

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

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



كلية علوم الطبيعة و الحياة
قسم : علوم الارض و الكون

Mémoire de Fin d'Etudes

En vue de l'obtention du diplôme : Master Académique
en Sciences de la Terre et de l'Univers

Filière : Géologie

Option : Géologie de l'Ingénieur et Géotechnique

Thème

**Caractérisation géologique et géotechnique des terrains en
déblais sis au (PK 27+894-PK 29+887), pénétrante autoroutière
Djendjen El-Eulma, wilaya de Jijel (Nord-Est Algérien).**

Membres de Jury

Président : Mme Tebib Houria
Examinateur : Mme Bouroudi Nihad
Encadrant : Mme Kherrouba Hassiba

Présenté par

Boukhezer Ahlam
Lallali Lina

Année Universitaire 2021-2022

Numéro d'ordre (bibliothèque) :

Remerciements

Nos premiers remerciements vont à **Allah** «الله» 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 encadrant **Mlle Kherrouba Hassiba**, enseignante au département des Sciences de la Terre et de l'Univers d'avoir accepté de nous encadrer, pour son aide, ses précieuses recommandations, et pour sa disponibilité durant toute la période de notre travail.

Nos vifs remerciements vont également aux membres de jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre travail, en acceptant de l'examiner et de l'enrichir par leurs propositions.

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 chacun à son nom, pour tous les efforts consentis

Nous tenons à remercier spécialement l'enseignant: **Y.Rouikha**, pour son aide précieuse... Qu'Allah le récompense sur terre et sur cieux.

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**.

Enfin, un grand merci à nos parents pour leur soutien moral et matériel.

Nos meilleurs remerciements vont également aux personnes qui nous ont aidé et encouragé à la réalisation de ce travail, et nous ont soutenu quand le moral était au plus bas.

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

Ahlam & Lina



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

À mes très chers parents «**Djamila et Hocine**».

Aucune dédicace ne pourrait exprimer mon respect, ma considération et mon amour pour les sacrifices qu'ils ont consentis pour mon instruction et mon bien-être trouvé ici, dans ce modeste travail; le fruit de tant de dévouement et de sacrifices ainsi que l'expression de ma gratitude et de mon profond amour, puisse Dieu leur accorder santé, Bonheur, prospérité et longue vie afin que je puisse un jour combler de joie leurs vieux jours.

À mes frères «**Wahid, Ibrahim, Yasser et Diadine**».

À mes sœurs «**Safa, Sara et Radia**».

À toute ma famille, petite et grande. À mes chères amies «**Sara, Chahra, Nadjat**».

À tous mes amies chacune à leur nom.

À ma collègue dans ce travail «**Lina**».

À tous mes amies de l'université, qu'avec eux j'ai partagé les meilleurs moments pendant mes études.

À tous mes collègues géologues surtout «**les géotechniciens**» pour les bons moments qu'on a passés ensemble.

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

Ahlam



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

À mes très chers parents «**Samira et Kamel**».

Aucune dédicace ne pourrait exprimer mon respect, ma considération et mon amour pour les sacrifices qu'ils ont consentis pour mon instruction et mon bien-être trouvé ici, dans ce modeste travail; le fruit de tant de dévouement et de sacrifices ainsi que l'expression de ma gratitude et de mon profond amour, puisse Dieu leur accorder santé, Bonheur, prospérité et longue vie afin que je puisse un jour combler de joie leurs vieux jours.

À mes frères «**Adham et Firass**».

À mes sœurs «**Hadil et Ibtihal**».

À toute ma famille, petite et grande. À mes chères amies «**Marwa, Chahra, Nadjet**». À tous mes amies chacune à leur nom.

À ma collègue dans ce travail «**Ahlam**».

À tous mes collègues géologues surtout «**les géotechniciens**» pour les bons moments qu'on a passés ensemble.

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

Lina

Résumé

Ce projet de fin d'études s'inscrit dans le cadre d'une étude géotechnique, et de confortement des déblais sis au (PK 27+894-PK 29+887 à Texenna), pénétrante autoroutière Djendjen_El-Eulma.

Cette étude s'est basée sur l'étude des différentes caractéristiques géologiques, hydroclimatologiques, et géotechniques de la région. Du point de vue géologique, Ce secteur se caractérise par la présence des formations du flysch massylien.

L'analyse et l'interprétation des résultats des essais in-situ et de laboratoires vont permettre l'identification et la classification des sols constituant le site d'étude.

L'analyse de stabilité faite, en prenant en considération la solution de confortement la plus plausible, a permis d'arriver à un niveau de sécurité très encourageant même dans les conditions de charges les plus défavorables. Alors le bon diagnostic de ces désordres permet l'adoption des solutions les mieux appropriées.

Mots clés : Texenna, PK 27+894 -29+887, Analyse de stabilité, confortement.

Abstract

This end-of-studies project is part of a geotechnical study, and reinforcement of the cuttings located at (PK 27+894-PK 29+887 in Texenna), the Djendjen_El-Eulma highway. This study was based on the study of the different geological, hydroclimatological and geotechnical characteristics of the region. From a geological point of view, this sector is characterized by the presence of Massylian flysch formations. The analysis and interpretation of the results of the in-situ and laboratory tests will allow the identification and classification of the soils constituting the study site. The stability analysis carried out, taking into consideration the most plausible reinforcement solution, made it possible to achieve a very encouraging level of safety even under the most unfavorable load conditions. So the correct diagnosis of these disorders allows the adoption of the most appropriate solutions.

Keywords: Texenna, KP 27+894 -29+887, Stability analysis, reinforcement.

ملخص

يعد مشروع نهاية الدراسة هذا جزءًا من دراسة جيوتقنية ، وتعزيز القطع الموجودة في تاكسنة الممتد من النقطة الكيلومترية 27+894 الى 29+887 ، الطريق السريع. جن-جن_العلمة اعتمدت هذه الدراسة على دراسة الخصائص الجيولوجية والمائية والجيوتقنية المختلفة للمنطقة. من الناحية الجيولوجية ، يتميز هذا القطاع بوجود تكوينات فليش ماسيليان. يسمح تحليل وتفسير نتائج الاختبارات في الموقع والاختبارات المعملية بتحديد وتصنيف التربة التي تشكل موقع الدراسة. إن تحليل الثبات الذي تم إجراؤه ، مع الأخذ في الاعتبار حل التعزيز الأكثر منطقية ، جعل من الممكن تحقيق مستوى مشجع للغاية من الأمان حتى في ظل ظروف الحمل غير المواتية. لذا فإن التشخيص الصحيح لهذه الاضطرابات يسمح باعتماد أنسب الحلول .

الكلمات المفتاحية : تاكسنة، ن. ق 27+894 الى 29+887، تحليل الاستقرار، دعم.

Table des matières

Remerciement.....	
Dédicace.....	
Résumé.....	i
Abstract.....	ii
ملخص.....	iii
Liste des figures.....	iv
Liste des tableaux.....	vi

Introduction Générale.....	01
-----------------------------------	-----------

Chapitre I : Présentation de la zone d'étude

I. Généralités sur le site d'étude.....	02
I.1.Situation géographique et localisation du site étudié.....	02
I.2.Aperçu climatique.....	03
I.3.Orographie.....	03
I.4.Morphologie et Topographie.....	04
I.5.Réseau hydrographique.....	06
I.6.Végétation.....	08
I.7. Exposition des versants.....	08
I.8. Sismicité.....	08
I.9. Contexte géologique local.....	10
I.9.1.Caractéristique lithologiques de la région étude.....	10
I.9.2.Description des formations lithologiques de la région de Texenna.....	11
a) Les formations du quaternaire.....	11
b) Les formations du flysch massylien (ou Flysch schisto-gréseux "Albo-Aptien").....	11
c)Formations du Complexe Volcano-Sédimentaire (CVS) de Texenna.....	12
d)Trias.....	12
e)Les formations cristallophylliennes du socle Kabyle.....	13
I.9.3.Géologie du site.....	13
a. Roches résistantes.....	15
b. Roches Moyennement résistantes.....	15
c. Roches meubles.....	16

Chapitre II : Synthèse hydroclimatologique

II.1. Introduction.....	17
II.2. Station de mesure.....	17
II.3. Analyse des caractéristiques hydro-climatiques.....	17
II.3.1. Précipitations.....	17
a) Variations mensuelles.....	17
b) Variations saisonnières.....	18
➤ Estimation des précipitations moyennes annuelles.....	19
II.3.2.Températures.....	21

II.4. Diagramme ombrothermique	22
II.5. Bilan hydrologique.....	22
II .5.1.Evapotranspiration potentielle (ETP).....	23
II.5.2.Evapotranspiration réelle (ETR).....	24
II.6. Estimation du ruissellement et de l'infiltration	26
a) Ruissellement(R)	26
b) Infiltration (I)	26
II.7. Conclusion	26

Chapitre III : Reconnaissances géotechniques

III.1.Introduction	28
III.2.Compagne de reconnaissances géotechniques	28
III.2.1.Essai in-situ	28
III.2.1.1. Sondages carottés	28
III.2.1.2. Sondages pressiométriques	32
III.2.2.Essais de perméabilité	37
a) Essai lugeon	37
b) Essai Lefranc	38
III.3.Essais de laboratoire	38
III.3.1.Paramètres physiques des sols	38
III.3.1.1. Limites d'Atterberg	39
III.3.2.Essais mécaniques	41
III.3.2.1. Essai de résistance à la compression uni-axiale	41
III.4.Classification du massif rocheux	42
III.4.1.L'indice GSI (Géological Strength Index)	42
III.4.Conclusion.....	43

Chapitre IV:Analyse de stabilité

IV.1.Introduction	44
IV.2. Présentation du projet.....	44
IV.3. Principaux facteurs d'instabilité de la zone d'étude.....	45
IV.3.1. Établissement de la carte de susceptibilité.....	45
IV.4.Analyse de stabilité.....	46
IV.5.Typologies des ouvrages de soutènement proposées.....	48
IV.5.1. Reprofilage des pentes et réduction de la hauteur d'excavation maximale.....	49
IV.5.2.Systèmes de drainage superficiel et profond.....	49
IV.5.3.Paroi berlinoise.....	49
IV.6.Conclusion	49

Conclusion générale et recommandations	51
---	-----------

Références Bibliographiques

Liste des figures

Fig.I.1. Situation géographique de la commune de Texenna.....02

Fig.I.2. Carte pluviométrique de la wilaya de Jijel A.N.R.H (1996).....03

Fig.I.3. Carte présente l’orographie de la région de Jijel.....04

Fig.I.4. Carte des pentes de la région d'étude.....05

Fig.I.5.Répartition en (%) des classes de pente.....06

Fig.I.6. Réseau hydrographique du sous bassin versant Djendjen supérieur.....07

Fig.I.7. Altimétrie et forme du sous bassin versant Djendjen supérieur.....07

Fig.I.8. Carte de l’exposition des versants de la région d’étude.....08

Fig.I.9.Catre de zonage sismique du territoire national (d’après le RPA version 2003).....09

Fig.I.10: Coupe géologique des unités alpines de la Petite Kabylie-région de Jijel (Rouikha, 2014).....11

Fig.I.11. Colonne stratigraphique du flysch massylien (H.Djellit, 1987).....12

Fig.I.12. Carte géologique de la région étudiée.....13

Fig.I.13. Coupe géologique du site (Idoui et Boudergui, 2018).....14

Fig.I.14.Répartition en (%) des différentes formations géologiques de la région d'étude.....14

Fig. I.15.Répartition en (%) des différentes Formations lithologiques.....15

Fig.II.1.Courbes exprimant les moyennes mensuelles des précipitations (stations à proximité du site d’étude).....18

Fig.II.2. Répartition saisonnière de la pluie enregistrée aux deux stations [Barrage El-Agrem (2002-2018), Col de Fedoulès (2004-2015)]19

Fig.II.3.Distribution de la pluviométrie moyenne mensuelle (Station du barrage El-Agrem, période 2002-2018)20

Fig.II.4.Variations saisonnières des précipitations de la station du barrage El Agrem.....20

Fig.II.5. Distribution des températures moyennes mensuelles (Station du barrage El-Agrem, période 2002-2018).....21

Fig.II.6. Diagramme ombrothermique (Station du barrage El-Agrem, période 2002-2018).....22

Fig.II.7: Bilan hydrologique par la méthode de Thornthwaite.....25

Fig..1. Emplacement des sondages carottés au niveau du site d’étude.....29

Fig.III.2. Photo des carottes obtenues dans le sondage N°01.....30

Fig.III.3. Photo des carottes obtenues lors du sondage N° 0230

Fig.III.4. Photo des carottes obtenues lors du sondage N° 03.....31

Fig.III.5. Photo des carottes obtenues lors du sondage N° 04.....31

Fig.III.6. Coupe lithologique du site étudié.....31

Fig.III.8. Classification des sols fins selon l'abaque de plasticité de Casagrande.....41

Fig. IV.1.Carte de susceptibilité aux glissements de terrain de la zone d'étude.....46

Fig.IV.2. Résultats de la retro-analyse exécutée pour le glissement au PK 28- Méthode de Bishop simplifiée.....47

Liste des Tableaux

Tab.I.1. Répartition des classes de pentes dans la zone d'étude.....	05
Tab.I.2. Coefficient d'accélération de zone A (RPA version 2003).....	10
Tab.I.3: Classement des différentes formations lithologiques de la zone d'étude.....	15
Tab.II.1: Caractéristiques des stations pluviométriques voisines de la région d'étude (ANRH, 2018).....	17
Tab.II.2. Moyennes mensuelles des précipitations [Station du barrage El-Agrem (2002-2018) et la station du col de Fedoulès (2004-2015)].....	18
Tab.II.3. Taux des Précipitations saisonnières en (mm) et en (%) [Station: barrage El-Agrem (2002-2018), Col de Fedoulès (2004-2015)].....	19
Tab.II.4. Distribution des températures moyennes mensuelles et saisonnières (Station du barrage El-Agrem, période 2002-2018).....	21
Tab.II.5: Données moyennes mensuelles des précipitations et des températures (Station du barrage El-Agrem, période 2004-2015).....	22
Tab.II.6. Valeurs de l'ETP Calculées par la formule de Thornthwaite (Station du barrage El-Agrem, période 2002-2018).....	24
Tab. II.7 .Résultats de calcul de l'évapotranspiration réelle selon Thornthwaite (Station du barrage El-Agrem, période 2002-2018).....	25
Tab III. 1: Résultats des sondages carottés (Rizzani de Eccher, 2015).....	29
Tab.III.2: Valeurs des sondages préssiométriques (Rizzani de Eccher, 2015).....	32
Tab.III.3: Classification des sols d'après EM/PL d'après Ménard.....	36
Tab.III.4. Caractéristiques géotechniques des sites (RPOA 2008).....	37
Tab.III.5. Résultats d'essai lugeon (Rezzani de Eccher, 2015).....	38
Tab.III. 6: Résultats de l'essai Lefranc (Rizzani de Eccher, 2015).....	38
Tab.III.7: Caractéristiques physiques des sols (L.C.T.P, 2015).....	39
Tab.III. 8: État du sol d'après l'indice de plasticité (Sanglerat et Costet, 1983).....	39
Tab.III.9: Classification des sols en fonction de l'indice de plasticité (Sanglerat et Costet, 1983).....	40
Tab.III.10: Résultats des limites d'Atterberg (L.C.T.P, 2015).....	40
Tab.III.11: Qualification de la résistance d'une roche en fonction de la valeur de la résistance en compression uni-axiale.....	41
Tab.III.12. Valeurs de la résistance à la compression simple (L.C.T.P, 2015).....	42
Tab.III.13: GSI et qualité du massif rocheux (Hoek et al, 1995).....	42
Tab.III. 14: Classification de la masse rocheuse du site étudié en fonction du GSI.....	42

Tab.IV.1. Profils en Travers courants identifiés dans le secteur en étude.....44
Tab.IV.2. Résultats de calcul des facteurs de sécurité au glissement à l'état naturel.....47

Introduction générale

Introduction générale

La construction des routes et autoroutes nécessite des travaux de terrassement, d'excavation et de remblaiement. Il est essentiel de vérifier la stabilité des pentes afin d'éviter tout type de désordre durant et après les travaux.

La zone objet de notre étude est située le long de la pénétrante autoroutière allant entre les PK 27+894 et PK 29+887 au niveau d'une section qui traverse en déblais un terrain en pente moyenne. Lors des travaux de terrassement des désordres sont apparus suivis dans certains points par des glissements de terrain. Après la réalisation de nouvelles excavations ces phénomènes d'instabilité n'ont subi aucune dégradation et évolution. Pour éviter tout risque de glissement de terrain en phase de travaux ou à long terme, il a été décidé d'utiliser le reprofilage autant que moyen de confortement la plus simple des talus.

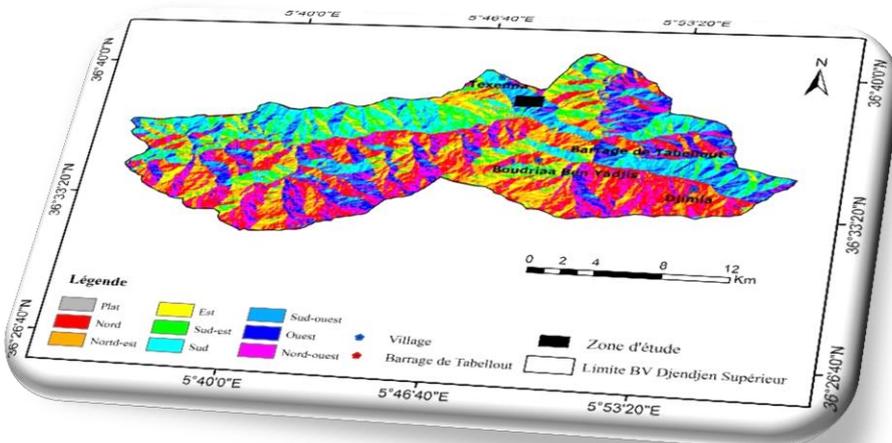
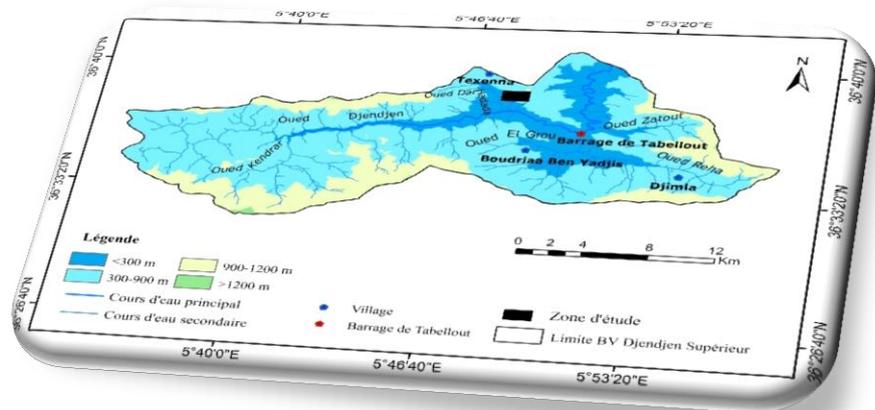
L'objectif de notre travail est de contribuer à une étude géologique et géotechnique du site afin d'avoir un maximum de données permettant d'entreprendre une analyse de stabilité et de proposer des moyens de confortement efficaces.

Pour mener à bien notre travail, nous avons subdivisé notre manuscrit en quatre chapitres présentés comme suit :

- La première partie qui s'intéresse à l'étude du milieu physique, appuyée par une synthèse géologique et hydroclimatologique qui joue un rôle très important dans la stabilité des versants.
- La deuxième partie présente l'ensemble des essais et travaux effectués (in-situ et en laboratoire) entrant dans le cadre de la campagne de reconnaissances géotechniques.
- La troisième partie traite une analyse de stabilité basée sur les recommandations de confortement qui ont été proposées.

Notre travail se termine par une conclusion générale reprenant l'essentiel de ce qu'on a appris et recensé comme méthodes d'étude et de confortement des déblais de terrain.

Présentation de la zone d'étude



I. Généralités sur le site d'étude

I.1. Situation géographique et localisation du site étudié

Texenna est l'une des communes de la wilaya de Jijel (Nord-Est Algérien). Elle a été créée lors du découpage administratif de 1984. Elle se situe à environ 20km au sud-est du chef-lieu de la ville de Jijel, et à 25 km du chef-lieu de la daïra de Djimla, avec une superficie de 177,7 km². Elle est traversée par la RN77, reliant Jijel à Mila et Sétif (Fig.I.1). Ses coordonnées géographiques sont :

- Longitude : 05°47'06''-05°47'42''
- Latitude : 36°39'45''-36°40'30''

La commune de Texenna est limitée administrativement (Fig.I.1) par les communes suivantes :

- Au Nord par la commune de Kaous,
- À l'Est par les communes d'Oudjana et EmirAbdelkader,
- À l'Ouest par les communes d'El Aouana et Selma Benziada
- Au Sud par les communes d'Erraguène, Boudria Beni-yadjis et Djimla.

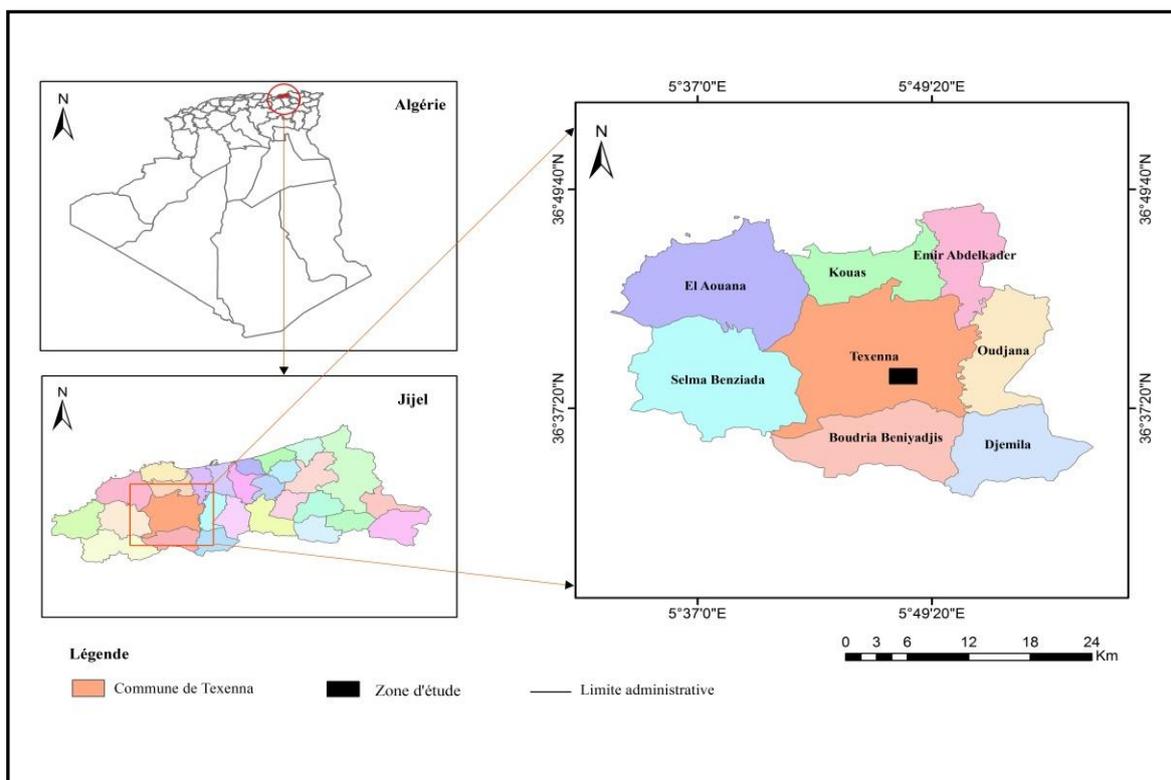


Fig.I.1: Situation géographique de la commune de Texenna.

Le tronçon routier sis aux PK (27+894-29+887) objet de cette étude se situe dans la partie sud du village de Texenna, plus exactement à environ 6Km, et à 3 Km à l'ouest de la digue du barrage de Tabellout ces coordonnées géographiques sont :

- X: 05°48'35''E
- Y: 36°38'36''

I.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.I.2). En plus d'une importante pluviométrie, la commune de Texenna est souvent recouverte par d'importantes quantités de neige. Quant à l'influence du relief sur le climat, ce dernier joue le rôle de barrière face aux masses saturées 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.

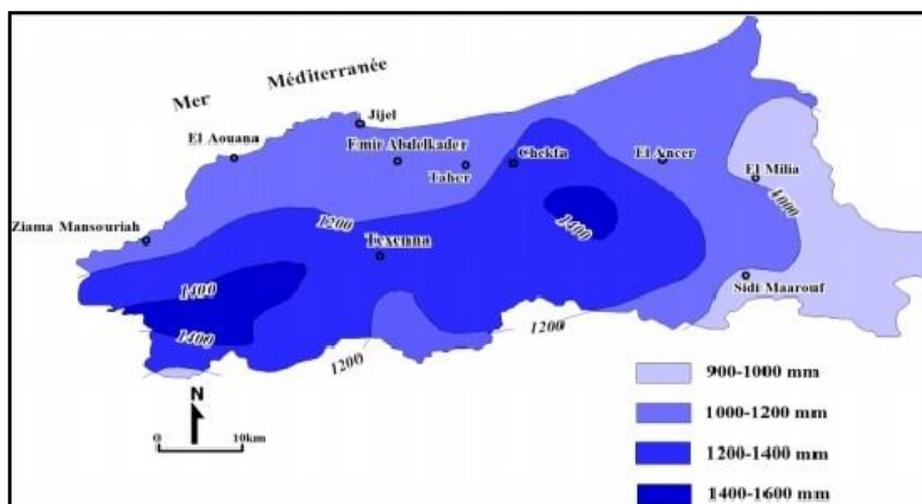


Fig.I.2. Carte pluviométrique de la wilaya de Jijel A.N.R.H (1996).

I.3. Orographie

Le relief de la wilaya de Jijel est très contrasté et est caractérisé par des sommets culminants à 1600 m (Tamesguida) et des fonds de vallée à 200m (oued Djendjen) bien que l'altitude moyenne soit de 600m à 1000m. 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.

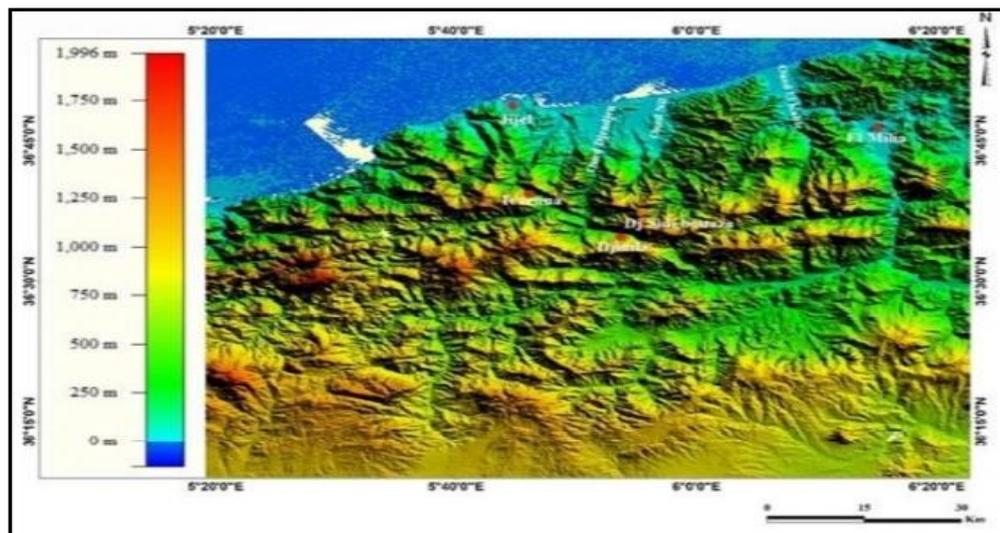


Fig.I.3. Carte présente l'orographie de la région de Jijel

I.4. Morphologie et topographie

L'examen de la carte topographique de la région étudiée, fait apparaitre que la commune de Texenna est caractérisée par des pentes moyennes à fortes, car elle appartient à la zone des montagnes au sud de Jijel (Fig.I.4). Sur le terrain les observations de détail montrent assez bien des brusques changements des pentes.

La carte des pentes (Fig. I.5) montre que plus de 45% de la topographie de la région étudiée présente une pente comprise entre 0-30 % et le reste de cette topographie, soit 25% de la superficie présente une pente qui varie entre 30 et 40 %. La classe de pentes les plus fortes (>40%) couvre une surface de 29 % de la totalité (Tab .I.1 et Fig. I.5)

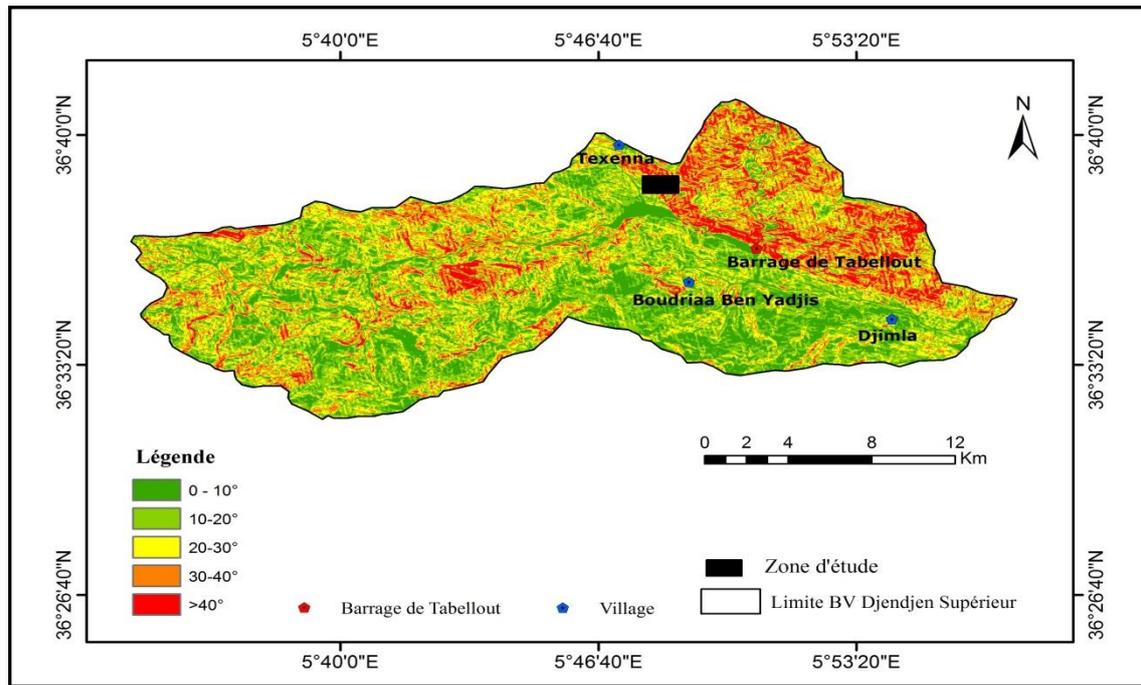


Fig.I.4. Carte des pentes de la région d'étude.

Le Tableau. I.1 donne la répartition en km² et en (%) de chaque classe de pente :

Tab.I.1. Répartition des classes de pentes dans la zone d'étude.

Classe de Pente	Surface en (Km ²)	Surface en (%)
0-10	31,32	10,12
10-20	48,89	15,81
20-30	59,83	19,35
30-40	78,26	25,31
> 40	90,94	29,41
Total	309,24	100%

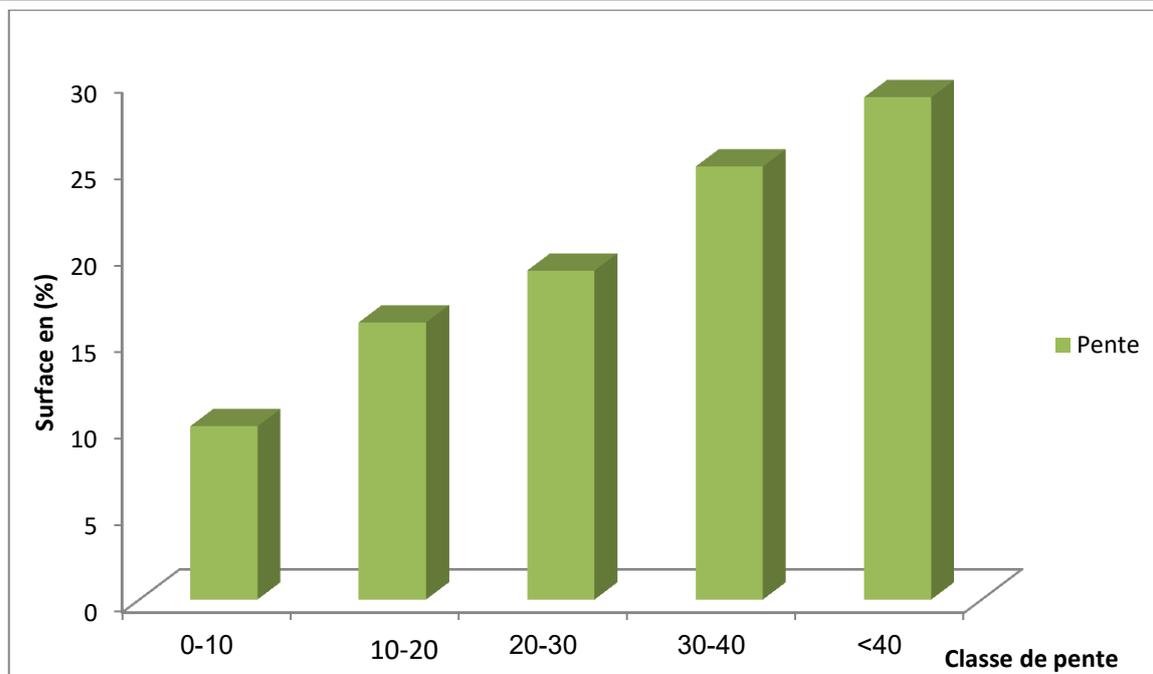


Fig. I.5. Répartition en (%) des classes de pente .

I.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. Il est représenté par un chevelu très dense à tracé quasi rectiligne dû aux effets de pente et des ravinements profonds dans les zones Sud du territoire de Texenna à l'instar d'oued Dar-Hadada (*Fig.I.6*). Les principaux cours d'eau 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 Texenna.
- **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.

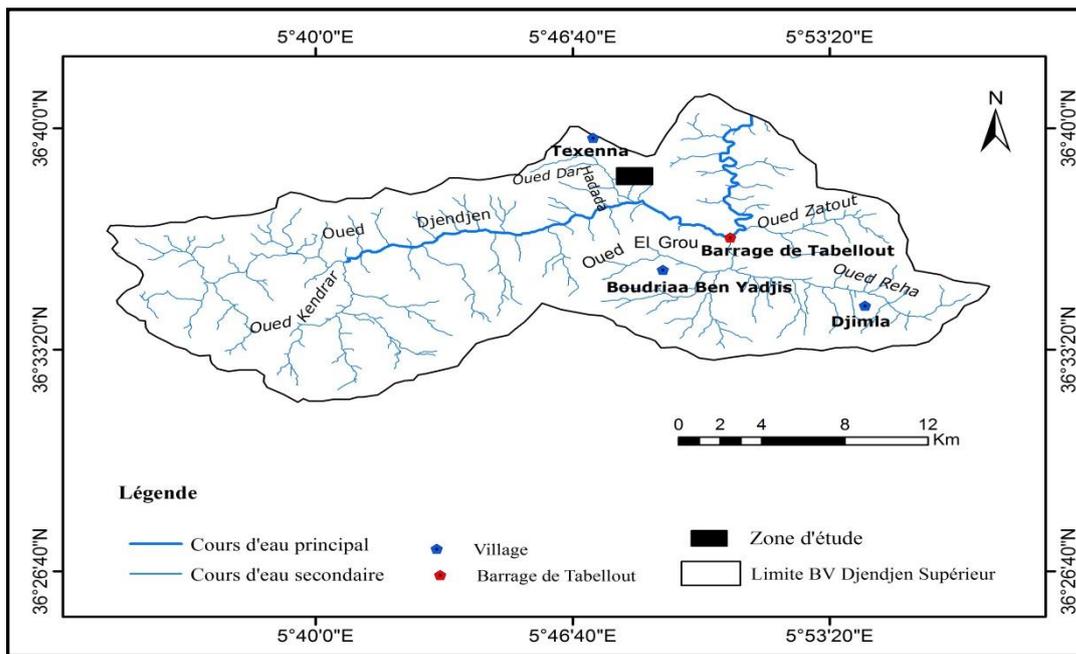


Fig.I.6. Réseau hydrographique du sous bassin versant Djendjen supérieur.

La topographie de la zone étudiée est très accidentée, en raison de la présence de montagnes escarpées et d'un certain nombre de vallées et chaabats qui la traverse.

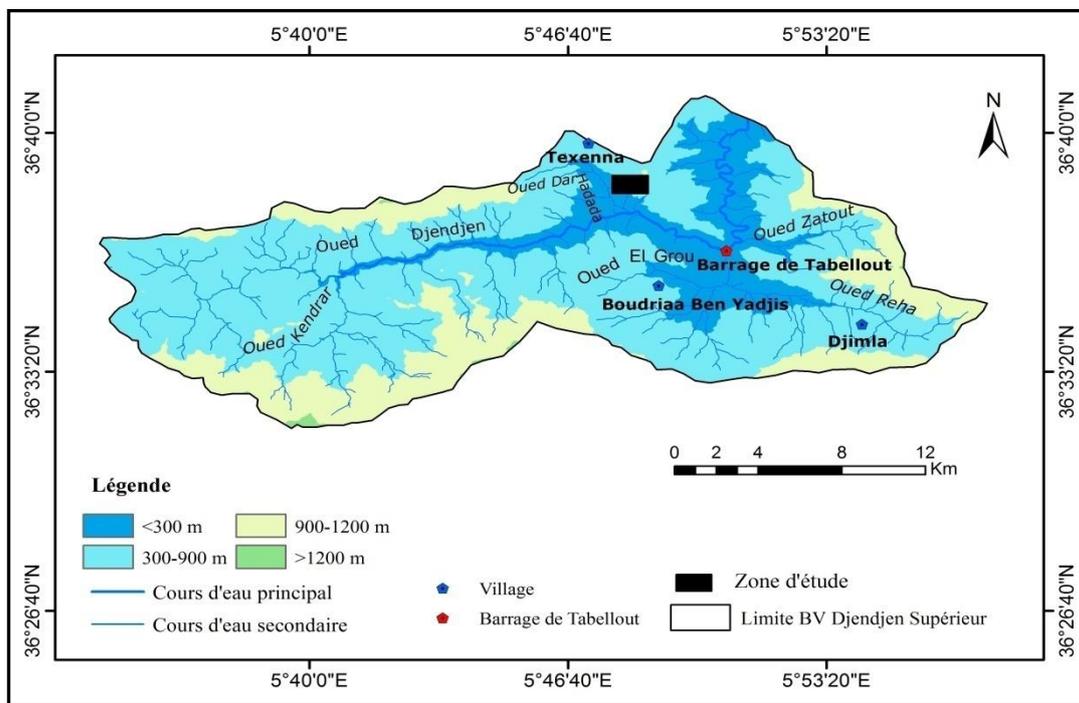


Fig.I.7. Altimétrie et forme du sous bassin versant Djendjen supérieur.

I.6.Végétation

La zone d'étude est caractérisée par une couvert végétal assez dense couvre une grande partie du territoire de la commune. Ce dernier est favorisé par l'importance des précipitations. Les conditions climatiques et la nature des terrains de la région ont permis le développement de forêts très denses.

I.7.Exposition des versants

La carte d'exposition des pentes est une carte dérivée de MNT (Modèle Numérique de Terrain) avec fonction « aspect » sous ArcGis, cette carte a été réalisée dans le but d'afficher graphiquement la direction cardinale de la pente (Nord, Sud, Est ou Ouest), ces directions sont calculées en nombre réel, de 0 à 360 degrés, à partir du Nord dans le sens horaire. Cette variable circulaire est représentée en 8 classes. Les classes les plus répandus sont : Nord, Nord-Est et Sud-Ouest.

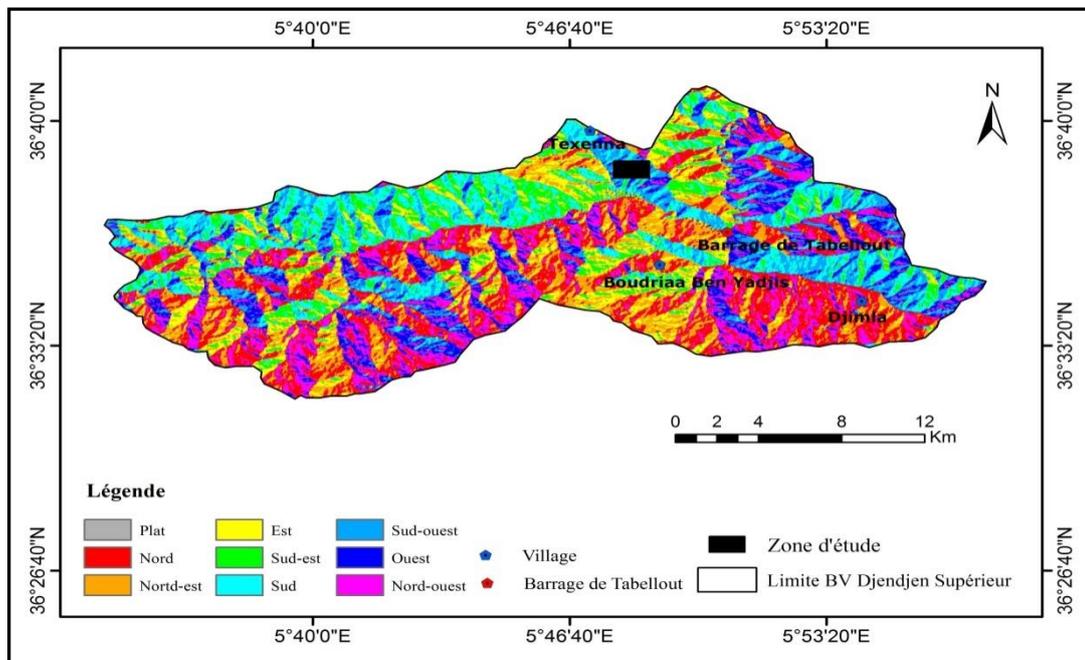


Fig.I.8. Carte de l'exposition des versants de la région d'étude.

I.8. Sismicité

Par suite du tremblement de terre du 21 Mai 2003 qui a frappé la wilaya de Boumerdès, le centre de recherche appliqué en génie parasismique (CGS), et conformément à RPA version 2003 (Règles Parasismiques Algériennes), le territoire Algérien est subdivisé en quatre zones de sismicité (Fig.I.9) :

- ✓ **Zone 0** : sismicité négligeable,

- ✓ **Zone I** : sismicité faible,
- ✓ **Zone IIa et IIb** : sismicité moyenne,
- ✓ **Zone III** : sismicité élevée,

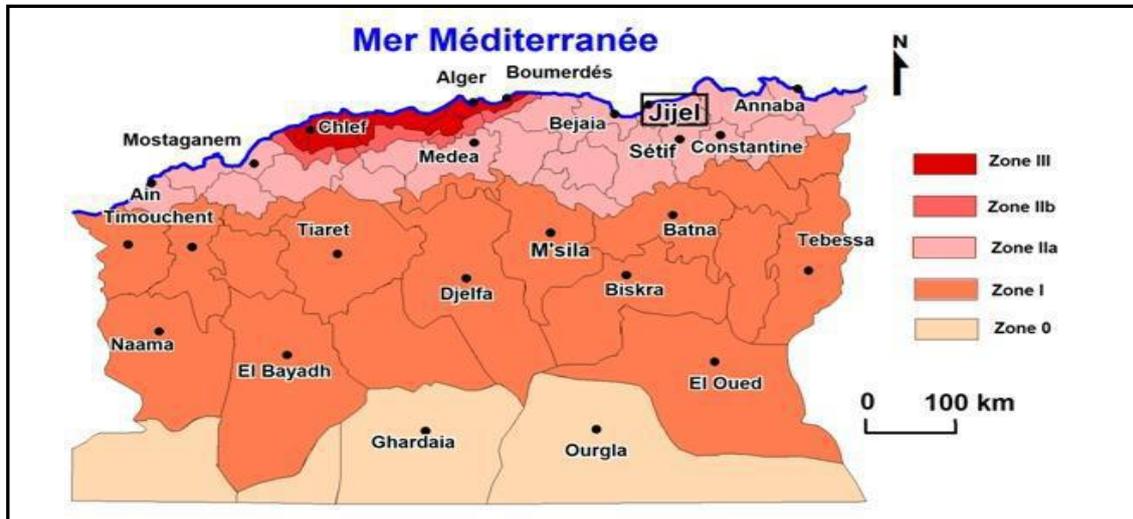


Fig.I. 9. Carte de zonage sismique du territoire national (d'après le RPA version 2003).

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

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

- ✓ Groupe 1A : ouvrage d'importance vitale
- ✓ Groupe 1B : ouvrage de grande importance
- ✓ Groupe 2 : ouvrages courants ou d'importance moyenne
- ✓ Groupe 3 : ouvrage de faible importance

Pour tout calcul d'ouvrage de génie civil et selon le RPA, un coefficient d'accélération est attribué, fonction de la zone et du groupe de l'ouvrage, suivant le tableau, ci-après :

Tab.I.2. Coefficient d'accélération de zone A (RPA version 2003).

Groupe	Zone			
	I	IIa	IIIb	III
1A	0,15	0,25	0,30	0,40
1B	0,12	0,20	0,25	0,30
2	0,10	0,15	0,20	0,25
3	0,07	0,10	0,14	0,18

I.9. Contexte géologique local

I.9.1 : caractéristique lithologiques de la région étude

Texenna est une région montagneuse, définie par un contraste géologique assez important. L'ensemble des travaux accomplis avant par différents chercheurs dans cette zone (Ehrman, 1928 ; Durand Delga ,1955 et Djellit ,1987) ont favorisé à indiquer le cadre géologique local de la région (Fig.I.10). Dans notre secteur les formations présentes à l'affleurement peuvent être résumées comme suit :

Du Nord vers le Sud, on peut distinguer :

- Les formations du quaternaire,
- Les formations de type flysch Albo-Aptien,
- Les formations du complexe volcano –sédimentaire de Texenna,
- Les formations évaporitiques du trias,
- Les formations cristallophylliennes du socle Kabyle.

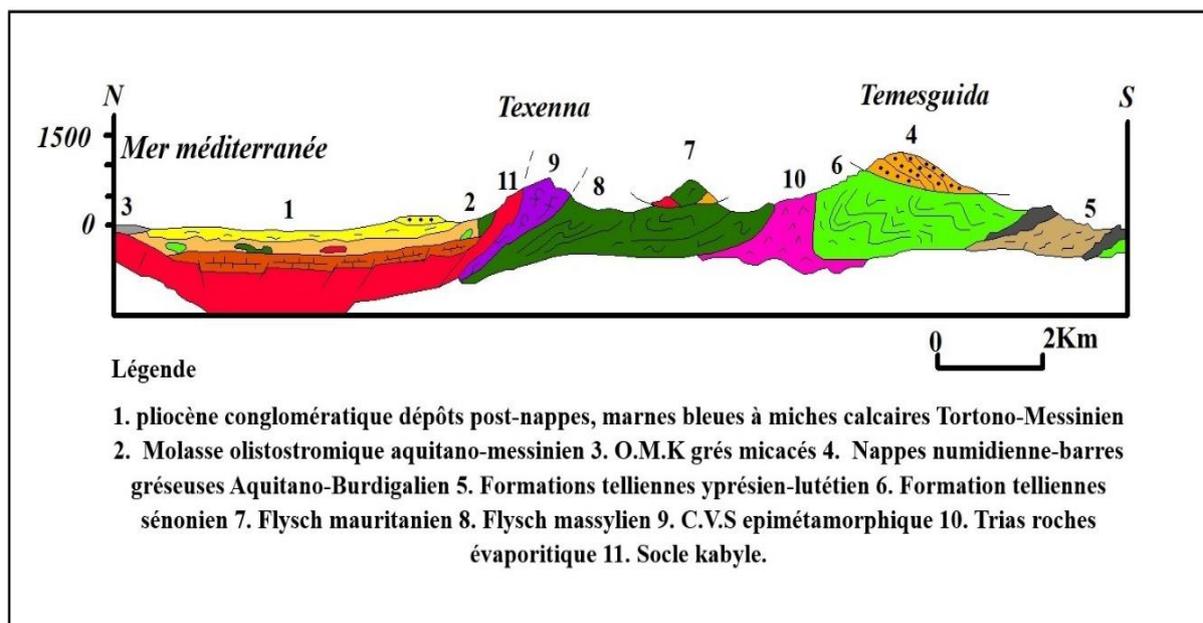


Fig. I. 10: Coupe géologique des unités alpines de la Petite Kabylie-région de Jijel- (Rouikha, 2014).

I.9.2. Description des formations lithologiques de la région de Texenna

a) Les formations du quaternaire

Il est le plus souvent représenté par une tranche de terre végétale, et parfois des blocs d'argile et de gravier de collines ou de collines.

b) Les formations du flysch massylien (ou Flysch schisto-gréseux "Albo-Aptien")

Structuralement, cette unité est, selon les endroits, tantôt chevauchée par le socle kabyle, tantôt par le complexe volcano-sédimentaire. Le tronçon routier étudié ici se trouve dans des formations de type flysch massylien d'âge Albo_Aptien. Il est caractérisé par une alternance des schistes et des bancs de grés quartzitiques centimétriques, très plissés, surmontés par des micro-brèches calcaire à ciment pélitique et des marnes. Il contient par endroits des phanites de couleur noir (Durand Delga ,1955 ; Djellit, 1987). La série du flysch massylien montre bas en haut (Fig.I.11):

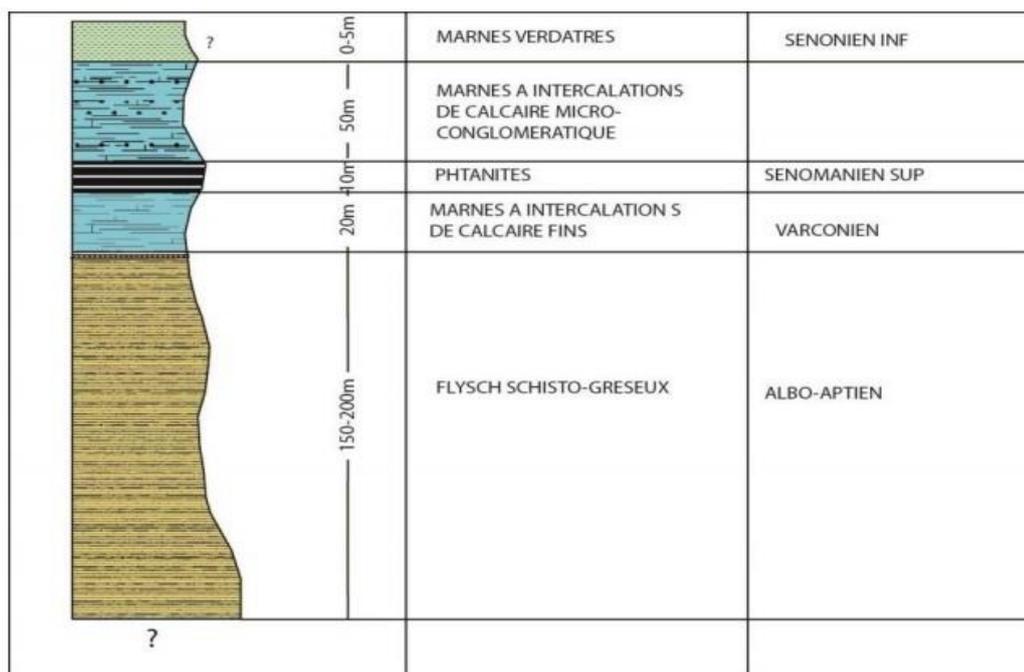


Fig I. 11: Colonne stratigraphique du flysch massylien (Djellit, 1987).

c) Les formations du Complexe Volcano-Sédimentaire (CVS) de Texenna

Ces formations reposent par un contact anormal sur les formations du flysch massylien. Pour (Bouillin, 1979) le complexe volcano-sédimentaire de Texenna représente le substratum Jurassique du flysch mauritanien. Il comporte trois termes de bas en haut:

- Un empilement de roches volcaniques à textures variables généralement des roches basaltiques vertes en pillow lava.
- Une série volcano-sédimentaire contenant des quartzites en alternances avec des schistes noirs. et des basaltes, passant à des dolérites, ou encore des parasinites, et des gabbros dioritiques à amphiboles brunes.
- Des calcschistes centimétriques à décimétriques et des gneiss fins. On rencontre cet ensemble éruptif à Djebel Sendouah de Texenna, et Djebel Draa El-Fartassa de Tabellout (Djellit, 1987).

d) Le Trias

Il affleure en aval de la zone d'étude, il se présente sous forme d'une bande le long de l'oued Djendjen et l'oued Djimla. On rencontre parfois du Trias diapirique comportant du gypse, des marnes gypsifères, des argiles bariolées, et des argiles de couleur lie de vin. Ces formations apparaissent en contact anormal (cisaillement tectonique) avec les formations telliennes et les formations du flysch Massylien (Durand Delga, 1955).

e) Les formations cristallophylliennes du socle Kabyle

Les formations cristallophylliennes du socle Kabyle sont représentées dans la région de Texenna par des gneiss ocellés, et des phyllades. Elles constituent l'unité géologique la plus basse de la région. L'âge Précambrien probable est attribué à ces formations (Durand Delga, 1955; Bouillin, 1979).

I.9.3. Géologie du site

Le site d'étude appartient au sous-bassin versant Djendjen supérieur. 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 :

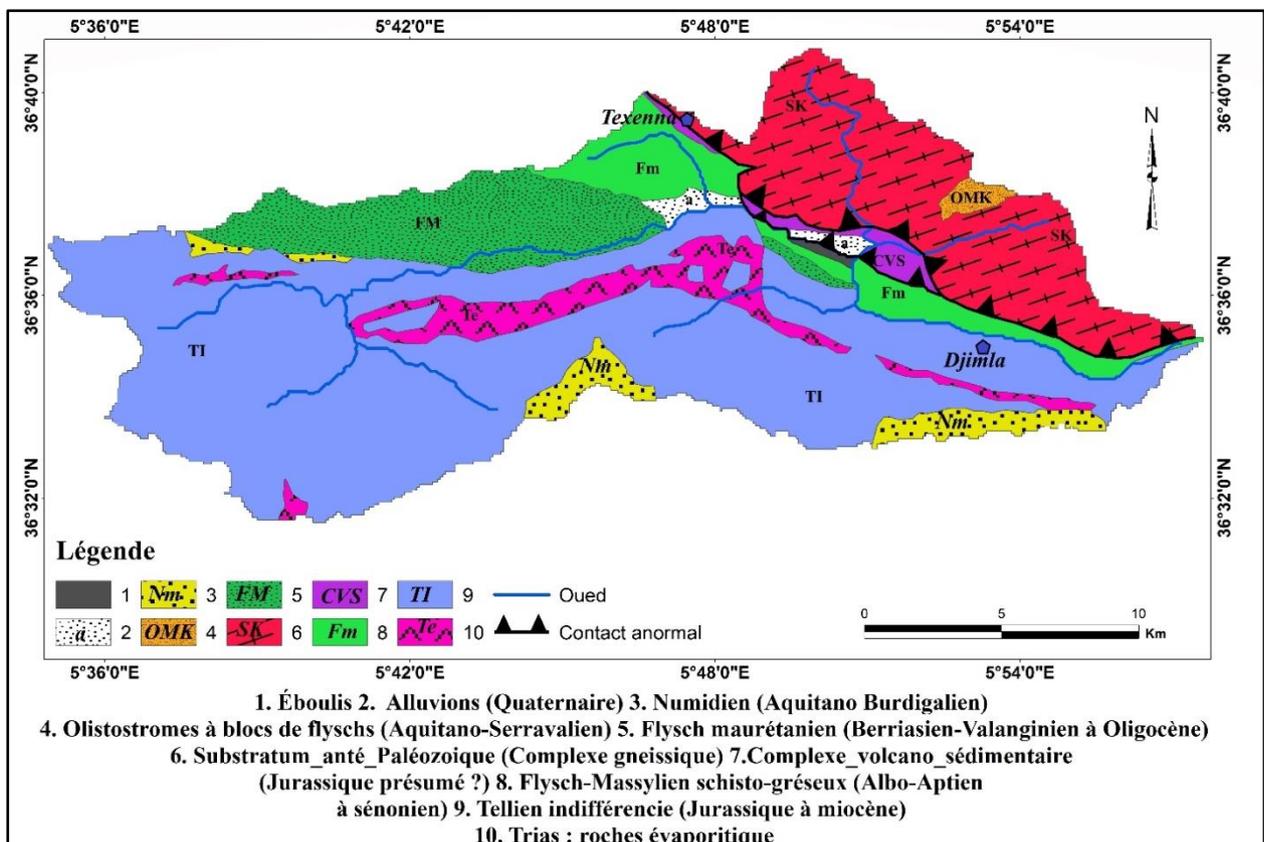


Fig. I.12 : Carte géologique de la région étudiée (Idoui et Boudergui, 2018).

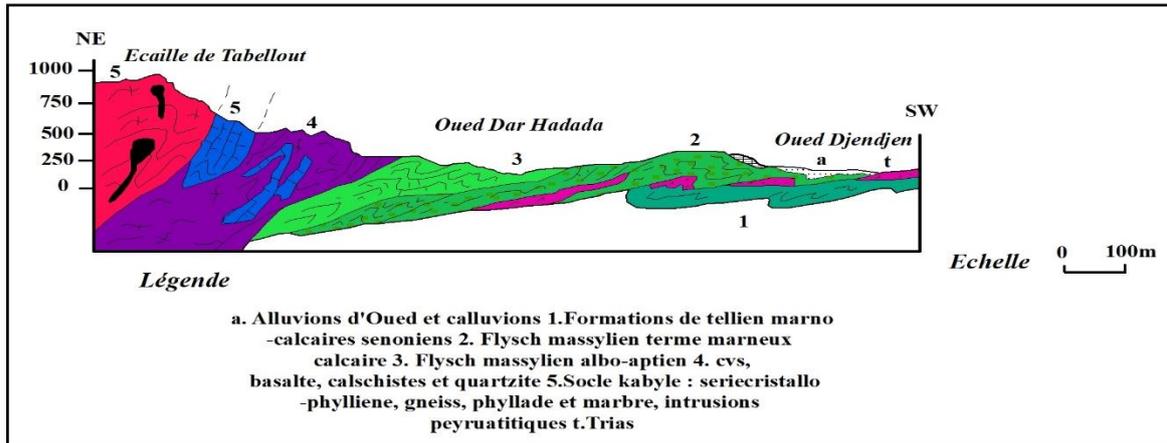


Fig.I. 13 : Coupe géologique du site (Idoui et Boudergui, 2018).

La Figure.I.14 ci-après présente la répartition en (%) des différentes formations lithologiques trouvées dans la zone d'étude:

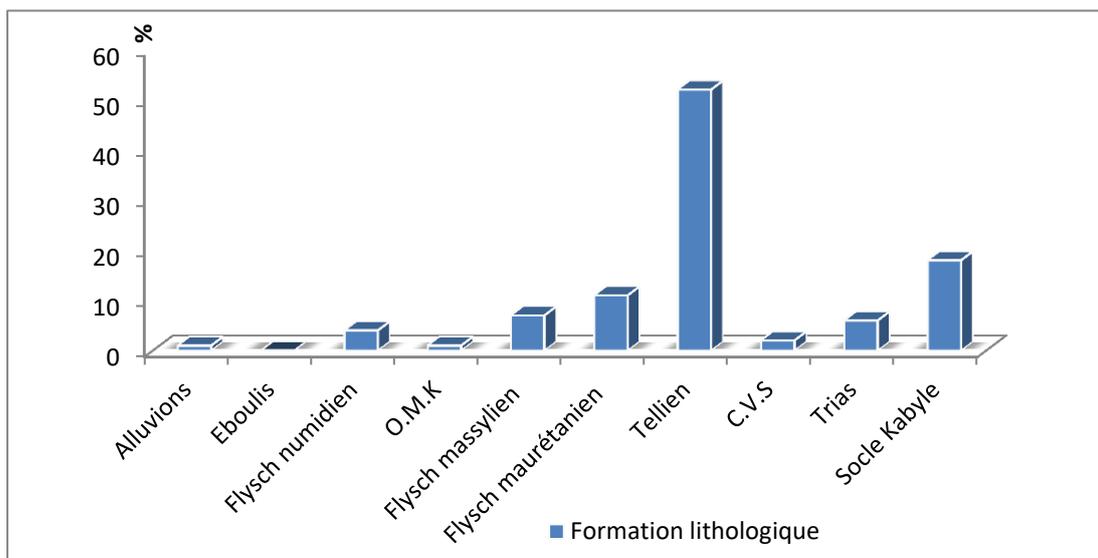


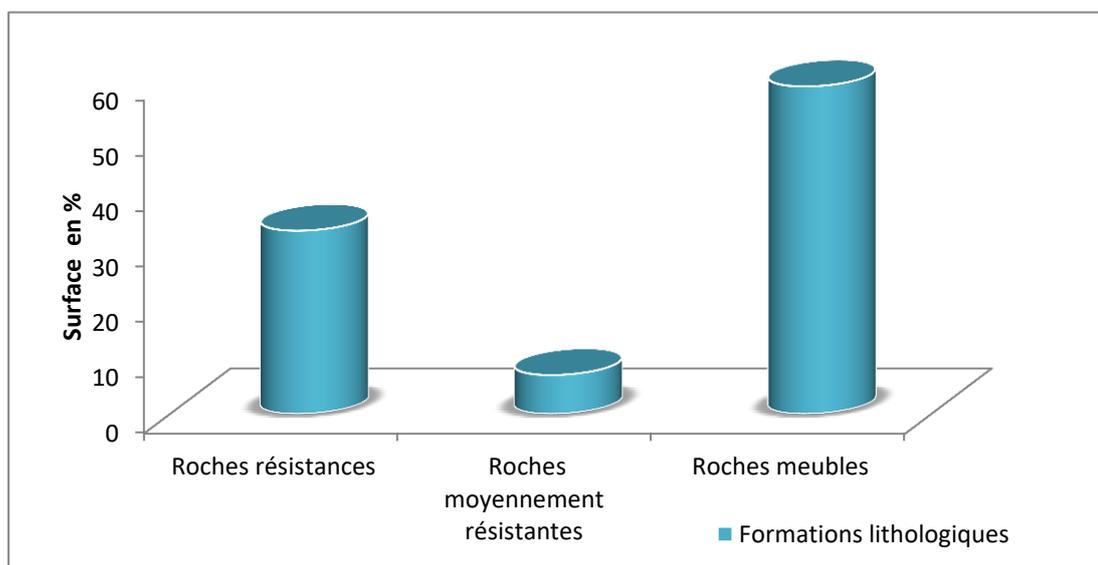
Fig.I.14 : Répartition en (%) des différentes formations géologiques de la région d'étude.

Les formations géologiques pouvant être classées en formations meubles (sable, argiles, marnes...etc) ou en formations consolidées (grès, calcaires, dolomies...etc.).

Vu leurs état d'altération ou résistance à l'érosion. On peut estimer l'étendue des divers type de formations dans la zone d'étude.

Tab. I. 3: Classement des différentes formations lithologiques de la zone d'étude

Dureté	Roches résistances	Roches moyennement résistantes	Roches meubles
Formations lithologiques	Grés	Mollasse	Marnes argiles
	Roches vertes	Marno-calcaire	Roches salines
	Gneiss-marbre	Schistes	Alluvions
Surface (km²)	102.71	22.71	183.82
Total (km²)	309.24		
Surface (%)	33.21	7.34	59.45
Total (%)	100 %		

**Fig. I .15 :** Répartition en (%) des différentes Formations lithologiques

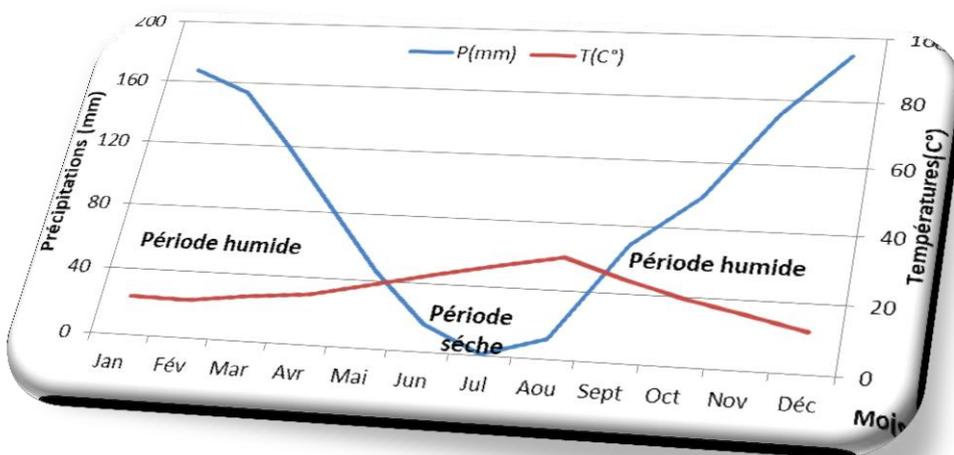
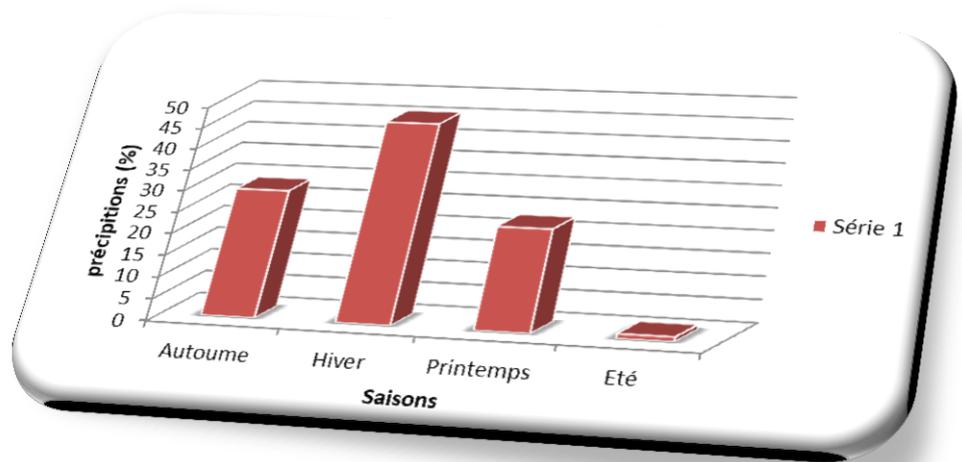
a. Roches résistantes: elles sont représentées par les formations cristallophylliennes du socle Kabyle, les formations du Complexe Volcano-Sédimentaire de Texenna, et les formations de type flysch (maurétanien, numidien). Ces formations s'étalent sur une superficie de 102.71Km², soit 33.21% de la zone étudiée.

b. Roches Moyennement résistantes : elles sont représentées dans la zone d'étude par les formations de l'Oligo-Miocène Kabyle, les olistostromes (mollasse), et les formations du flysch massylien avec une superficie de 22.71 Km², soit 7.34% de la région étudiée.

c. Roches meubles: elles sont représentées par les formations telliennes, les formations évaporitiques du Trias, et les formations quaternaires (Eboulis et alluvions) avec une superficie de 183.82 Km², soit 59.45% de la région étudiée.

La carte précédente Figure.I.15 montre que le site étudiée appartient au domaine du flysch massylien d'âge Albo-Aptien, de résistance moyenne vis-à-vis de l'érosion.

Synthèse hydroclimatologique



II.1. Introduction

Les études hydroclimatologiques et hydrogéologiques sont appliquées en géologie de l'ingénieur parce que l'eau est l'un des facteurs importants qui causent l'instabilité du terrain. Alors, dans ce chapitre nous traiterons les paramètres climatiques (précipitations; températures, humidité, évaporation...etc.) pour déterminer les écoulements soit superficielles ou souterrains ; cette connaissance permet d'établir le bilan hydrologique du secteur étudié.

II.2. Station de mesure

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.II.1, ont été prises en considération dans l'analyse des caractéristiques climatiques de notre travail.

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

Nom station	Code 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

II.3. Analyse des caractéristiques hydroclimatiques

II.3.1. Précipitations

a) Variations mensuelles

Le Tableau II.2 donne les précipitations moyennes mensuelles de la période (2002- 2018) pour la station du barrage El-Agrem et de la période (2004-2015) pour la station du col de Fedoulès.

Tab. II. 2. Moyennes mensuelles des précipitations [Station du barrage El-Agrem (2002-2018) et la station du col de Fedoulès (2004-2015)]

Mois \ Station	Sept	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	119,7	83,6	16,4	0,8	11,5	1106,2
Col de Fedoulès	56,7	80,8	142,7	170,9	148,1	96,0	120,7	89,8	44,5	6,9	0,3	9,2	966,6

La représentation graphique des données de précipitations moyennes mensuelles est donnée sur la figure II.1.

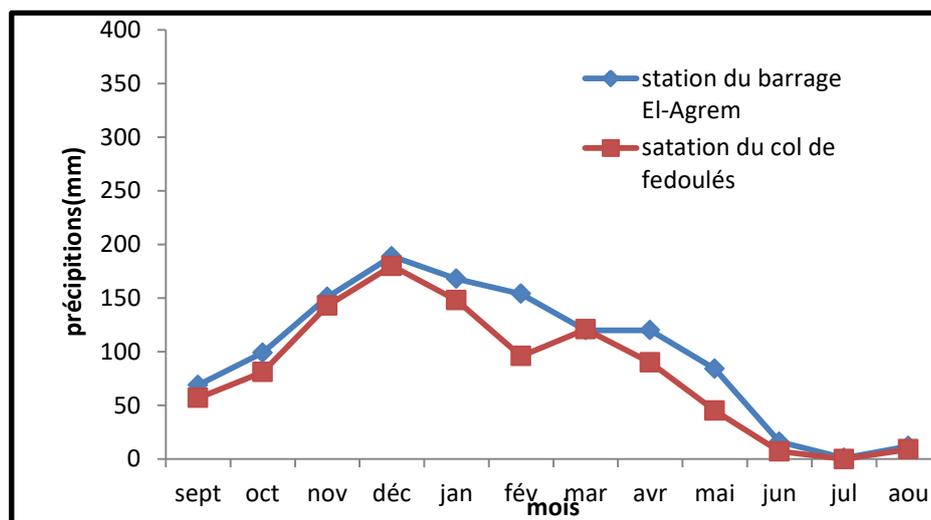


Fig.II.1. Courbes exprimant les moyennes mensuelles des précipitations (stations à proximité du site d'étude).

On observe que: Toutes les stations donnent un maximum pluviométrique durant les mois de Novembre, Décembre, et Janvier.

b) Variations saisonnières

Tab.II.3. Taux des Précipitations saisonnières en (mm) et en (%) [Station: barrage El-Agrem (2002-2018), Col de Fedoulès (2004-2015)]

Saison Station	Hiver	Automne	Printemps	Eté	Total
Barrage El-Agrem	501,03	318,45	249,1	16,4	1106,28mm
	46,10	28,78	22,51	1,48	100%
Col de Fedoulès	415	280,20	255	16,40	966,6mm
	41,22	27,83	25,33	1,63	100%

D'après le tableau II.3, on remarque que la distribution dans les deux stations, est la même. En effet, des précipitations du plus fort au plus faible, nous avons la séquence suivante: Hiver, Automne, Printemps, Été (Fig.II. 2 et Fig. II. 3). En Hiver la zone d'étude enregistre le taux le plus élevé (45%) et même plus, de sa pluviométrie annuelle. On note que près de 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.

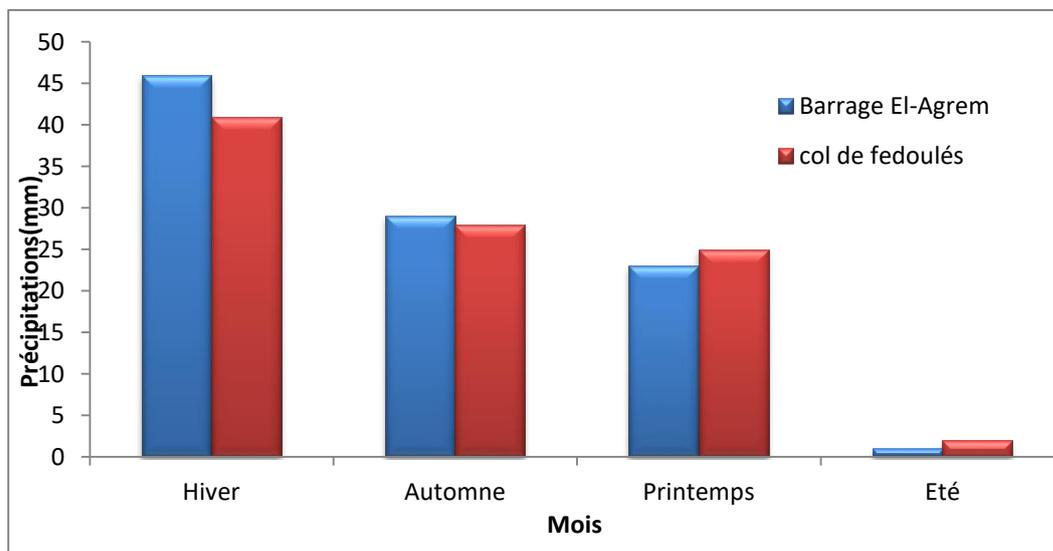


Fig.II.2. Répartition saisonnière de la pluie enregistrée aux deux stations [Barrage El-Agrem (2002-2018), Col de Fedoulès (2004-2015)]

✓ Estimation des précipitations moyennes annuelles

Les données de la station météorologique du barrage El-Agrem montrent que la zone de Texenna reçoit annuellement 1106,28 mm/an. Le Tableau II.2 cité précédemment donne les précipitations moyennes annuelles.

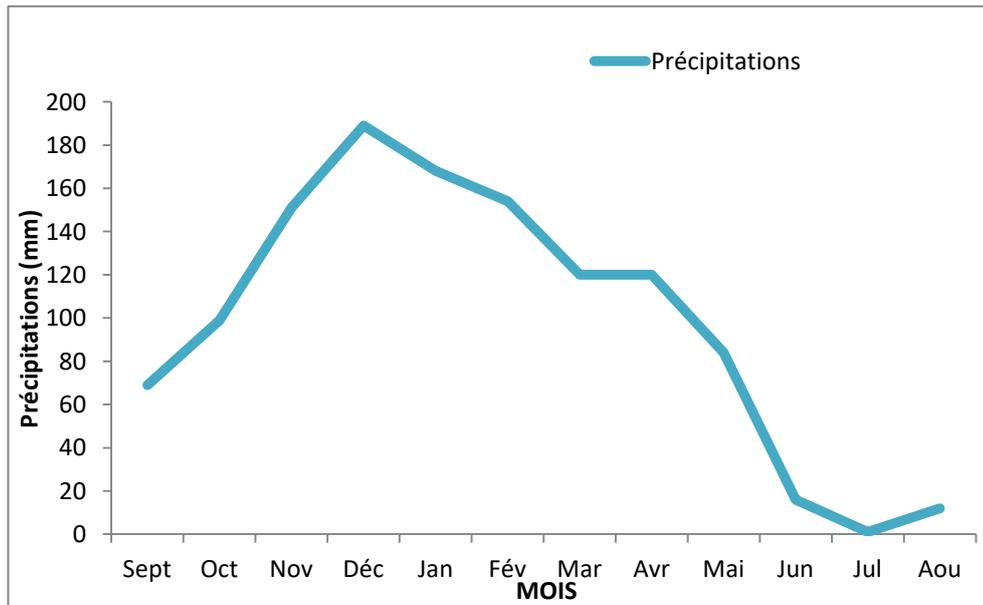


Fig.II. 3. Distribution de la pluviométrie moyenne mensuelle (Station du barrage El-Agrem, période 2002-2018)

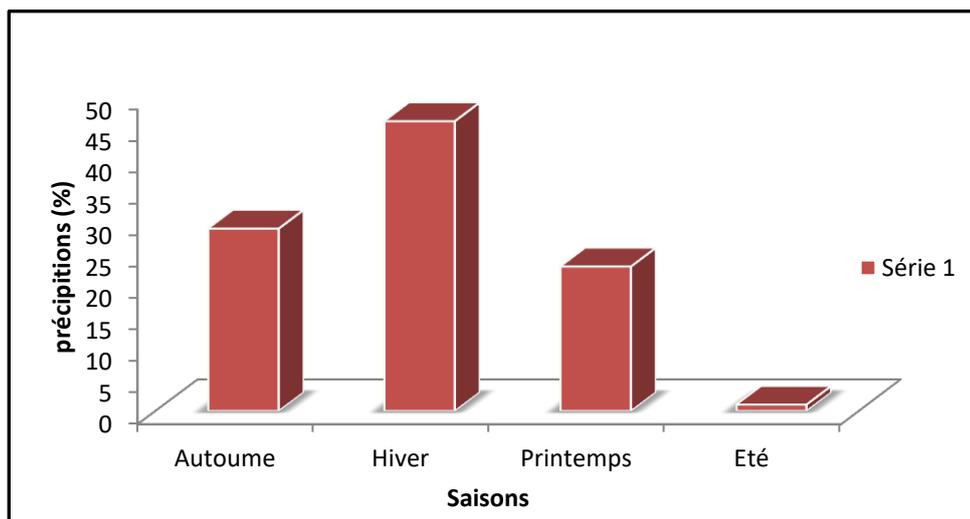


Fig.II.4. Variations saisonnières des précipitations de la station du barrage El Agrem

D'après les résultats obtenus Figure.II.4 et Figure II.5, 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 autour de 510,03mm, soit 46, 1% des précipitations annuelles.

-La saison la plus sèche est l'été lorsque les précipitations moyennes sont d'environ 16, 4 mm ou 1, 48 % des précipitations annuelles.

II.3.2. Températures

Le tableau suivant présente les températures moyennes mensuelles et saisonnières de la station du barrage El-Agrem, pour la période de 2002-2018.

Tab. II. 4. Distribution des températures moyennes mensuelles et saisonnières (Station du barrage El-Agrem, période 2002-2018).

Saison	Automne			Hiver			Printemps			Été		
Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Température en °C El-Agrem	24,63	19,6	16,0	11,1	11,68	11,4	13,5	15	18,9	23,1	26,5	26,6
	20,06			11,7			15,8			25,46		
Température moyenne annuelle(C°)	18,25											

Les valeurs présentées dans le Tableau.II.4 donnent une température moyenne annuelle de 18C° avec comme valeur maximale de 27 C° enregistrée au mois d’Août, sa fraction minimale quant à elle revient au mois de janvier et février, la température est de 11 C°.

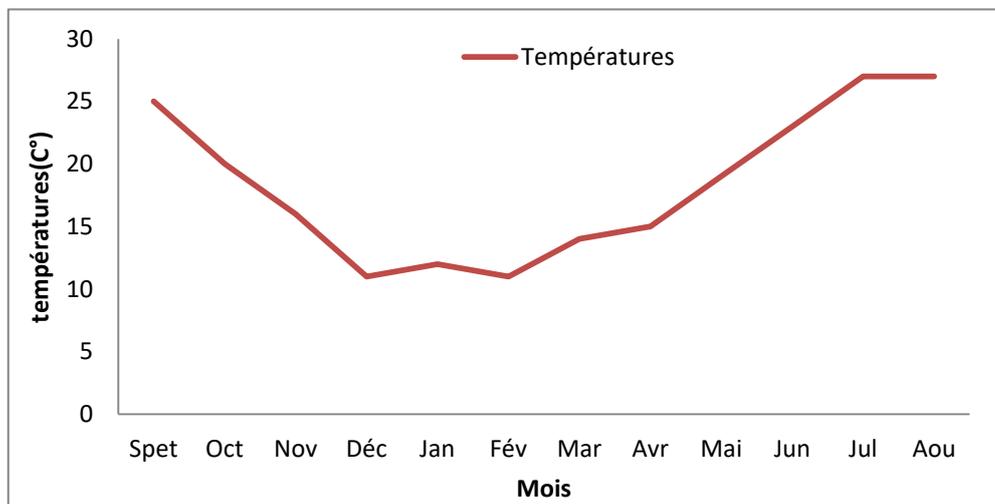


Fig.II.5. Distribution des températures moyennes mensuelles (Station du barrage El-Agrem, période 2002-2018).

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

II.4. 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/T). Gaussen et Bagnoulis, (1953) définissent la saison sèche comme étant l'ensemble des mois ou totale mensuelle des précipitations est inférieure ou égale au double de la température moyenne mensuelle ($P < 2T$). Les données sont regroupées dans le Tableau.II.5 suivant :

Tab. II. 5: Données moyennes mensuelles des précipitations et des températures (Station du barrage El-Agrem, période 2004-2015).

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	Sept	Oct	Nov	Déc
P (mm)	167,6	153,6	119,7	82,6	45,8	16,4	0,8	11,5	69,1	98,5	150,8	188,8
T(C°)	11,68	11,4	13,5	15,00	18,9	23,1	26,5	29,8	24,63	19,6	16,00	12,1
P/2T	7,22	5,68	4,43	2,75	1,21	0,35	0,01	0,21	1,4	2,51	4,71	7,80

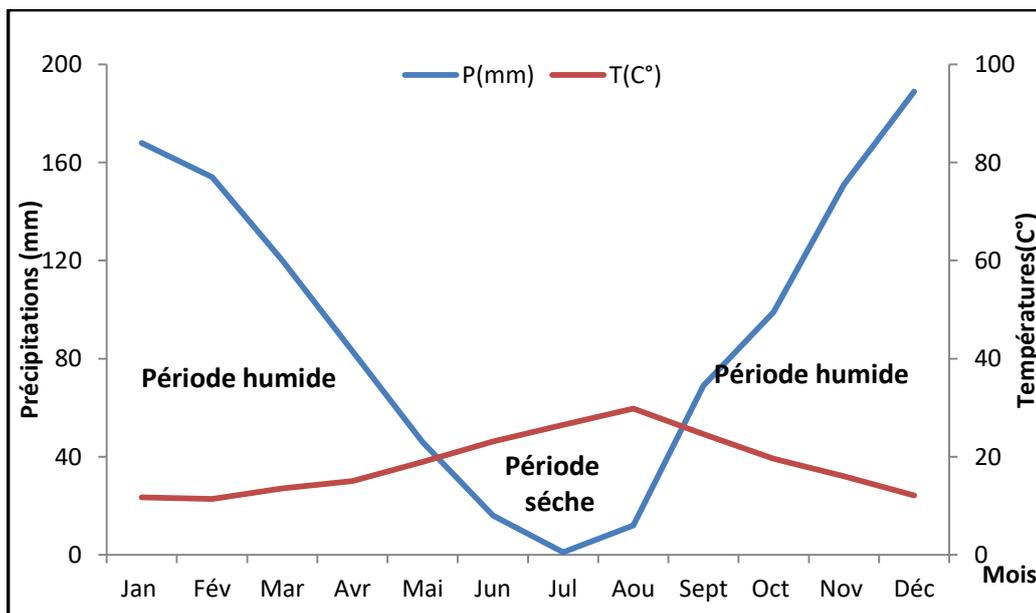


Fig.II.6. Diagramme ombrothermique (Station du barrage El-Agrem, période 2002-2018)

D'après le graphique de la Figure II.6 Nous pouvons déduire ce qui suit:

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

II.5. Bilan hydrologique

L'établissement d'un bilan hydrologique est nécessaire pour l'évaluation des réserves d'eau envoyé ou stocké dans la zone. Il est représenté par la formule suivante:

$$P = ETR + R + I + W_a$$

P: précipitations moyennes annuelles en mm.

ETR: évapotranspiration réelle en mm.

I: infiltration en mm.

W_a: variation des réserves (négligeable).

R: ruissellement, mm.

Cette évaluation est réalisée au cours d'une année hydrologique, avec une période de 12 mois.

II.5.1. Evapotranspiration potentielle ou ETP

Le potentielle d'évapotranspiration (E.T.P) correspond à l'évapotranspiration d'une surface qui sera approvisionnement en eau suffisant pour évaporer autre d'eau qui permis conditions climatiques.

Quantité maximale d'eau susceptible d'être perdue en phase vapeur, sous un climat donné.

La formule suivante proposée par Thornthwaite est utilisée pour le calcul de l'ETP:

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

Avec:

ETP: évapotranspiration 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 égale à la Somme des indices mensuels des 12 mois de l'année:

$$I = \sum_{i=1}^{12} i$$

i: indice thermique mensuelle d'où : $i = \left(\frac{T}{5} \right)^{1,514}$

a: exposant climatique calculé à partir de la formule suivante : $a = 0,016 (I) + 0,5$

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

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

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

Tab. II. 6. Valeurs de l'ETP Calculées par la formule de Thornthwaite (Station du barrage El-Agrem, période 2002-2018)

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	Total
P(mm)	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
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	1,10	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 à partir 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 1106.23 mm.

II.5.2. Évapotranspiration réelle (ETR)

Somme des quantités de vapeur d'eau évaporées par le sol et par les plantes lorsque le sol est à un niveau humidité et les plantes spécifiques 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 (le ruissellement à l'échelle du bassin versant) (**EX**)

Le Principe de raisonnement est le suivant:

- ❖ Si $P > ETP = ETR$, 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 $\begin{cases} P + RFU > ETP \rightarrow ETR = ETP \\ P + RFU < ETP \rightarrow ETR = P + RFU \end{cases}$
- ❖ Lorsque $P < ETP$ et $RFU = 0$ $ETR = P$

Nous commençons à calculer le bilan en Septembre lorsque nous considérons que la RFU est nulle.

Tab. II.7 .Résultats de calcul de l'évapotranspiration réelle selon Thornthwaite (Station du barrage El-Agrem, période 2002-2018)

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	Total
P (mm)	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
ETPc (mm)	115,81	69,87	41,7	23,63	22,54	21,29	35,85	47,04	81,19	121,05	160,8	189,1	929,88
P-ETPc	-46,71	28,63	109,15	165,2	145,1	132,31	83,84	36,56	-35,39	-106,65	-160	-177,6	\
RFU	0	27,22	100	100	100	100	100	100	62,84	0	0	0	\
EX(m m)	0	0	108	164,3	144,1	131,46	82,62	35,16	0	0	0	0	\
D.A	46,71	0	0	0	0	0	0	0	0	43,52	160	177,6	427,83
ETR	69,1	71,18	42,85	24,53	23,43	22,14	37,08	48,44	82,94	79,26	0,8	11,5	513,34

L'évapotranspiration réelle calculée est de l'ordre de 513.22mm des précipitations.

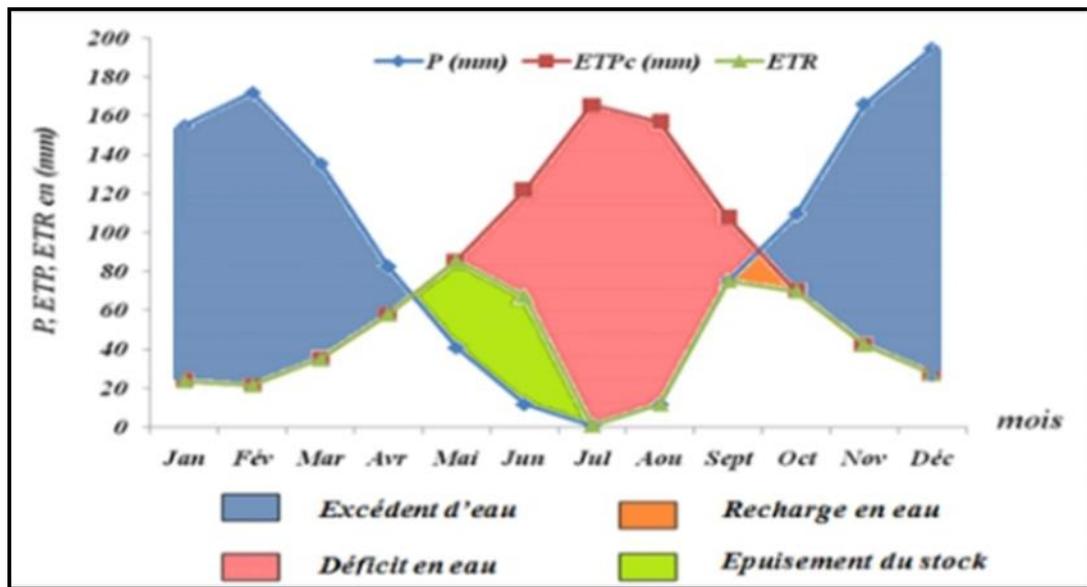


Fig. II. 7: Bilan hydrologique par la méthode de Thornthwaite.

L'examen du graphique de la Figure II.6 permet d'établir les constatations suivantes:

- La période hivernale s'étend d'octobre à avril, durant laquelle les précipitations liquides très abondantes sont supérieures à l'évapotranspiration. Les pluies qui tombées un premier lieu à alimenter les réserves, cela poursuit 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'étend de mai à septembre, c'est une période déficitaire avec une valeur annuelle de 396 mm où les précipitations sont très faibles à voir nulles. L'évapotranspiration est élevée (518, 60 mm), les infiltrations sont nulles, les réserves sont épuisées et les cours de ruissellement sont asséchés.

II.6. 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 de ce bassin pour estimer les réserves d'eau pour différents besoins.

Pour le calcul des ruissellements et des infiltrations on utilise:

Evapotranspiration potentielle	ETP = 908, 33 mm.
Précipitations moyennes annuelles	P = 1106, 2mm.
Evapotranspiration réelle	ETR = 513,22mm

a) Ruissellement

La lame d'eau ruisselée est estimée à partir de la formule **Numer-Chuck**, son expression est comme suit: $R = P^3 / 3$

Avec:

R: ruissellement en (mm).

P: précipitations moyennes annuelles.

$R = (1, 1062)^3 / 3$ donc: $R = 0,451m \rightarrow R = 451 \text{ mm}$.

$R (\%) = (R \times 100) / P = (451 \times 100) / 1106.2 \rightarrow R = 40, 77\%$

La valeur du ruissellement (R) obtenue est de **451 mm**, correspondant à **40, 77%** des précipitations.

b) Infiltration

Fait référence au mouvement et à l'écoulement de l'eau pénétrant les couches superficielles du sol 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:

$$I = P - (ETR + R)$$

Ce qui donne : $I = 1106.2 - (513.22 + 451) \rightarrow I = 141, 98 \text{ mm}$.

En pourcentage: $I (\%) = (I \times 100) / P$

$I (\%) = (141.98 \times 100) / 1106.2 \rightarrow I (\%) = 12, 83\%$.

II.7. Conclusion

Après cette étude hydroclimatologique de la région d'étude, les résultats obtenus sont les suivants:

- La région d'étude est caractérisée par un climat méditerranéen tempéré avec un hiver pluvieux et froid et un été chaud et sec. Les précipitations durant la période (2002-2018) sont relativement importantes, elles sont de l'ordre de 1106.2 mm en moyenne annuelle. La température moyenne annuelle vaut 18°C.

- L'évapotranspiration potentielle (ETP) et l'évapotranspiration réelle (ETR) déterminées par la méthode de Thornthwaite, sont respectivement égales à 908,33mm et 513,22mm.

-Le bilan hydrologique de Thornthwaite est dans son ensemble est déficitaire. - Le ruissellement (R) estimé par la formule de Numer Chuck est de 451 mm/an, soit 40, 77% des précipitations annuelles.

- L'infiltration (I) est estimée de l'équation du bilan de l'eau, elle est de l'ordre de 141, 98 mm/an, soit 12, 83% des précipitations

Reconnaitances géotechniques



III.1. Introduction

Lors du projet de construction tout constructeur doit prendre en compte la nature des formations constituant le sous-sol du chantier prévu. Cette prise en compte permet d'adapter le projet au site et de déterminer le système de fondation de la structure avec le meilleur rapport sécurité/cout. Pour des raisons d'efficacité, la prise en charge des problèmes liés aux formations constituant le sous-sol et son transfert à un géotechnicien dont la tâche porte généralement sur les points suivants :

- Détermination de la nature géologique et lithologique du site.
- Détermination des propriétés physiques et mécaniques des sols
- Définition de l'aléa existant vis-à-vis des risques naturels

Dans ce chapitre, nous essayerons de traiter et d'interpréter les résultats obtenus d'après quelques essais (in-situ & de laboratoire) pour connaître tous les caractéristiques physico-mécaniques de notre site.

III.2. Campagne de reconnaissances géotechnique

La campagne de reconnaissances géotechniques du site étudié a été élaborée et réalisée par le bureau d'études RIZZAIN DE ECHER en deux phases :

- Quatre (4) sondages carottés jusqu'à une profondeur varie entre 15 et 30 m et Dix (10) sondages pressiométriques, réalisés pendant la phase d'avant-projet détaillé (APD) et l'étude d'exécution (EXE).

III.2.1. Essai in-situ

Plusieurs types d'essais et mesure in situ peuvent être réalisés 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 :

III.2.1.1. Sondages carottés

Afin de connaître la nature lithologique du site du projet .4 sondages carottes ont été effectués avec des profondeurs d'investigations varient entre 0.2m et 26.0m .ces sondages ont été implantés d'une manière à couvrir toute la superficie du site en vue de mettre en évidence les différentes couches constituant le terrain et de déterminer leurs épaisseurs.

La carte ci-dessous indique l'emplacement de ces sondages carottés:

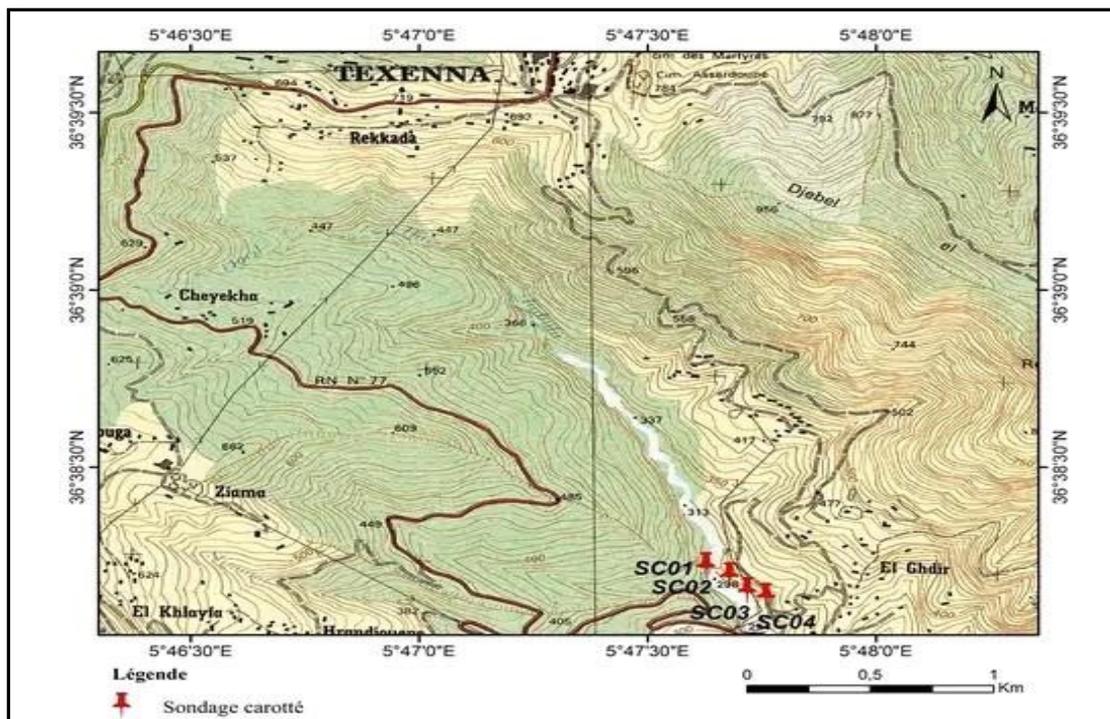


Fig.III .1. Emplacement des sondages carottés au niveau du site d'étude.

Les résultats obtenus par ces sondages carottés sont reportés dans le tableau suivant:

Tab. III. 1: Résultats des sondages carottés (Rizzani de Eccher, 2015)

Sondage N°	PK	Profondeur	Lithologie
SC 01	27+894	0,00-8,60 m	argiles marron, compactes avec des blocs de grés quartzique
		8,60-10,70 m	Schistes gris, altérés, tendres et friables qui présentent des traces d'oxydation dans les fractures
		10,70-23,30 m	Schistes bleus complètement fracturés et friables
		23,30-30,00 m	Schistes bleus, sains, compacts et relativement durs
SC 02	28+880	0.00-0.60 m	Argile brunâtre.
		0.60 - 4.00 m	Schistes broyés à matrice argilo-limoneuse intercalé avec des passages de quartzite.
		4.00 - 26.00 m	Calcaire marneux fracturé à cassure anguleuse oblique parfois peu oxydée de couleur grise bleuâtre à passages centimétriques de calcite.
		26.00 - 30.00 m	Calcaire marneux fracturé à cassure sub-arrondis à cause du broyage
SC 03	28+922	0.00 – 4.70 m	Blocs et cailloux, enrobés dans une matrice fine argilo- marneuse

		4.70 – 7.40 m	Alternance de pélites, argilites feuilletées avec niveaux de quartzite, grés fins et calcaires.
SC 04	29+956	0.00 – 6.30 m	Blocs et cailloux, enrobés dans une matrice fine argilo-marneuse
		6.30 – 15.00 m	Alternance de pélites, argilites feuilletées avec niveaux de quartzite, grés fins et calcaires.
		15.00 – 35.00 m	Schistes bleu grisâtre, compacts et durs.



Fig.III.2. Photo des carottes obtenues dans le sondage N°01



Fig. III.3. Photo des carottes obtenues lors du sondage N° 02



Fig. III.4. Photo des carottes obtenues lors du sondage N° 03.



Fig. III.5. Photo des carottes obtenues lors du sondage N° 04.

Par corrélation des logs de sondages obtenus, nous avons tracé la coupe lithologique suivante:

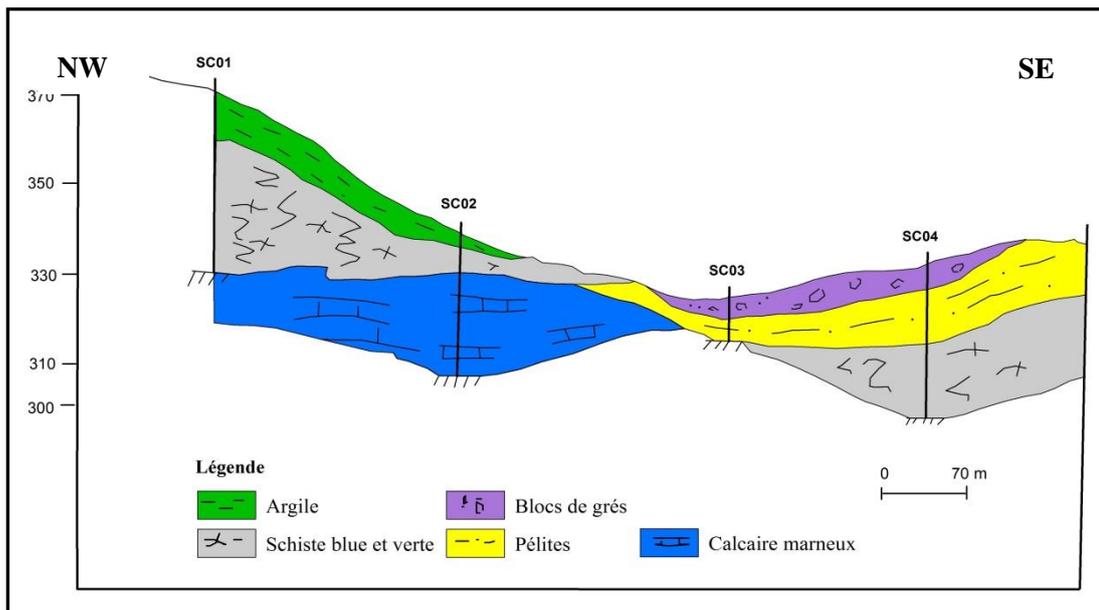


Fig. III.6. Coupe lithologique du site étudié.

À partir de la coupe lithologique du site étudié établie sur la base de la corrélation entre les sondages carottés. Au niveau des sondages SC 02 et SC 04 on note la présence de schistes bleus et verts en discontinuité. Au sondage SC 03 on trouve des blocs et cailloux et des pélites, l'épaississement de cette formation correspond à un foisonnement dans la zone de cisaillement du flysch massylien. La lithologie d'origine est: terme Albo-Aptien périto-quartzique du flysch massylien Infra-Kabyle.

III.2.1.2. Sondages pressiométriques

L'essai pressiométrique est un essai de chargement in-situ effectué au sein même du terrain grâce à la réalisation préalable d'un forage. L'analyse des résultats permet d'obtenir; pour une profondeur donnée; les caractéristiques mécaniques du sol et d'effectuer les calculs de fondation. Trois caractéristiques du sol sont notamment déduites:

- ❖ Le module pressiométrique E_M qui définit le comportement pseudo-élastique du sol.
- ❖ La pression limite P_L qui caractérise la résistance de rupture du sol.
- ❖ La pression de fluage P_f qui définit la limite entre le comportement pseudo-élastique et l'état plastique

Le Tableau .III.2 donne les résultats des sondages pressiométriques réalisés sur le site d'étude:

Tab. III. 2: Valeurs des sondages pressiométriques (Rizzani de Eccher, 2015)

Sondage N°	PK	Profondeur du sondage en(m)	Profondeur d'essai en (m)	Pression limite P_L en(Mpa)	Pression limite E_m en (Mpa)	E_m/P_L	Lithologie
SP01	27+894	2,00-10,00	2	1,1	11,05	9,8	Pélites et argilites feuilletées
			4	1,0	8,96	9,0	
			6	2,5	41,05	16,2	
			8	1,7	23,11	13,6	
			10	5,0	21,27	4,3	
		10,00-19,00	13	5,0	19,13	3,9	quartzites, calcaires et calcaires marneux
			16	8,5	184,67	21,7	
			19	8,6	321,51	37,6	
				3,00-7,00	3	1,4	6,49
5	1,7				19,81	11,7	

SP02	28+880	7,00-29,00	7	1,9	46,89	24,4	marneuse
			9	3,0	72,71	23,9	Alternance de pélites, argilites feuilletées avec niveaux de quartzites et calcaires
			11	2,4	45,93	19,4	
			14	2,2	50,08	23,0	
			17	2,0	36,87	18,4	
			20	2,1	51,66	25,2	
			23	3,0	56,41	19,1	
			26	3,3	31,97	9,8	
			29	2,5	29,63	11,8	
SP03	28+922	3,00-5,00	3	0,7	4,45	6,7	Pélites et argilites feuilletées
			5	1,6	8,50	5,5	
		5,00-24,00	7	2,8	44,20	16,0	Quartzites, calcaires et calcaires marneux
			9	3,2	49,25	15,6	
			11	3,6	34,50	9,7	
			14	2,4	32,20	13,2	
			17	2,9	55,81	19,0	
			21	2,7	70,06	26,3	
			24	3,9	96,69	24,6	
SP04	28+956	2,5-4,5	2,5	1,6	6,51	4,1	Blocs et cailloux, enrobés dans une matrice fine argilo-marneuse
			4,5	1,7	26,71	16,2	
		4,5-14,5	6,5	2,6	112,36	44,0	Pélites et argilites feuilletées
			8,5	2,9	66,62	22,9	
			11,5	4,2	117,34	28,2	
			14,5	3,4	75,42	22,2	
		14,5-24	17,5	2,8	29,91	10,8	Quartzites, calcaires et calcaires marneux
			20,5	3,2	104,00	32,9	
			24	2,7	73,40	26,9	
					3	1,7	36,53
5	2,9				58,12	20,3	

SP05	28+991	3,00-11,00	7	2,8	28,16	10,0	marneuse		
			9	3,7	45,65	12,5			
			11	3,3	32,88	10,0			
		11,00-24,00	14	3,7	34,30	9,4	Alternance de pélites, argilites feuilletées avec niveaux de quartzites et calcaires		
			17	4,3	41,02	9,5			
			21	4,3	62,18	14,5			
			24	2,7	27,69	10,3			
SP06	29+026	3,00-7,00	3	2,3	35,66	15,6	Alluvions fins (limon sableux-argileux), dépôts colluviaux		
			5	2,8	44,73	16,3			
			7	2,9	63,39	21,7			
		7,00-24,00	9	4,1	96,30	23,3	Quartzites, calcaires et calcaires marneux		
			11	3,9	34,80	8,9			
			14	4,6	85,92	18,8			
			17	2,9	50,09	17,4			
			20	2,4	73,64	30,3			
			24	3,4	43,38	12,7			
		SP07	29+117	2,00	2	1,5	10,18	6,7	Pélites et argilites feuilletées
				2,00-4,00	4	8,4	413,07	49,4	Alternance de pélites, argilites feuilletées avec des niveaux de quartzite, grés fins et calcaires
				4,00-35,00	6	8,4	362,05	43,0	Grés, quartzites, calcaires, calcaires marneux
8	8,5				154,90	18,3			
10	8,5				199,85	23,5			
13	3,1				74,85	24,1			
16	8,5				317,70	37,3			
19	8,6				817,15	95,3			
22	8,6				785,75	91,2			
25	8,6				1011,52	117,1			
28	8,7			642,04	73,9				

			31	8,7	794,06	91,1			
			35	8,5	903,68	106,6			
SP08	29+203	2,00-6,00	2	0,8	10,15	12,5	Pélites et argilites feuilletées		
			4	2,2	29,33	13,5			
			6	2,9	21,87	7,6			
				6,00-8,00	8	4,2	31,73	7,5	Alternance de pélites, argilites feuilletées avec niveaux de quartzite, grés fins et calcaires
				8,00-25,00	10	3,4	34,15	10,0	Grés, quartzites, calcaires et calcaires marneux
					13	3,2	142,77	45,1	
					16	8,6	312,15	36,5	
					19	8,6	518,58	60,3	
					22	8,6	649,64	75,1	
					25	8,7	733,72	84,5	
		SP09	29+800	2,00-4,00	2	0,2	0,80	4,4	Pélites et argilites feuilletées
					4	8,5	236,50	27,9	
4,00-10,00	6			1,5	11,82	7,9	Grés, quartzites, calcaires et calcaires marneux		
	8			8,5	172,93	20,4			
	10			8,5	102,43	12,1			
10,00-16,00	13			8,5	95,04	11,2	Alternance de pélites, argilites feuilletées avec des niveaux de quartzite, grés fins et calcaires		
	16			8,6	140,75	16,5			
16,00-25,00	19			8,6	283,67	33,0	Grés, quartzites, calcaires et calcaires marneux		
	22			8,6	397,47	46,0			
	25			8,7	281,82	32,5			
				2,00-4,00	2	1,2	16,93	14,4	Pélites et argilites feuilletées
					4	2,0	18,47	9,2	
		4,00-10,00	6	2,4	14,84	6,2	Grés, quartzites, calcaires et calcaires marneux		

SP10	29+885		8	8,5	206,19	24,3	
			10	8,4	73,04	8,7	
		10,00-13,00	13	7,1	37,16	5,3	Alternance de pélites, argilites feuilletées avec niveaux de quartzite, grés fins et calcaires
		13,00-19,00	16	5,0	21,34	4,2	Grés, quartzites, calcaires et calcaires marneux
			19	7,1	32,21	4,5	

Tab. III. 3: Classification des sols d'après EM/PL d'après Ménard.

Type de sol	Valeur E_M/P_L
Sol remaniées ou triturée	$EM/PL < 5$
Argiles sous-consolidées ou légèrement remaniées	$5 < EM/PL < 8$
Argiles normalement consolidées	$8 < EM/PL < 12$
Argiles légèrement sur consolidées	$12 < EM/PL < 15$
Argiles sur consolidées	$EM/PL > 15$
Sables et graviers immergés	$6 < EM / PL < 8$
Sables ; sables et graviers secs et serrés	$EM/PL > 10$

Si: EM/PL vaut environ 10, le sol est normalement consolidé. Si ce rapport a une valeur plus élevée, le sol est sur-consolidé.

D'après les Règles parasismiques Algériennes (RPOA 2008), les sites peuvent être classés en quatre (04) catégories selon les propriétés mécaniques des sols qui les constituent. (Tab.III.4):

Tab. III. 4. Caractéristiques géotechniques des sites (RPOA 2008)

Catégorie	Description		P_L (MPa)	E_M (MPa)
S01	Rocheux (a)		>5	>100
S02	Ferme	Sable/gravier	>2	>20
		argile	>2	>25
S03	Meuble	Sable /gravier	1-2	5-20
		Argile	0.5-2	5-25
S04	Très meuble	Sable /gravier	<1	<5
		Argile	<0.5	<5

- D'après la classification de Ménard basée sur le rapport E_M/PL le sol est de type: Argiles sur-consolidées.
- D'après la norme RPQA 2008 basé sur la valeur du module pressiométrique (E_M) et la pression limite (PL), le site support du projet est classé:
 - Catégorie S1 (site rocheux) caractérisée par des quartzites et Marno-calcaire au niveau des sondages (SP 01- SP 03- SP 04- SP 06)
 - Catégorie S2 (site ferme) caractérisé par des pélites et argilites feuilletées au niveau des sondages (SP 01- SP 03- SP 04- SP 07).

III.2.2. Essais de perméabilité

Les principaux essais de perméabilité réalisés en place sont les suivants :

A) Essai lugeon

L'essai lugeon du nom du géologue qui l'a inventé, est un essai en place réalisé en sondage, il est essentiellement destiné à évaluer les possibilités de circulation de l'eau dans une roche et dans le sol à déceler des hétérogénéités ou des fissurations (NF P 94-131).

Lors de la phase d'exécution quatre (04) essais ont été réalisés, les résultats obtenus sont représentés dans le tableau ci-après:

Tab. III.5. Résultats d'essai lugeon (Rezzani de Eccher, 2015)

Sondage N°	PK	Profondeur (m)	Coefficient de perméabilité K (UL)	Lithologie
SC 01	27+894	20.00	1.06	Schistes bleus
SC 04	28+956	15.20	2.91	Éboulis
SC 09	29+800	9.50	5.05	Marno-calcaires
SC 10	29+885	8.00-15.50	4.03	Marno-calcaires

B) Essai Lefranc

L'essai d'eau Lefranc est un essai en place qui permet de déterminer la valeur du coefficient de perméabilité (k) qui peut être nettement différent du coefficient de perméabilité en grand; il s'applique à tous les sols fins ou grenus sous la nappe d'eau (NF P94-132).

Tab.III. 6: Résultats de l'essai Lefranc (Rizzani de Eccher, 2015).

Sondage N°	PK	Profondeur (m)	Coefficient de perméabilité K (m / sec)	Lithologie
Sc 04	28+956	0.50	3.47E-03	Schistes bleus

D'après les résultats obtenus, on peut dire que le massif rocheux du site du projet est caractérisé par une perméabilité très faible.

III.3. 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 :

III.3.1. Essais physiques des sols

Les résultats des paramètres physiques mesurés par (L.C.T.P, 2015) sont regroupés dans le tableau Suivant:

Tab. III.7: Caractéristiques physiques des sols (L.C.T.P, 2015)

Sondage N°	PK	Profondeur (m)	Lithologie	W%	γ_h (t/m ³)	γ_d (t/m ³)	Sr(%)
Sc03	29+026	0.60-1.96	Argile carbonatée brunâtre dure parfois schisteuse avec des traces d'oxydation	16.36	2.12	1.85	81.50
		11.66-17.59	Argile bleuâtre à grise plus au moins altérée avec un remplissage de calcite	15.11	2.07	1.80	78.68

D'après ce tableau, on constate que les sols en place sont denses avec un poids volumique humide compris entre $2,12 \leq \gamma_h \leq 2,07 \text{ t/m}^3$, et un poids volumique sec qui varie entre $1,80 \leq \gamma_d \leq 1,85 \text{ t/m}^3$, une teneur en eau naturelle varie entre $15,11 \leq w \leq 16,36 \%$ ce qui indique que les sols sont dans un état légèrement humide à humide, et un degré de saturation varie entre $78,68\% \leq Sr \leq 81,50\%$ montre que les sols sont partiellement saturés.

III.3.1.1. Limites d'Atterberg

Les limites d'Atterberg permettent d'identifier les sols par rapport à leur consistance ainsi que les différents états des sols, à savoir; état plastique, état liquide et état solide (NF P94-051/052). On peut également connaître le type du sol et son état de plasticité à partir de la valeur de l'indice de plasticité, comme il est présenté dans les tableaux ci-après:

Tab. III. 8: État du sol d'après l'indice de plasticité (Sanglerat et Costet, 1983)

Indice de plasticité (I_p)	
$I_p > 7$	Sol de faible plasticité
$7 \leq I_p < 17$	Sol de plasticité moyenne
$I_p > 17$	Sol de plasticité élevée

Tab. III. 9: Classification des sols en fonction de l'indice de plasticité
(Sanglerat et Costet, 1983)

Type du sol	Indice de plasticité I_p
Argile	$I_p > 30$
Argile limoneux	$20 < I_p < 30$
Limon	$10 < I_p < 20$
Sables limoneux	$5 < I_p < 20$
Sable argileux	$5 < I_p < 15$

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 sont récapitulés dans le tableau suivant:

Tab. III. 10: Résultats des limites d'Atterberg (L.C.T.P, 2015)

Sondage N°	PK	Profondeur	Limites d'Atterberg				Classification
			W_L (%)	W_P (%)	I_p (%)	I_C	
Sc 06	29+026	0.60-0.98	33.59	21.31	12.28	1.45	Argile moyennement plastique
		1.56-1.96	34.51	22.37	12.14	1.59	Argile moyennement plastique
Sc 07	29+117	1.0-1.20	44.33	23.29	21.04	/	Argile limoneuse a plasticité élevée

✓ Diagramme de Casagrande

Il s'agit d'un diagramme (Fig.III.8) qui permet de classer les sols fins en quatre catégories selon les valeurs de W_L et I_p . 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. IV.8), nous a permis de constater, que les points sont situés 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.

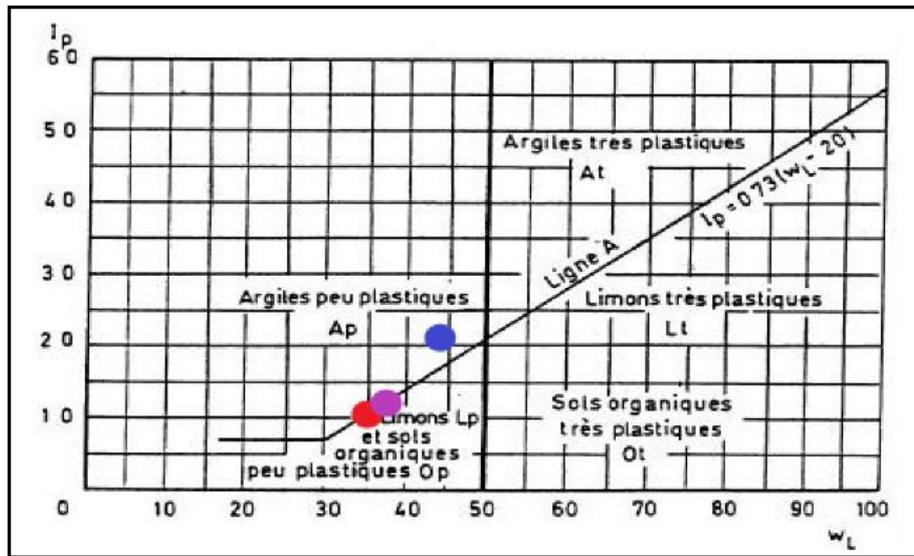


Fig. III.8. Classification des sols fins selon l'abaque de plasticité de Casagrande.

III.3.2. Essais Mécaniques

III.3.2.1. Essai de résistance à la compression uni-axiale

La résistance à la compression uni-axiale est utilisée en particulier en mécanique des roches pour l'étude d'ouvrages au rocher et pour la fourniture de matériaux d'enrochement.

L'essai est adapté aux roches dont la résistance à la compression uni-axiale est supérieure à 1 MPa. (NFP 94-077).

D'après la norme française NFP 94-077 la qualification de la résistance de la roche en fonction de la résistance à la compression uni-axiale est présentée dans le tableau suivant:

Tab. III. 11: Qualification de la résistance d'une roche en fonction de la valeur de la résistance en compression uni-axiale

Résistance a la compression uni-axiale (Mpa)	Classification de la résistance
>200	Résistance très élevée
60 a 200	Résistance élevée
20 a 60	Résistance moyenne
6 a 20	Résistance faible
<6	Résistance très faible

Tab.III.12. Valeurs de la résistance à la compression simple (L.C.T.P, 2015).

Sondage N°	PK	Profondeur (m)	Résistance à la compression (MPa)	Résistance à la compression (MPa)	Classification
SC 01	27+894	9,70-9,90	Alternance de pélites, argilites feuilletées avec niveaux de quartzites et calcaires	24,52	Résistance moyenne
SC 04	28+956	0,56-0,98	Marno-calcaire gris dur, fracturé	142,42	Résistance élevée
		1,52-1,92		156,36	
SC 06	29+026	11,26-11,53	Argile bleuâtre à grise plus au moins altérée avec un remplissage de calcite	108,64	Résistance élevée
		17,25-17,58		121,66	
SC 08	29+203	2,40-2,70	Marbre grisâtre à passage centimétrique de calcite	1465,98	Résistance très élevée
		12-12,25	Marno-calcaire fracturé, gris	142,22	Résistance élevée

III.4. Classification du massif rocheux

III. 4.1. L' indice GSI (geological Strength Index)

Le GSI est un nombre sans dimension de Hoek et Brown (1995) sert à estimer la réduction de résistance du massif rocheux pour différents conditions géologique, les deux tableaux représentant les valeurs de GSI, la nature lithologique, et la qualité du massif rocheux (Hoek et al, 1995).

Tab.III. 13: GSI et qualité du massif rocheux (Hoek et al, 1995)

Valeur GSI	76-95	56-75	41-55	21-40	<20
Qualité du massif rocheux	Très bonne	Bonne	Moyenne	mauvaise	Très mauvaise

Dans notre cas le système GSI est calculé par la méthode directe, en utilisant le diagramme de Hoek. Les résultats obtenus sont reportés dans le tableau qui suit:

Tab.III. 14: Classification de la masse rocheuse du site étudié en fonction du GSI.

Lithologie	Valeur GSI	Qualité du massif rocheux
Pélites et argiles quartzeux et calcaires	20	Mauvaise
Grès, marno- calcaires fracturés	38	Mauvaise
Pélites et argiles feuilletés et altérés	20	Mauvaise

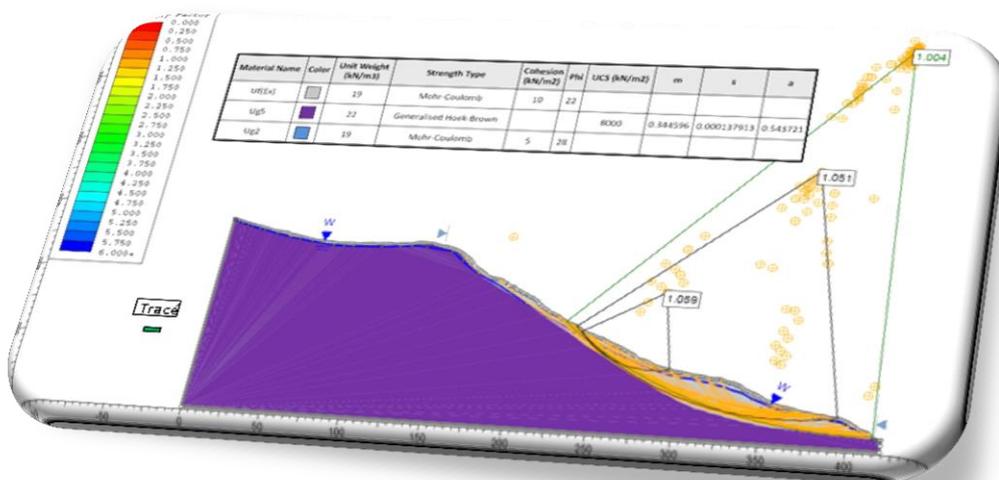
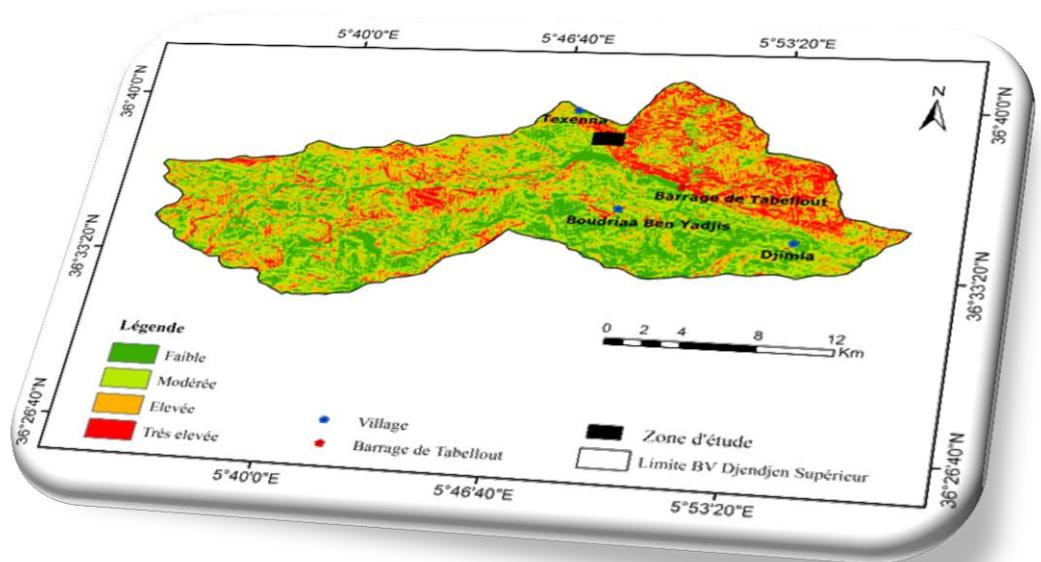
La majorité de valeurs obtenues du GSI correspond à la classe (21-41), ce qui indique que la masse rocheuse du site étudié est de mauvaise qualité.

5- Conclusion

À partir des résultats des essais in-situ et de laboratoire on peut conclure que :

- La lithologie du terrain est caractérisée par la présence des schistes, dépôts du flysch massylien.
- Les valeurs obtenues pour les caractéristiques physiques de sol caractérisant un sol moyennement dense, légèrement humide à humide et partiellement saturé.
- Les valeurs de l'indice de plasticité (IP) varient entre 17.22 et 29.25 indiquant, d'après la classification de Sanglerat (1983) et Casagrande, qu'on est en présence d'un sol argileux peu plastique.
- À partir des résultats de compression uni-axiale, on constate que les résistances à la compression uni-axiale augmentent avec la profondeur, elles sont supérieures à 100 MPa, caractérisant un massif compact avec des résistances élevées.
- À partir de la classification GSI, la masse rocheuse du site est de mauvaise qualité.

Analyse de stabilité



IV.1. Introduction

Les processus à l'origine des mouvements de terrain sont très complexes et dépendent rarement d'une seule cause. La géologie, le relief et l'exposition sont des paramètres fondamentaux, plus ou moins constants sur de longues périodes ; ils déterminent la prédisposition générale du terrain aux phénomènes d'instabilité.

Les mouvements de terrain résultent d'un changement de l'équilibre des forces dans le versant (rapport entre forces résistantes et forces motrices), à la suite de processus physiques et / ou chimiques qui, à leur tour, dépendent de différents facteurs. Ainsi, les processus d'altération agissant à long terme (conduisant à une diminution des forces résistantes), de même que les fluctuations de la nappe phréatique, influencent la stabilité d'un versant de manière continue.

Afin de contribuer à une meilleure gestion du risque glissement de terrain dans la zone d'étude, la méthodologie adoptée dans cette étude est basée sur une approche SIG. L'étape de cartographie a été commencée, ont utilisant le logiciel Arcgis 10.4 à partir de la saisie des données géographiques ou attributaires jusqu'à la réalisation de la carte thématique. Suivie par une analyse de stabilité de la zone d'étude.

IV.2. Présentation du projet

Lors de la réalisation des travaux de terrassement de la nouvelle pénétrante autoroutière, des désordres sont apparus suivis dans certains points par des glissements de terrain. Après la réalisation de nouvelles excavations ces phénomènes d'instabilité n'ont subi aucune dégradation et évolution.

En ce qui concerne le choix des profils de calcul (Tab.IV.1), les suivants profils en travers ont été identifiées en tant que significatifs du point de vue du dimensionnement géotechnique. En particulier, le choix des sections se réfère principalement à deux facteurs significatifs: l'épaisseur de la couche excavée pour les déblais et les profils lithologiques identifiés.

Tab.IV.1 : Profils en travers courants identifiés dans le secteur en étude.

PK	Terrassement	Hauteur maximale [m]	Typologie de criticité	Ouvrage
28+480	Déblai	8	Excavation et remblai en pente	- Paroi de protection de l'autoroute
				-Reprofilage du versant proposé
28+560	Déblai	13	Excavation et remblai en pente	-paroi de protection de l'autoroute
				- Reprofilage du versant proposé

28+700	Déblai	22	Excavation en Pente	- Paroi de protection de l'autoroute
				- Reprofilage du versant proposé
29+310	Déblai	12	Excavation en pente	- Paroi de protection de l'autoroute
				- Reprofilage du versant proposé
29+630	Déblai	28	Excavation en tranchage	- Paroi de protection de l'autoroute
				- Reprofilage du versant proposé

IV.3. Principaux facteurs d'instabilité de la zone d'étude

L'apparition des désordres survenus sur la zone d'étude est le résultat de la conjugaison de plusieurs facteurs qui sont d'ordre hydrologique, hydrogéologique, géomorphologique et géotechnique

- La pente topographique : Versant présentant des pentes faibles à moyennes
- La nature lithologique : Nature schisteuse des terrains et leurs sensibilités
- Les diverses formes d'action de l'eau : La zone étudiée est caractérisée par une pluviométrie importante, présentée par les fortes précipitations, ainsi que la couverture neigeuse en hiver qui entraînent une augmentation des pressions interstitielles dans la région. Ces sols sont très sensibles en présence d'eau.
- Accidents tectoniques : Axes principaux des zones instables, (présence des failles régionales).
- Facteurs anthropiques : Suite à des travaux de terrassements supprimant une butée stabilisatrice.

IV.3.1. Établissement de la carte de susceptibilité

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

L'approche SIG suivie au cours de ce chapitre est basé sur les données tel que, satellitaires, topographiques, géologiques ainsi sur des mesures et des observations effectuées. Notre travail a pour but d'évaluer la susceptibilité aux glissements de terrains dans la zone d'étude et de localiser le tracé routier objet de cette étude dans quelle classe de susceptibilité au glissement.

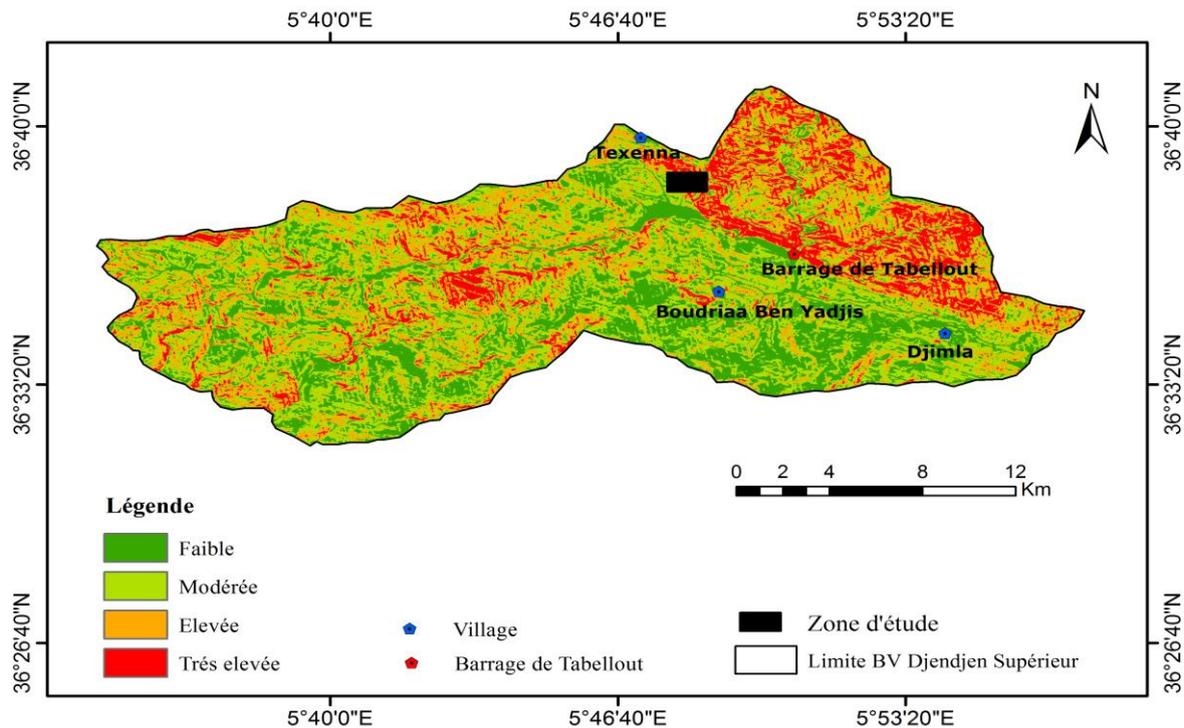


Fig. IV.1. Carte de susceptibilité aux glissements de terrain de la zone d'étude.

D'après cette carte, on peut dire que le tracé routier objet de cette étude appartient à la classe de susceptibilité faible voir modérée.

IV.4. Analyse de stabilité

L'analyse de la stabilité, objet de ce chapitre a pour but de déterminer les cercles de glissements les plus probables. Pour cela, le choix s'est porté sur la section (profil) de plus grande pente, qui présente le plus grand risque de glissement. Pour cette étude, est vu le manque des données nécessaires pour le calcul de stabilité dans cette zone. On se basant sur les résultats de calcul réalisés par Rezzani de Eccher ; la caractérisation géotechnique des dépôts du glissement a été réalisée sur la base de la reconstruction lithologique menée sur la base des sondages et par une retro-analyse de la stabilité des matériaux. Une estimation des paramètres drainés de cohésion et angle de frottement a été donc obtenue avec la retro-analyse en considérant l'état d'activité du glissement (glissement inactif).

L'analyse a été réalisée le long du profil topographique le plus critique en considérant le terrain naturel et le modèle géologique et lithologique de référence, obtenant ainsi les paramètres drainés de résistance au cisaillement des dépôts du glissement (c' et ϕ'), donnant un coefficient de sécurité $FS \approx 1$ (mouvement naissant) an conditions statiques.

Les paramètres mécaniques utilisés sont les suivants : $c'=0-10\text{kPa}$ (**10kPa**), $\phi'=22-26^\circ$ (**22°**).

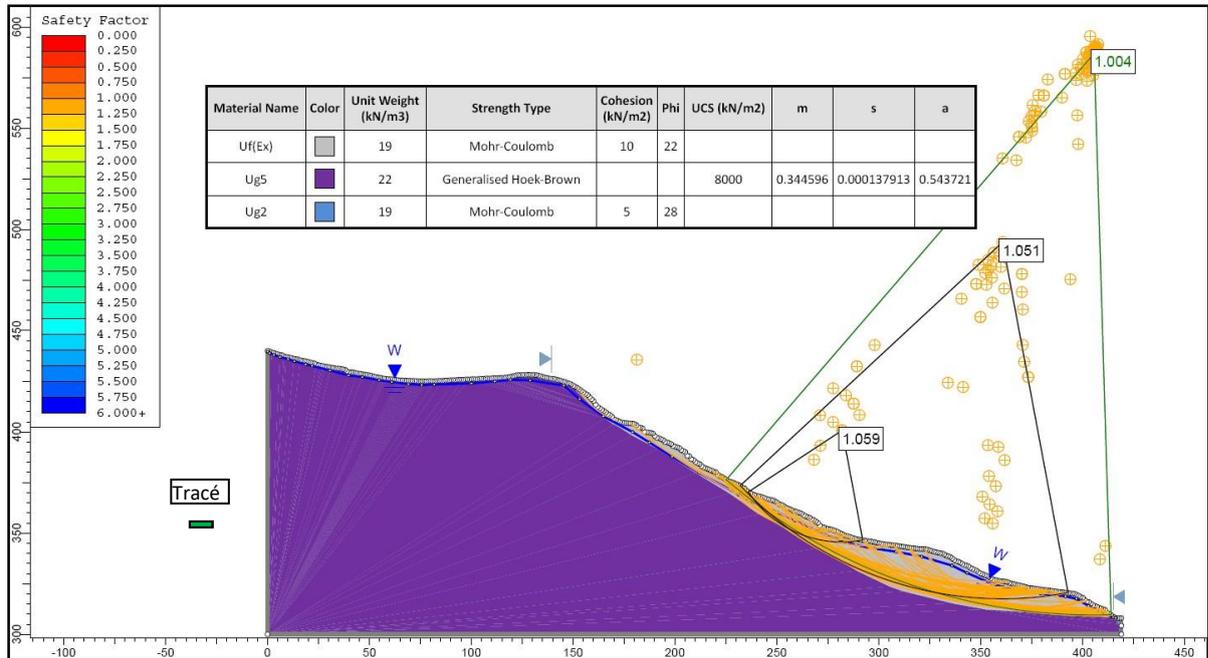


Fig.IV.2. Résultats de la retro-analyse exécutée pour le glissement au PK 28- Méthode de Bishop simplifiée.

L'ensemble des résultats de calcul du coefficient de sécurité en prenant toutes les combinaisons sont récapitulées dans le tableau ci-après :

Tab.IV.2. Résultats de calcul des facteurs de sécurité au glissement à l'état naturel.

PK	Facteur de sécurité (FS) État naturel	
	Bishop simplifiée	Etat du talus
28	1,059	Douteux
	1,051	
	1,051	

D'après les résultats obtenus (Tab.IV.2) et suivant le profil choisi (Fig.IV.2), on peut tirer les conclusions suivantes :

Sur l'ensemble des analyses de stabilité au glissement effectuées pour la détermination du cercle de glissement critique à l'état naturel, on a pu constater que les cercles de glissement probables présentent des coefficients de sécurité nettement inférieur aux spécifications ($1 < FS < 1.5$) caractérisant des versants douteux vu la stabilité globale, et qui nécessitent un confortement.

IV.5. Typologies des ouvrages de soutènement proposés

Le choix des interventions pour la stabilisation des talus dans le tronçon en étude tient en compte plusieurs facteurs de nature géologique-géotechnique, la compréhension desquels est fondamentale à l'égard de la conception des talus stables. Tels facteurs concernent principalement la reconnaissance géologique des matériaux rencontrés et l'évaluation des caractéristiques de résistance (paramètres de résistance), l'étude du niveau de la nappe phréatique et la prédiction de sa variabilité dans le temps (élévation éventuelle temporaire), l'étude de l'état d'activité des mouvements gravitaires présents le long du tracé.

En particulier, la proposition des ouvrages de soutènement les plus appropriées se base sur les investigations in-situ, les résultats des essais de laboratoire, les analyses de stabilité des talus (analyse 2D à l'équilibre limite) et le jugement selon les expériences acquises. De plus, un control en phase de construction est recommandé, c'est-à-dire qu'une acquisition optimale des levés géologiques-géotechniques et une analyse de type technique doivent être épaulées par le jugement, l'expérience et l'intuition du technicien.

Virtuellement chaque problème de conception de talus est unique, pour la nature des sols et le contexte géologique le caractérisant. C'est pourquoi les détails de différentes situations sont pris en considération cas par cas pendant cette phase de conception des talus (déblais et remblais), en évaluant toutes les alternatives de conception et des solutions économiquement faisables (Turner et al. 1996):

- éviter le problème;
- réduire les forces déstabilisantes;
- augmenter les forces résistantes (appliquer forces externes, augmenter la résistance interne).

Un autre aspect fondamental, pris en compte dans la conception des actions mitigatives à l'égard des dangers de perte et dommage, est la compréhension des caractéristiques du type

spécifique de risque de glissement. En effet, la typologie de glissement détermine la vitesse potentielle du mouvement, le volume de décalage, la distance de dérobade et les effets possibles du mouvement gravitaire.

A suivre, on présente les typologies d'intervention choisies le long du tronçon PK27+894 – 29+887, tenant en compte tous les thèmes introduits au-dessus.

IV.5.1. Reprofilage des pentes et réduction de la hauteur d'excavation maximale

Une des méthodes utilisées pour la réduction des forces d'entraînement est la construction de bermes et, ainsi, la réduction de la hauteur d'excavation maximale, ça se traduisant dans la diminution du poids du sol le long du talus (Highland et al. 2008) et dans l'élimination de cuvettes sièges de stagnation d'eau dans le talus (APAT, 2002).

Pour les déblais étudiés, les vérifications de stabilité sont menées avec pendages de 3H/2V et 3H/2.15V avec talus de hauteur 8.0 m.

IV.5.2. Systèmes de drainage superficiel et profond

Un système de drainage profond peut permettre de réduire les forces déstabilisantes dû aux pressions interstitielles en se révélant un élément très important afin de garantir la stabilité des talus et, donc, sa efficacité doit être garantie pendant l'exercice des ouvrages (Rat, 1976).

IV.5.3. Paroi berlinoise

Dans le cas de déblais intéressés par corps de glissement ou par matériaux présentant mauvaises caractéristiques de résistance (portions des pélites et argilites feuilletées) ou encore par des pendages naturelles critiques, on propose d'intervenir avec des ouvrages de soutènement type paroi berlinoise, réalisées avec pieux $\varnothing=1,2\text{m}$ et tirants d'ancrage où nécessaires.

A complètement de ce qu'on a exposé dessus, on doit considérer que les techniques d'amélioration et de renforcement des sols conduisent à l'étude de plusieurs problèmes de stabilité, avec la prise en compte du facteur de la stabilité des ouvrages et des impacts sur l'environnement (Schlosser, 1997).

IV.6. Conclusion

Ce chapitre avait pour objectif d'analyser la susceptibilité aux glissements de terrain. L'analyse de stabilité, nous a permis de constater que le tronçon routier étudié est douteux voire stable dans toutes les variantes proposées et les conditions de charges, en particulier avec les deux variantes statique et dynamique des charges qui présentent l'état actuel du site. La variation des conditions et des actions extérieures au niveau des sites d'étude a permis de bien cerner les principaux facteurs contribuant dans les désordres observés. En effet les

travaux de reprofilage proposé, produiront une amélioration des conditions de stabilité des talus : en particulier, pour les surfaces de rupture concernant les sols moins profonds (couches de surfaces), les coefficients de sécurité sont supérieurs à ceux prévus par les réglementations dans les conditions statiques. C'est important de remarquer que la solution de talutage du déblai proposé, a été définie sur la base de toutes les informations disponibles, y compris les données obtenues à partir des investigations effectuées lors des reconnaissances géologiques et géotechniques.

Conclusion générale et recommandations

Conclusion générale

L'étude présentée dans ce mémoire avait pour but la caractérisation géologique, géotechnique, et l'analyse de stabilité avec proposition des moyens de confortement au niveau du tronçon routier sis au PK 27+894 - 29+887, faisant partie de la pénétrante autoroutière Djendjen_El-Eulma (partie Jijel).

Du point de vue géologique la zone d'étude fait partie au domaine des flysch massylien, il s'agit d'alternances des pélites avec des niveaux de quartzites, grès fins et calcaires.

L'analyse hydro-climatologique met en relief un climat tempéré, avec des températures élevées en été et basse en hiver, les valeurs des précipitations enregistrées est de l'ordre de 1106.2 mm/an avec une température moyenne annuelle 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 des sols compacts en profondeur. Ils sont peu à moyennement plastique selon la classification de Casagrande.

L'expertise menée au niveau des sites afin d'expliquer les causes des glissements, a permis de décrire un ensemble d'observation en relation avec les désordres. Ces remarques de terrains ont permis de bien comprendre les principales causes de ces glissements de terrain et de fournir au concepteur (géotechnicien) les éléments nécessaires au choix et à la définition d'un dispositif de confortement efficace. En effet les solutions de reprofilage proposées, ont permis l'amélioration des conditions de stabilité des talus.

Bibliographie

Bibliographie

- Adjroud, R & Touitou, H., 2017. Etude de glissement de terrain au niveau de la RN77a du PK+200 au PK1+540, Tamentout, Wilaya de Jijel. Mémoire de Master II. Université Mohammed Seddik Benyahia, Jijel, p55-74.
- Bedouhene.R.Bouchouit.A., 2019.Etude des glissements de terrain du PK 33+100 au PK 33+920, Pénétrante Autoroutière 77, wilaya de Jijel, p49-62.
- Berdi, I. (2017).Application d'un SIG à la cartographie de l'aléa glissements de terrain: Cas de la commune de Texenna (Nord-Est Algérien), Mémoire de Master II: Université. Jijel Algérie, 64P.
- Benzaid.R., 2011. Les essais in situ géotechnique. Réalisation et interprétation. Edition universitaire européennes, P107.
- bouillon.JP., Kornprobst.J., 1997. Données préliminaires sur le complexe volcano-sédimentaire de rekkadaMetlétine (ex texenna) en petite Kabylie (Algérie) bulletin soc.géol.france (7) XIX, pp.805-813, 2fig.Paris.
- Bougherira.D. Zabat.A., 2017. Contexte géologique et étude géotechnique d'un viaducV30.2 (PK30+181 au PK 31+419), pénétrante autoroutière 77, port Djendjen –Autoroute
- Chebchoub. Sekehal H., 2020.Contribution à l'étude géologique et géotechnique d'un viaduc (V.27.6) sis au Pk27+586 - 27+966, Pénétrante autoroutière 77, Texenna, W. Jijel (NE Algérien)
- Chemini.k.2017. Localisation de l'interface eau douce-eau salée par un modèle PAR à l'interface abrupte dans l'aquifère côtier de l'Oued Djendjen (W.Jijel), mémoire de master II, Ecole nationale supérieure d'hydraulique, Arbaoui Abdellah- p52.
- Degoutte, G. (1997): Petits barrages, recommandations pour la conception, la réalisation et le suivi. Ed. Camagref, 175P.
- Djellit.H., 1987. Evolution tectono-métamorphique du socle Kabyle et polarité de mise en place des nappes de flysch en Petite Kabylie occidentale (Algérie).Thèse Doct. Univ d'Orsay Paris, 206P.
- Djellit.H, 2014. Procceding, 1ère école de terrain sur la géologie des Maghrébines, Jijel 24-27novembre 2014, 51P
- Durand Delga., 1955. Etude géologique de l'Ouest de la chaîne Numidique. Thèse d'Etat. Paris, Publ.serv. Carte géol. Algérie, 24,533P.
- Durville, J.L. & Sève G., 2015. Stabilité des pentes - Glissement en terrain meuble. Techniques de l'ingénieur, article C254, Paris, pp 09- 66.
- Ehrmann. MF, 1928. Carte géologique à 1/50.000ème de la feuille de Tamesguida, feuille N°49
- Idoui.I., Boudergui. F., 2018. Contexte géologique et étude géotechnique du viaduc V.28.8 sis entre PK28+8 et PK 29+200.pénétrante autoroutière 77 .Mém Master2.Univ. Jijel. Algérie, 61P.
- Kherrouba H (2008). Etude géologique et géotechnique des zones instables de la région de Texenna-Djimla, wilaya de Jijel, (Algérie). Mém de Magister. UnivJijel. Algérie, 173P
- Rizzani D'Eccher. (2016).Rapport géotechnique Terrassements PK 26+800 - 30+170
- Rouikha, (2014). Coupe géologique des unités alpines de la Petite Kabylie-région de Jijel.

Liste des Normes:

- **Norme française NF P94-051**, Sols reconnaissance et essais - Détermination des limites d'Atterberg-Limite de liquidité à la coupelle, limite de plasticité au rouleau, Novembre 1995
- **Norme française NF P94-131**, Sols reconnaissance et essais - Essai d'eau Lugeon, AFNOR, Septembre 1994.
- **Norme française NF P94-132**, Sols reconnaissance et essais- Essai d'eau le franc, Octobre 2000
- **Norme française NF P94-050**, Sols reconnaissance et essais -Détermination de la teneur en eau pondérale des sols - Méthode par étuvage, Octobre 1991.

Site web:

- https://fr.wikipedia.org/wiki/wilaya-de_-Jijel.
- [Textenna<wiki<fr.m.wiki pedia.org](https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Textenna).
- [Pdf < bibio.univ-annaba.dz](https://bibio.univ-annaba.dz)
- [Handle< despace .univ-jijel.dz](https://www.univ-jijel.dz)
- <https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Diagramme-climatique>
- www.tout pour le forage.com
- [Pdf<ww.géotechnique-journal.org](https://www.géotechnique-journal.org)
- [Houti<ft.univ-tlemcen.dz](https://ft.univ-tlemcen.dz)
- Pdf/ memoire de fin d'etude: étude de stabilité, modélisation et confortement du glissement.
- www.martimique.developpement-durable.gouv.fr
- [Handle / www.univ-bejaia.dz](https://www.univ-bejaia.dz)

Résumé

Ce projet de fin d'études s'inscrit dans le cadre d'une étude géotechnique, et de confortement des déblais sis au (PK 27+894-PK 29+887 à Texenna), pénétrante autoroutière Djendjen_El-Eulma.

Cette étude s'est basée sur l'étude des différentes caractéristiques géologiques, hydroclimatologiques, et géotechniques de la région. Du point de vue géologique, Ce secteur se caractérise par la présence des formations du flysch massylien.

L'analyse de stabilité faite, en prenant en considération la solution de confortement la plus plausible, a permis d'arriver à un niveau de sécurité très encourageant même dans les conditions de charges les plus défavorables. Alors le bon diagnostic de ces désordres permet l'adoption des solutions les mieux appropriées.

Mots clés : Texenna, PK 27+894 -29+887, Analyse de stabilité, confortement..

Abstract

This end-of-study project is part of a geotechnical study, and reinforcement of the cuttings located at (PK 27+894-PK 29+887 in Texenna), the Djendjen_El-Eulma highway. This study was based on the study of the different geological, hydroclimatological and geotechnical characteristics of the region. From a geological point of view, this sector is characterized by the presence of Massylian flysch formations. The analysis and interpretation of the results of the in-situ and laboratory tests will allow the identification and classification of the soils constituting the study site. The stability analysis carried out, taking into consideration the most plausible reinforcement solution, made it possible to achieve a very encouraging level of safety even under the most unfavorable load conditions. So the correct diagnosis of these disorders allows the adoption of the most appropriate solutions.

Keywords: Texenna. KP 27+894 -29+887. Stability analysis. reinforcement.

ملخص

يعد مشروع نهاية الدراسة هذا جزءًا من دراسة جيوتقنية ، وتعزيز القطع الموجودة في تاكسنة الممتدة من النقطة الكيلومترية 27+894 الى 29+887 ، الطريق السريع جن-جن _العلمة .

اعتمدت هذه الدراسة على دراسة الخصائص الجيولوجية والمائية والجيوتقنية المختلفة للمنطقة. من الناحية الجيولوجية ، يتميز هذا القطاع بوجود تكوينات فليش ماسيليان. يسمح تحليل وتفسير نتائج الاختبارات في الموقع والاختبارات المعملية بتحديد وتصنيف التربة التي تشكل موقع الدراسة. إن تحليل الثبات الذي تم إجراؤه ، مع الأخذ في الاعتبار حل التعزيز الأكثر منطقية ، جعل من الممكن تحقيق مستوى مشجع للغاية من الأمان حتى في ظل ظروف الحمل غير المواتية. لذا فإن التشخيص الصحيح لهذه الاضطرابات يسمح باعتماد أنسب الحلول .

الكلمات المفتاحية : تاكسنة، ن ق 27+894 -29+887، تحليل الاستقرار، دعم.