
- Un bon choix du dispositif de confortement pour le glissement de terrain.

Chapitre II

Chapitre II

Contexte géographique et géologique de la zone d'étude

Contexte géographique et géologique de la zone d'étude

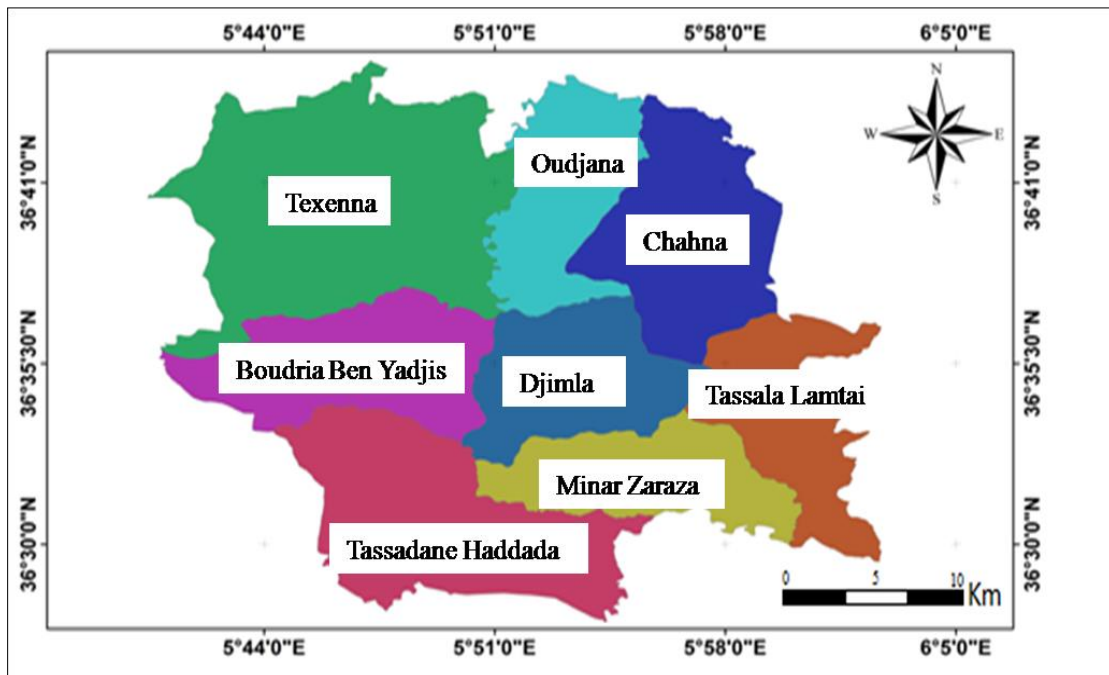


Fig.II.1. Situation géographique de la commune de Djimla.

Les deux zones instables visées par notre étude sont localisés au niveau du PK43+050 et PK44+500 (**Fig.II.2**), et plus précisément sont situés à 5.5 Km au Sud-Ouest du village de Djimla, au nord de la localité de Tamentout, et à 2 Km au nord-ouest de l'intersection de la RN 77 et RN77A. Leurs coordonnées géographiques sont :

- Latitudes : 5° 49'0'' E 5° 51'0'' E.
- Longitudes : 36°33'0'' N 36° 33' 40,339''N.

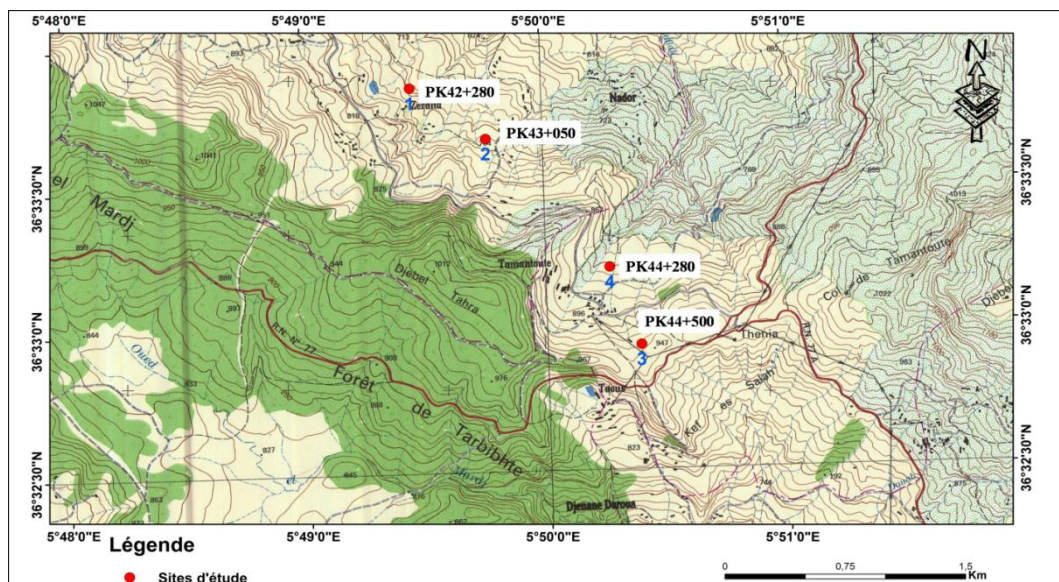


Fig.II.2. Situation géographique des sites d'étude (extrait de la carte topographique NJ_31_VI_44 Ouest Texenna 1/25000).

II.2.2. Aperçu climatique

Sur le plan climatologique, la région de Jijel comme toutes les régions du littoral Algérien, 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 basse en hiver. Les précipitations annuelles varient entre 900 et 1600 mm/an (**Fig.II.3**). En plus d'une importante pluviométrie, les communes de Texenna et Djimla sont souvent recouvertes 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 humides et froides qui donnent d'importantes précipitations. Cette pluviométrie classe cette région parmi les zones les plus arrosées de l'Algérie. Cette dernière révèle un potentiel hydrique très important.

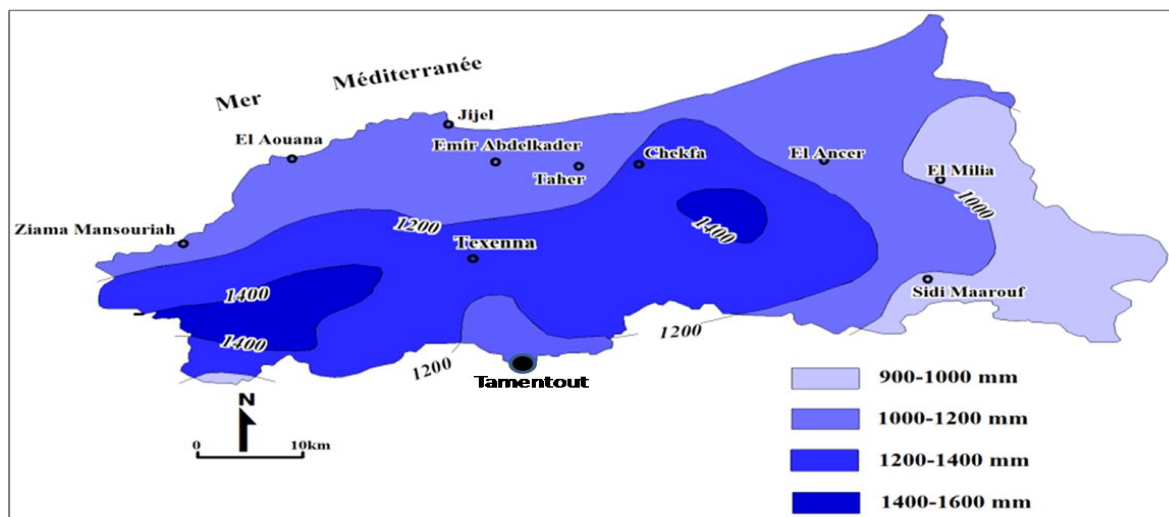


Fig.II.3. Carte pluviométrique de la wilaya de Jijel A.N.R.H (1996).

Ces observations sur les données pluviométriques indiquent que les pluies importantes pourraient provoquer des glissements de terrain dans la région d'étude suite à l'action combinée de l'augmentation des pressions interstitielles, ce que réduisent les contraintes effectives, et forces d'écoulement des eaux à travers les versants.

II.2.3. Orographie

Le relief de la Wilaya de Jijel (**Fig.II.4**) est très contrasté, et est caractérisé par des sommets culminants à 1600m (Tamesguida) et des fonds de vallées à 200m (Oued Djendjen). Bien 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.

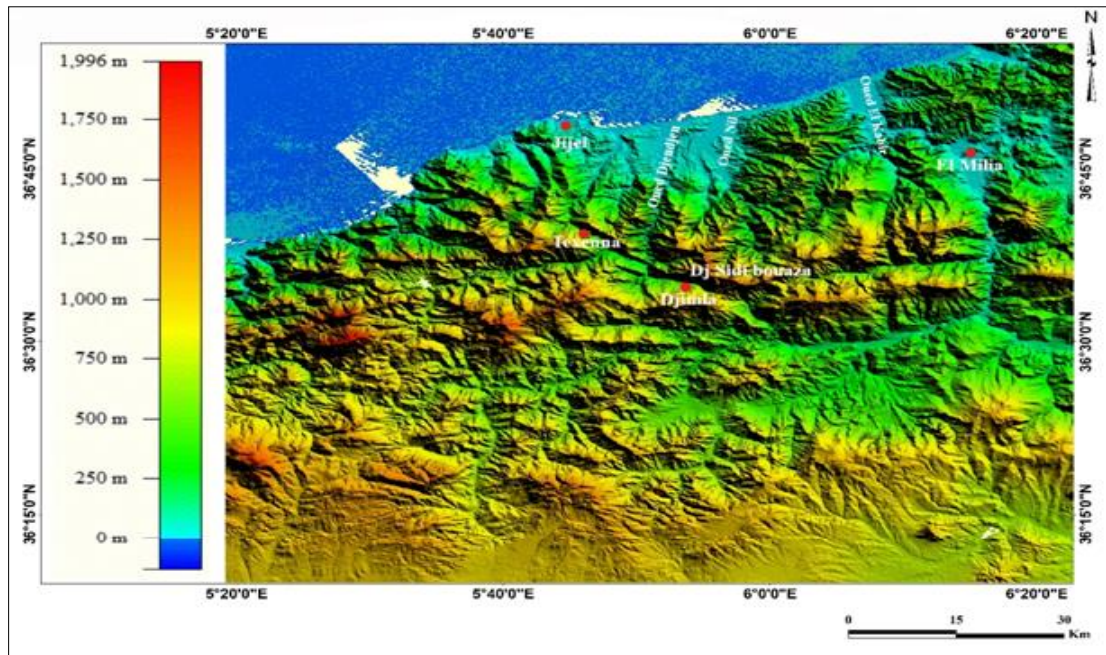


Fig.II.4. Carte présente l'orographie de la région de Jijel.

II.2.4. Morphologie

La wilaya de Jijel est caractérisée par un relief montagneux. L'examen du modèle numérique du terrain de la région étudié, fait apparaitre que la région est caractérisée par des pentes moyennes à fortes, car elle appartient à la zone des montagnes au Sud de Jijel (**Fig.II.5**). 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 Bouaza 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.5**).

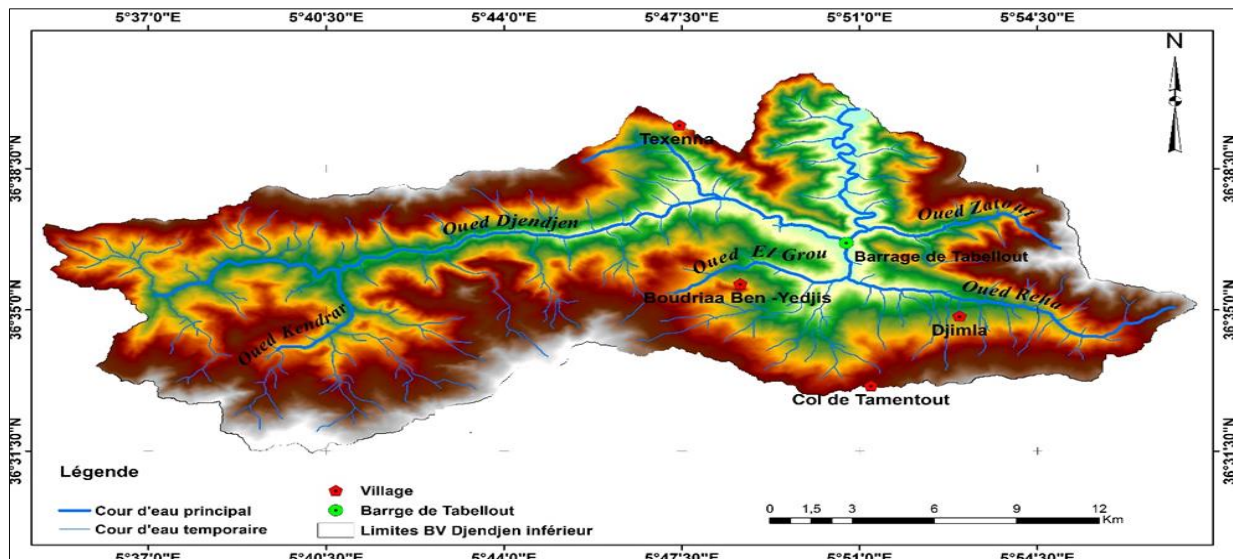


Fig.II.5. Réseau hydrographique de la région de Djimla (Kherrouba, 2019).

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. Les grands ensembles géologiques de la région de Texenna et environs

La région de Jijel-Texenna-Tamesguida, où se situe la transversale de la coupe géologique (**Fig.II.6**), 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.7**), 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).

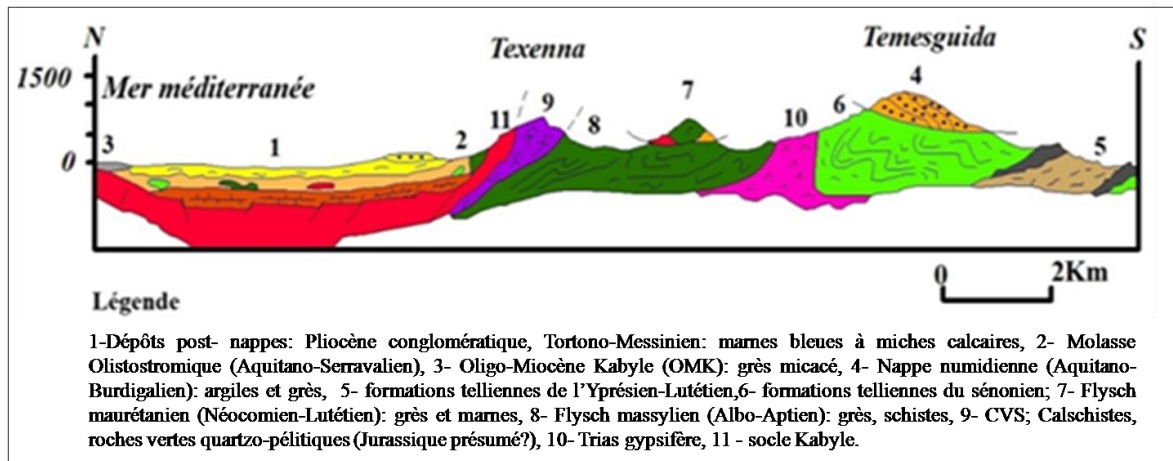


Fig.II.6. Coupe géologique des unités alpines de la Petite Kabylie-région de Jijel.

La région d'étude appartient au sous-bassin versant Djendjen inférieur. La carte géologique de ce bassin proposée par Kherrouba et al.2018, basée sur les cartes géologiques disponibles de la région, celle de (Ehrman ,1928 & Durand Delga, 1955 et Djellit, 1987) fait ressortir 10 formations lithologiques.

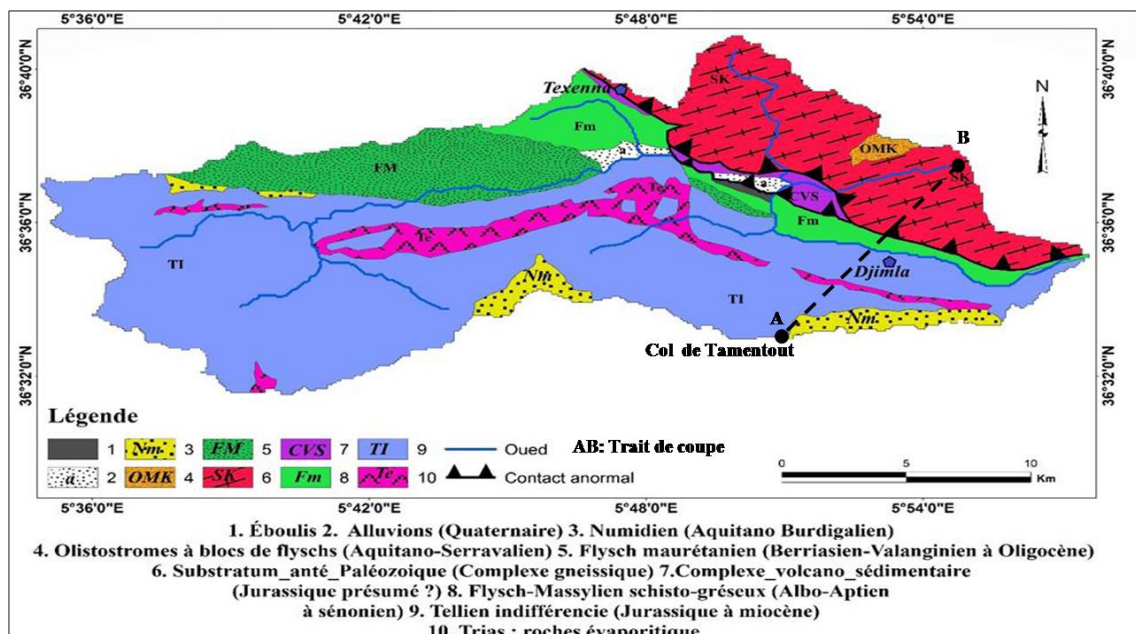


Fig.II.7. Carte géologique de la région étudiée.

La répartition des différentes formations lithologiques trouvées dans la région d'étude est présentée dans la **Fig. II.8** suivante :

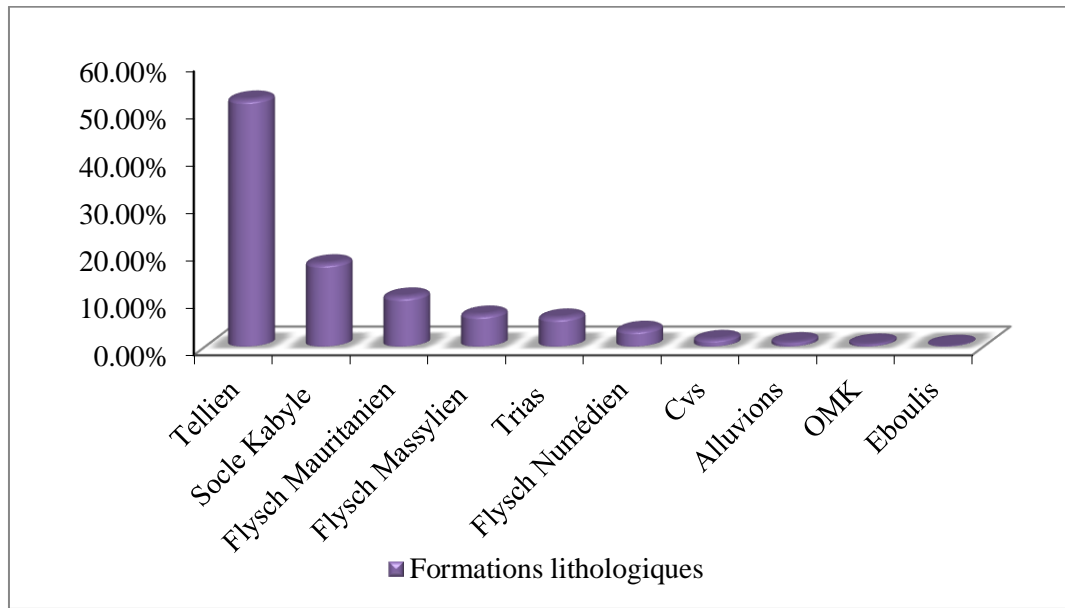


Fig.II.8. Répartition en (%) des différentes formations géologiques de la région d'étude.

II.4. Les grands ensembles géologiques de la région de Djimla et environs

La région de Djimla (**Fig.II.9**) dont fait partie quelques zones instables étudiées, est située dans la zone de contact des formations du domaine interne (socle cristallophyllien) avec les formations du domaine externe.

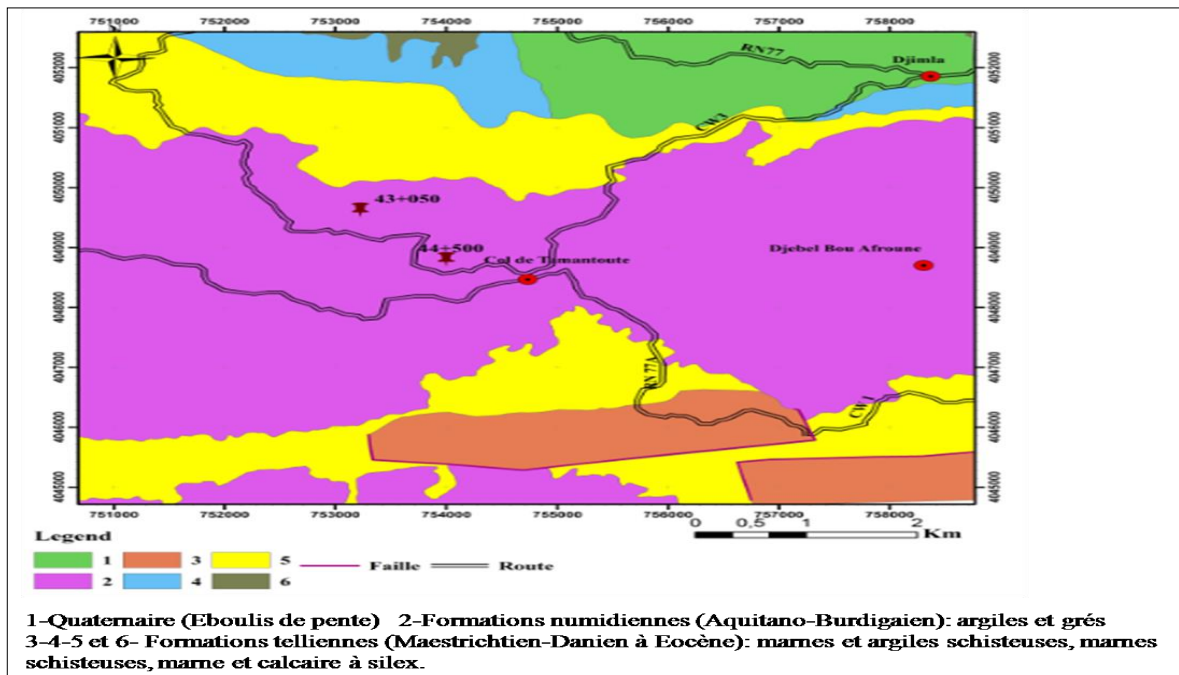


Fig.II.9. Carte géologique de la région de Djimla
 (Extraite de la carte de Tamesguida à 1/50000), légèrement modifiée.

Les formations géologiques qui affleurent dans la région de Tamentout (**Fig.II.10**) sont principalement représentées 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.

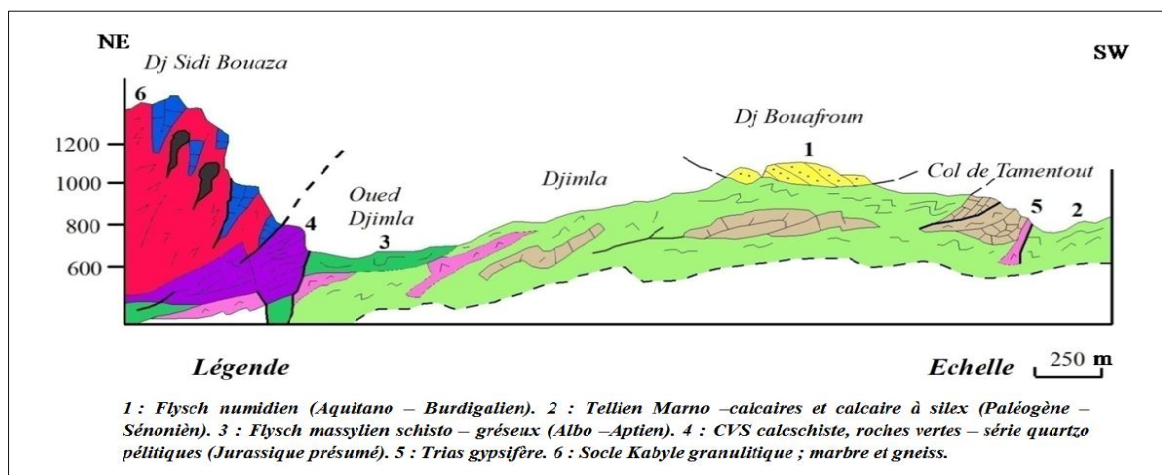


Fig.II.10. Coupe géologique N-S de la région de Djimla (Kherrouba, 2019).

II.4.1. Description des formations lithologiques de la région de Djimla

II.4.1.1. Les formations quaternaires

Dans la région d'étude, les formations du quaternaire sont représentées essentiellement par des éboulis de pentes, constitués par une matrice argilo-sableuse dans laquelle est enchâssé des blocs, galets de grès numidien de différente taille. L'affleurement le plus significatif et celui situé à l'ouest du village de Djimla, le long de la route nationale N°77, dans lequel se manifeste des instabilités de terrain, par des glissements le long de la pente.

II.4.1.2. Les formations du flysch numidien

Le flysch numidien occupe une position structurale la plus haute dans l'édifice Alpin. Cette formation (**Fig.II.10**) est bien présentée au niveau du Djebel Bouafroune (1353 m) et Djebel Tamesguida (1623 m) au sud et Sud-Ouest de Djimla.

Les formations numidiennes comportent des argiles de teinte verte et rouge ou violacée « argiles à Tubotomaculum » dites argiles sous-numidiennes. Ces dernières affleurants le long de la route au Sud du village de Djimla. Elles sont surmontées par une épaisse série de grès numidien, à grains hétérométriques, à cassure blanchâtre, et contient des dragées de quartz (Kherrouba, 2008).

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 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).

Au Sud du col de Tamentout, et à l'ouest de l'oued El-Kebir et de son affluent gauche l'oued Menar, le « Numidien » repose directement sur les marnes ou sur les calcaires de l'Éocène. La discordance apparaît parfois avec netteté. Les argilites de base, dont la teinte est plus souvent grisâtre que verdâtre, sont parfois légèrement calcareuses. Leur puissance est beaucoup plus forte que d'ordinaire (100 à 200 m).

Les formations numidiennes reposent en discordance sur les formations telliennes (**Fig.II.11**).



Fig.II.11. Photo illustrant des formations numidiennes le long de la RN77A au Sud du village de Djimla.

II.4.1.3. Les 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 micro-plissements très spectaculaires.

Au niveau de notre zone d'étude, le flysch Massylien affleure au nord de Djimla le long de l'oued Djimla et jusqu'à l'oued Djendjen limitant le contact anormal avec les formations du socle (**Fig.II.10**). Il est caractérisé par une alternance de schistes et de bancs de grés quartzitiques décimétriques, parfois centimétriques, surmontées par des microbrèches calcaires à ciment pélitique et des marnes. Admettant en intercalation des niveaux de phanites noires (Djellit, 1987).

II.4.1.4. La série Tellienne

La série tellienne est caractérisée par des formations lacuneuses et à nombreuses discordances. Elle est composée de dépôts allant du Lias au Lutétien. Les séries du Jurassique et du Crétacé inférieur affleurent dans la région des Béni Yadjis, au sud et en dehors de la zone étudiée. Toutefois, les quelques données sommaires récoltées sur les affleurements proches du contact tectonique qui les séparent des flyschs combinées aux descriptions données par Durand Delga (1955) montrent que le contenu de ces séries peut être résumé de la manière suivante, de bas en haut : a) une série liasique (300-400 m), avec un Lias inférieur composée de dolomies grises, massives, béchiques au sommet ; un Lias moyen constitué de calcaires massifs à entroques, oncolithes et trochamminides ; un Lias supérieur montrant des calcaires gris feuilletés ou lités, biodétritiques, couronnés par des niveaux à filaments, renfermant des radiolaires, débris de calcaires et du quartz. Les formations du Lias sont surmontées par du Crétacé inférieur,

discordant jusque sur le Lias inférieur, débutant par un conglomérat à galets de silex composé essentiellement de schistes et calschistes bruns (Djellit, 2014).

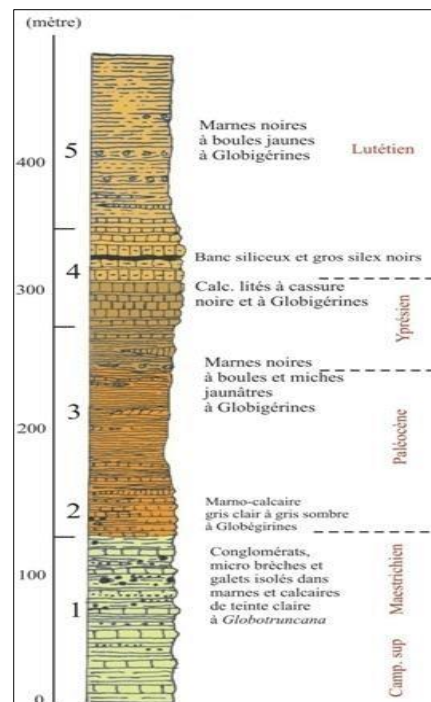


Fig.II.12. Colonne lithologique des formations telliennes (Djellit, 2014).

Dans la zone de Djimla/Tamentout, le Jurassique et le Crétacé inférieur sont surmontés par une série essentiellement composée de marnes et calcaires du Crétacé supérieur-Eocène. Cette série du Crétacé supérieur-Eocène qui est chevauchée par les flyschs kabyles est caractérisée par (**Fig.II.12**): un ensemble (100 m environ) du Campanien-Maestrichtien (**terme 1, Fig.II.12**) composé de marnes à lits de microbrèches riches en globotruncana, des lentilles conglomératiques et des boules jaunes. Les marno-calcaires du Campanien contiennent des Inocérames et le sommet de la série maestrichtienne est carbonaté et montre des conglomérats à galets dolomitiques. Ensuite, un terme du Paléocène (**terme 2, Fig.II.12**) composé de marno-calcaires à Globigérines surmontés par des marnes noires à boules jaunes et à miches de calcaires jaunâtres contenant également des Globigérines sur lesquels vient ensuite des calcaires lités à cassure sombre et à Globigérines de l'Yprésien (**terme 3, Fig.II.12**) admettant à leur sommet des calcaires à faciès « Suessonien » à silex (**terme 4, Fig.II.12**). Les termes 2, 3 et 4 totalisent entre 250 et 300 m d'épaisseur. Sur le terme (4) que l'on rattache à l'Yprésien arrivent enfin environ 80 à 100 m des marnes de noires (**terme 5, Fig.II.12**) à passées calcaires à globigérines, localement en forme de boules jaunes, à globigérines du Lutétien terminent cette succession (Djellit, 2014).

II.4.1.5. Les formations du Trias

Dans la région d'étude, le Trias se présente sous forme d'une bande le long de l'oued Djimla (**Fig.II.10**) et s'étale jusqu'au environ de Sidi Marouf. On rencontre du Trias diapirique 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).

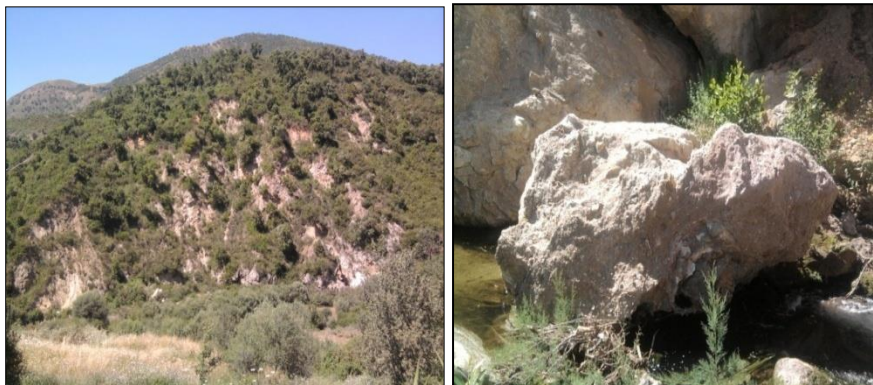


Fig.II.13. Photo illustrant des formations triasiques à gypse au niveau l'oued Djimla.

II.4.1.6. Les formations du socle Kabyle

Elles sont caractérisés 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).

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 du Djebel Sidi-Bouaza (Kherrouba, 2008).

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.5. Aspect Morpho-structural de la région de Djimla-Tamentout

Deux des caractéristiques structurales de la géologie 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 chaînons 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.6. 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 évènement 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.6.1. Règles parasismiques Algériennes (RPA)

Selon RPA 99 (version 2003) le territoire Algérien est divisé en quatre zones de sismicité décroissante de 0 à III (**Fig.II.14**) :

- Zone 0 : sismicité négligeable.
- Zone I : sismicité faible.
- Zone II : sismicité moyenne
- Zone III : sismicité forte.

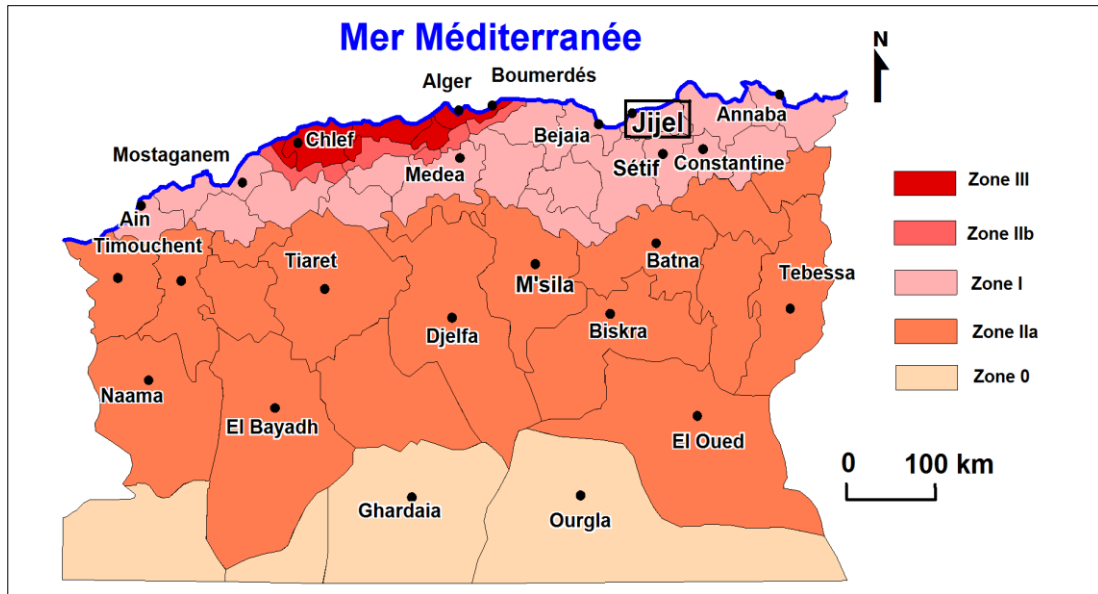


Fig.II.14. Carte sismique d'Algérie selon le RPA (Version 2003).

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).

Tout ouvrage exposé au domaine d'application des règles parasismiques Algériennes, RPOA, version 2008, doit être classé dans l'un des quatre catégories en fonction des propriétés mécaniques des couches de sols qui les constituent (**Tab.II.1**).

Cette classification préconise des seuils de protection qu'un maître d'ouvrage peut modifier uniquement en surclassant l'ouvrage pour une protection accrue, compte tenu de la nature et de la destination de l'ouvrage vis à vis des objectifs visés. Tout ouvrage qui relève du domaine d'application des présentes règles doit être classé dans l'un des quatre (04) groupes définis ci-après:

- ✓ Groupe IA : ouvrage d'importance vitale.
- ✓ Groupe IB : ouvrage de grande importance.
- ✓ Groupe II : ouvrage courants ou d'importance moyenne.
- ✓ Groupe III : ouvrage de faible importance.

Pour tout calcul d'ouvrage de génie civil et selon le RPOA, un coefficient d'accélération est attribué, fonction de la zone et du groupe de l'ouvrage, La classe des ouvrages rentre dans le groupe des ponts « 1 », suivant le tableau suivant :

Tab.II.1. 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

Alors, selon la carte sismique du nord de l'Algérie, la région objet d'étude se situe parmi les régions moyennement sismiques classées en « Zone IIa », l'ouvrage objet d'étude est classé en catégorie « ouvrage de grande importance » puisque il fait partie du tracé de la pénétrante autoroutière Jijel-Eulma. Pour cela, on prendra un coefficient d'accélération de zone égal à $A=0.25$, fonction de l'importance de l'ouvrage.

II.7. Conclusion

Après l'investigation géologique locale du site étudié, on a conclu que Les deux zones instables visées par notre étude sont localisés au niveau du PK43+050 et PK44+500 sur la route RN77A qui fait partie de la région de Djimla où se situer à la zone de contact des formations du domaine interne (socle cristallophyllien) avec les formations du domaine externe.

Elles sont caractérisée par un sol accidenté de nature très mauvaise et imperméable (marne, argile) qui peut engendrer de très grand problèmes naturels.

Selon le RPA 99 versions 2003, les deux sites des glissements sont caractérisés par une sismicité moyenne (zone IIa).

Chapitre III

Chapter III

Etude Hydroclimatologique

Hydroclimatological Study

III.1. Introduction

L'eau joue un rôle important dans la déstabilisation des terrains de n'importe quelle nature; participe de 80% à l'instabilité des pentes et des talus et ceux-ci s'explique par deux faits importants:

- La présence de l'eau augmente le poids et la poussée des terres mises en jeux dans le glissement surtout quand le massif n'est pas suffisamment perméable.
- La présence de l'eau diminue très sensiblement les caractéristiques mécaniques de la plupart des sols.

Pour cela nous avons opté pour une analyse hydroclimatologique de la zone d'étude. Dans cette étude, on s'attachera plus particulièrement à déterminer les apports d'eau (précipitations, évapotranspiration, infiltration et ruissellement) et un aperçu sur le bilan hydrologique.

III.2 Analyse des paramètres climatiques

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

Tab.III.1. *Caractéristiques des stations pluviométriques voisines de la région d'étude (ANRH, 2018).*

Nom station	Cod 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
col de Fedoulès	03 04 03	557 E	3633 N	966.6	50

III.2.1. Précipitations

III.2.1.1. Précipitations liquides

a) Estimation des précipitations à partir des données des stations pluviométriques

Les données de la station météorologique du barrage El-Agrem montre que la région de Texenna reçoit annuellement 1106.2mm de précipitations, alors que la station du col de Fedoulès indique une moyenne de 966.6 mm par an pour la région de Djimla (**Tab.III.1**).

La variation des principaux paramètres permet de définir le régime pluviométrique de la région : quantité de pluie annuelle, quantité de pluie mensuelle, et saisonnière.

➤ Variations mensuelles

La répartition mensuelle des précipitations durant l'année et ses variations conditionnent (avec les facteurs thermiques et lithologiques), l'écoulement et le régime des cours d'eau, ainsi que des nappes alluviales. Les Tableaux.III.2 et III.3 donnent les moyennes mensuelles des précipitations de la période (2002-2018) pour la station du barrage El-Agrem et de (2004-2015) pour la station du col de Fedoulès.

Tab.III.2. Moyennes mensuelles des précipitations
(Station du barrage El-Agrem, période, 2002-2018)

Mois Station	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	Total
barrage El- Agrem	69.1	98.5	150.8	188.8	167.6	153.6	119.7	83.6	45.8	16.4	0.8	11.5	1106.2

Tab.III.3. Moyennes mensuelles des précipitations
(Station du col de Fedoulès, période, 2004-2015)

Mois Station	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jul	Aou	Total
col de Fedoulés	56.7	80.8	142.7	170.9	148.1	96	120.7	89.8	44.5	6.9	0.3	9.2	966.6

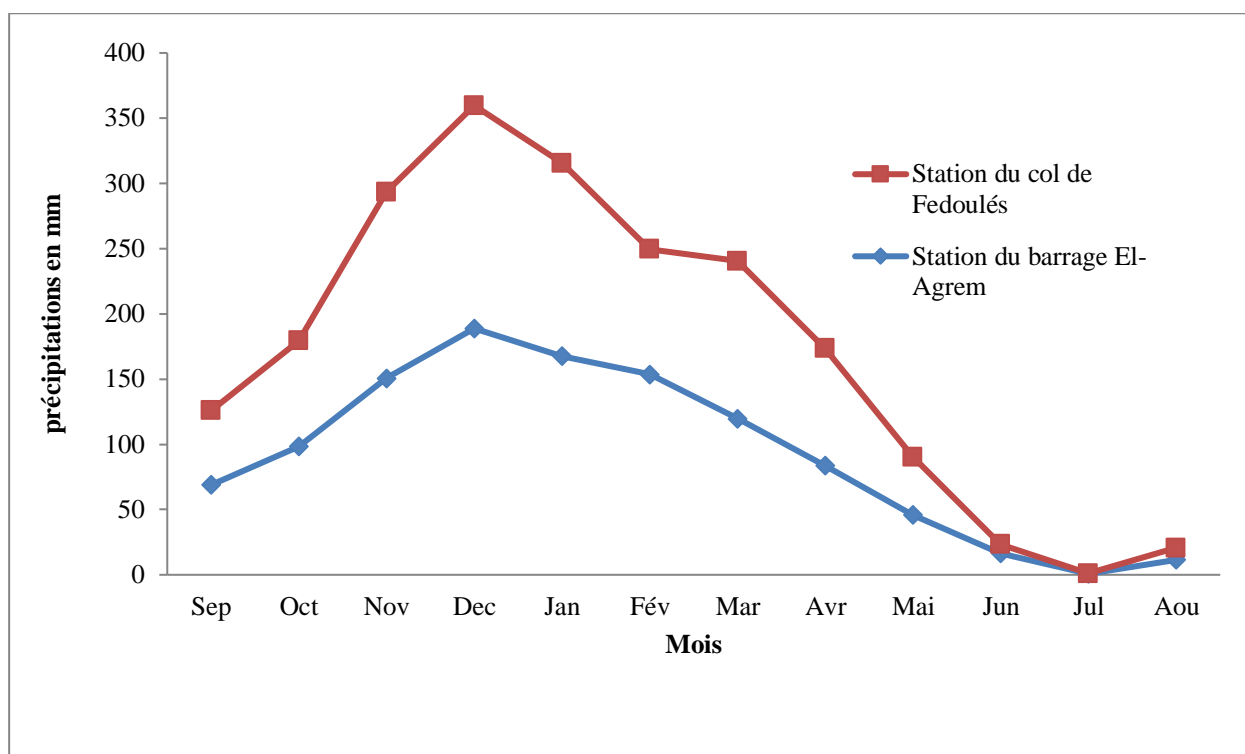


Fig.III.1. Courbes exprimant les moyennes mensuelles des précipitations [Stations du barrage El-Agrem (2002-2018), et du col de Fedoulès, (2004-2015)].

On remarque que : Les deux stations donnent un maximum pluviométrique durant les mois de novembre, décembre, et janvier.

➤ Variations saisonnières

Tab.III.4. Taux des précipitations saisonnières en (mm) et en (%) [Station du barrage El-Agrem, période, (2002-2018) et du col de Fedoulès période, (2004-2015)].

Saisons Station	Automne	Hiver	Printemps	Eté	Total
barrage El-Agrem	318.4	510	249.1	28.7	1106.2mm
	28.78	46.10	22.52	2.59	100%
col de Fedoulès	280.2	415	255	16.4	966.6mm
	28.99	42.93	26.38	1.70	100%

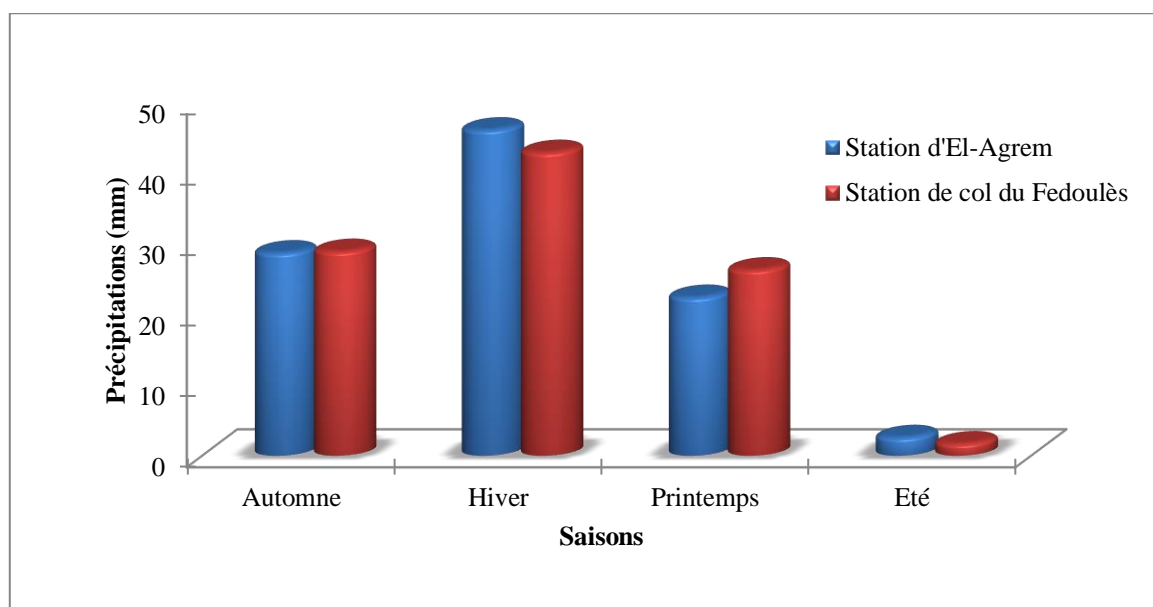


Fig. III.2. Répartition saisonnière de la pluie enregistrée à [(Station du barrage El-Agrem période (2002-2018) et Station du col de Fedoulès période (2004-2015)].

A partir du Tableau.III.4 et de la Fig.III.2, 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 (45%) et même plus, de sa pluviométrie annuelle.

On remarque que presque la moitié de la lame reçue dans la région étudiée se manifeste en hiver. Ainsi l'alimentation des cours d'eau et des nappes souterraines par les précipitations est donc considérable en saison hivernale.

b) Estimation des précipitations moyennes mensuelles

Les données de la station météorologique du barrage El-Agrem de la période (2002-2018) montrent que la région de Texenna reçoit annuellement 1106.2mm/an de précipitations. 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.2 donne les moyennes mensuelles des précipitations enregistrée à la station déjà citée.

D'après les résultats obtenus (**Fig.III.2**), 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 510mm, soit 46.10% des précipitations annuelles.

- La saison la plus sèche est l'été avec des précipitations de l'ordre 16.4 mm, soit 2.43% des précipitations annuelles.

III.2.2. Températures

La température de l'air est un facteur qui a une grande influence sur le bilan hydrologique du fait de son impact sur le déficit d'écoulement (évapotranspiration).

Le Tableau.III.7 et la Fig.III.3 présentent la répartition des températures moyennes mensuelles pour la période 2002-2018 au niveau de la station du barrage El-Agrem.

Tab.III.5. *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
Températures moyennes mensuelles et saisonnières (°C)	24.63	19.61	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		
Températures Moyennes (°C)	18.26											

D'après les résultats obtenus dans le tableau.III.7, le maximum de température est observé au niveau du mois d'Aout (27°C) et le minimum au niveau du mois de Février (11°C) avec une moyenne de l'ordre de 18°C.

En ce qui concerne les températures saisonnières, la saison la plus froide correspond à l'hiver, elle a comme valeur moyenne 12°C. La saison la plus chaude correspond à l'été, la valeur moyenne en cette période de l'année vaut de 25°C.

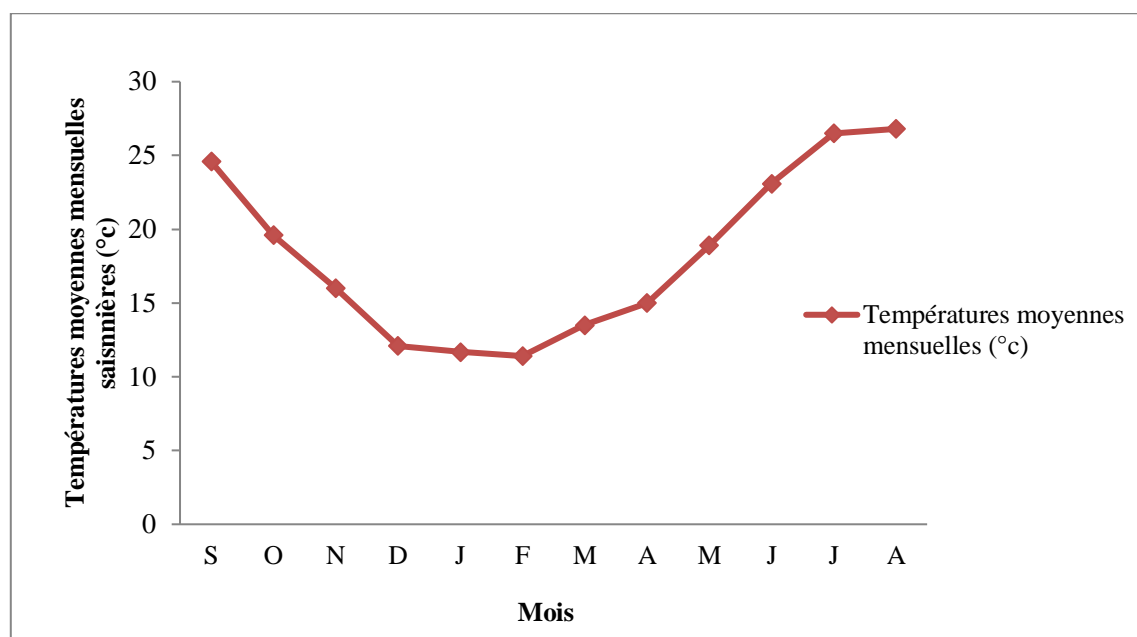


Fig. III.3. Distribution des températures moyennes mensuelles (Station du barrage El-Agrem, période 2002-2018).

III.2.3. Diagramme Ombrothermique

Le diagramme ombrothermique est établi selon la règle de Gaussen et Bagnoulis, ce diagramme est dressé selon le rapport des précipitations sur les températures ($P/2T$).

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

Tab.III.6. Données moyennes mensuelles des précipitations et des températures (Station du barrage El-Agrem, période 2002-2018).

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
P moy (mm)	167.6	153.6	119.6	83.6	45.8	16.4	0.8	11.5	69.1	98.5	150.8	188.8
Tmoy (C°)	11.68	11.4	13.5	15	18.9	23.1	26.5	29.8	24.63	19.6	16	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

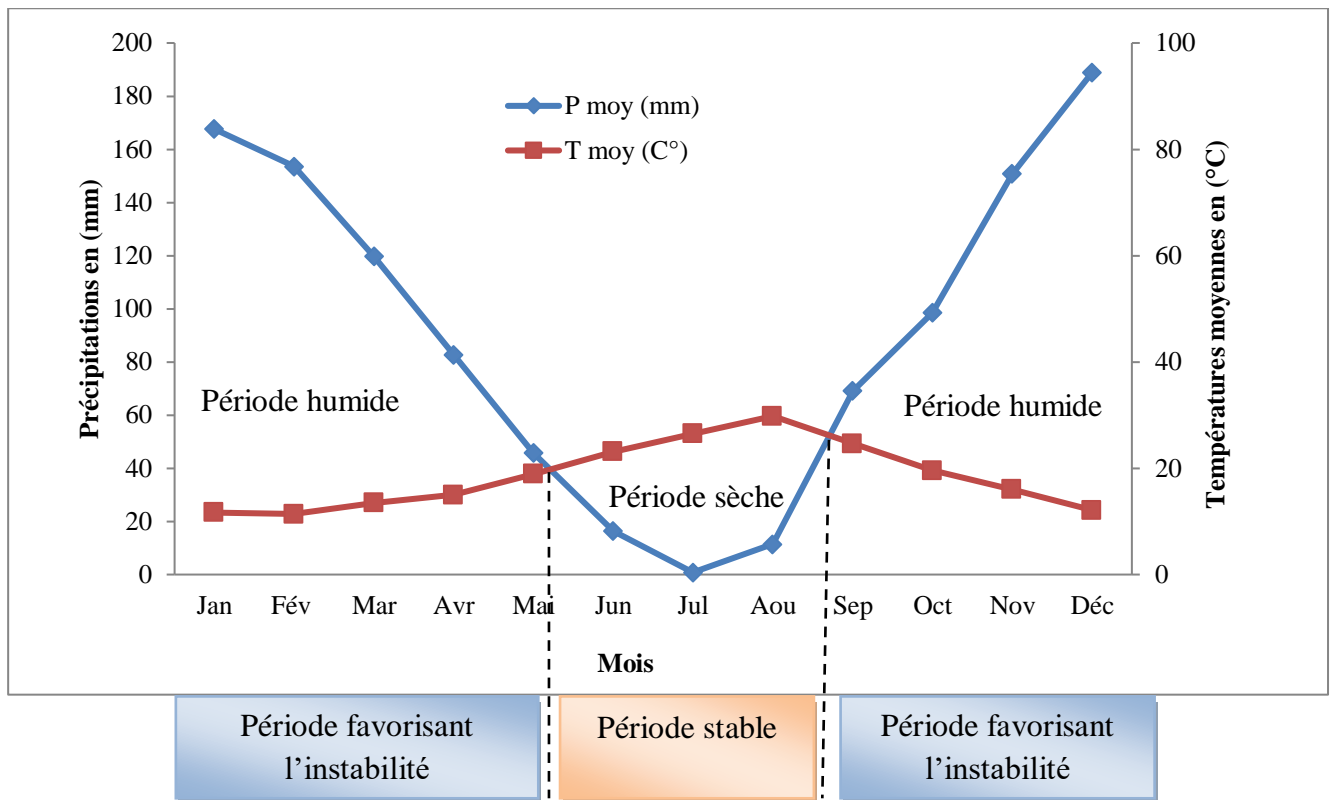


Fig.III.4. Diagramme ombrothermique (Station du barrage El-Agrem, période 2002-2018).

D’après le graphique (Fig.III.4) 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 du bilan hydrologique selon Thornthwaite est primordial pour l’évaluation des réserves d’eau transmises ou emmagasinées dans une région. Ce bilan s’effectue sur une année hydrologique, période d’environ 12 mois choisie pour que les variations des réserves soient minimales. Il est exprimé par la formule suivante :

$$P = ETR + R + I + Wa \dots\dots\dots (1)$$

Avec :

- P** : Précipitations moyennes annuelles en mm
- ETR** : Evapotranspiration réelle en mm
- R** : Ruissellement en mm
- I** : Infiltration moyenne en mm

Wa : Variation des réserves (terme souvent négligeable)

III.2.4.1. Evapotranspiration potentielle ou ETP

L'évapotranspiration potentielle (E.T.P) correspond à l'évapotranspiration d'une surface qui serait suffisamment approvisionnée en eau pour évaporer la quantité d'eau maximale permise par les conditions climatiques.

Quantité maximale d'eau susceptible d'être perdue en phase vapeur, sous un climat donné. On utilise la formule suivante proposée par Thornthwaite pour le calcul de l'ETP :

$$\text{ETP (mm)} = 16 (10.T / I)^a \dots\dots\dots (2)$$

Avec :

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 :

$$\text{ETP corrigée} = \text{ETP} \cdot K \dots\dots\dots (4)$$

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

Tab.III.7. Valeurs de l'ETP calculées par la formule de Thornthwaite (Station du barrage El-Agrem, période 2002-2018).

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	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	1106.28
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	11.18	7.91	5.82	3.81	3.58	3.48	4.50	5.28	7.49	10.15	12.49	14.92	90.60
ETP	112.44	72.03	48.9	28.13	25.91	25.04	34.82	42.76	67.10	99.22	129.68	163.02	848.64
K	1.03	0.97	0.86	0.84	0.87	0.85	1.03	1.1	1.21	1.22	1.24	1.16	
ETPc (mm)	115.81	69.87	41.70	23.63	22.54	21.29	35.86	47.04	81.19	121.05	160.80	169.10	929.88

La valeur obtenue de l'évapotranspiration potentielle annuelle est de 908.33mm pour un indice thermique annuel de 90.60. Nous notons qu'elle est largement inférieure aux précipitations qui sont de l'ordre de 1106.28 mm.

III.2.4.2. 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.8. Résultats de calcul de l'évapotranspiration réelle selon Thornthwaite (Station du barrage El-Agrem, période 2002/2018).

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	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	1106.28
ETPc (mm)	115.81	69.87	41.7	23.63	22.54	21.29	35.86	47.04	81.19	121.05	160.8	189.1	929.88
P-ETPc	-46.71	28.63	109.15	165.2	145.06	132.31	83.84	36.56	-35.39	-104.65	-160	-177.6	
RFU	0	27.22	100	100	100	100	100	100	62.86	0	0	0	
EX (mm)	0	0	108	164.31	144.17	131.46	82.62	35.16	0	0	0	0	601.5
DA	46.71	0	0	0	0	0	0	0	0	43.52	160	177.6	427.83
ETR (mm)	69.1	71.28	42.85	24.52	23.43	22.14	37.08	48.44	82.94	79.26	0.8	11.5	513.34

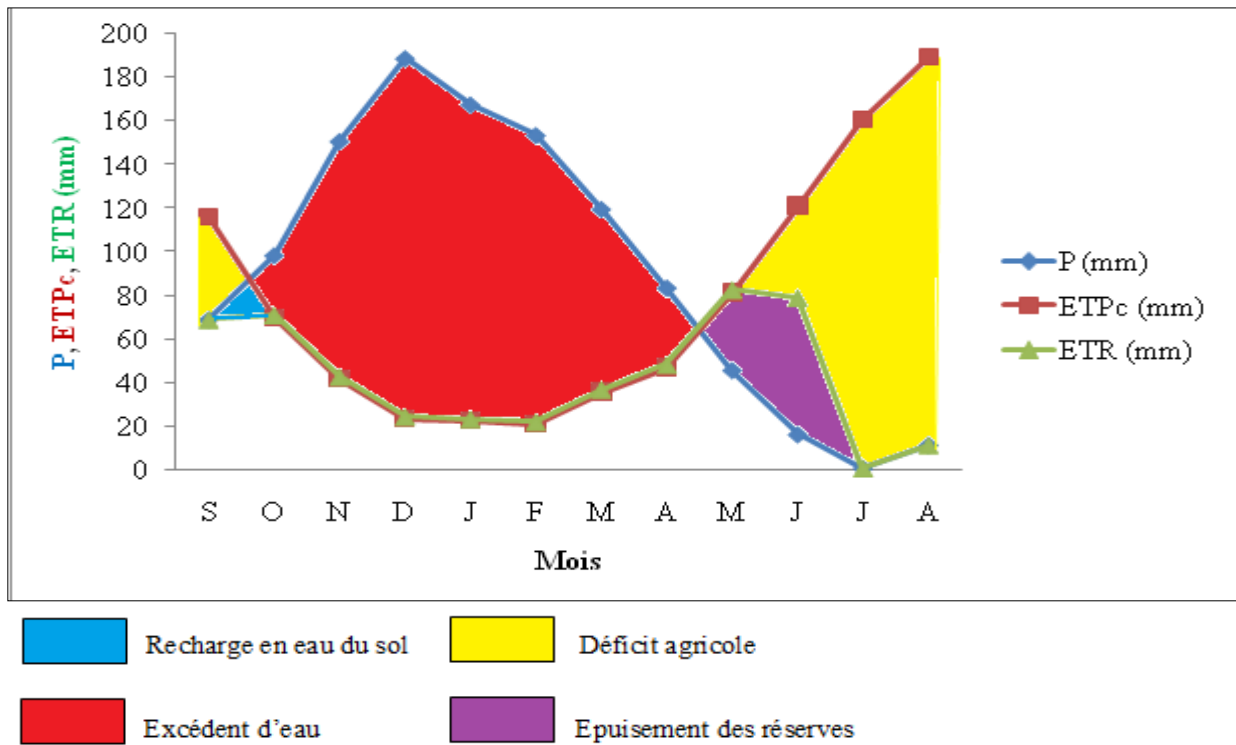


Fig.III.5. Bilan hydrologique par la méthode de Thornthwaite.

L'observation des données résumées dans le tableau.III.10 précédent et du graphique de la Fig.III.8, nous a permis de déduire les résultats suivants :

- 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 427.83mm où les précipitations sont très faibles à pratiquement nulles.
- L'évapotranspiration est élevée (513.34mm), les infiltrations sont nulles, les réserves sont épuisées et les cours de ruissellement sont asséchés.

III.2.4.3. 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 = 929.88 mm.

Précipitations moyennes annuelles. P = 1106.28mm.

Evapotranspiration réelle. ETR = 513.34mm.

a) Ruissellement

La lame d'eau ruisselée est estimée à partir de la formule Numer Chuck, si $P > 600\text{mm}$ son expression est comme suite :

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

Avec :

R : Ruissellement en (mm).

P : Précipitations moyennes annuelles.

$$R = (1.10628)^3 / 3 \text{ donc : } R = 0.451\text{m} \quad \Rightarrow \quad \boxed{R = 451\text{mm}}$$

$$R(\%) = (R \cdot 100) / P = (451 \cdot 100) / 1106.28 \quad \Rightarrow \quad \boxed{R = 40.77\%}$$

La valeur du ruissellement (R) obtenue est de 451mm, correspondant à 40.77% des précipitations.

b) Infiltration

Désigne le mouvement de l'eau pénétrant dans les couches superficielles du sol et l'écoulement de cette eau dans le sol et le sous-sol, sous l'action de la gravité et des effets de pression.

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

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

$$\text{Ce qui donne : } I = 1106.28 - (513.34 + 451) \quad \Rightarrow \quad \boxed{I = 141.94\text{mm}}$$

$$\text{En pourcentage: } I(\%) = (I \cdot 100) / P \dots \dots \dots (7)$$

$$I(\%) = (141.94 \cdot 100) / 1106.28 \quad \Rightarrow \quad \boxed{I(\%) = 12.83\%}$$

L'infiltration calculée est de l'ordre de 141.94mm, cette dernière est relativement faible est présente un pourcentage de l'ordre de 12.38% des précipitations moyenne annuelles.

III.3. Conclusion

Généralement les paramètres climatiques et hydrologiques de la zone d'étude jouent un rôle fondamental dans le déclenchement des mouvements de masse notamment les glissements de terrain.

À partir de cette étude hydroclimatologique de la région on peut conclure que notre région d'étude est caractérisée par un climat méditerranéen tempéré avec un hiver pluvieux et froid et un été chaud.

- Les précipitations durant la période (2002-2018) sont relativement très importantes et elles sont de l'ordre de 1106.28mm 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 929.88mm et 513.34mm.
- Le bilan hydrologique de Thornthwaite est dans son ensemble déficitaire.
- Le ruissellement (R) estimé par la formule de Numer Chuck est de 451mm, soit 40.77% des précipitations moyennes annuelles.
- L'infiltration (I) est estimée de l'équation du bilan de l'eau, elle est de l'ordre de 141.94mm, soit 12.38% des précipitations moyennes annuelles.

Chapitre IV

Chapitre IV

Reconnaitances géophysiques

Reconnaitances géophysiques

IV.1. Introduction

La reconnaissance géophysique est en fait l'art d'appliquer les mesures physiques à l'étude de la partie superficielle de la croûte terrestre. C'est une technique très répandue en géologie de l'ingénieur et pétrolière. Elle permet en effet une investigation rapide et peu coûteuse du sous-sol de manière non destructive. Elle met en œuvre un ensemble de méthodes indirectes où l'on cherche, à partir d'une ou plusieurs propriétés physiques, à déterminer la structure du milieu souterrain.

Pour chaque méthode, les domaines d'application sont très variés et couvrent l'ensemble des sciences de la terre et de la géotechnique.

Dans notre cas, on utilisera deux méthodes parmi les cinq existantes : la prospection électrique et la prospection sismique.

IV.2. Prospection géophysique par méthodes électrique et sismique

IV.2.1. Prospection électrique

La méthode de prospection électrique est une méthode visant à mesurer la résistivité électrique des formations géologiques. L'interprétation est basée sur l'analyse des contrastes de résistivité, qui permettra de localiser et d'appréhender la géométrie des différentes formations géologiques prospectées.

La prospection électrique ou bien la mesure de résistivité électrique d'une structure géologique consiste à injecter un courant électrique continu dans la structure au moyen de deux électrodes (nommées A et B) et de mesurer la différence de potentiel avec deux autres électrodes (nommées M et N) figure ci-dessous (**Fig.IV.1**). Le nombre et l'agencement des électrodes définies le dispositif électrique utilisé. Dans la pratique il existe plusieurs dispositifs : Schlumberger, Wenner, dipôle-dipôle, pôle-dipôle, etc. le dispositif est choisi selon la problématique à étudier.

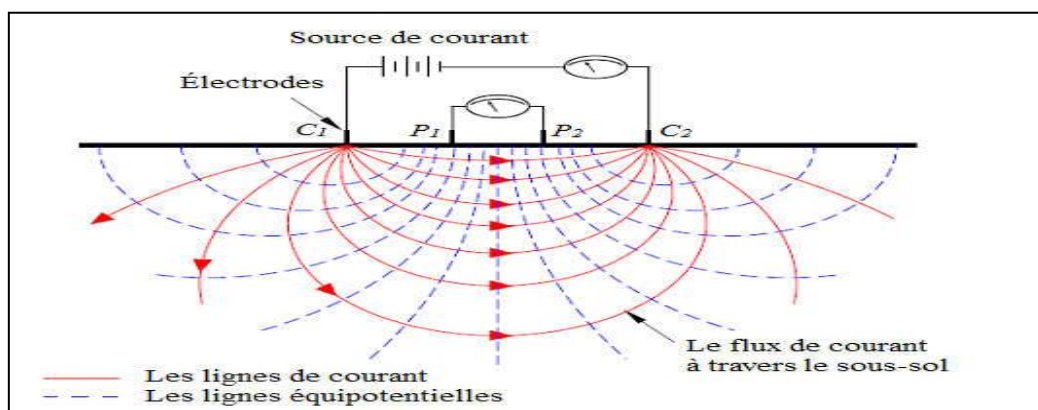


Fig.IV.1. Dispositif des électrodes pour la prospection électrique sur un terrain homogène (C1, C2, P1 et P2). (Hebbache, 2017).

IV.2.1.1. La résistivité électrique

La résistivité électrique ρ (ou son inverse la conductivité, $\sigma = 1/\rho$) d'un milieu est par définition la propriété physique qui détermine l'aptitude de ce milieu à s'opposer au passage du courant électrique (**Fig.IV.2**). Elle est exprimée en ohm.mètre ($\Omega.m$ ou ohm.m) (Konstantinos, 2006). La résistivité est la résistance ohmique d'un cylindre de section S et de longueur unitaire L (Chapellier, 2000). Cependant, c'est un paramètre complexe, qui va dépendre des propriétés intrinsèques d'un sol ou d'une roche. Elle est principalement contrôlée par la porosité du matériau, et par la résistivité électrique des fluides qu'il contient. La résistivité des matériaux géologiques offre une gamme de variation très large (Lénat & Douglas, 1995).

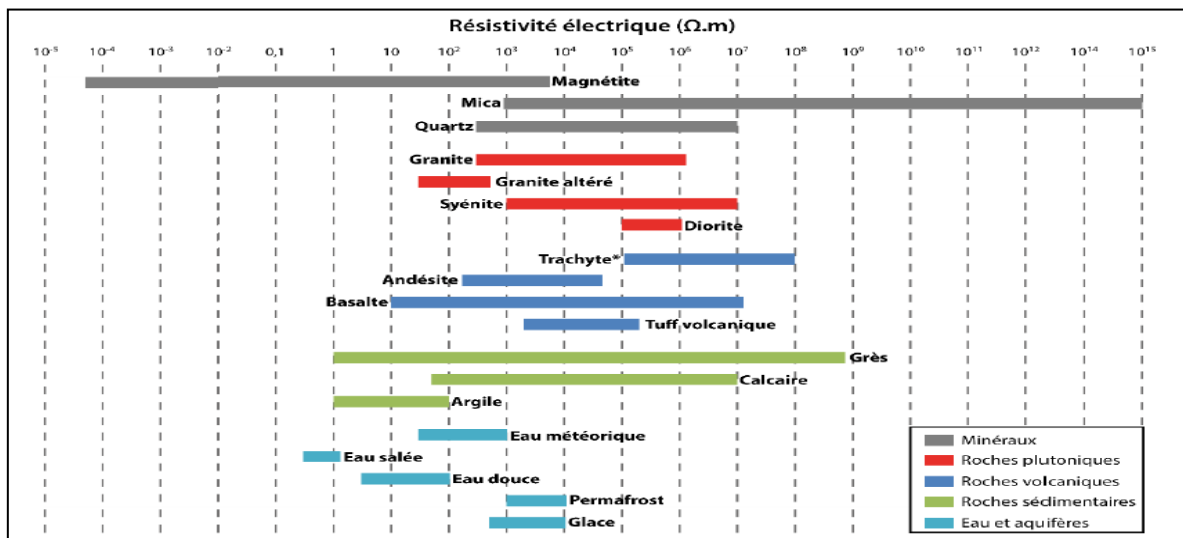


Fig.IV.2. Résistivité électrique de différents minéraux, roches et liquides. (Telford et al. 1976 ; Palacky, 1988; Reynolds, 2011).

IV.2.1.2. Les facteurs influant sur la résistivité électrique

Dans les sols, le passage du courant se fait selon un mode dit électrolytique : ce sont les ions contenus dans l'eau du milieu qui transportent les charges. On parle de conductivité électrolytique volumique quand les déplacements de charges s'effectuent dans l'eau interstitielle et de conductivité électrolytique surfacique lorsque les déplacements sont liés aux ions présents à la surface des particules solides (Cousin & al, 2012). La résistivité du sol, dépend de plusieurs facteurs qui influencent la formation d'électrolytes. Les facteurs principaux sont (Slaoui Hasnaoui, 2003).

a) La porosité

La porosité Φ d'un matériau est définie par le rapport du volume des vides sur le volume total d'un échantillon:
$$= \frac{V_v}{V_t}$$

V_v : volume des vides ;

V_t : volume total et où le volume des vides ;

La résistivité électrique augmente avec la diminution de la porosité.

Lorsque la porosité diminue et que la taille des pores diminuent et la longueur des capillaires qui relient les pores augmente. La longueur effective L du trajet parcouru par le courant électrique est ainsi augmentée et la section transversale effective A est diminuée, puisque les pores sont d'une taille plus petite.

$$\rho = \frac{RA}{L}$$

Puisque la résistance électrique est directement proportionnelle à la longueur du trajet suivi par le courant et inversement proportionnelle à la section transversale à la circulation du courant. La diminution de la porosité, augmente donc la résistance et la résistivité électrique. En effet, la résistivité électrique est directement proportionnelle à la résistance (Dubois, 2011).

b) La teneur en eau

C'est la fraction d'eau contenue dans les pores. Elle est définie comme suite :

$$S_e = \frac{V_e}{V_v}$$

Où :

V_e : est le volume occupé par l'eau dans les pores d'un matériau

V_v : est le volume total occupé par les pores ou le volume des vides.

La circulation du courant s'effectue au travers de l'électrolyte présent dans les pores. Par conséquent, plus le contenu en eau est élevé, plus les ions peuvent circuler facilement dans le matériau et plus la résistivité électrique du matériau est faible (Dubois, 2011).

$$\rho = \frac{\rho_{ea}\Phi - m}{S_e}$$

c) Présence de la fraction argileuse

Les argiles possèdent une structure composée de feuillets microscopiques qui peuvent être chargées négativement. Lorsque les argiles se retrouvent en présence d'eau, même en très faible quantité, les ions qui sont contenus dans l'eau peuvent être échangés avec les cations peu liés aux argiles. Le courant électrique peut donc passer librement à la surface de l'argile et la résistivité électrique est alors très faible.

Par ailleurs, une argile complètement sèche possède une faible conductivité électrique car les échanges ioniques sont presque impossibles en absence d'eau. Tous les matériaux qui contiennent une certaine quantité d'argile possèdent une conductivité électrique plus élevée qu'en son absence (Dubois, 2011).

IV.2.1.3. Principe et acquisition de l'imagerie électrique

La technique du sondage électrique vertical (SEV) permet de réaliser une investigation verticale du sous-sol, où les courants injectés pénètrent de plus en plus profondément dans le sol (Dubois et al. 2011). La réalisation du SEV sur le terrain est effectuée en écartant les électrodes d'injection tout en gardant le centre fixe et ce qui permet à chaque fois une profondeur d'investigation plus importante.

La technique du profilage électrique ou trainé électrique permet d'étudier la variation latérale de la résistivité pour une tranche de sol fixe. La réalisation du profilage électrique sur le terrain est effectuée en déplaçant l'ensemble du dispositif tout en gardant ses dimensions fixes.

La combinaison de ces deux techniques permet l'obtention d'un panneau électrique (imagerie électrique) qui représente la variation spatiale en 2D de la résistivité apparente (**Fig.IV.3**).

L'acquisition 2D utilise plusieurs électrodes connectées à un câble multi électrode placées selon un profil et un dispositif préalablement choisi en fonction de la problématique.

Le matériel utilisé lors de cette campagne est un résistivimètre de marque Saris de Scintrex. L'espacement inter électrodes régulier de cinq mètres. Le dispositif utilisé est le dispositif Schlumberger-Wenner qui est bien adapté pour imager les variations de résistivité en fonction de la profondeur et dans la direction latérale, et présente une bonne profondeur d'investigations.

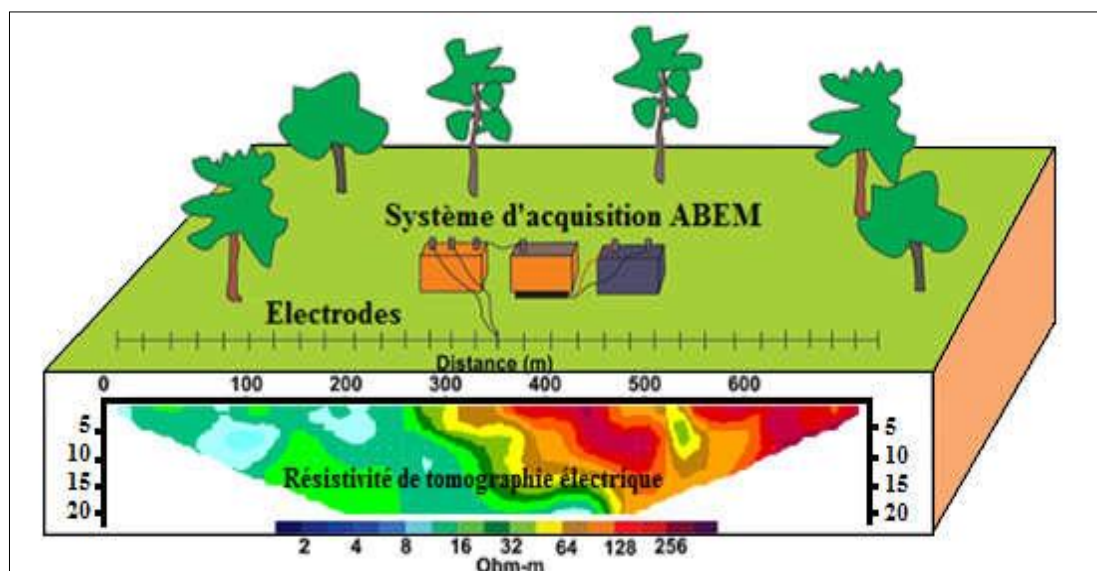


Fig.IV.3. Dispositif de mesure de tomographie électrique. L'image obtenue après l'inversion correspond à une tomographie électrique 2D (Aning, 2012, modifié).

IV.2.1.4. Procédure

a) Protocole de mesure

L'installation des câbles et des électrodes, le long d'un profil, se fait après l'observation du terrain et un temps de réflexion pour essayer de recouper au mieux les accidents géologiques. Il

faut ensuite connecter tous les câbles a l'entrée du résistivimètre ABEM, lui-même relie a la centrale d'acquisition qui enregistre les résistivités apparentes mesurées (**Fig.IV.4**).

Cet appareil, grâce a une batterie de 12V injecte le courant électrique entre les électrodes A et B et mesure le potentiel électrique entre les électrodes M et N. La centrale d'acquisition nous permet de choisir un des dispositifs (Schlumberger, Wenner, Dipôle-dipôle...). Cet appareil contrôle la matrice de relais sur laquelle les câbles sont connectes et toutes les électrodes peuvent jouer, tour à tour, le rôle A, B, M ou N (Bouali & Saib, 2018).

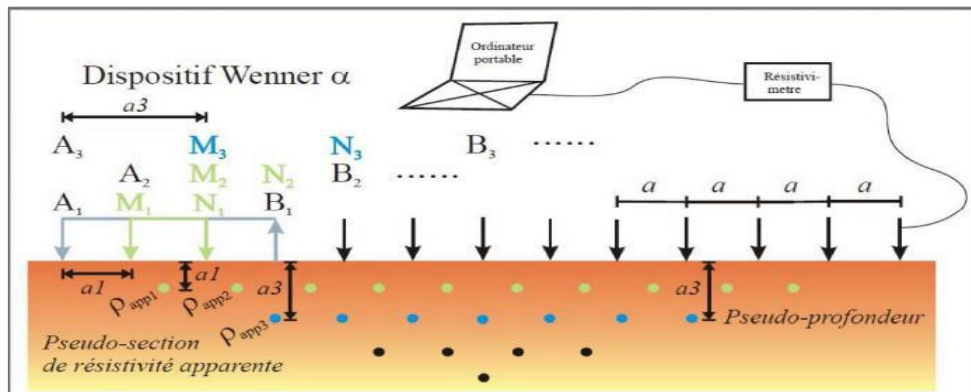


Fig.IV.4. Illustration de la technique tomographique.

IV.2.1.5. Les différentes configurations

Les principales configurations utilisées dans la tomographie électrique sont:

a) La configuration Schlumberger :

Dans le dispositif Schlumberger, les électrodes de mesure sont immobiles au centre du dispositif et on fait varier l'écart entre les électrodes d'injection. On obtient ainsi un sondage de la résistivité en profondeur sous le centre du dispositif (Bouali & Saib, 2018).

$L = \frac{AB}{2}$, $l = \frac{MN}{2}$. La géométrie du dispositif est illustrée sur la figure (**Fig.IV.5**).

$$\rho a = \pi \frac{L^2 - l^2}{2l} \frac{V}{I}$$

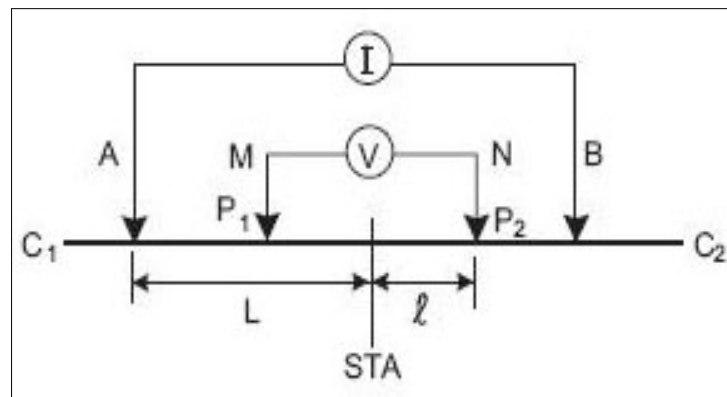


Fig.IV.5. Configuration de Schlumberger.

b) Configuration de Wenner

Le dispositif de mesure le plus fréquemment utilisé en tomographie électrique est le dispositif Wenner. Avec ce dispositif, les résistivités apparentes sont moins affectées par les variations latérales superficielles. Pour ce dispositif, l'écartement entre électrodes est constant (distance a) et les électrodes de courant entourent les électrodes de potentiel (Bouali & Saib, 2018).

$$a = AM = MN = NB$$

La géométrie du dispositif est illustrée sur la figure (Fig.IV.6).

$$\rho a = 2\pi a \frac{V}{I}$$

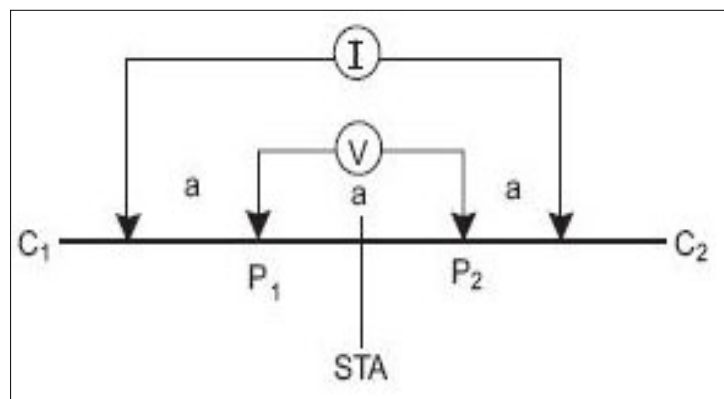


Fig.IV.6. Configuration de Wenner.

Les autres configurations sont résumées dans le tableau ci-dessous

Tab.IV.1. Les différentes configurations (Bouali & Saib, 2018).

Dipôle-dipôle	A-M-N-B à l'intérieur du réseau d'électrodes (câble flûte)	AB=MN MN à l'extérieur du dipôle AB	Projection de la mesure en surface entre les dipôles AB et MN	Profondeur d'investigation croit avec l'écart entre AB et MN
Pôle-dipôle	A-M-N-B à l'intérieur du réseau d'électrodes (câble flûte) et B à l'extérieur, a l'infini	AB =MN et/ ou AM> MN A à l'extérieur du dipôle MN	Projection de la mesure en surface centre du dipôle MN ou entre le centre de MN et A	Profondeur d'investigation croit avec l'écart entre A et MN
Pôle-dipôle réciproque	A-M-N-B à l'intérieur du réseau d'électrodes (câble flûte) et N à l'extérieur, a l'infini	AB =BM et/ ou BM> AB M à l'extérieur du dipôle AB	Projection de la mesure en surface entre M les dipôles AB	Profondeur d'investigation croit avec l'écart entre M et AB
Pôle-pôle	A-M- à l'intérieur du réseau d'électrodes (câble flûte) puis B et N à l'extérieur, a l'infini		Projection de la mesure en surface entre A et M	Profondeur d'investigation croit avec l'écart entre A et M

IV.2.1.6. Interprétation de données en tomographie électrique

a) Définition d'une pseudo-section

L'interprétation des données géophysiques permet de fournir des informations litho-structurale sur le sous-sol étudié (Azizi, 2017). La première étape dans l'interprétation des données en tomographie électrique consiste à construire une pseudo-section (**Fig.IV.7**). Une pseudo-section est une carte de résultat qui présente les valeurs des résistivités apparentes calculées à partir de la différence de potentiel mesurée aux bornes de deux électrodes de mesure ainsi que de la valeur du courant injecté entre les deux électrodes d'injection.

La couleur d'un point sur la pseudo-section représente donc la valeur de la résistivité apparente en ce point (Hebbache, 2017).

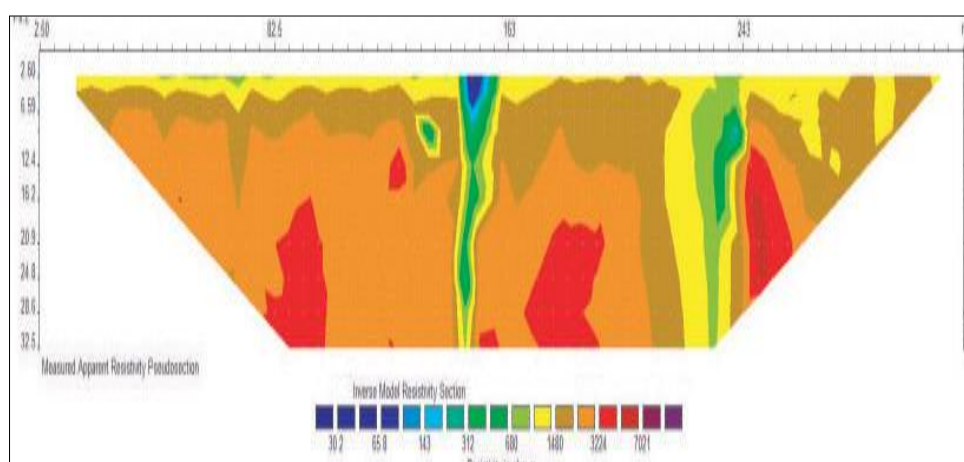


Fig.IV.7. Carte de pseudo-section.

b) Modèle d'inversion

Afin d'obtenir une image quantitative représentant les variations de résistivité réelle (et non apparente) en fonction de la vraie profondeur, il est nécessaire d'inverser la pseudo-section.

Cette inversion des données est réalisée suivant un processus itératif qui tente de minimiser l'écart entre la pseudo-section mesurée et une pseudo-section recalculée à partir d'un modèle de résistivité électrique. Ce modèle est modifié à chaque itération jusqu'à ce que les données mesurées et calculées atteignent une concordance acceptable ou jusqu'à ce qu'aucune nouvelle amélioration ne soit possible.

Toutes les méthodes d'inversion tentent essentiellement de déterminer un modèle de sub-surface qui se rapproche au mieux des mesures. Un modèle est une représentation mathématique idéalisée d'une portion de la Terre. Il existe une application mathématique : la méthode des éléments finis ou des différences finies qui permet de passer de l'espace des mesures : la résistivité apparente à l'espace des paramètres physiques du modèle à estimer : la valeur de la résistivité en chaque point de la section (**Fig.IV.8**).

Le programme d'inversion peut être utilisé pour différentes configurations d'électrodes. Chaque type de configuration a ses avantages et inconvénients. Il faudra donc choisir, à l'aide du logiciel d'inversion, la meilleure configuration en fonction des structures géologiques que l'on cherche à mettre en évidence (Bouali & Saib, 2018).

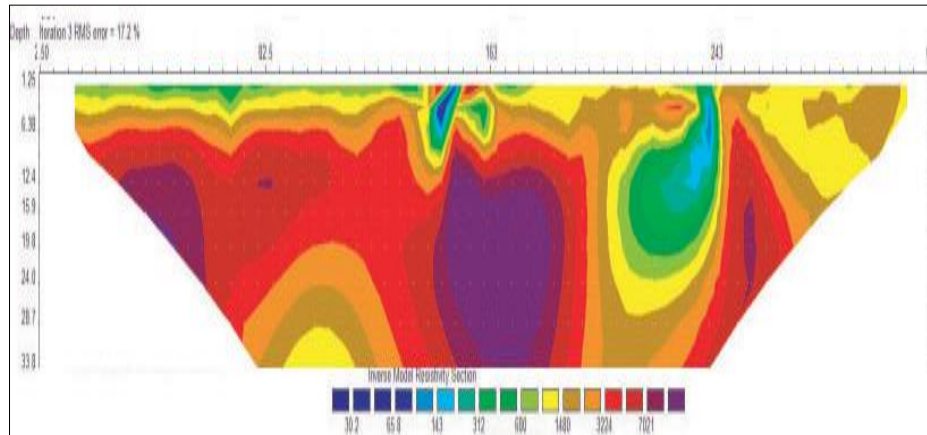


Fig.IV.8. Modèle d'inversion.

Plusieurs méthodes d'inversion (robuste, moindres carrées, simple ...) sont fournies avec le logiciel et il est conseillé d'en tester plusieurs afin de choisir celle qui correspondra le mieux au terrain. Le logiciel permet de supprimer les "mauvaises" mesures afin qu'elles ne soient pas incluses dans le calcul du modèle. Il existe deux types d'erreurs : systématiques et aléatoires. Les erreurs systématiques se produisent lorsqu'un problème surgit au cours de l'acquisition des données (problèmes de câbles, mauvais contact entre le sol et les électrodes). Les erreurs aléatoires concernent les paramètres que l'on ne peut pas contrôler (variation diurne, tempête magnétique) et qui sont plus difficiles à mettre en évidence. (Bouali & Saib, 2018).

c) Pseudo-section calculée

La distribution des résistivités calculées à partir du modèle. Il donne la résistivité apparente que l'on aurait mesurée si l'on avait une distribution de résistivités du sous-sol identique au modèle calculé. On l'appelle la pseudo-section calculée (**Fig.IV.9**).

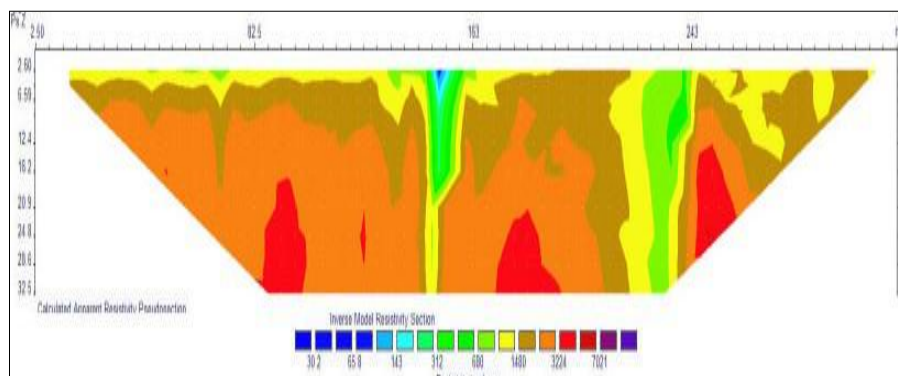


Fig.IV.9. Pseudo-section calculée.

Simplement : on fait des mesures de résistivités apparentes, l'inversion des données nous donne une carte de résistivité (le modèle) et si on calcule à partir de ce modèle les résistivités apparentes, on obtient une pseudo-section calculée.

Le logiciel compare ensuite la pseudo-section mesurée et modélisée et fournit un pourcentage d'erreur entre les deux. Il faut choisir le modèle de résistivité de façon à minimiser l'écart entre la pseudo-section mesurée et calculée.

Le problème des méthodes d'inversion dans le domaine de la géophysique concerne le non unicité des solutions (Bouali & Saib, 2018).

IV.2.2. Prospection sismiques

Le sismique est une méthode géophysique permettant d'imager la géométrie des différentes couches du sous-sol (Blondel, 2014).

Le principe de la méthode sismique consiste à provoquer un ébranlement qui donne naissance à une onde vibratoire qui se propage dans toutes les directions, puis à enregistrer, par l'intermédiaire de géophones, l'arrivée de certaines ondes (compression, cisaillement ...) en différentes stations.

L'étude des temps de propagation des ondes permet de définir la nature et la géométrie des couches en se basant sur le fait que les ondes se propagent à des vitesses différentes dans des formations différentes.

IV.2.2.1. Tomographie sismique

La tomographie sismique est une méthode de prospection du sous-sol, utilisée à cartographier les hétérogénéités du sous sol en fonction de la vitesse. Elle exploite la propagation des ondes sismiques pour caractériser le milieu par des paramètres liés à la théorie d'élasticité tels que la vitesse de propagation des ondes sismiques. La mesure des temps des trajets des rayons sismiques traversant le milieu donne la possibilité d'obtenir la distribution du paramètre vitesse dans la portion du sous-sol prospectée (McMechan, 1983; Ivansson, 1987; Bregman et al. 1989; Pratt et Sams, 1996; Wong, 2000).

On appelle inversion des temps de propagation, la détermination de la distribution de la vitesse à partir des données de mesures.

Tab.IV.2. Les gammes de Vitesses des ondes P et S.

Nature des terrains	Vitesse des ondes P [m/s]	Vitesse des ondes S [m/s]
Eboulis, terre végétale	300-700	100-300
Sable sec	400-1200	100-500
Sable humide	1500-4000	400-1200
Argiles	1100-2500	200-800
Marnes	2000-3000	750-1500
Grés	3000-4500	1200-2800
Calcaire	3500-6000	2000-3300
Craie	2300-2600	1100-1300
Sel	4500-5500	2500-3100
anhydrite	4000-5500	2200-3100
Dolomie	3500-6500	1900-3600
Granite	4500-6000	2500-3300
Basalte	5000-6000	2800-3400
Charbon	2200-2700	1000-1400
Eau	1450-1500	-
Glace	3400-3800	1700-1900
Huile	1200	-

IV.3. Conclusion

Ce chapitre a permis d'introduire les principales méthodes géophysiques qui sont à la base, de tomographie électrique et sismique et leurs applications dans le domaine de l'étude des glissements de terrain. Les modes d'acquisition et de traitement des données y sont aussi présentés.

Chapitre V

Chapitre V

Auscultation géophysique et géotechnique

Auscultation géophysique et géotechnique

V.1. Introduction

Les reconnaissances et études géotechniques complètent celles réalisées par la géologie et l'hydrogéologie, donc il faut faire une étude géotechnique spécifique avant d'apprécier le comportement et la nature lithologique du sol, cette campagne de reconnaissance consiste en des essais de laboratoire et des essais in-situ, l'intérêt de cette étude est de collecter des informations sur :

- La nature lithologique des couches;
- Les propriétés physiques et mécaniques des sols;
- Evaluer l'aptitude des sols à supporter les différentes charges.

Dans le domaine des instabilités de terrain, l'étude géotechnique vise essentiellement à élucider les causes et les mécanismes des mouvements, d'analyser la stabilité du site en question, et enfin à définir les travaux de confortement adéquats en tenant compte de l'aspect technico-économique de l'opération de stabilisation.

V.2. Description et causes des glissements de terrain étudiés

Les glissements de terrain visés par notre étude sont localisés au nord du col de Tamentout, plus exactement au niveau d'une section qui traverse en déblais les PK43+050 et 44+500 des terrains en pente (**Fig.V.1**). Cette pente évolue, d'une manière générale, dans les directions N-NE. Dans cette section c'est prévu des terrassements avec la réalisation d'une fouille en tranche. Dans certaines zones les terrassements prévoient la réalisation de talus de hauteur de 8 m avec pendage 3H/2V ou 2H/1V et un maximum de 6 risbermes larges de 3 m. Lors de la réalisation des travaux de terrassement des désordres se sont apparues suivis par un nouveau glissement défini au Nord des glissements étudiés, pour cela les travaux de fouille ont été gelés temporairement. Néanmoins, et après la réalisation des nouvelles excavations les phénomènes d'instabilité ont subi une ultérieure dégradation et évolution.

L'apparition des désordres survenus sur la zone d'étude est le résultat de la conjugaison de plusieurs facteurs qui sont d'ordre géologique, hydrogéologique, géomorphologique et géotechnique. Parmi les dégradations observées sur site (**Fig.V.1**) en cite entre autres :

- Présence d'indices d'instabilités matérialisées par de nets Affaissements, et présence de bourrelets ; on y relève également des fissures et inclinaison des arbres, et poteaux électriques vers le bas de la pente.
- Affaissement très important de la chaussée avec des fissurations et rupture de sol surtout au niveau des zones de faiblesse tectonique.



Fig.V.1. Dégradations observées au niveau du site d'étude.

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 glissement de terrain tels que :

1) La pente topographique : Les conditions de stabilité d'un talus étant directement liées à sa pente.- versant présentant des pentes moyennes à fortes (**Fig.V.2**). 2) La nature lithologique : Nature argilo-marneuse des terrains et leur sensibilité en présence d'eau. 3) Causes d'origine naturelle : la forte pluviométrie, les eaux de ruissellement, et la couverture neigeuse, favorise elle aussi, lors de sa fonte lente l'imbibition des terrains qu'elle recouvre. 4) Accidents tectoniques : Axes principaux des zones instables (présence de failles régionales). 5) Facteurs anthropiques : Suite à des travaux de terrassements (surcharge en tête du talus déjà instable, décharge en pied supprimant une butée stabilisatrice...etc.). Rôle des séismes : Selon la Réglementation Parasismique Algérienne, la wilaya de Jijel est caractérisée par une sismicité moyenne (Zone IIa) avec une accélération de zone de l'ordre de 0,25g (RPOA 2008). Historiquement, le 21 août 1856 une forte Un séisme d'intensité VIII sur l'échelle MSK a secoué la ville de Djedjelli (aujourd'hui Jijel). Il a été suivi le 22 août 1856 d'un second séisme d'intensité IX (Harbi et al, 2003). Ce séisme de magnitude $M_s > 7$ a provoqué des glissements de terrain, des fissures et des phénomènes de liquéfaction (Harbi et al, 2011). Le dernier séisme ressenti dans la région est celui d'Août 2020.

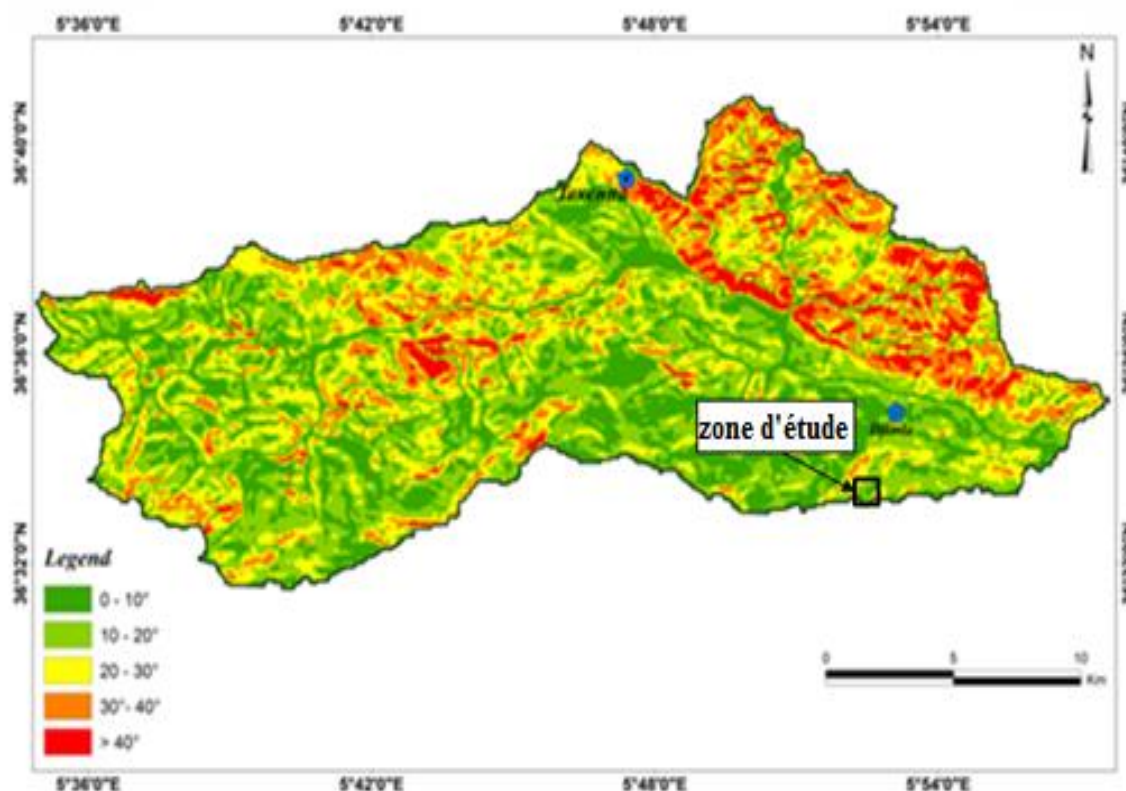


Fig.V.2. Localisation des glissements de terrain étudiés sur la carte des pentes de la zone d'étude.

V.3. Matériels et méthodes

V.3.1. Investigations géotechniques

Les investigations géotechniques sont réalisées par des sondages mécaniques à carottage continu, afin d'établir la séquence lithologique et de déterminer les propriétés physico-mécaniques du sol à partir d'échantillons prélevés. Les résultats des essais géotechniques effectués par le bureau d'étude Rizzani De Eccher (2017) ont été utilisés.

V.3.1.1. Essai in-situ

Plusieurs types d'essais et mesures in-situ peuvent être réalisées à différentes étapes de l'étude d'un ouvrage. Cela est fonction de plusieurs paramètres tels que : la nature des terrains de fondation, les problèmes géotechniques rencontrés, l'importance de l'ouvrage envisagé...etc. Ils permettent de mesurer les caractéristiques physico-mécaniques des sols, en intégrant l'effet des discontinuités de ce dernier (Degoutte, 1997). Parmi ces essais on peut citer :

a) Sondages carottés

Dix (10) sondages carottés ont été réalisés dans la zone étudiée, avec une profondeur varie entre 0m et 40m. Ces derniers ont été implantés d'une manière à couvrir toute la superficie du

terrain en vue de mettre en évidence les différentes couches constituant le terrain et de déterminer leurs épaisseurs. Les résultats obtenus par ces sondages carottés sont reportés dans le Tableau IV.2 suivant :

Tab.V.1. Résultats des sondages carottés (Rizzani De Eccher, 2017).

Sondage N°	PK	Profondeur	Lithologie
SC 01	43+600	0-3m	Argiles
		3-13.50m	Argiles marneuses
		13.50-17m	Marnes friables
SC 02	43+700	0-9m	Argiles
		9-30m	Marnes compactes
SC 03	43+800	0-0.30m	Terre végétale
		0.30-5m	Argiles
		5-25m	Marnes
SC 04	43+900	0-13m	Argiles
		13-30m	Marnes
SC 05	44+023	0-0.30m	Terre végétale
		0.30-1m	Argiles marneuse altéré
		1-6m	Marnes altéré
		6-11m	Argiles altéré
		11-20m	Marnes grises feuilletés
SC 06	44+340	0-10m	Argiles
		10-19m	Marnes
		19-30m	Marnes sains
SC 07	44+400	0-35m	Argiles
SC 08	44+420	0-30m	Marnes
SC 09	44+460	0-6.60m	Argiles
		6.60-30m	Marnes sains
SC 10	44+600	0-0.50m	Argiles
		0.50-8.40m	Argiles marneuse humide moyennement compacte
		8.40-11m	Argiles sableuses renfermant des Caillaux des grés
		11-20m	Grés

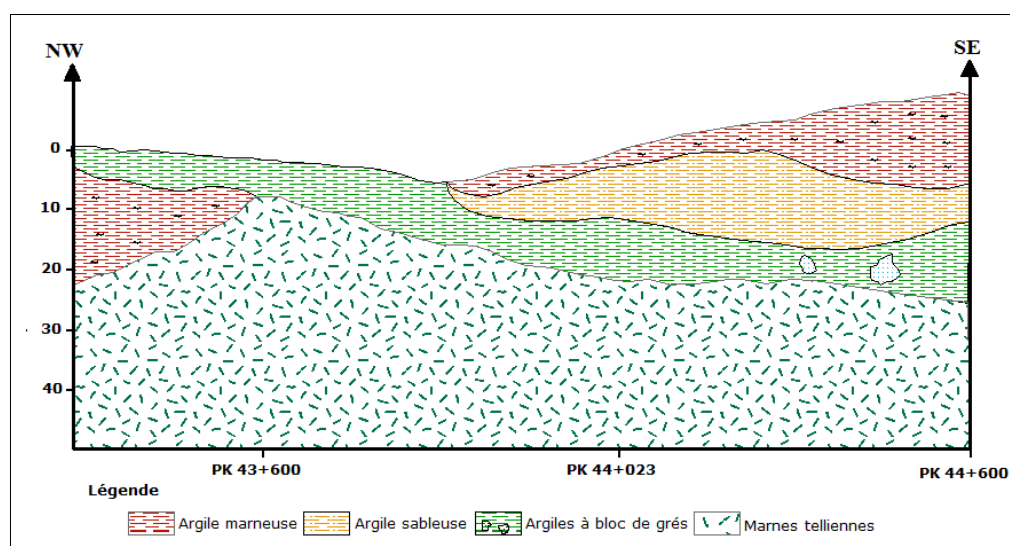


Fig.V.3. Coupe lithologique au niveau de la zone étudiée.

À partir des résultats trouvés des sondages carottés (**Tab.V.1**) et de la coupe lithologique (**Fig.V.3**), on peut conclure que le terrain est constitué principalement d'une couche de surface représentée par argiles tendres et friables, surmontant un bed-Rock composé de marnes grises telliennes compactes.

b) Niveau piézométrique

Le niveau piézométrique a été mesuré dans les sondages réalisés. Dans le Tableau suivant, sont résumés les résultats des mesures effectuées :

Tab.V.2. Résultats de niveau piézométrique mesurés (Rizzani de Eccher, 2017)

Sondage N°	PK	Profondeur		Profondeur de la nappe	
		Forages (m)	Piézomètre (m)	(m)	(NGA)
SC 01	43+600	20	20	10.40	825.18
				10.38	825.20
				10.38	825.20
				10.39	825.19
				10.48	825.10
				10.56	825.02
SC 02	43+700	30	30	10.70	828.88
				4.60	814.94
				4.64	814.90
				4.70	814.84
SC 03	43+800	25	25	4.80	814.74
				7.60	811.35
				7.60	811.35
				7.61	811.34

				7.76	811.19
				7.93	811.02
				8.11	810.84
				8.23	810.72
				12.07	806.88
				12.10	806.85
				12.30	806.65
				12.30	806.65
SC 04	43+900	25	25	15	825.68
				15.05	825.63
				15.07	825.61
				15.10	825.58
SC 05	44+023	20	20	1.56	849.30
				1.10	849.76
				1.10	849.76
				1.80	849.06
				1.05	849.81
				1.03	849.83
SC 07	44+400	35	35	4.40	895.10
				3.30	896.20
				2.90	896.60
				2.85	896.65
SC 10	44+600	70	70	24.40	925.40
				24.60	925.20
				32.70	917.10
				32.75	917.05

À partir des résultats de variation de niveau piézométrique, on peut dire que ce dernier a été intercepté à la profondeur varie entre 1.03m et 32.75m de la côte du terrain naturel.

V.3.1.2. Essais de laboratoire

Le long des sondages, des échantillons (intacts et remaniés) ont été prélevés pour la réalisation des essais de laboratoire nécessaires à la définition des caractéristiques physiques et mécaniques, à savoir :

a) Essais physiques

Les résultats des paramètres physiques mesurés par (L.C.T.P, 2015) sont regroupés dans le Tableau.V.3 suivant :

Tab.V.3. Caractéristiques physiques des sols (L.C.T.P, 2015).

Sondage Carotté N°	PK	Profondeur(m)	W%	$\gamma_h(T/m^3)$	$\gamma_d(T/m^3)$	Sr%
SC 05	44+023	1-1.30	22.97	1.94	1.58	87.47
		1.30-1.87	27.31	1.87	1.47	88.12
		2.20-2.50	31.35	1.81	1.38	88.48
		6.20-6.45	0.97	2.18	1.98	53.34
		7.55-7.84	12.38	2.12	1.89	77.84
		16.20-16.50	8.69	2.19	2.01	68.32
SC 07	44+400	4.41-4.82	5.60	2.10	1.98	41.57
SC 10	44+600	7.50-7.90	3.87	2.55	2.40	83.58
		1.-10.40	4.81	2.51	2.39	100
		15.20-15.50	4.85	2.49	2.38	96.04

D'après les résultats obtenus, on peut dire que les sols rencontrés sont dans un état légèrement humide à humide, moyennement dense et partiellement saturé.

b) Limites d'Atterberg

Les limites d'Atterberg permettent de prévoir le comportement des sols en particulier sous l'action des variations de la teneur en eau. 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) ainsi que l'indice de consistance (I_c) sont reportés le dans le Tableau.V.4 suivant :

Tab.V.4. Résultats des essais de limites d'Atterberg (Rizzani De Eccher, 2017).

Sondage Carotté N°	Profondeur en (m)	Limites d'Atterberg en %			
		W_L	W_P	I_P	I_c
SC 01 PK43+600	2.00 - 2.40	38.14	22.87	15.27	1.35
	2.47 - 3.00	47.81	34.79	13.02	3.67
	6.00 - 6.54	26.9	20.68	6.22	4.32
	7.50 - 7.90	36.05	22.78	13.27	1.59
	8.40 - 8.70	39.88	26.77	13.11	2.00
	9.00 - 9.70	35.9	23.74	12.16	1.73
	10.30 - 10.60	41.86	22.7	19.08	1.01

	11.00 - 11.30	35.85	26.43	9.42	1.82
	12.00 - 12.50	36.91	26.87	10.05	3.67
	16.20 - 16.35	35.84	21.76	14.08	1.29
SC 03 PK43+800	11.50 - 11.80	36.97	26.87	10.1	2.43
	22.20 - 22.40	33.68	23.93	9.75	2.59
SC 05 PK44+023	1-1.30	56.81	55.40	21.41	2.51
	1.30-1.87	51.87	34.55	17.32	1.42
	2.20-2.50	43.79	24.48	19.31	0.64
	6.20-6.45	42.63	25.25	17.38	1.88
	7.55-7.84	50.81	32.48	18.33	2.10
	16.20-16.50	32.84	24.41	8.43	2.86
SC 07 PK44+400	4.41-4.82	27.68	16.58	11.1	1.98
SC 10 PK44+600	7.50-7.90	35.91	22.85	13.06	2.45
	1.-10.40	33.91	23.78	10.13	2.87
	15.20-15.50	32.87	23.71	9.16	3.05

À partir des résultats obtenus, on remarque que les valeurs de l'indice de plasticité (I_p) varient entre 6.22% et 21.41%, indiquant qu'on est en présence d'une argile peu plastique.

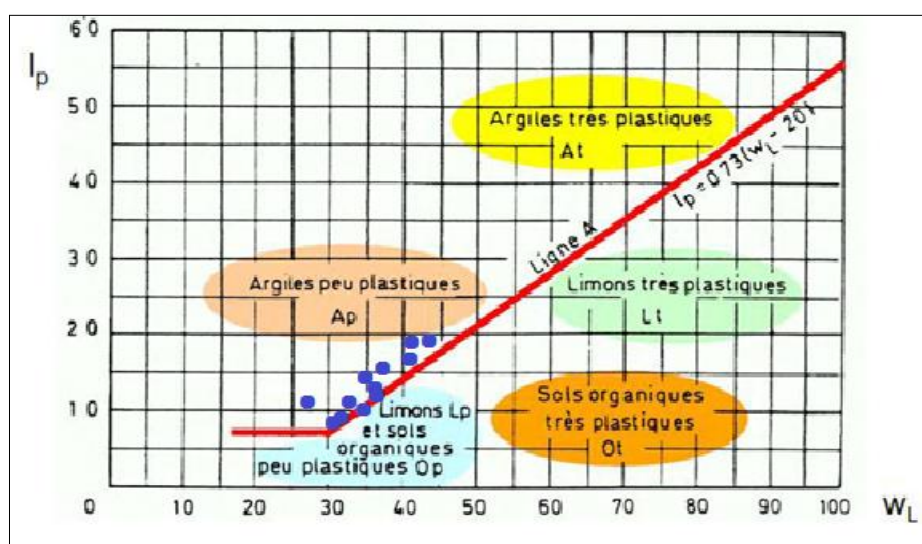


Fig.V.4. Classification des sols selon l'abaque de plasticité de Casagrande.

La classification des sols fins réalisée à partir du diagramme de Casagrande basée sur la limite de liquidité (W_L) et l'indice de plasticité (I_p), (**Fig.V.4.**) nous a permis de constater que,

les points sont situées au-dessus de la droite A : [$I_P = 0,73 (W_L - 20)$], ce qui caractérise une Argile peu plastique (AP) de consistance très dure.

c) Essais mécaniques

Deux types d'essais ont été exécutés pour déterminer les paramètres mécaniques des sols des sites d'étude à savoir :

- ❖ Essai de compressibilité à l'œdomètre;
- ❖ Essai de cisaillement rectiligne.

➤ Essai œdométrique

Les résultats des essais œdométriques réalisés par le bureau d'étude Rizzani d'Eccher sont présentés dans le Tableau.V.5 suivant :

Tab.V.5. Résultats des essais œdométriques (Rizzani d'Eccher, 2017).

Sondage carotté N°	PK	Profondeur(m)	Lithologie	Pc (kpa)	Cc(%)	Cg(%)	e0 (oed)	OCR
SC 05	44+023	6.3	Argiles marneuses altérées	251	8.55	3.12	0.50	3
SC 10	44+600	15.4	Argiles	221	9.75	1.56	0.3806	1

Les résultats montrent que :

- L'indice de compressibilité (Cc) varie entre 8.55% et 9.75% ($0.050 < Cc < 0.100$), ce qui confère que le sol a un caractère peu compressible.
- L'indice de gonflement (Cg) varie entre 1.56% et 3.12% ($Cg > 0.005$), ce qui permet de classer le sol dans la catégorie des sols pouvant gonfler.

➤ Essai de cisaillement rectiligne

Les caractéristiques intrinsèques (c , ϕ), ont été mesurées par des essais de cisaillement direct de type non-consolidé non-drainé (UU) à l'aide de la boîte de Casagrande. Les valeurs obtenues sont représentées dans le Tableau.V.6 suivant :

Tab.V.6. Résultats des essais de cisaillement (UU), (Rizzani De Eccher, 2017).

Sondage carotté N°	Profondeur de prélèvement (m)	Cisaillement rectilign	
		Cu (kpa)	Φ_u (°)
SC 01 (43+600)	7.50-7.90	104	26.35
	10.30-10.60	107	23.68
SC 03 (43+800)	11.50-11.80	85	25.45
SC 05 (44+023)	1.00-1.30	189	39.21
	16.20-16.50	106	31.7

D'après les résultats obtenus par l'essai non consolidé non drainé « UU » (essai à court terme), on peut déduire ce qui suit :

- ❖ Les valeurs de la cohésion (C_{uu}) obtenues sont moyennes, est varié de 85 à 189 Kpa,
- ❖ L'angle de frottement interne (ϕ_{uu}) compris entre 23° et 39° caractérisant des sols argilo-sableux.

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

V.4. Approche géophysique

Les données géophysiques utilisés dans le présent travail résultent de deux campagnes géophysiques réalisées au niveau des deux zones de glissements étudiés (PK43+050-PK44+500) de Tamentout. La première a été réalisée en en Mars 2017, la deuxième quant à elle, a eu lieu en avril 2018, elle a été l'œuvre du bureau d'engineering Algérien « Géo Explo ».

C'est à partir des résultats géophysiques réalisées, que nous allons essayer, dans la mesure du possible, de déterminer :

- La lithologie des différentes formations et leurs géométries,
- La profondeur du toit de la roche saine,
- Les résultats de la même étude permettront une comparaison de ces derniers avec ceux obtenus grâce aux sondages carottés,
- La variation de vitesse ainsi que la variation de la résistivité des formations de sub-surfaces,
- La caractérisation géophysique des glissements de terrain.

Au nombre de deux, les méthodes utilisées dans le présent travail sont :

- ❖ La tomographie électrique.
- ❖ La tomographie sismique.

V.4.1. Matériel utilisé

Les équipements mis à la disposition de cette étude sont composé de:

1. Un résistivimètre SARIS de Scintrex est utilisé pour l'acquisition de l'imagerie électrique et les sondages électriques verticaux (**Fig.V.5**). Il est équipé avec les accessoires suivants :
 - Des tresses électriques avec 05 prises pour électrodes intelligentes espacées de 5m.
 - Des piquets pour électrodes en acier.
2. D-GPS Leica Viva – Uno mono fréquence.
3. Un sismographe pour l'acquisition sismique : le SUMMIT X STREAM Pro de DMT équipé avec les accessoires suivants :
 - Un câble sismique avec 24 sorties (take out) espacées de 5 mètres.
 - 24 Géophones verticaux (Fréquence propre 10 Hz).
 - 24 Géophones horizontaux (Fréquence propre 10 Hz).
 - Une chute de poids, Une alimentation (batterie 12V), un marteau, une plaque métallique (**Fig.V.5**).



Fig.V.5. Equipements utilisés (*GéoExplo, 2018*)

Sur un total de 16 profils d'imagerie électrique réalisés par le bureau d'étude « GéoExplo », nous avons choisi d'utiliser les profils électriques (PE5, PE6, PE7 et PE8 au niveau du PK43+050 et PE1, PE2, PE3, PE4, PE5, PE6, PE7, PE8 et PE9 au niveau du PK44+500).

On a choisi dans le présent travail les profils les plus spécifiques et les plus représentatifs des signes de glissement et qui nous permettra une bonne interprétation. Quatre profils ont été exécutés dans la direction de la pente (PE5, PE7, PE8 et PE9), et trois perpendiculaires au plan de glissement (PE1, PE6 et PE7) au niveau des deux PK.

Ces profils ont été positionnés le long des profils sismiques réalisées sur sites par Géoexplo en 2017-2018 (**Fig.V.6**) et (**Fig.V.7**).

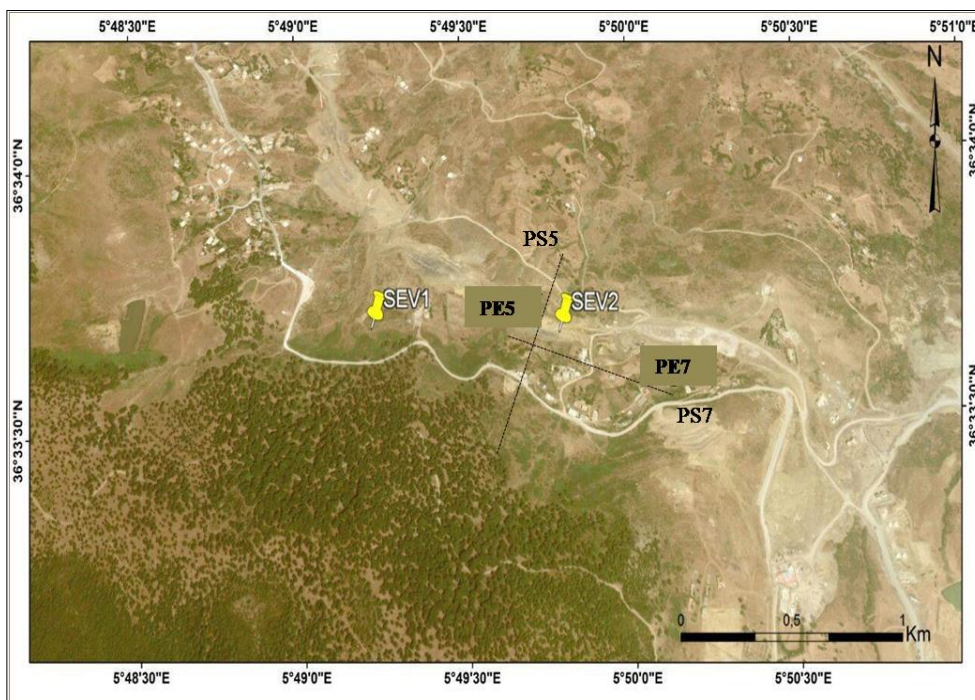


Fig.V.6. Implantation des profils électriques, sismiques et les SEV (PK43+050).

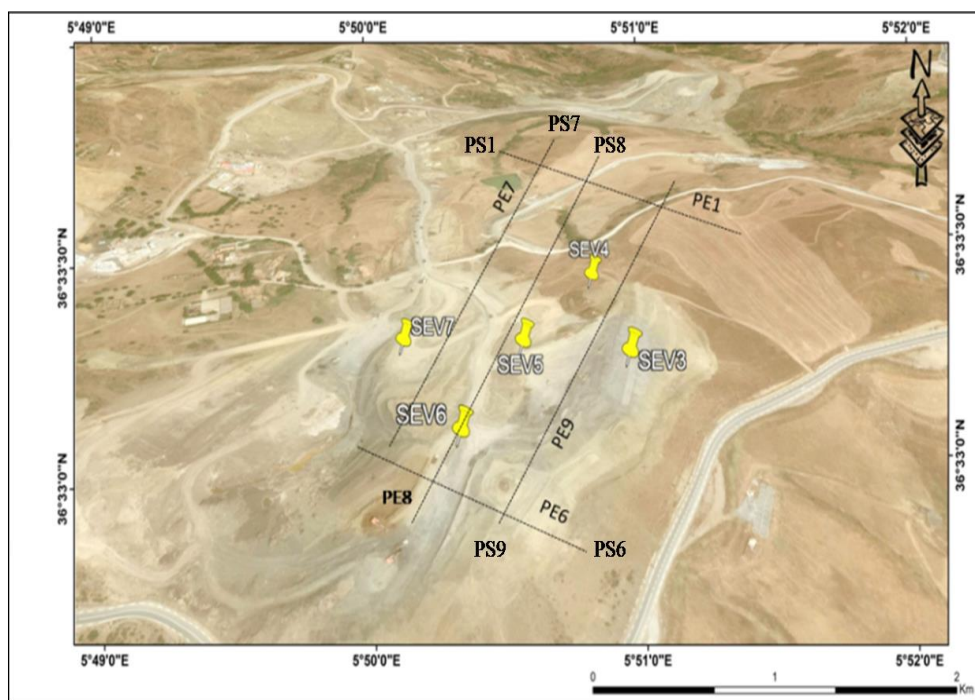


Fig.V.7. Implantation des profils électriques, sismiques et les SEV (PK44+500).

V.4.2. Résultats et Discussion

V.4.2.1. Interprétation des résultats des profils de l'imagerie électrique

L'interprétation des résultats est réalisée sur la base des résistivités électriques mesurées. Ces gammes de résistivité obtenues sont calées sur les logs des sondages carottés.

Les résultats de l'inversion sont donnés sous forme de pseudo-section (**Fig.V.8**), (**Fig.V.9**). À partir de ces dernières, on peut déduire la variation de la résistivité dans les différentes couches constituantes le terrain.

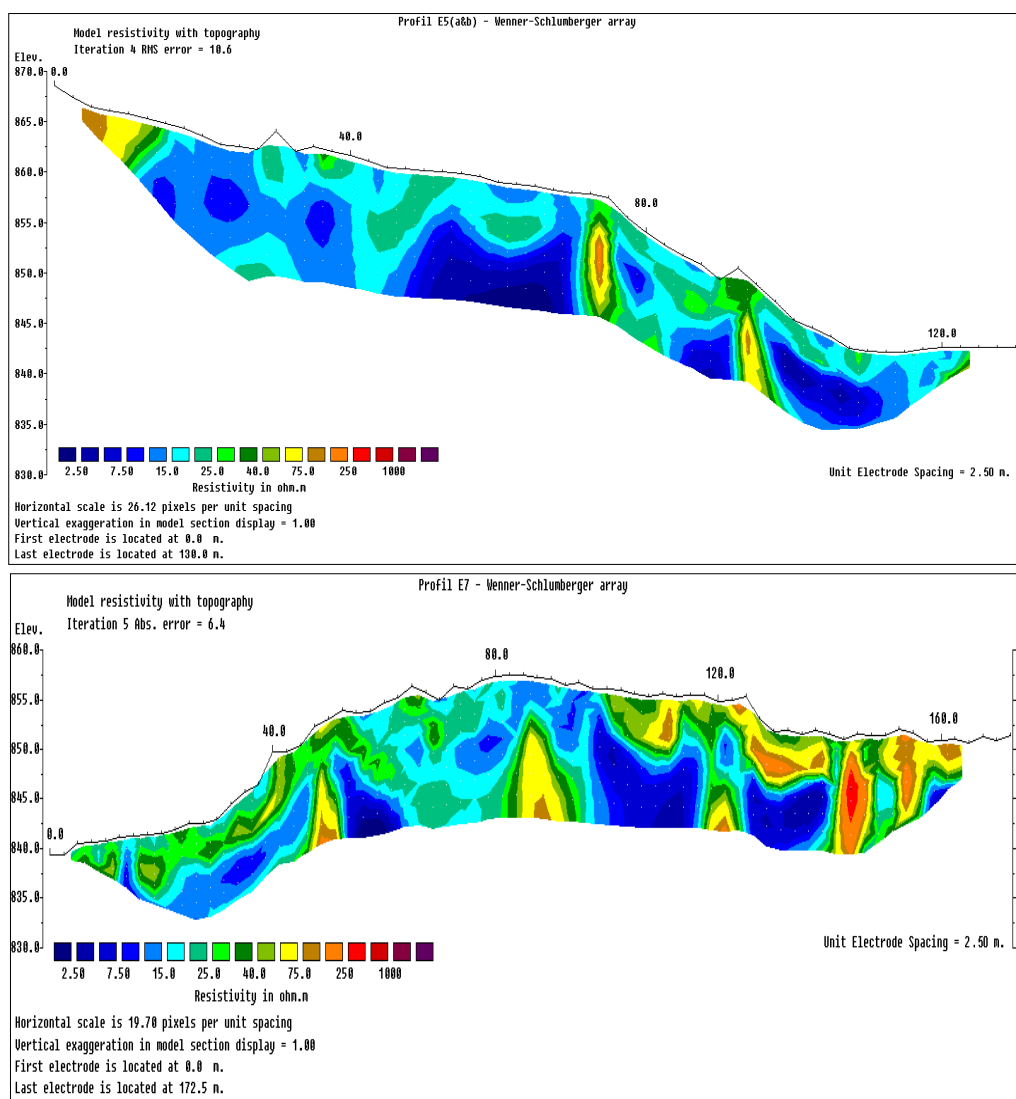


Fig.V.8. Pseudo-section au niveau du PK43+050 (GéoExplo,2018).

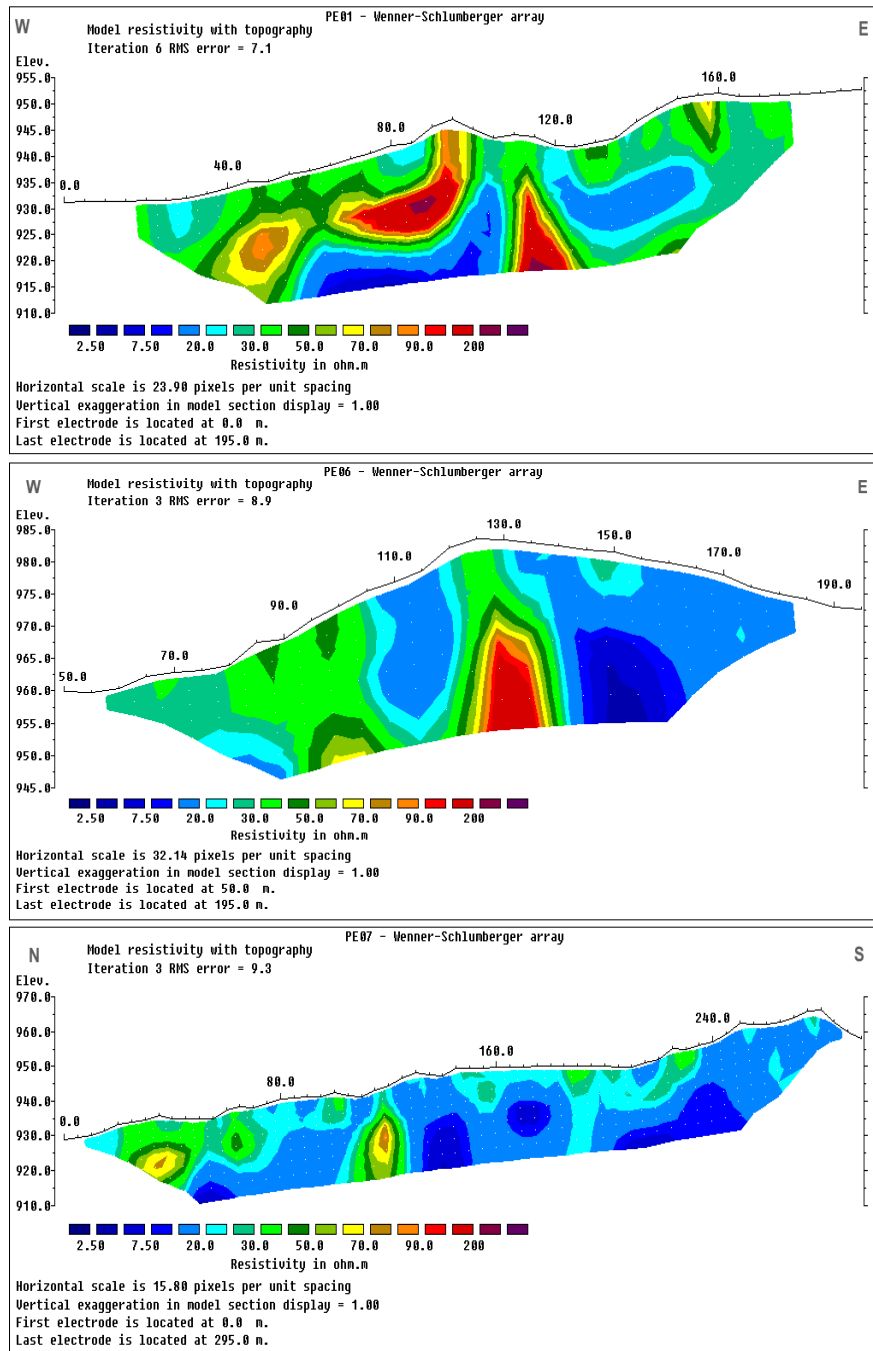
Les modèles de résistivité obtenus par inversion pour les profils (PE5 à PE8), présentent des RMS variant entre 6.4 et 10.6%. Les quatre coupes géo-électriques montrent une alternance de terrains conducteurs parsemé par des terrains peu résistants à résistants avec des formes irrégulières.

Les résistivités enregistrées le long du profil d'imagerie électrique PE5 varient de 2.50 et 1000 Ω .m. Les mêmes valeurs de résistivité ont été enregistrées dans les autres profils.

Les coupes géo-électriques montre d'une manière générale une polarisation verticale avec une alternance des formations résistantes et conductrices. La formation conductrice, de résistivité comprise entre 5 et 20 Ω m, affleure au centre du profil, qui peut être attribuée aux argiles

marneuses saturées en eau. Tandis que les formations résistantes, de résistivité comprise entre 25 et 1000Ωm, qui peut être attribuée aux argiles marneuses compactes.

Les profils PE6 et PE8 n'ont pas été pris en considération car le RMS est élevé indiquant des résultats d'inversion insatisfaisants.



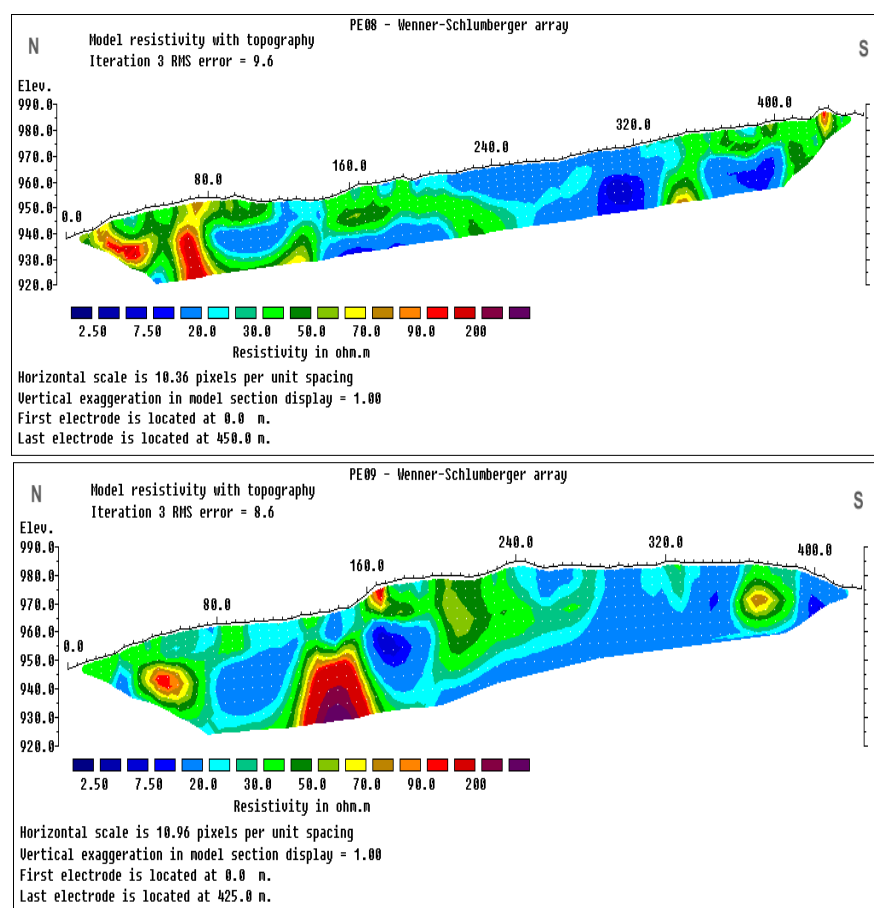


Fig. V.9. Pseudo-section au niveau du PK44+500 (GéoExplo, 2017).

Les résistivités enregistrées le long du profil d'imagerie électrique PE1 varient de 2.50 et 200Ω.m. Les mêmes valeurs de résistivité ont été enregistrées dans les autres profils.

Les surfaces interprétées coïncident avec des résistivités faibles, indiquant une teneur en eau élevée qui peut être contribué à argile marneuse tendre et friable saturées en eau. Comparant les résultats de l'investigation géotechnique, on remarque une certaine concordance avec les teneurs en eau mesurées qui présentent des valeurs assez élevées.

Il existe une autre formation résistance avec une résistivité varie de 30 à 200Ωm qui est attribuée à argile marneuse tendres et friables, en surface, et à marnes dures, saines et compactes en profondeur.

Les profils PE2, PE3, PE4 et PE5 n'ont pas été pris en considération car le RMS est toujours élevée indiquant des résultats d'inversion insatisfaisants.

V.4.2.2. Interprétation des résultats des profils de tomographie sismique

L'interprétation des résultats est réalisée sur la base des gammes de vitesses, qui sont représentées à la même échelle de couleur sur l'ensemble de coupes géo-sismiques (**Fig.V.10a**) et (**Fig.V.10b**).

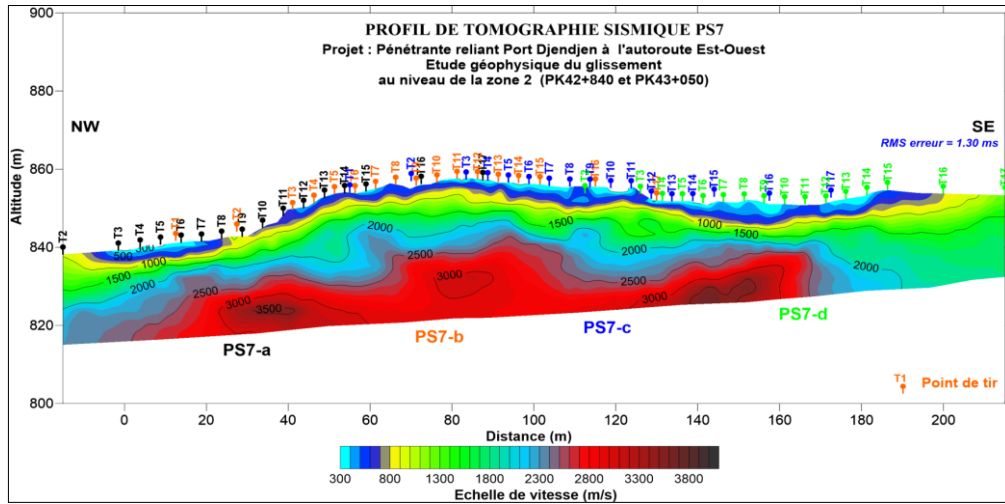
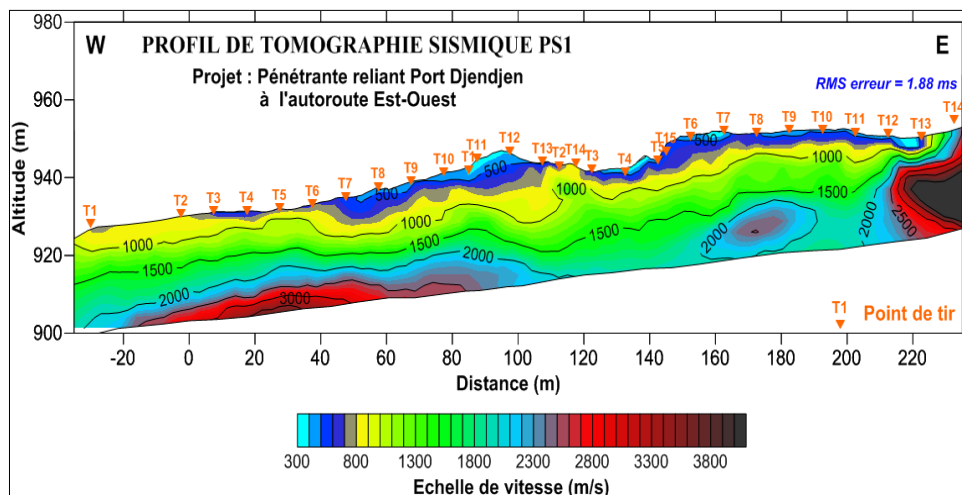


Fig. V.10a. Profil de tomographie sismique (PK43+050).

Les modèles de vitesse obtenus par inversion pour le profil PS7, présentent des RMS acceptables compris entre 1.25 et 1.43ms. La coupe montre des formations relativement tabulaire en surface avec trois gammes de vitesses évoluant en fonction de la profondeur qui se présente comme suit :

- Une couche superficielle est cartographiée par une vitesse comprise entre 300 et 600m/s qui peuvent être attribuée aux argiles marneuses tendres et friables.
- La couche sous-jacente est présente une formation est caractérisée par des vitesses comprises entre 1000 et 2000 m/s, qui peuvent être attribuées aux argiles marneuses compactes.
- Une formation assez compacte est présente avec des vitesses comprises entre 2000 et 3000 m/s. Cette formation peut être attribuée aux blocs de grés.



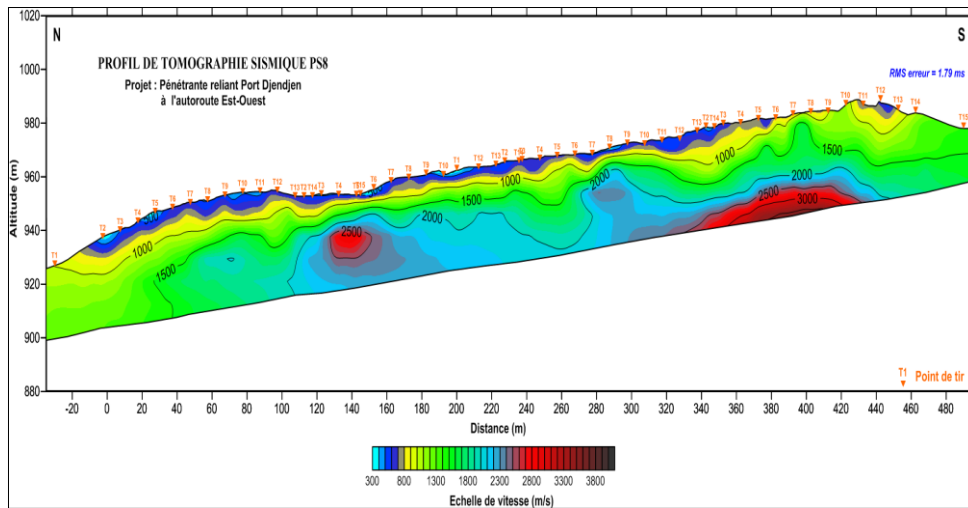


Fig. V.10b. profils de tomographie sismique (PK44+500).

Les modèles de vitesse obtenus par inversion pour les profils (PS1 à PS6), présentent des RMS acceptables variant entre 1.26 et 1.88ms. La coupe transversale est entrecoupée par le profil longitudinal PS8. Elle montre un terrain relativement tabulaire avec quatre gammes de vitesses évoluant en fonction de la profondeur, qui se présentent comme suit :

- La première gamme de vitesse comprise entre 300 et 600m/s qui représentent la couche superficielle attribuée à argiles marneuses tendres et friables.
- La deuxième gamme, attribuée à marnes friables, est comprise entre 900 et 2000 m/s.
- La troisième gamme de vitesse comprise entre 2000 et 2500 m/s, est attribuée aux marnes dures.
- La dernière gamme de forte vitesse (3000 - 4000 m/s), attribuée blocs de grés.

V.4.3. Identification des surfaces de rupture

Généralement les glissements de terrain qui affecte les formations homogènes peuvent conduire des variations de résistivité avec le mouvement de masse dans les couches argileuses. Ceci peut s'expliquer par la présence d'eau qui est un facteur important dans la réduction des caractéristiques mécaniques des sols combinés à la présence de pourcentage important de la fraction argileuse (Guéguen & al., 2004).

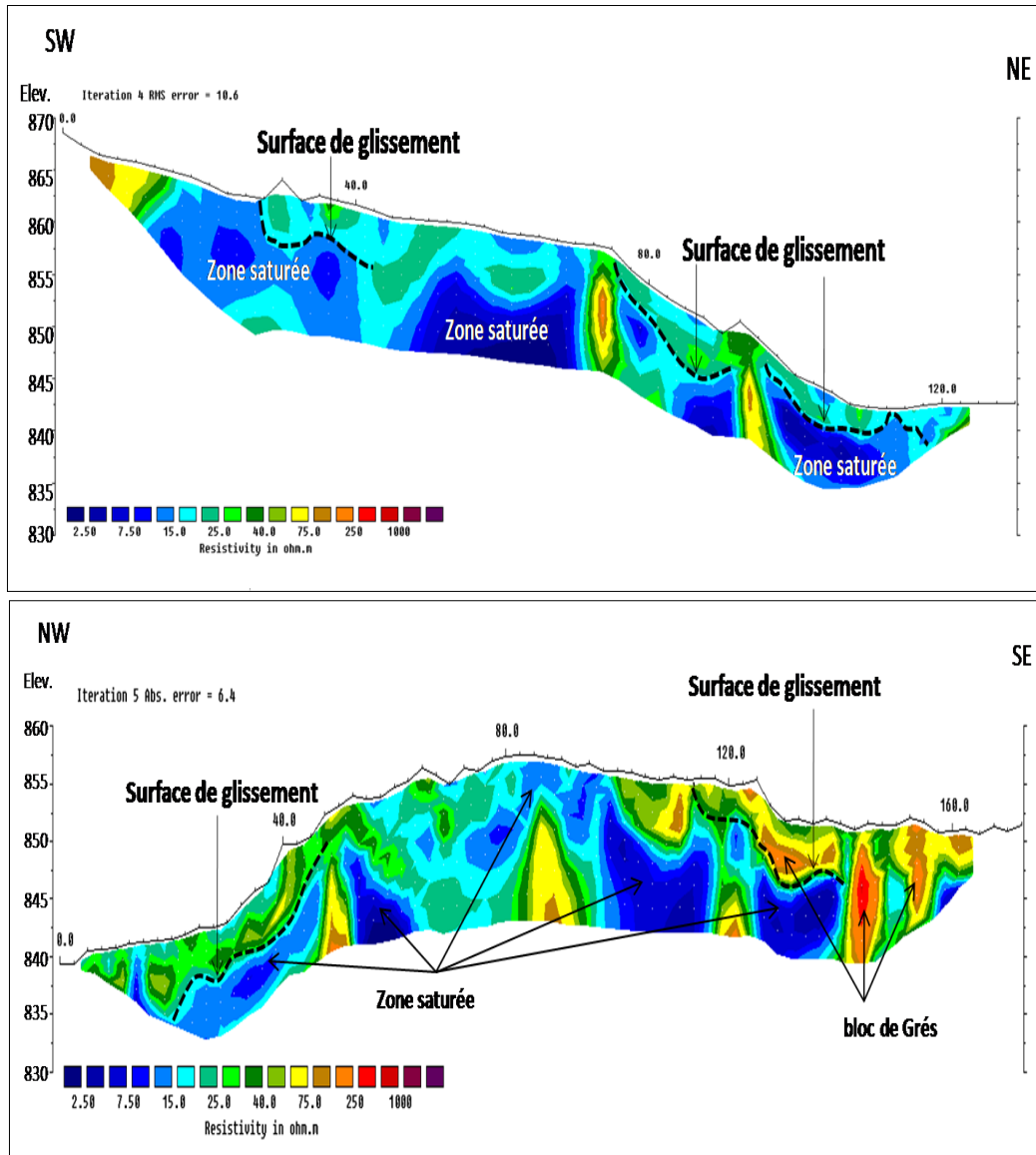
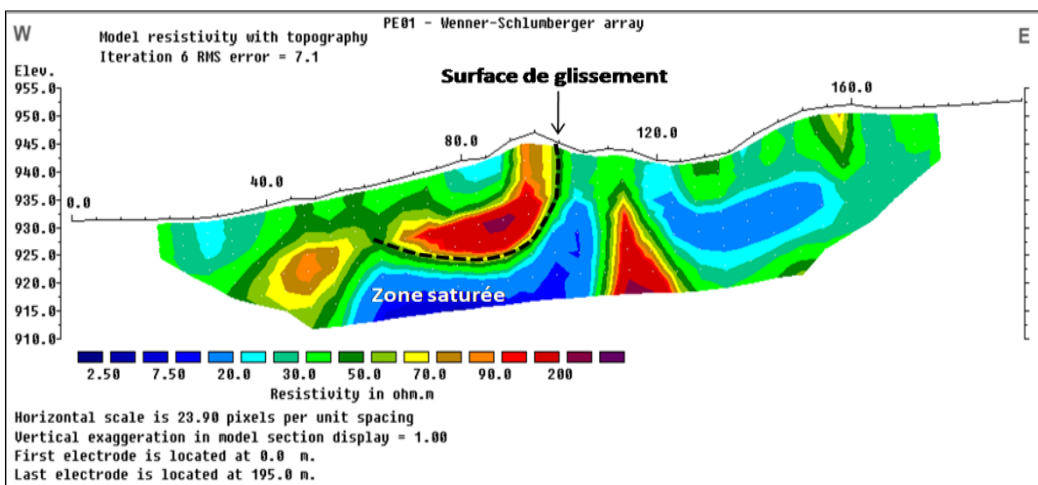
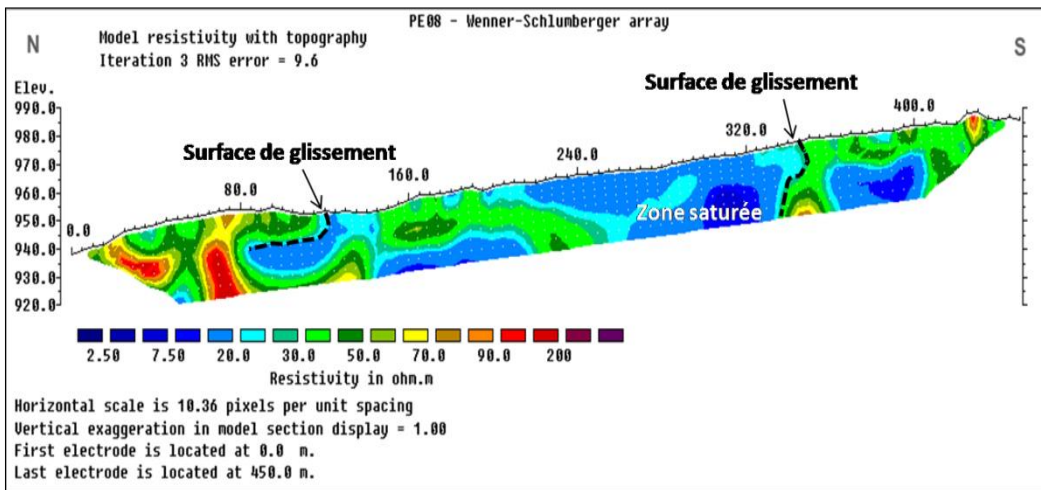
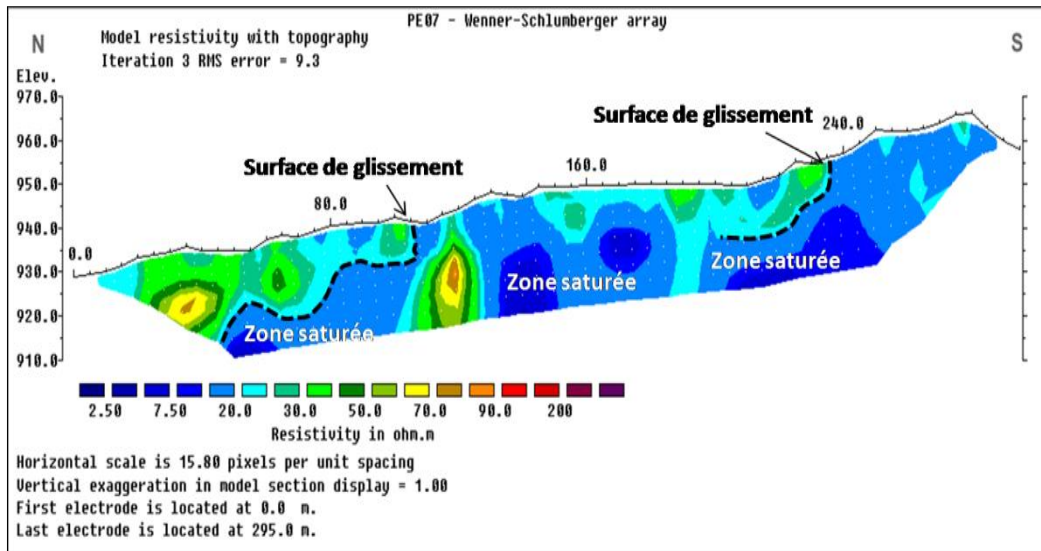
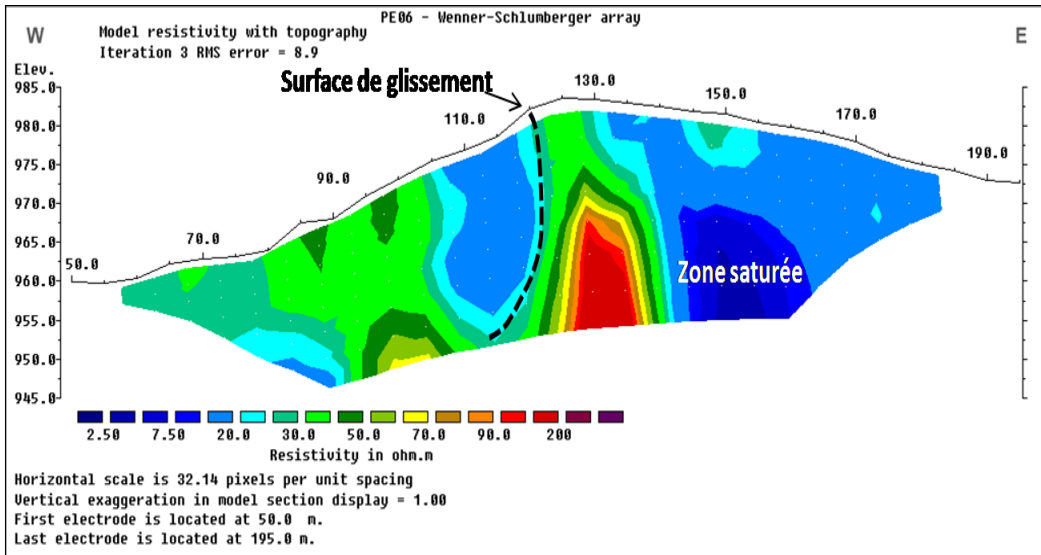


Fig.V.11. Identification des surfaces de glissement (PK43+050).





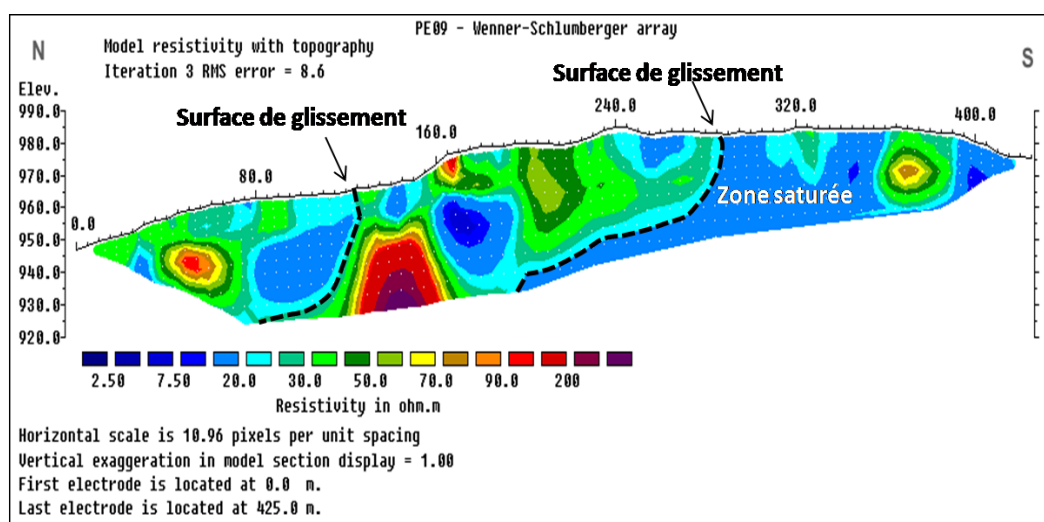


Fig. V.12. Identification des surfaces de glissement (PK44+500).

Pour une première interprétation on peut diviser les résultats obtenus en deux plages de résistivité : la première varie de 2.50 à 25Ω.m, la deuxième plage supérieure à 25Ω.m. Plusieurs auteurs associent ces faibles résistivités (inférieure à 25Ω.m) à la présence de surface de rupture (**Fig.V.11**) et (**Fig.V.12**).

Dans les profils d'imagerie électrique on montre une formation résistante avec une résistivité variant de 30 à 200Ω.m près de cette formation et par endroit, une formation conductrice est observée avec une faible résistivité comprise entre 7.5 et 25Ω.m, due principalement à la présence d'eau (terrain saturé).

Cette couche conductrice avec sa forme curviligne peut représenter la surface de glissement sur laquelle les formations résistantes peuvent glisser.

V.4.4. Comparaison des résultats obtenus par les deux méthodes

L'analyse des résultats de la tomographie sismique n'a pas permis de caractériser les glissements de terrain étudiés. Cependant elle a mis en évidence un terrain relativement tabulaire avec quatre gammes de vitesses évoluant en fonction de la profondeur.

L'analyse des résultats de l'imagerie électrique a permis d'atteindre certaines conclusions sur la configuration géométrique des terrains ainsi que leurs valeurs de résistivité.

Contrairement aux résultats de tomographie sismique, celle de l'imagerie électrique ont permis de caractériser les glissements de terrain en question. En combinant la pente de la topographie avec la morphologie des formations conductrices et résistantes. La surface de glissement peut être localisée à la surface de la couche de résistivité variant entre 2 et 10Ω.m, qui est attribuée aux formations saturées en eau.

V.5. Conclusion

Les méthodes géophysique appliquées sur les sites des glissements de terrain de Tamentout ont été faites après la réalisation des études préliminaires. Donc elles apportent des informations supplémentaires et confirmatives sur le modèle géologique, tectonique et hydrogéologique que nous avons déjà étudié dans les chapitres précédents, Nous permettent aussi de réaliser un second zonage plus précis, aux endroits des anomalies mesurées susceptibles d'être reliées à des zones de faiblesse tectonique (Failles).

Conclusion

CONCLUSION



générale

générale

Conclusion générale

L'étude présentée dans ce mémoire avait pour but de caractériser la structure interne, l'état hydrique et les surfaces de rupture associées aux glissements de terrain survenus au niveau des PK43+050 et 44+500 dans la région de Tamentout le long de la RN77A, wilaya de Jijel.

Du point de vue géologique la zone d'étude fait partie du domaine externe caractérisé par des lithofaciès caractéristiques d'âge Mésozoïque (formations telliennes) d'où on note la présence de la nappe numidienne qui repose en discordance sur ces formations.

L'analyse hydroclimatologique met en relief un climat tempéré, avec des températures élevées en été et basses en hiver, les valeurs des précipitations enregistrées sont de l'ordre de 1106.28mm/an avec des températures moyennes annuelles de l'ordre de 18°C.

La campagne de reconnaissance géotechnique a permis de caractériser des sols fins, de nature argilo-marneuse tendres et friables en surface et compactes en profondeur. Ils sont peu à moyennement plastiques selon la classification de Casagrande.

L'objet de notre mémoire est de présenter l'Apport de la tomographie électrique et sismique à l'étude des glissements de terrain. Les résultats de l'imagerie électrique nous ont permis de caractériser les glissements de terrain. Les coupes d'imageries électriques, obtenues pour les deux zones, montrent une alternance des terrains conducteurs parsemés par des terrains peu résistants à résistants avec des formes irrégulières. En combinant la pente topographique avec la morphologie des formations conductrices et résistantes. La surface de glissement peut être localisée à la surface de la couche de résistivité variant entre 5 et 20Ωm, qui est attribuée aux formations saturées en eau.

Les résultats préliminaires de cette campagne de prospection géophysique et géotechnique sur les sites d'étude ont permis de montrer que : La tomographie électrique apparaît comme une méthode géophysique particulièrement intéressante pour localiser des zones de faible résistance susceptibles au glissement de terrain. La tomographie intégrée à l'information géologique s'est avéré être un outil puissant pour l'investigation des glissements de terrain.

Les pseudo-sections obtenues, montrent la cause principale de l'instabilité qui est due à la présence de l'eau, donc on peut proposer des systèmes de drainage et évacuation des eaux souterraines comme remède à ces mouvements de terrains. Finalement afin de suivre le mouvement et son évolution, il serait donc intéressant de réaliser régulièrement de nouvelles campagnes de prospection géophysique des glissements dans la région après chaque saison pluvieuse. La tomographie électrique doit être combinée avec d'autres méthodes géophysique pour une meilleure identification de la profondeur de la surface du glissement.

Après la comparaison des résultats de la méthode sismique et la méthode électrique, on peut constater que les résultats de la sismique ne sont pas fiable pour être intégrer dans l'interprétation.

Références

Références

bibliographiques

bibliographiques

Références bibliographiques

- Achir, F., Medjoudj, M. (2017). Etude Géotechnique D'un Tronçon De La Pénétrante Autoroutière Reliant Le Port De Bejaia à l'AutoRoute Est-Ouest Au Niveau d'Ahnif De PK35+000 Au PK36+800. Mém. de Mastre. Univ. A. MIRA- Bejaia.
- ANRH (1996). Carte pluviométrique de l'Algérie du Nord au 1/500 000. Notice explicative - Agence Nationale des Ressources Hydrauliques, Alger. 49 P.
- Azizi, Y. (2017). Les effondrements dans les terrains karstiques du plateau de Chéria (Nord-Est de l'Algérie) : genèse, impact géotechniques et environnementaux et cartographie des zones vulnérables aux phénomènes. Thèse de Doct. Univ. Batna2. 150P.
- Bacou, M. et al. (2010). Le risque mouvements de terrain en Provence-Alpes-Côte d'Azur. Document coédité par le BRGM, la région et la DREAL Provence-Alpes-Côte d'Azur, juin.
- Benkechkache, I. (2012). Investigation de la dégradation du cadre bâti sous l'effet du glissement de terrain cas de constantine. Univ. Mentouri de Constantine. 228P.
- Benouis, D. (2010). Etude d'un glissement de terrain par différentes méthodes. Mém. d'ingénieur. Ingénieure d'état en génie civil option construction civil et Industriell. Univ. De Saida ; Pa21-13.
- Blondel, A. (2014). Développement des méthodes géophysiques électriques pour la caractérisation des sites et sols pollués aux hydrocarbures, Doct. en science de la terre, Univ. Michel De Montaigne, 330 P.
- Bouali, Z., Saib N. (2018). Apport de la tomographie électrique dans l'étude des glissements de terrains dans le sahel d'Alger : cas de « Parc Dounia ». Mém. de Master. Univ. Khemis Miliana, 56P.
- Boudraa, A., Bouchair, N. Modélisation numérique et confortement du mouvement de terrain RN43 au Pk127+200 Settara –Jijel. Univ. Mohammed Seddik Ben Yahia –Jijel.
- Bouillin, J.-P. (1977). Géologie Alpine de la Petite Kabylie dans les régions de Collo et d'El-Milia (Algérie), thèse Doct. Uni. P. & M. Curie, 511P.
- Bouillin, J.-P. (1979). La transversale de Collo et d'El-Milia (Petite Kabylie): une région- clef pour l'interprétation de la tectonique Alpine de la chaîne littorale d'Algérie. Thèse. Paris. Mém. Soc. Géol. France. Nouv. Série. L VII, n°135,84P.
- Chapellier, D. (2000). Cours online géophysique.

- Cheriguen, M. (2015). Étude d'un glissement et confortement sur la route national 79a, wilaya de Mila. Univ. de Jijel.
- Chiasson, P., Djebbari Z. (1998). Stochastic slope stability analysis of temporary cuts in clay- Proc. Hambourg Geot. Conf., pp 57-60.
- Cousin I. et al. (2012). L'apport des méthodes géophysiques au service de la caractérisation de la fertilité des sols
- Degoutte, G. (1997). Petits barrages, recommandations pour la conception, la réalisation et le suivi. Ed. Camagref, 175P.
- Département De L'environnement. Direction De La Surveillance Et De La Prévention Des Risques .Etude Pour La Réalisation D'une Cartographie Et D'un Système D'information Géographique Sur Les Risques Majeurs Au Maroc. 2008.
- Desodt, C. et al. (2017). Les glissements de terrain, modélisation et prévision. École normale supérieure Paris-Saclay.
- Djellit, H. (1987). Evolution tectono-métamorphique du socle Kabyle et polarité de mise en place des nappes de flyschs en Petite Kabylie occidentale (Algérie).Thèse Doct. Univ d'Orsay Paris, 206P.
- Djellit, H. (2014).1^{ère} école de terrain sur la géologie des Maghrébines, Jijel, 24-27 novembre 2014, 51P.
- Djrbal, L. (2013). Analyse des mécanismes de déformation et de la rupture progressive du versant instable d'Ain El Hammam. Thèse de Doct. Univ. Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.136P.
- Doumi. (2016). Étude comparative des méthodes analytiques et numériques en stabilité des pentes. Mém. de Master. Univ. Mohamed Boudiaf - M'silla (Application au cas du talus aménagé de Sidi Ahmed à Bejaia). 66P.
- Dubois, J. (2011). Livre de géophysique cours et exercices corrigés.
- Dubois, J. et al. (2011). Géophysique PDF, Dunod, Paris, 250 P.
- Durand Delga, M. (1955). Etude géologique de l'Ouest de la chaîne Numidique. Thèse d'Etat. Paris, Publ.serv.Carte géol. Algérie, 24,533P.
- Durand Delga, M. (1971). Les unités à Mésozoïque métamorphique d'El-Milia et Texenna (Algérie) et leur cadre structural. Bull. Soc. Géol. France. XIII, P328-337.
- Faure, R.-M. (2000). L'évolution des méthodes de calcul en stabilité de pentes. Partie I : Méthodes à la rupture. Revue Française de Géotechnique n° 92, p. 3-16.

- Gilles, S., Pierre, P. (1998). Guide technique .Stabilisation des glissements de terrain .Laboratoire Central des Ponts et Chaussées. 97p.
- Goodman, R.-E. (1995). Block theory and its application. *Géotechnique*. Vol. 45(3): pp. 383-423.
- Guéguen et al. (2004). Geotechnical, geophysical and seismological methods for surface sedimentary layers analysis.
- Hebbache K. (2017). Contribution à la reconnaissance du sol par tomographie électrique. Thèse de Doct. Univ. Biskra, 133P.
- Iboukhoulef, 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. 128p.
- Kherrouba H, Lamara M, Benzaid R (2019) Contribution of electrical tomography to the study of landslides in Texenna region (Northeast Algeria). In Sundararajan N et al. (eds.), *On Significant Applications of Geophysical Methods, Advances in Science, Technology & Innovation*. https://doi.org/10.1007/978-3-030-01656-2_11
- 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.
- Launay, J. et al. (2017). Les glissements de terrain, modélisation et prévision.
- Leone, F. (1996). Concept de vulnérabilité appliqué à l'évaluation des risques générés par les phénomènes de mouvements de terrain. Thèse Doct. Univ. Joseph Fourier Grenoble I.
- Maameri, R., Tebboub, M. (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 Jijel. 75P.
- Magnan, J.-P et al. (1998). Quelques spécificités de l'analyse de risque pour ouvrages de géotechnique. Proc. 2nd I.S. Hard Soil-Soft Rocks, Naples, vol. 2, p. 1109-1116.
- Philippe, R. (1988). Mécanique des sols avancée : Stabilité des pentes .Laboratoire Central des Ponts et Chaussées .80p.
- Philipponnat, G. (1979). Fondations et ouvrages en terre. Edition Eyrolles.
- Philipponnat, G., Bertant, H. (2003). Fondations et ouvrages en terre Ed. Eyrolles. Paris, 548P.
- Rapports de l'étude géophysique des glissements de terrain de Tamentout. Bureau d'engineering, études et équipements en géosciences "GeoExplo", Alger, (Mars 2017- Avr 2018), (47P-56P). Source: Agence Nationale des Autoroutes (ANA), Jijel 2021
- Source : Agence Nationale des Autoroutes (ANA), Jijel 2019.

- Rizzani De Eccher (2016) Rapports de l'étude géotechnique, Annexe B, Campagne de reconnaissance d'EXE, p187 ; Annexe D, Essai in situ et en laboratoire, Rapport géotechnique, pp18. Terrassement PK 39+660-44+000, p153 ; Source : Agence Nationale des Autoroutes (ANA), Jijel, 2021.
- RPOA, 2008. Règles parasismiques applicables au domaine des ouvrages d'art, Document Technique Règlementaire (DTR), Ministère des Travaux Publics, Algérie.
- Sellami, S., Belamri, S. (2014). Etude de stabilité et de confortement du glissement de terrain cw 16 Ait Idriss Bejaia. Univ. Abderrahmane Mira- Bejaia.
- Slaoui Hasnaoui F. (2003). Estimation des paramètres par la méthode de regression rigide Combinée avec l'analyse des paramètres statistiques pour l'interprétation des mesures de résistivités apparentes des modèles de sol à n-couches. Thèse de Doct. Univ. Québec, 133P.
- Soufane, S., Boucharma, KH. (2017). Étude d'un glissement de terrain sur la RN 77A Tamentout (Au niveau de la limite avec la willaya de MILA). Mém. de master. Univ. JIJEL. 132P.
- Tamoum, Kh. (2013). Traitement d'un glissement (Pk30+200) texanna-djimla calculs manuels, numériques et confortements. Mém. de master. Université de Jijel.
- Tellia, A., Boualem, A. (2015). Les mouvements de terrain dans la région de Sigus. Caractérisation et mesures de prévention. Mém. de Master. Univ. Oum El Bouaghi, P68p.
- Tlemçani, M.-K et al. (2018). Contribution of geophysical methods to the detection of underground cavities in salt series. Development in different projects in Morocco (roads, rail, etc...). Univ. Mohammed V, Faculté des Rabat-Agdal, BP 1014, Rabat, Maroc.
- Varnes, D.-J. (1978). Slope movement types and processes-Special report.176, 11-33
- Vila, J.-M. (1980). La chaîne Alpine d'Algérie orientale et des confins Algéro-Tunisiens. Thèse Doct. 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. Geographys ; 24.P201-297.

Sites Web

- Source: Risques d'effondrement de bâtiments et les mouvements de terrain.
<http://www.csdivonne.fr.st>.
- Source: www.atlas.nrcan.gc.ca/auth/francais/nrcan

Résumé

Ce travail a pour objectif l'étude de deux glissements de terrain dans la région de Tamentout située au Sud-Est de la ville de Jijel au niveau des PK43+050 et 44+500. Du point de vue géologique ces terrains appartiennent au domaine tellien, sont représentés par des marnes d'âge sénonien surmontées en discordance par les formations du flysch numidien d'âge Aquitano-Burdigalien avec une pente topographique variant de 10 à 15°. L'approche géophysique consiste à traiter des données géophysiques disponibles de résistivité électrique en exploitant ces données sous forme d'images électriques du sol.

Les résultats de la tomographie électrique, couplés aux données de campagne de reconnaissances géologique et géotechnique montrent une très bonne corrélation de la structure des glissements de terrain étudiés. La localisation précise de la profondeur de la zone de cisaillement est d'une importance capitale pour mener à bien les travaux de confortement de cette zone instable.

Mots-clés : Tamentout, glissement de terrain, Tomographie de résistivité électrique (ERT), géotechnique.

Abstract

This work aims to study two landslides in the Tamentout region located south-east of the city of Jijel at the level of PK43 + 050 and 44 + 500. From a geological point of view these lands belong to the Tellian domain, are represented by marls of Senonian age surmounted in discordance by the formations of the Numidian flysch of Aquitano-Burdigalian age with a topographic slope varying from 10 to 15°. The geophysical approach consists of processing available geophysical data of electrical resistivity by exploiting this data in the form of electrical images of the ground.

The results of electrical tomography, coupled with data from geological and geotechnical surveys, show a very good correlation of the structure of the landslides studied. The precise location of the depth of the shear zone is of paramount importance for the successful completion of work to reinforce this unstable zone.

Keywords: Tamentout, landslide, Electrical resistivity tomography (ERT), geotechnical.

ملخص

يهدف هذا العمل الى دراسة اثنين من الانهيارات الأرضية في منطقة تامنتوت الواقعة في الجنوب الشرقي من مدينة جيجل في PK43 + 050 و PK 44 + 500 . من الناحية الجيولوجية تنتمي هذه الأراضي إلى مجال Tellian ، ويمثلها المارل السنيوني تعلوه تكوينات flysch النوميدي بشكل غير متوافق اضافة الى منحدر طبوغرافي يتراوح من 10 إلى 15 درجة. يتمثل النهج الجيوفيزيائي في معالجة البيانات الجيوفيزيائية المتاحة عن المقاومة الكهربائية عن طريق استغلال هذه البيانات في شكل صور كهربائية للأرض.

تُظهر نتائج التصوير المقطعي الكهربائي ، إلى جانب بيانات الاستطلاع الجيولوجي والجيوتقني المصاحب ، وجود علاقة جيدة جداً ببنية الانهيارات الأرضية المدروسة. يعد الموقع الدقيق لعمق منطقة القص ذا أهمية قصوى لإنجاز الأعمال بنجاح لتعزيز هذه المنطقة غير المستقرة.

الكلمات المفتاحية

تامنتوت ، الانهيار الأرضي ، التصوير المقطعي بالمقاومة الكهربائية ، جيوتقني.