

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

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

جامعة محمد الصديق بن يحيى - جيجل -
Université Mohammed Seddik Benyahia -Jijel -

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



كلية علوم الطبيعة و الحياة
قسم: علوم الأرض و الكون

Mémoire de fin d'études

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

Option : Génie Géologique

Thème

Application d'un SIG à la cartographie de l'aléa glissements de terrain : Cas de la commune de Texenna (Nord-Est Algérien)

Membres de Jury

Président : BENZAID.R

Examineur: MAHDID.S

Encadrante : KHERROUBA.H

Présenté par :

BERDI Inès

Année Universitaire 2016-2017

Numéro d'ordre (bibliothèque) :



Remerciement

Louange à ALLAH qui m'a donné de la force, de la volonté et de la patience pour que ce travail soit réalisé.

*Je tiens d'abord à adresser mes vifs remerciements à mademoiselle **Kherrouba Hassiba** pour le privilège qu'elle m'a fait en acceptant de m'encadrer et de diriger mon travail.*

Sa disponibilité, sa gentillesse, ses conseils, ses orientations et ses précieuses directives tout au long de ma recherche m'ont beaucoup impressionné.

Je tiens à remercier sincèrement les membres du jury qui me font le grand honneur d'évaluer ce travail.

*Mes sincères remerciements à Mr **KISSASRA.F, ROUIKHA.Y** pour leur générosité. Leur encouragement.*

Mes remerciements s'adressent, également, à tous ceux qui à titre divers m'ont aidé par leurs paroles, leurs conseils et leurs critiques à réaliser ce modeste travail.

Qu'ils puissent trouver dans ce travail le témoignage de ma sincère gratitude et de mon profond respect.

Mes vives salutations pour mes parents pour leur soutien moral et matériel

A tous mes collègues de la promotion 2017



Dédicace

Je dédie ce travail :

À Mes grands parents qui n'ont pas cessé de m'encourager et de prier pour moi .que dieu les garde et les protège .

A mes parents pour leur amour inestimable, leur confiance, leur soutien, leur sacrifice et toutes les valeurs qu'ils ont su m'inculquer.

« Ils m'ont donné un magnifique modèle de labeur et de persévérance, je suis redevable d'une éducation dont je suis fière ».

A mes frères et mes sœurs pour leur tendresse, leur soutien inconditionnel et leur encouragement.

A toute ma famille ainsi qu'à mes ami(e)s.



Inès

Table des matières

Résumé.....	
Introduction générale.....	01

CHAPITRE I : ETUDE DU MILIEU PHYSIQUE

I.1. Situation géographique de la région étudiée	03
I.2. Climat	03
I.3. Orographie et Relief	04
I.4. Morphologie	05
I.5. Végétation	05
I.6. Réseau hydrographique	05

CHAPITRE II : CADRE GEOLOGIQUE LOCAL

II.1. Caractéristiques lithologiques de la région étudiée	06
II.2. Description des formations lithologiques de la région de Texenna.....	06
II.3. Géologie du site.....	09
II.4. Aspect structural.....	11
II.5. Tectonique.....	12
II.6. Sismotectonique	14

CHAPITRE III : SYNTHESE HYDROCLIMATOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE

III.1. Introduction.....	16
III.2. Analyse des caractéristiques hydroclimatiques	16
III.2.1. Précipitations.....	16
III.2.2. Températures	19
III.3. Diagramme ombro-thermique.....	20
III.4. Bilan hydrologique.....	21
III.4.1. Evapotranspiration.....	21
III.4.2. Calcul de l'évapotranspiration par la formule de Thornthwaite.....	22
III.4.3. Calcul de l'évapotranspiration réelle (ETR).....	23
III.4.4. Estimation du ruissellement et de l'infiltration	25

III.5. Conclusion.....	25
III.6. Contexte hydrogéologique	26

CHAPITRE IV : ELABORATION DU SIG GLISSEMENT DE TERRAIN DE LA REGION D'ETUDE

IV.1 .Rappel	28
IV.1.1. Définition du système d'information géographique	28
IV.1.2. Définition de quelques notions	29
IV.1.3. Modes de représentation de l'information géographique dans un SIG	30
IV.1.4. l'intérêt du SIG	31
IV.2 Elaboration du SIG glissement de terrain de la région d'étude.	32
IV.2.1. Acquisition des données	33
IV.2.1.1. Les données de base utilisées.....	33
❖ Couverture en image satellitaires de la commune de Texenna.....	33
❖ Carte lithologique de la commune de Texenna.....	33
❖ Carte M.N.T (Modèle Numérique de Terrain) de la commune de Texenna	34
IV.2.1.2. Cartes dérivées	35
❖ La création des courbes de niveau de la commune de Texenna.....	35
❖ carte d'Altitudes de la commune de Texenna.....	35
❖ Carte des pentes de la commune de Texenna.....	36
❖ Cartes de directions et d'accumulations de flux hydrologique de la commune de Texenna	37
❖ Carte du réseau hydrographique de la commune de Texenna	38
❖ Carte d'exposition des versants de la commune de Texenna	39
IV.3. Création de la carte d'aléa glissement de terrain de la commune de Texenna.....	39
IV.3.1. Établissement de la carte de susceptibilité au glissement de terrains.....	40
IV.4. création de la carte d'aléa mouvement de terrain de la commune de Texenna	41
IV.5 .Conclusion	42

CHAPITRE .V : DESCRIPTION DU GLISSEMENT DE TERRAIN DU SITE DE LA NOUVELLE DAIRA DE TEXENNA

V.1. Introduction	43
V.2 .Localisation du site étudié	43
V.3 .Constatation des désordres.....	44

V.4. Compagnes de reconnaissance	46
V.4.1. Compagne de reconnaissance géophysique	47
V.4.1.1 .Définitions	47
V.4.1.2. Etude géophysique de sub-surface à l'aide de la tomographie électrique (ERT ou Imagerie Electrique) du site : "la nouvelle daïra de Texanna"	48
V.4.1.3. Conclusion	49
V.4.2 .Compagne de reconnaissance géotechnique	50
V.4.2.1. Essais in-situ	50
V.4.2.2 .Essais de laboratoire	52
V.4.2 .2.1 .Paramètres physiques.....	52
V.4.2.2.2. Paramètres mécaniques.....	52
V.5 Principaux facteurs des mouvements de terrain de la nouvelle daïra	54
V.6 Analyse de stabilité	56
V.6.1 Calcul de stabilité.....	56
V.6.2. Hypothèse de calcul	56
V.6.3. Mesures de sécurité générale contre les glissements de terrain dans le site étudié...	57
V.7. Confortement du glissement de terrain étudié	58
V.8. Conclusion	62
Conclusion générale et recommandations.....	63
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des photos	
Références bibliographiques	
Annexe	

Résumé

Les glissements de terrain sont des structures complexes et évolutives, difficiles à caractériser.

La commune de Texenna comme toutes les régions du Nord de l'Algérie compte plusieurs sites affectés par ces mouvements. Sa morphologie la rend exposée à un fort potentiel d'aléa glissements de terrain, contrôlé par l'action conjuguée de différents facteurs géologiques, géomorphologiques, hydrologiques et structuraux, etc...

L'objectif de notre travail est de contribuer à la connaissance de ces mouvements de terrain sur le plan géologique, géophysique; et géotechnique. Il s'agit de définir les principales causes de ces instabilités : facteurs géologiques, géomorphologiques, hydrogéologiques et géotechniques.

Les informations recueillis lors de cette étude ont été introduit dans un logiciel de système d'information géographique ArcGis 10.2.2 qui fait des traitements automatisés à partir des données de base, permettant de produire de l'information, de l'organiser, et de la représenter.

Les cartes de facteurs influençant l'occurrence des glissements de terrain, il s'agit des cartes thématiques suivantes (lithologie, pente, MNT, l'exposition des versants, et le réseau hydrographique).

Toutes les cartes thématiques réalisées ont permis d'aboutir une carte de susceptibilité aux glissements de terrain de la région étudiée. Cette carte pourrait constituer un document de base pour tous aménagements proposés.

Mots- clés : Texenna, aléa, glissements de terrain, ArcGis 10.2.2, Susceptibilité.

Introduction générale

Les glissements de terrain sont des aléas très fréquents en Algérie du Nord-Est. Chaque année, en particulier durant les périodes hivernales, les régions montagneuses et côtières subissent des mouvements de terrain actifs qui déplacent d'importants volumes de matériaux détritiques. Il est considéré comme un danger naturel permanent rencontré dans les pays du monde car l'importance de ces instabilités causent des dommages importants aux infrastructures et aux ouvrages d'intérêt public.

. La région de Texenna (notre zone d'étude) est soumise à des risques des mouvements de terrain très prononcés, comme dans tout le tell Algérien d'ailleurs.

La gestion et la réduction du risque du glissement de terrain peut se faire selon plusieurs approches. Une approche possible consiste à évaluer et à cartographier l'aléa «glissement de terrain» à l'intérieur des zones potentiellement instables. Les systèmes d'information géographiques (SIG) ont apporté une contribution particulière dans la révolution des recherches sur les risques naturels.. Leur gestion relève de la plupart des développements qui ont intégré les SIG dans les risques naturels ont eu lieu cette dernière décennie.

Notre travail s'insère dans le cadre de l'étude des risques naturels notamment les glissements de terrain qui se sont produits dans la commune de Texenna au Nord Est de l'Algérie.

Il est signaler qu'aucune étude cartographique n'a été réalisée auparavant et que toutes les études géotechniques des glissements de terrains dans cette région sont menées par les services du Laboratoire des Travaux Publics de l'Est (Antenne de Jijel), et autres laboratoires d'étude géotechnique des sols, et sont toujours limitées par le temps et ne font jamais l'objet d'un suivi continu sur plusieurs années.

Ce travail consiste, donc à une cartographie de la susceptibilité aux glissements de terrain dans la commune de Texenna, pour qu'en pouvoir étudier la répartition de l'aléa glissement de terrain, leur activité, et leur lien avec certains paramètres climatiques. Ainsi de récolter les informations sur la structure, la cinématique et le comportement hydrologique des glissements de terrain de la région.

Pour illustrer ces étapes. Nous avons pensé de subdiviser notre manuscrit en deux grandes parties qui touchent les différents aspects :

➤ **Une première partie**

Sera consacrée à l'étude du milieu physique, l'étude géologique de la région, elle traitera les traits relatifs à la géologie locale. Celle-ci sera complétée par un aperçu sismique de la région. Une analyse hydro-climatologique et hydrogéologique sera aussi abordée.

➤ **Une seconde partie**

Introduction générale

Sera à son tour consacrée à la modélisation par SIG de la répartition spatiale des glissements de terrains sur l'étendue de la zone d'étude et à la caractérisation géophysique et géotechnique d'une zone instable choisie pour cette étude.

Cette partie a été effectuée par un calcul de stabilité par le logiciel **Géo-Slope**, le calcul de stabilité a été effectué suivant un profil proposé sur site.

Après ce traitement, l'étude géotechnique sera complétée par une conclusion qui prendra en compte les mesures des essais, et enfin de proposer des recommandations pour lutter contre les risques qui peuvent menacés la région d'étude dans le futur.

Première partie

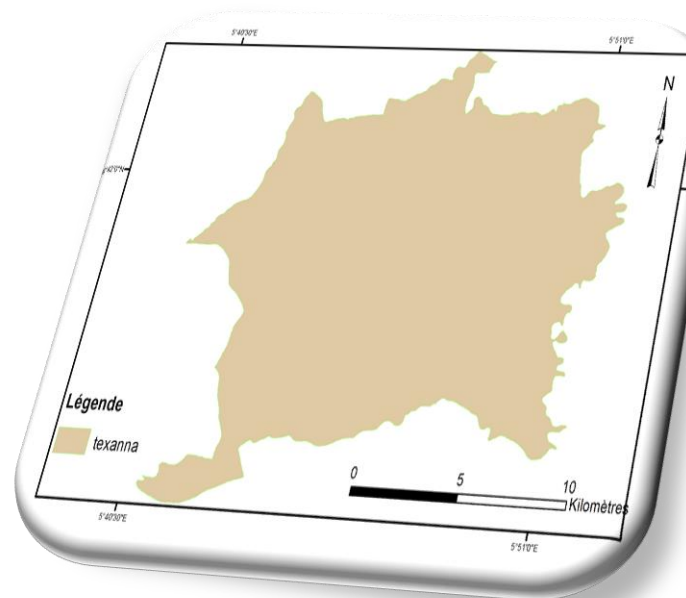
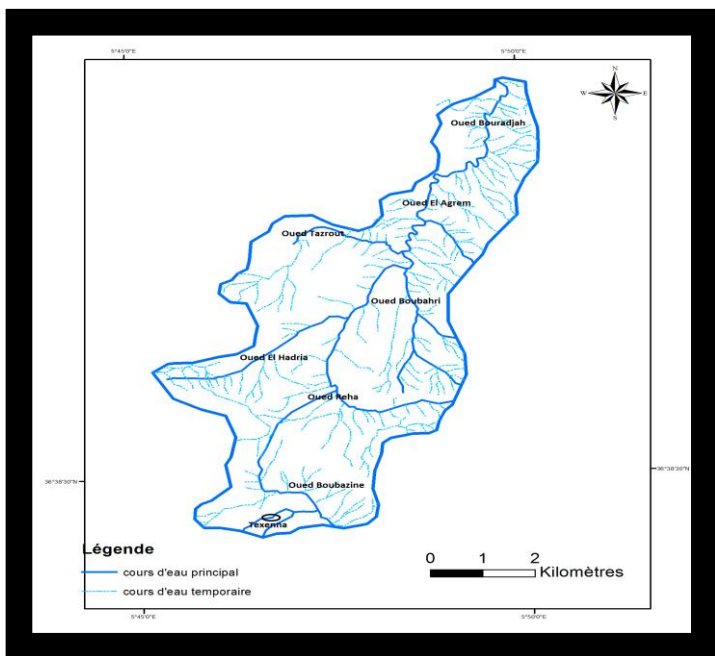
I. Etude du milieu physique

II. Cadre Géologique local

III. Synthèse Hydro climatologique et hydrogéologique

Chapitre I

Etude du milieu physique



I.1. Situation géographique de la région étudiée

La commune de Texenna a été créée lors du découpage administrative de 1984. Elle se situe à 20 Km au Sud-Est de la ville de Jijel sur la RN77 qui relie cette dernière à Sétif. Ses coordonnées géographiques sont :

- Longitude : $05^{\circ}47'06''$ - $05^{\circ}47'42''$
- Latitude : $36^{\circ}39'45''$ - $36^{\circ}40'30''$

Texenna est limitée administrativement par les communes suivantes :

- Au Nord par la commune de Kaous;
- Au Sud par la commune de Boudria Benyajis
- A l'Est par la commune d'Oudjana et Emir abdelkader;
- A l'Ouest par la commune d'El Aouana et Selma Benziada (*Fig.I.1*).

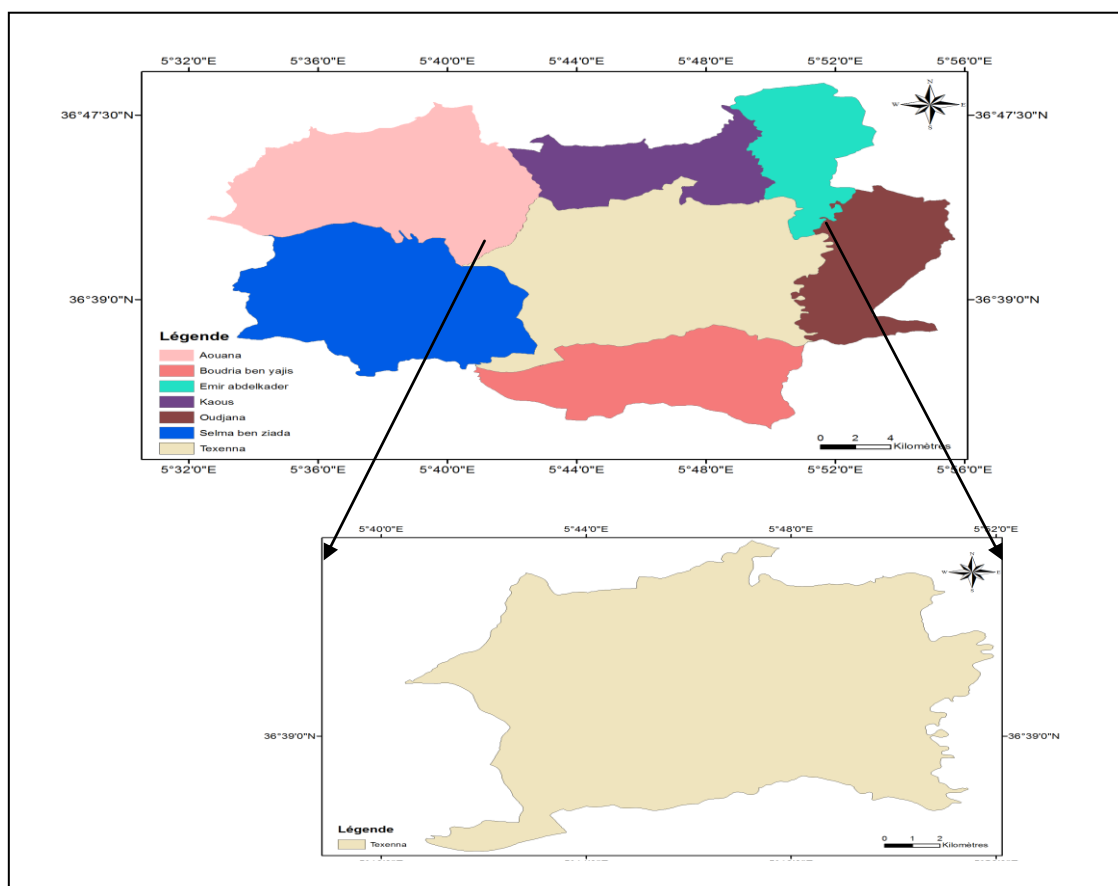


Fig. I.1: Situation géographique de la commune de Texenna.

I.2. Climat

La région d'étude 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 d'eau annuelles varient entre 900 et 1200 mm/an. Cette pluviométrie classe cette région parmi les zones les plus arrosées de l'Algérie. Cette dernière révèle un potentiel hydrique très important.

I.3. Orographie et Relief

Le relief dans la région de Texenna est le résultat de l'histoire géologique de la région, il est marqué par de grands contrastes topographiques. Les principales formes de reliefs qu'on rencontre dans la *figure I.2* sont:

➤ **Les montagnes**

Ils se présentent en deux chaînons, l'un se trouve à l'Est et l'autre à l'Ouest avec des altitudes qui peuvent dépasser les 1000 m (Djebel Sendouah).

➤ **Les dépressions**

Situées entre les chaînes de montagne, ce sont des zones basses où se concentrent la plupart des agglomérations et mechtats. Cette zone s'étend jusqu'à la limite de la commune de Kaous au Nord et la pente de ces terrains varie entre 0-12% et l'altitude de cette zone varie entre 400 et 800 m. elle est composée de terres cultivables le long des oueds qui arrosent la zone et se dirigeant du Sud vers le Nord.

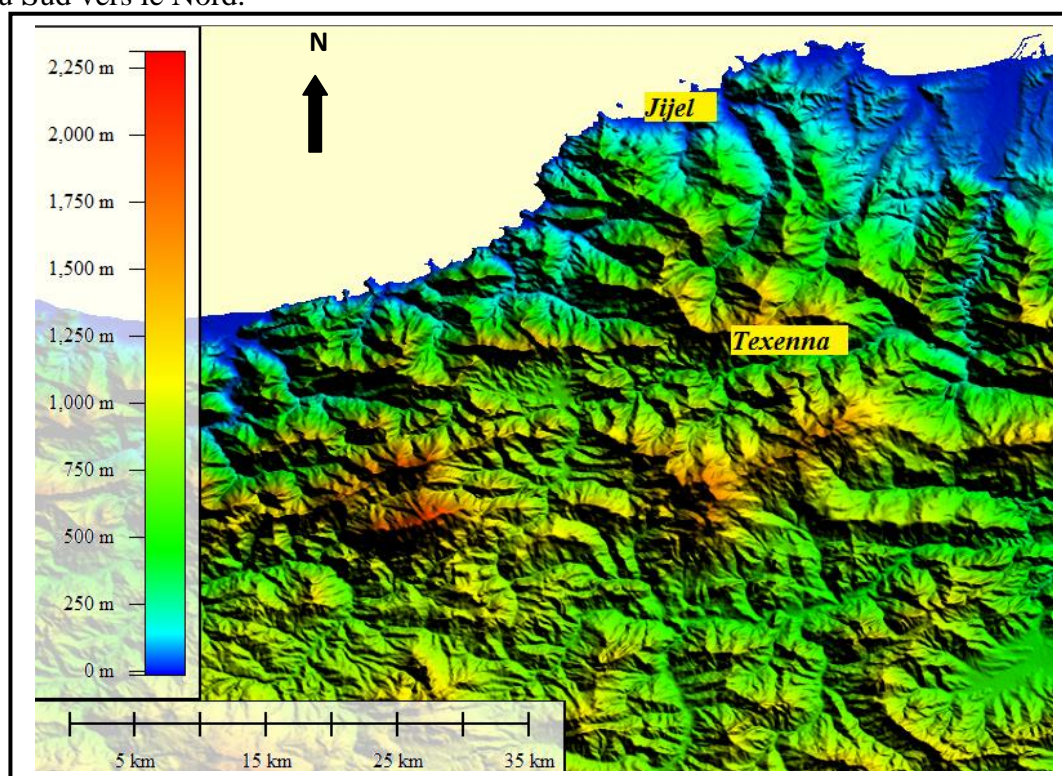


Fig. I.2: Carte des reliefs.

I.4 .Morphologie

L'examen de la carte topographique de la région étudiée, fait apparaître que la commune de Texenna est caractérisée par des pentes fortes, car elle appartient à la zone des montagnes au Sud de Jijel. Les observations des données topographiques relevées, montrent assez bien

des changements brusques des pentes. La globalité du site présente une topographie irrégulière.

I.5. Végétation

La région d'étude est caractérisée par une couverture végétale assez dense. La végétation couvre une grande partie du territoire de la commune. Cette dernière est favorisée par l'importance des précipitations. Les conditions climatiques et la nature des terrains de la région ont permis le développement de forêts très denses.

Ces forêts sont représentées essentiellement par du chêne-liège, du chêne-zen, et autres arbres fruitiers. En général, ce potentiel forestier confère à la région une vocation agricole et forestière qui joue un rôle important dans la stabilisation des terrains.

I.6. Réseau hydrographique

La région d'étude est caractérisée par un réseau hydrographique assez important en relation surtout avec la lame d'eau précipitée durant l'année. Ce réseau est représenté par les différents drains, alimentés surtout par les sources et le ruissellement des surfaces en liaison surtout avec la fonte des neiges des reliefs élevés. Ces différents drains alimentent les principaux Oueds de la région (Oued Bou-Radjeh et Oued El-Agrem) (*Fig.I. 3*).

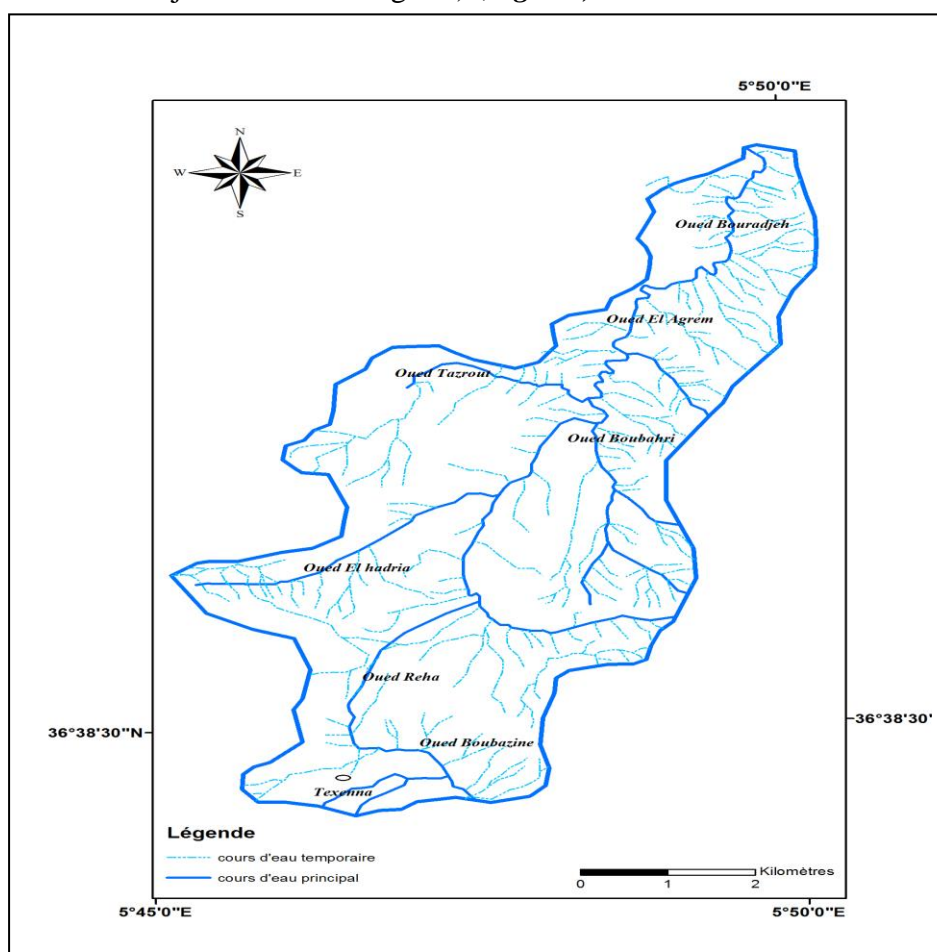
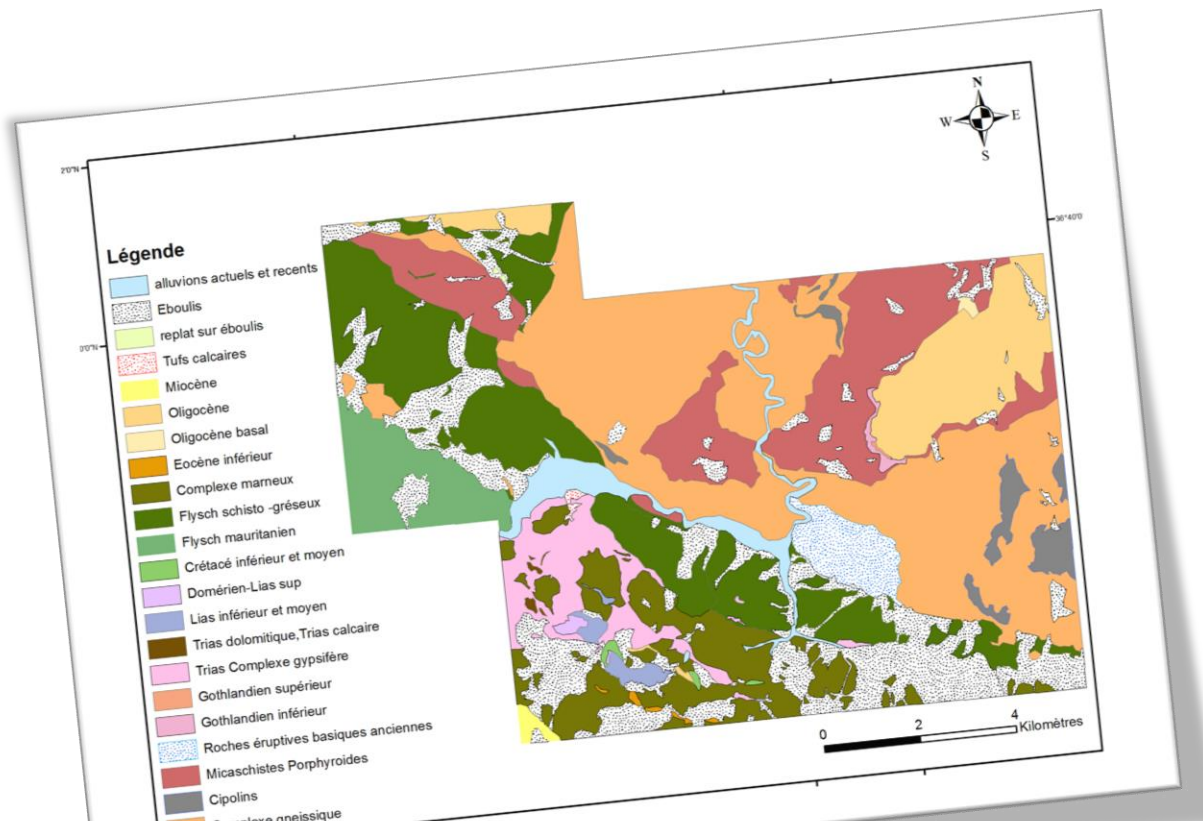


Fig. I.3: Réseau hydrographique de la région de Texenna.

Chapitre II

Cadre géologique local



II.1 Caractéristiques lithologiques de la région étudiée

La région de Texenna avait depuis longtemps attiré l'attention des géologues. En effet, cette région montagneuse est caractérisée par un contraste géologique assez important.

L'ensemble des travaux effectués auparavant par différents auteurs dans la région de Texenna (*Ehrman, 1928 ; Durand Delga, 1955 et Djellit, 1987*) ont servi à préciser le cadre géologique local de la région.

Sur une transversale Nord-Sud (Jijel-Djimla) on peut distinguer (*Fig. II.1*) :

- ✓ Les formations du Quaternaire.
- ✓ Les formations Post-nappes.
- ✓ La molasse olistostromique Aquitano-Serravallienne.
- ✓ les formations de l'Oligo-Miocène Kabyle.
- ✓ 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.

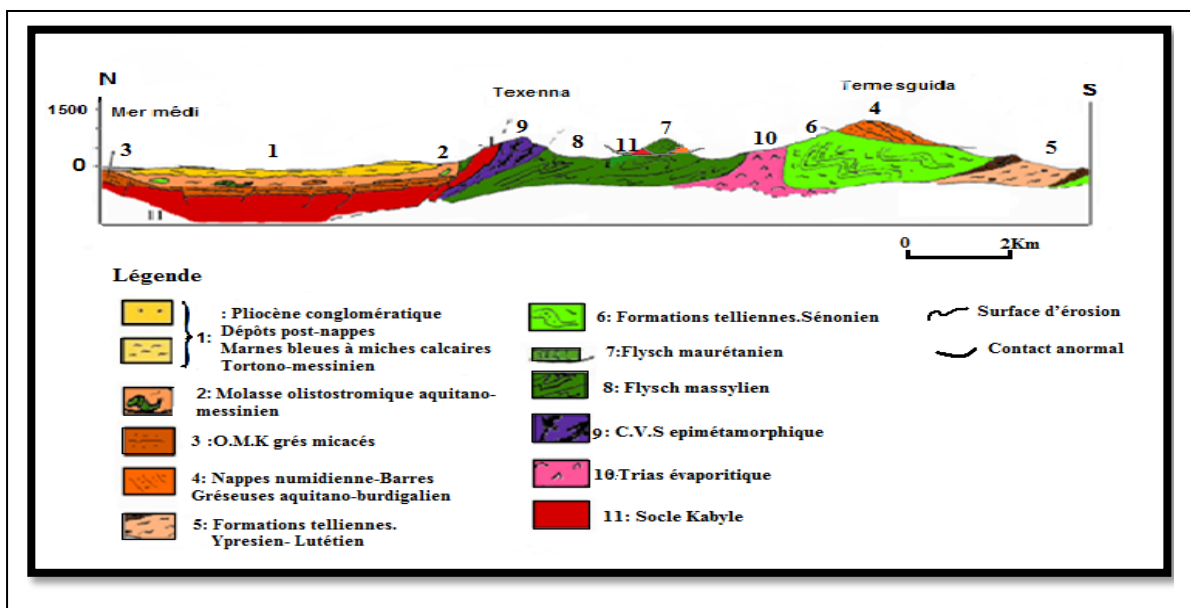


Fig. II.1: Coupe géologique des unités alpines de la Petite Kabylie-région de Jijel réalisé en collaboration avec Rouikha (2014).

II.2 Description des formations lithologiques de la région de Texenna

a) Les formations du quaternaire

En majorité, elles sont représentées par une tranche de terre végétale, parfois des argiles à blocs, galets ainsi que des éboulis.

b) Les formations Post-nappes**• Les marnes Miocènes :**

Elles reposent en discordance à la fois sur le socle Kabyle et la molasse olistostromique. L'âge Tortono-Messinien est attribué à ces formations. Le Tortono-Messinien est constitué de marnes bleues à passées calcareuses discontinues souvent en nodules de couleur jaune ocre. L'épaisseur de ces marnes Tortono-Messiniennes dans la région de Jijel est estimée de 200 m à 300 mètres (*Djellit, 1987*)

• Les formations détritiques du Pliocène:

Les formations du Pliocène sont représentées par des dépôts conglomératiques comportant des blocs anguleux de cailloux, de galets, de graviers, et des sables, dans une matrice argileuse. Ces formations à éléments polygéniques et hétérométriques d'une épaisseur d'environ 30 à 50 mètres reposent directement sur les marnes du Miocène supérieur. C'est la limite normale entre les dépôts continentaux (Pliocène), et les dépôts marins (Tortono-Messinien). (*Kherrouba, 2008*).

C) Les formations de l'oligo-Miocène Kabyle et les olistostromes**• L'Oligo-Miocène Kabyle :**

Les formations de l'Oligo-Miocène-Kabyle sont représentées essentiellement par des grès en petits bancs, glauconieux et ferrugineux, alternant avec des argiles et des marnes vertes. Ces formations affleurent dans la localité Rekkada Meteletine (*Djellit, 1987*).

• Les Olistostromes :

Ils sont représentés par des unités tectono-sédimentaire de flyschs (grès Albien de Guerrouch, grès et argiles Numidiennes, flysch dissocié Albien- Eocène dans une matrice argileuse de l'Oligo-Miocène Kabyle. L'âge Aquitano-Serravallien probable est attribué à ces unités (*Bouillin et Raoult, 1971*). Ces formations affleurent largement dans la région.

d) Les formations de type flyschs**• Les formations du flysch massylien :**

Ce type de flysch est d'âge Albo-Aptien, il est caractérisé par une alternance des schistes et des bancs de grès quartzitiques décimétriques, parfois centimétriques, surmontées par des microbrèches calcaires à ciment pélitique et des marnes. Il contient par endroits à des phtanites de couleur noir (le long de la route vers l'oued Djen-Djen on remarque une importante barre de phtanites (*Durand Delga, 1955*).

• Les formations du flysch maurétanien :

Elles sont représentées par l'unité de Guerrouch, formé essentiellement par des bancs de grès homométriques à cassure verdâtre. L'âge Eocène supérieur-Oligocène est attribué à ces

formations. Ce type de flysch occupe largement la région de M'cid-Echta au Sud-Ouest de Texenna.

e) Les formations du complexe volcano-sédimentaire 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 de bas en haut :

- **Un ensemble basal** : une épaisseur allant de 200 m à 300 m, il est composé d'un empilement de roches volcaniques à textures variables.
- **Un ensemble sommital** : D'une épaisseur de 200 m environ, il est divisé en deux termes :
 - Le premier terme est constitué d'une série volcano-sédimentaire (50m d'épaisseur) contenant des niveaux quartzo-pélitiques et des basaltes, passant à des dolérites, ou encore des parasinites, et des gabbros dioritiques à amphiboles brunes.
 - Le deuxième terme est essentiellement constitué d'une alternance de calcaires centimétriques à décimétriques. On rencontre cet ensemble éruptif à Djebel Sendouah de Texenna (*Djellit, 1987*)

f) Le Trias

Le long de l'oued Djen-Djen 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 Triasiques chevauchent les formations Telliennes.



Photo. II.1: Photo illustrant un affleurement de Trias au niveau de l'oued Djen-Djen.

g) 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. Ils forment la plus basse unité géologique de la région. L'âge Précambrien probable est attribué à ces formations (*Durand Delga, 1955*)

II.3 Géologie du site

Les deux cartes ci-dessous (*Fig. II.2*) et (*Fig. II.3*) présente la localisation de notre région dans son cadre géologique régional.

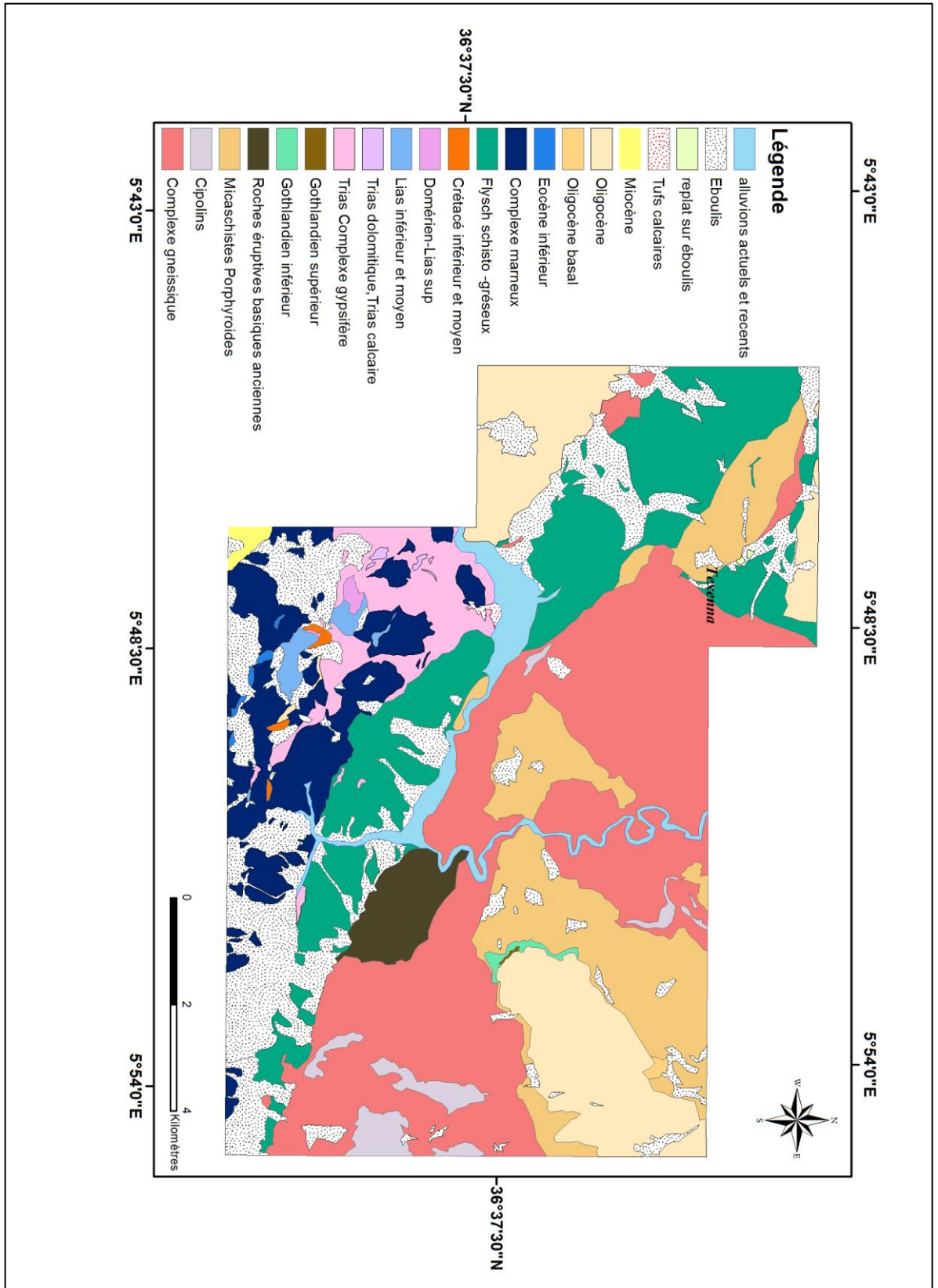


Fig. II.2 : Carte géologique des environs de Texemma (petite Kabylie) .1/50.000(Durand Delga, 1955).

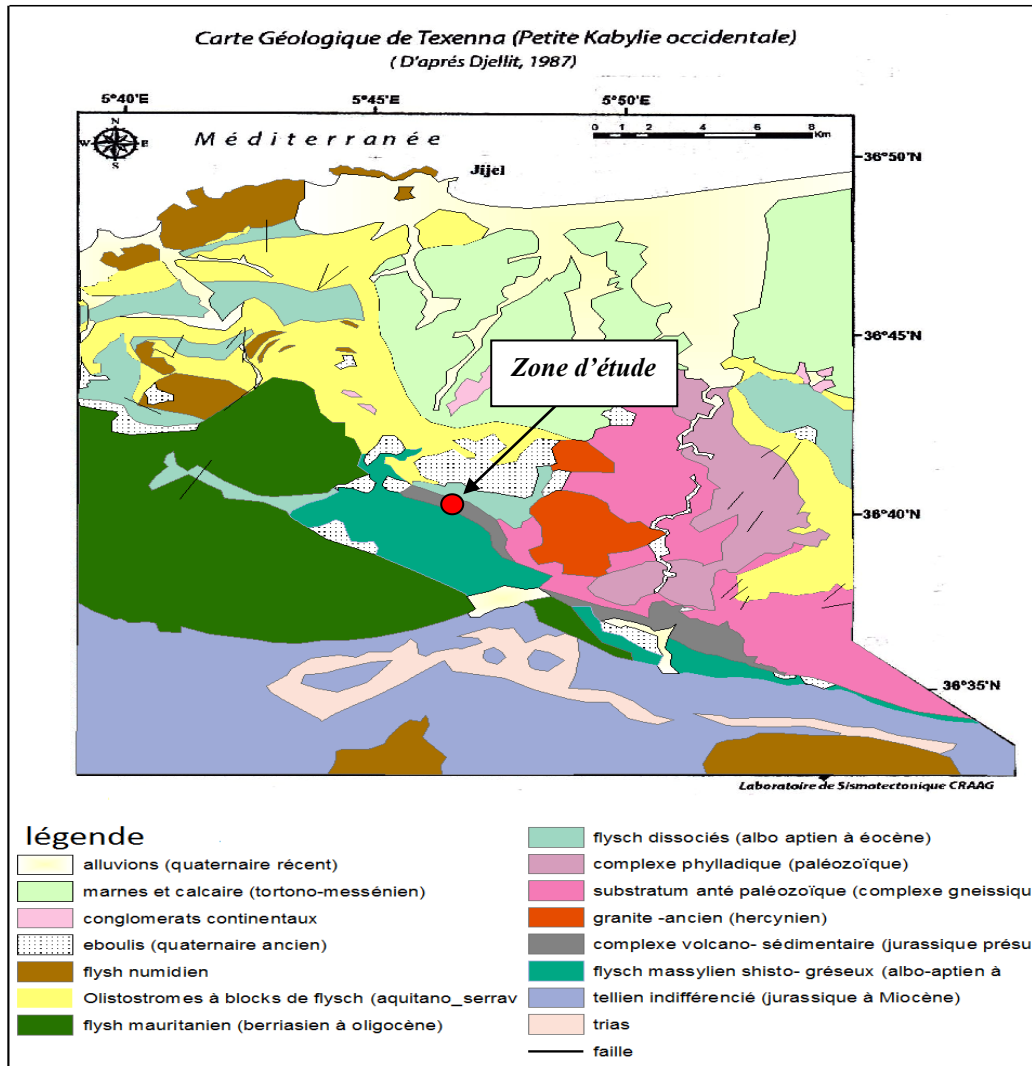


Fig. II.3: Carte géologique de Texenna (Petite Kabylie occidentale) (Djellit, 1987)

A partir des deux cartes précédentes on a réalisé une carte géologique de notre zone d'étude en utilisant le logiciel ArcGis 10.2.2. Nous avons Scanné et géo-référencé dans le système de coordonnées (WGS84 UTM N31) Les cartes géologiques 1/50.000 précédentes de notre région d'étude. En tenant compte ses limites administratives.

Pour les parties qui restent non couvert par ces cartes. On a utilisé Quatre cartes topographiques (1/25000). Ces dernières, ont été numérisées et géoréférencées dans le même système géodésique et ont été assemblées dans un seul document couvrant tout le territoire de la commune de Texenna. Et on fait notre propre cartographie sur le terrain pour compléter notre carte.

La carte géologique de notre zone d'étude fait ressortir 11 formations lithologiques (Fig.II.4).

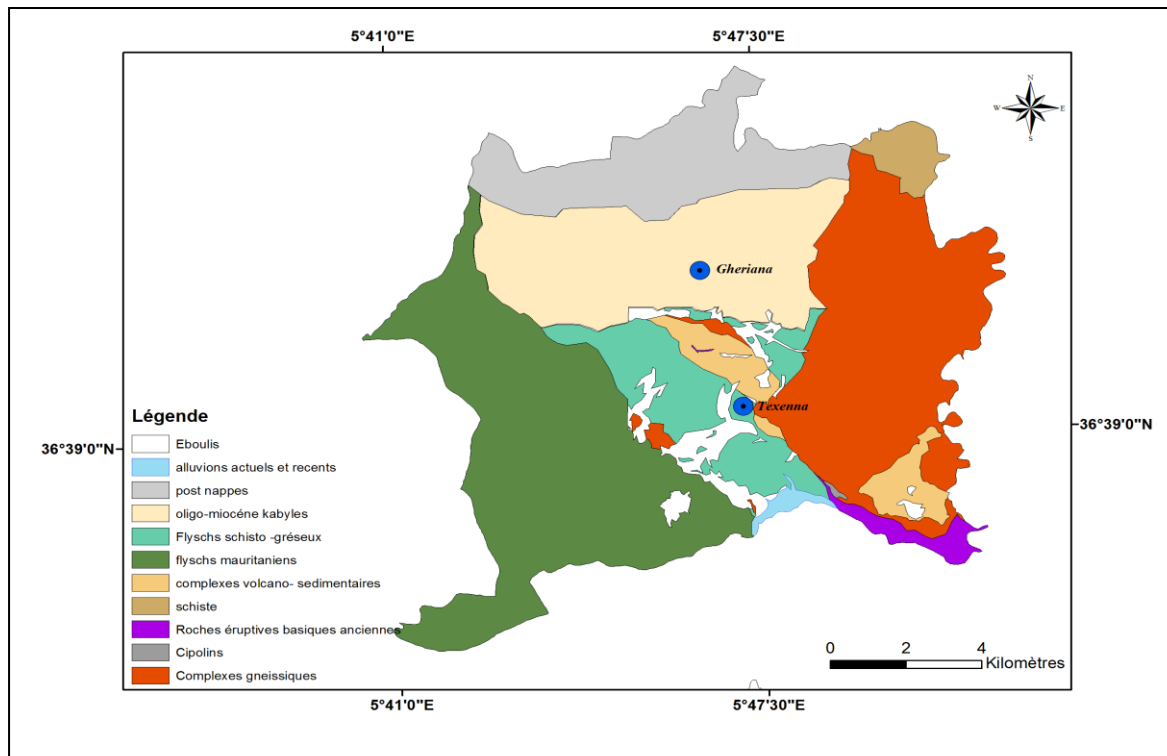


Fig .IV.4 : Carte géologique de la commune Texenna.

La région d'étude est faite occupée par la petite Kabylie .Elle est occupée seulement par les formations de complexe volcano-sédimentaire.

II.4.Aspect structural

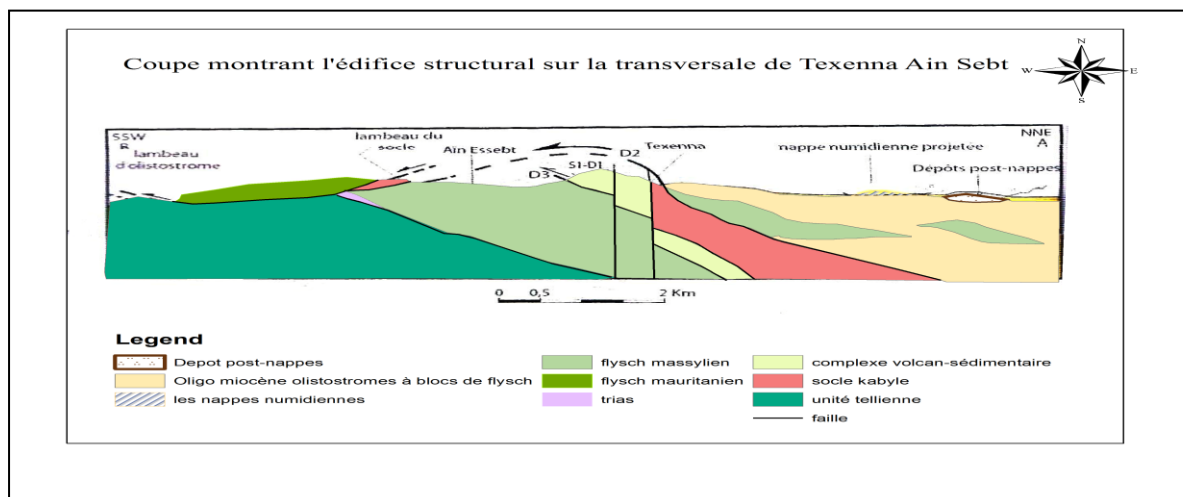


Fig. II.5: coupe montrant l'édifice structural de la petite Kabylie sur la transversale de Texenna (Djellit, 1987)

L'édifice de la région d'étude (**Fig. II.5**) se présente comme suit :

a)Le socle Kabyle

Le socle Kabyle dans la région d'étude est composé d'un substratum gneissique, d'un complexe phylladique, et d'un ensemble de psammites, et de calcaires.

- Le substratum gneissique est d'âge anté-Cambrien.
- Le complexe phylladique est d'âge Cambro-Ordovicien.
- Les psammites et calcaires sont d'âge Silurien à Dévonien inférieur à moyen.

Le socle Kabyle chevauche vers le Sud les unités frontales schistosées.

b) Sous le socle Kabyle

Le complexe volcano-sédimentaire : débité en écailles, cet ensemble chevauche vers le Sud les formations du domaine externe telliennes.

c) Sur le socle Kabyle

Un ensemble de nappes, comportant à la base un olistostrome d'âge Aquitano-Seravallien surmonté par le flysch de Guerrouch. Ces nappes sont scellées par des dépôts du Miocène terminal puis par le Pliocène (*Kherrouba, 2008*).

II.5 Tectonique

Au niveau de la région d'étude qui constitue la terminaison occidentale de la Petite Kabylie, plusieurs événements tectoniques qui ont conduit à la structure actuelle. Les différents aspects tectoniques régionaux sont les charriages, les déformations ductiles et les déformations cassantes.

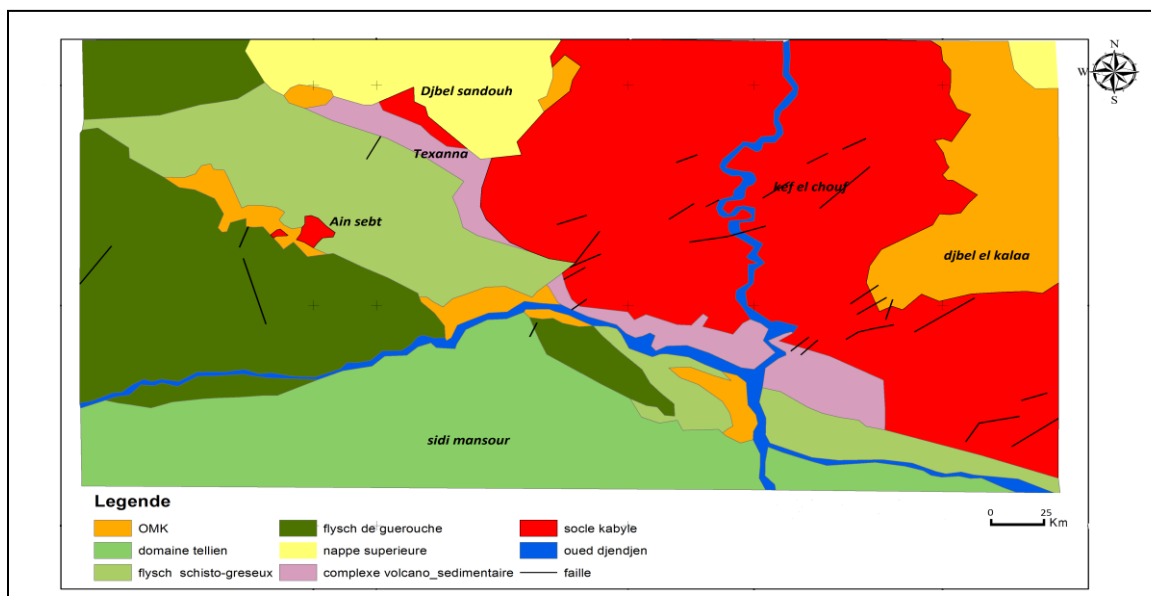


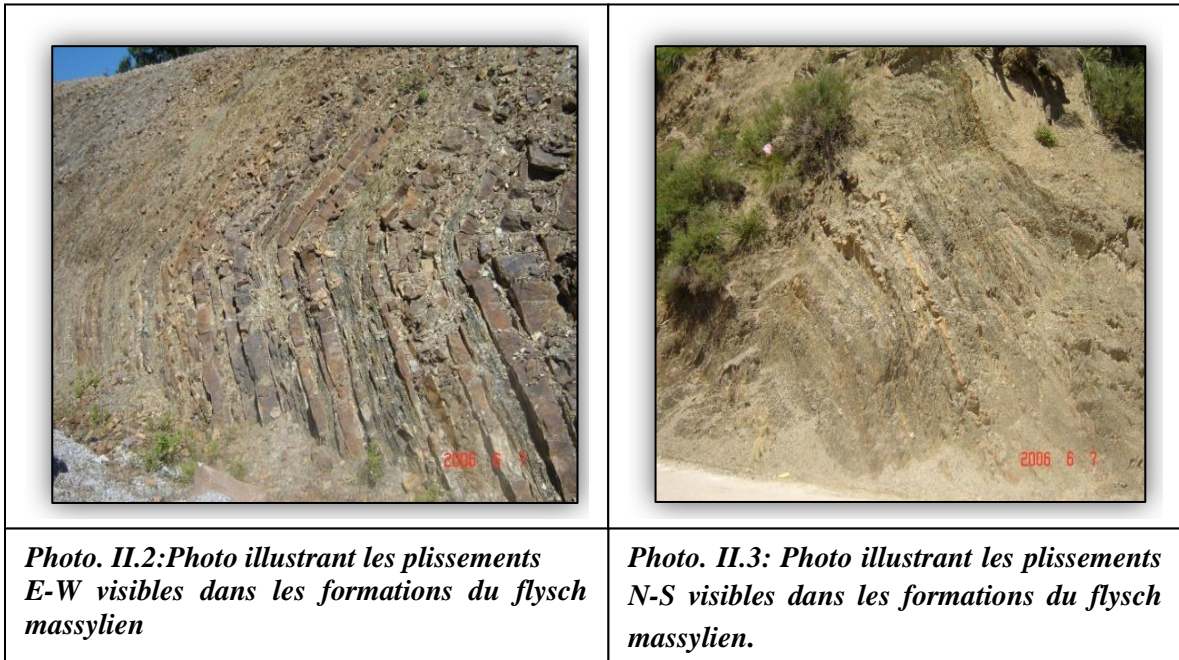
Fig. II.6: Schéma structural simplifié montrant les différentes unités tectoniques de la région de Texenna (Djellit, 1987)

a. Les charriages

Affectant les différentes nappes : flyschs, socle Kabyle, et le tellien.

b. Déformations ductiles

Elles sont matérialisées par les plissements N-S (*Photo. II.2*), et E-W (*Photo. II.3*) visibles dans les formations du socle Kabyle et les formations du flysch massylien,

**C. Déformations cassantes**

Elles sont marquées par les rejets de grands accidents tectoniques d'ampleur régionale, animées par des déplacements faibles et horizontaux (décrochements), (*Photo. II.4*). Les directions dominantes de ces accidents sont : N-S, E-W, NE-SW, et NW-SE, et affectent aussi bien le socle Kabyle que les formations récentes. Ces accidents ont engendrés des dislocations et le broyage des formations affectées. Un intense réseau de fracturation à accompagné ces grands accidents tectoniques.



Photo. II.4: Photo illustrant les déformations cassantes visibles dans les formations du flysch massylien.

II.6 .Sismotectonique

II .6.1 Aperçu sismique

La région de Jijel est située dans une région sismique classée d'après **Bockel (1999)**, comme région pouvant subir des secousses supérieures à l'intensité 8, les épicesentres de la plupart des secousses ressenties sont localisées entre Béjaia et Sétif dans la zone des Bibans et des Babors. Cet axe sismique paraît présenter une activité qui s'atténue vers l'Est, où les structures en nappes viennent buter sur les contreforts du socle.

Les données historiques relatives à la sismicité font état d'un évènement majeur survenu le **21 Août 1856** au large de Jijel (Djedjelli). Les autres foyers sismiques sont situées à plus de 50Km du côté Est du barrage d'El-Agrem. Le dernier séisme ressenti dans la région est celui de Kherrata **2006**.

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

II.6.2 Règles parasismiques Algériennes (RPA)

D'après le document « Règles Parasismique Algérienne » RPA version 2008, l'Algérie est subdivisée en cinq zones de sismicité variable (**Tableau. II.1**)

Tableau.II.1 : Zones des différentes sismicités.

RPA /version 2008	
Zone : 0	Sismicité négligeable
Zone : I	sismicité faible
Zone : IIa , IIb	Sismicité moyenne
Zone : III	Sismicité élevée

Les objectifs de ce document est d'assurer la protection des vies humaines et de limiter les dommages que peut avoir la structure durant une secousse sismique.

D'après la carte de zonage sismique (*Fig. II.7*) la wilaya de Jijel fait partie de la zone de (Zone IIa) de moyenne sismicité.

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

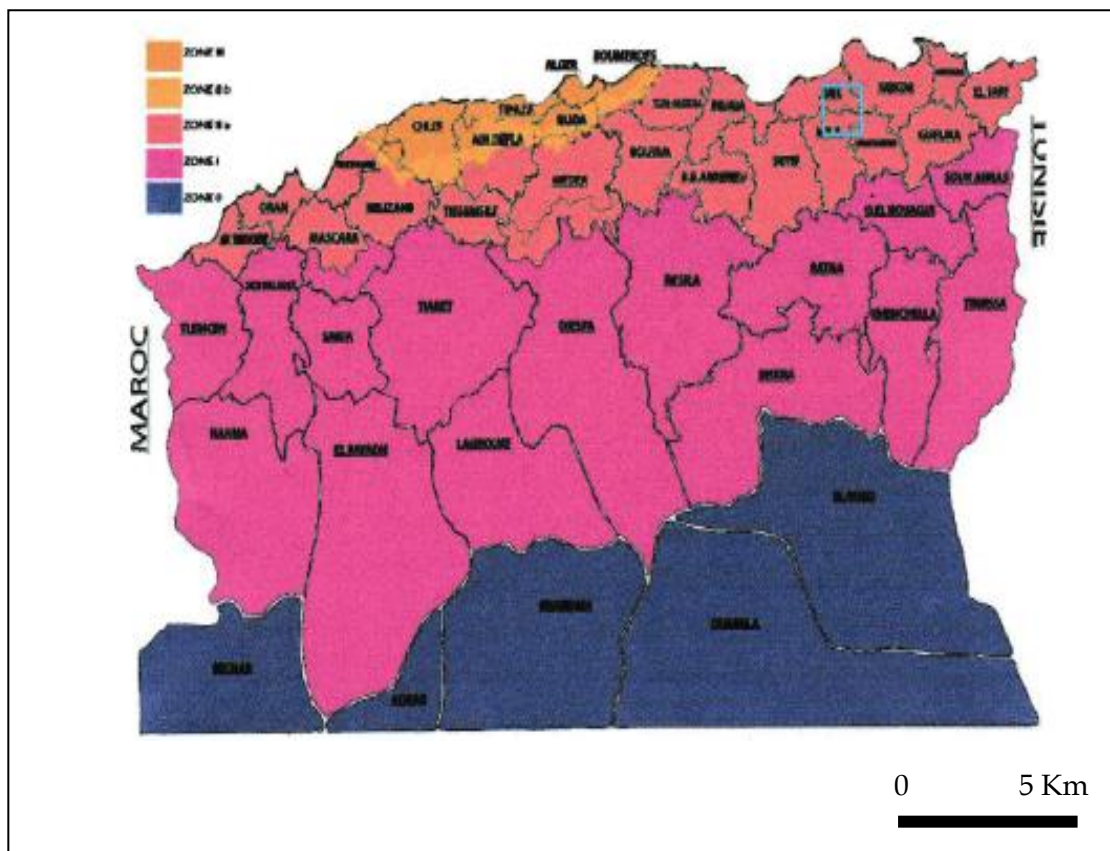
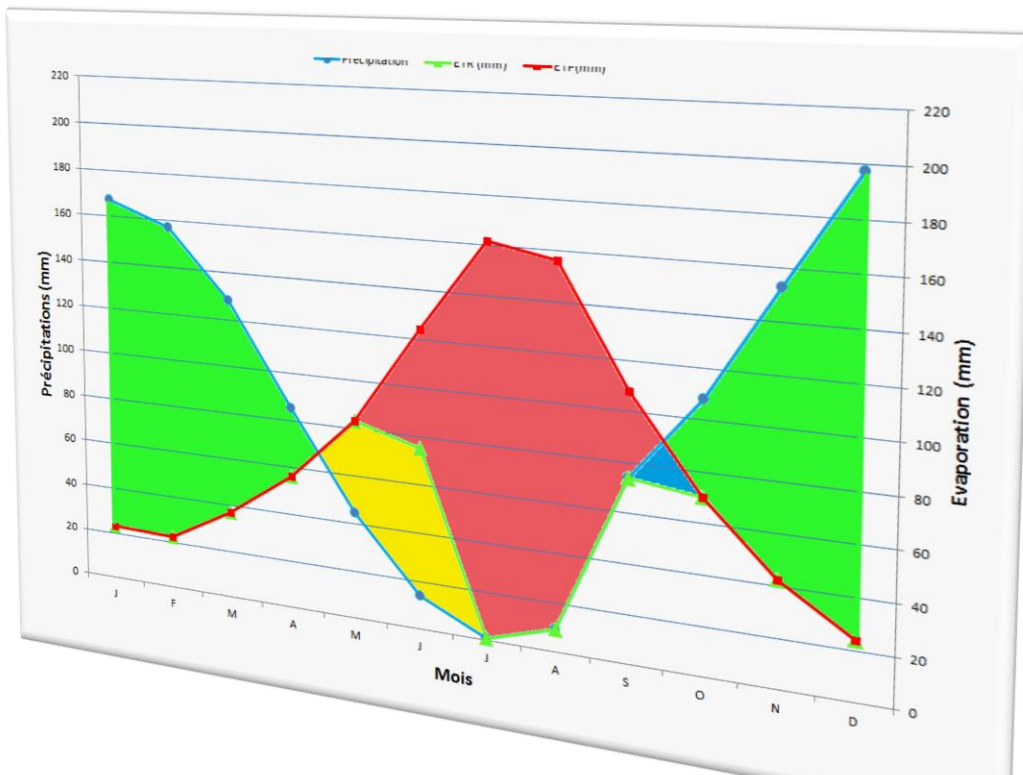


Fig. II.7: Carte de zonage sismique du territoire national (d'après le RPA version 2008).

Chapitre III

Synthèse hydroclimatologique et hydrogéologique



III.1.Introduction

L'eau joue un rôle important dans la déstabilisation des terrains vu sa capacité d'altérer les formations géologiques et sa pression interstitielle qui diminue la résistance des roches. Pour cela nous avons opté pour une analyse hydrologique de la zone d'étude. Dans cette étude, on s'attachera plus particulièrement à déterminer les apports d'eau (précipitation, évapotranspiration, infiltration et ruissellement), le bilan hydrologique, le régime caractéristique du fonctionnement du système hydrologique et les formations géologiques potentielles à construire des aquifères.

III.2.Analyse des caractéristiques hydroclimatiques

La reconnaissance des caractéristiques hydroclimatiques de notre région est un outil indispensable par la suite de notre travail. En effet. Comme pour la plupart des sujets traités dans la région, l'eau a été l'un des facteurs essentiels du déclenchement des mouvements de terrain.

III.2.1. Précipitations

Le terme précipitation englobe toutes les eaux météoriques, et la hauteur de la lame d'eau recueillie par le pluviomètre, quelque soit l'origine de cette eau, pluie, neige, grêle, ou autres formes de condensation.

Cette étude s'intéresse aux précipitations (*Fig. III.1*) (pluies), qui constituent le facteur principal dans le comportement hydrologique de la région. Elles sont relativement moins importantes, variables et irrégulières. Cependant le changement de température ou pression provoqueront des précipitations **solides** (neige, grêle, gelée blanche).

La région de Texenna est considérée parmi les régions qui reçoivent les précipitations les plus importantes en Algérie. L'étude de ces précipitations sert à évaluer la quantité d'eau tombée qui a une influence directe sur le niveau des eaux souterraines et superficielles dans la région étudiée

a) Précipitations

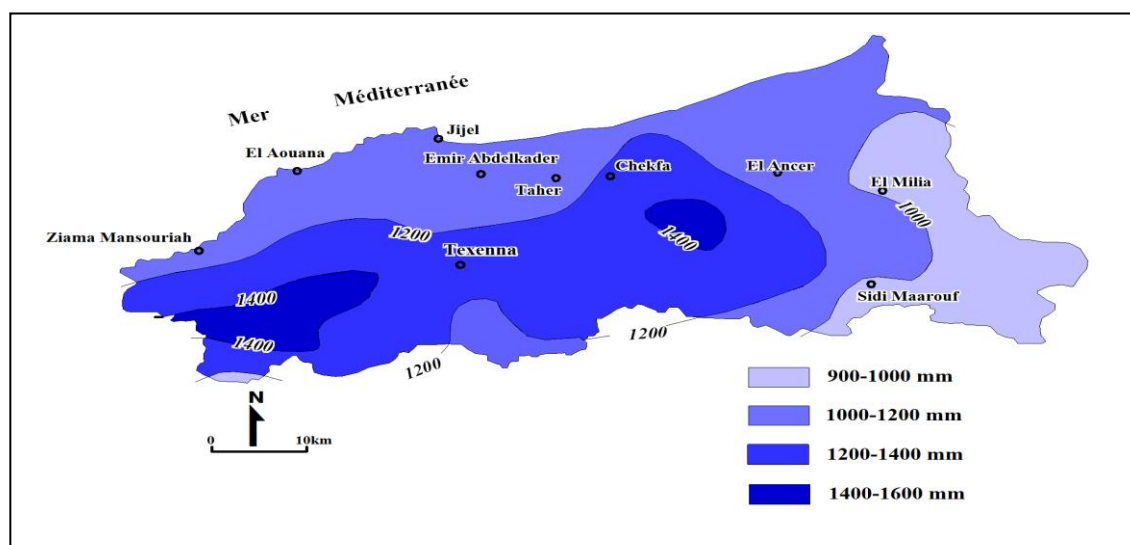


Fig. III.1:Carte pluviométrique de la wilaya de Jijel A.N.R.H (1996).

La carte pluviométrique de la région de Jijel (*Fig. III.1*) montre que la moyenne annuelle des pluies enregistrée à Texenna est dans l'intervalle de [1200 à 1400 mm]. Les données de la station météorologique du barrage El-Agrem montrent que la région de Texenna reçoit annuellement de **1139.64 mm/an**. La variation des principaux paramètres permet de définir le régime pluviométrique de la région : quantité de pluie annuelle, quantité de pluie mensuelle et saisonnière. Le tableau ci-dessous montre les caractéristiques de la station.

Tableau.III.1: Caractéristiques de la station du barrage El-Agrem.

<i>Code et nom de la station</i>	<i>Altitude (m)</i>	<i>Longitude</i>	<i>Latitude</i>	<i>Période d'observation (années).</i>
<i>03-03-03 El Agrem</i>	<i>700m</i>	<i>05°50'11"</i>	<i>36°44'06"</i>	<i>15</i>

❖ Estimation des précipitations moyennes annuelles

L'étude des précipitations moyennes annuelles s'est effectuée à partir des données récentes de la série qui s'étend de (2002-2015) pour la station du barrage El- Agrem.

Les données de la station météorologique du barrage El- Agrem montrent que la région de Texenna reçoit annuellement **1139.64mm** de précipitations.

La répartition mensuelle, saisonnière et annuelle des précipitations et ses variations conditionnent (avec les facteurs thermiques et lithologiques), l'écoulement et le régime des cours d'eau, celui des nappes. Le *tableau III.2* donne les moyennes mensuelles de la station du barrage El-Agrem pour la période (2002-2015).

Tableau .III.2: Répartition mensuelle de la pluviométrie enregistrée (en mm) (station du barrage El-Agrem, (période 2002-2015)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Pluviométrie moyenne mensuelle (mm)	75.23	109.51	165.78	194.65	154.94	171.93	135.60	82.33	40.96	11.91	1.04	11.80

D'après les résultats obtenus dans ce tableau, nous constatons que décembre est le mois le plus pluvieux (**194,65 mm**), par contre Juillet est le mois le plus sec (**1,04 mm**).

En général l'évolution des précipitations dans le temps est croissante de septembre à décembre et décroissante de décembre à Juillet (*Fig .III.2*).

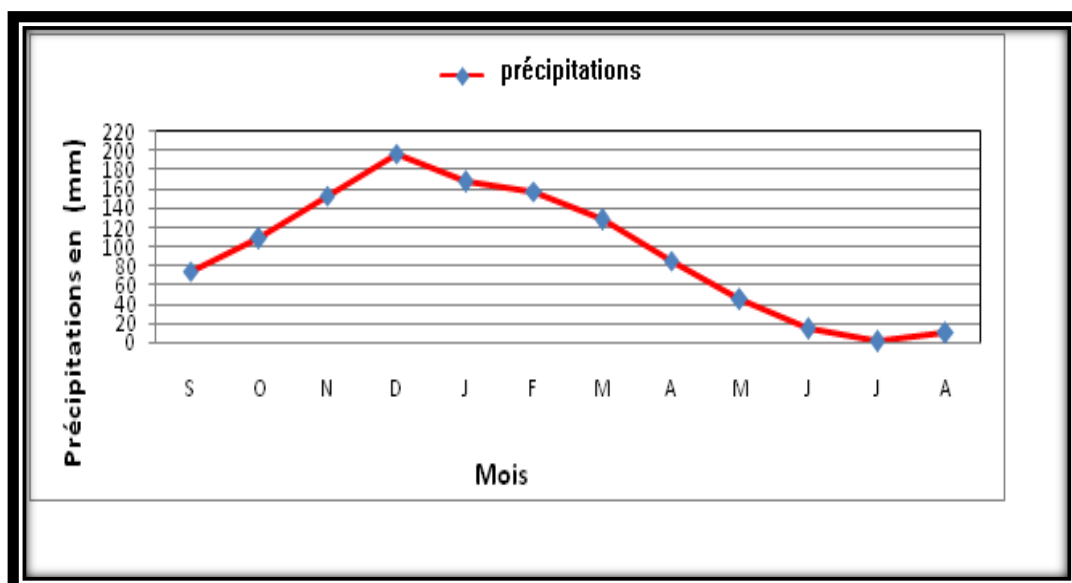


Fig. III.2 .Répartition des précipitations moyennes mensuelles.

b) Précipitations solides

- Neige

L'importance de la neige réside dans le fait qu'elle imbibe le sol d'une façon continue et le laisse s'humecter profondément pendant la période de fusion ; l'enneigement se fait seulement au début de l'hiver sur les hautes altitudes de Texenna (**800 m**).

L'altitude exerce donc une influence prépondérante sur les chutes de neige. Ainsi, nous avons d'après P.Seltzer le tableau suivant :

Tableau.III.3: Répartition de la neige (P.Seltzer, 1946).

Enneigement Neige	Nombre de jours où il a neigé.	Nombre de jours d'enneigement.
Texanna	3	2

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

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

- Grêle

La grêle se forme dans les orages particulièrement forts lorsque l'air est très humide et que les courants ascendants sont puissants. On constate que les épisodes de grêle les plus fréquents sont connus en hiver.

Tableau.III.4 : Nombre des jours de grêle (Station Aéroport F.Abbès de Taher, période 1996/2006).

Station Aéroport Ferhat Abbès	Chute de grêle [1996-2006]											Moyenne annuelle	
	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	8,7
	0,1	0,1	0,5	1,3	2,1	2,1	1,3	0,3	0,2	0,1	0,0	0,0	

D'après le **Tableau.III.4** on constate que les épisodes de grêle les plus fréquents sont connus en hiver.

- **Gelée blanche**

En plus des anciennes données de *P.Seltzer (1946)*, nous avons pour les stations de Taher (port et aéroport Ferhat Abbés) une série des données plus récente. Nous donnons dans le **Tableau III.5** (extrait des travaux réalisés par *Tekkouk (2005)*) toutes les données relatives à la gelée blanche à la station de Texenna.

Tableau.III.5: Nombre moyen des jours de la gelée blanche (P.Seltzer, 1913,1938).

Stations Mois	Texenna
	<i>Données de P.Seltzer 1913/1938</i>
Septembre	0,0
Octobre	0,1
Novembre	0,3
Décembre	2,1
Janvier	3,6
Février	1,9
Mars	0,6
Avril	0,4
Mai	0,0
Juin	0,0
Juillet	0,0
Août	0,0
Moyenne Annuelle	9,0

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

III.2.2 Températures

La température de l'air est un facteur qui a une grande influence sur le bilan hydrologique du fait de son impact sur le déficit d'écoulement (évapotranspiration). Le **Tableau III. 6** et la **Figure III.3** donnent la répartition des températures moyennes mensuelles pour la période de 2002

à 2015. On remarque que le mois le plus chaud est le mois de Juillet (26.45°C), le mois le plus froid est le mois de Février (11.49°C).

Tableau.III. 6 : Distribution des températures moyennes mensuelle (Station du barrage El-Agrem période 2002-2015)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Station du barrage El-Agrem	23.61	19.44	15.94	12.01	11.60	11.49	13.54	16.27	18.95	23.20	26.45	26.90
	19.66			11.7			16.25			25.52		
	Automne			Hiver			Printemps			Été		

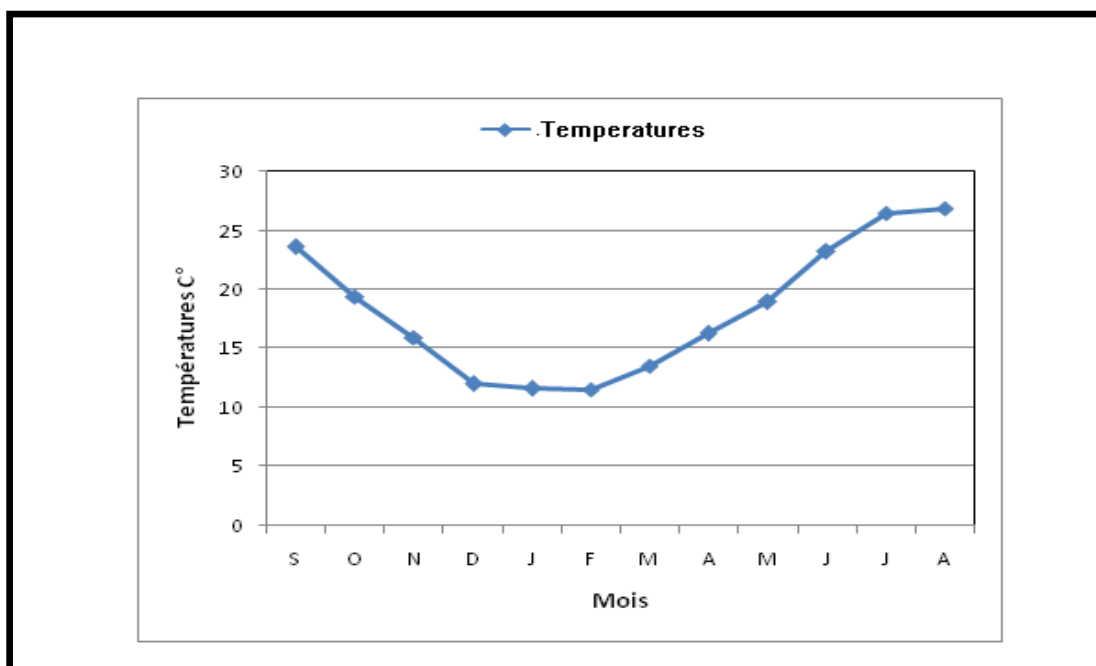


Fig.III.3 : Répartition des températures moyennes mensuelles.

III.3 Diagramme ombro-thermique

Les données des précipitations et des températures mensuelles de la même période 2002-2015 pour la station du barrage El-Agrem nous ont permis d'établir le diagramme ombro-thermique que nous représentons sur la figure III.4. Ce diagramme permet de déduire que la période humide s'étale du mois d'octobre au mois de mai. La période sèche s'étale du mois de mai au mois de Septembre.

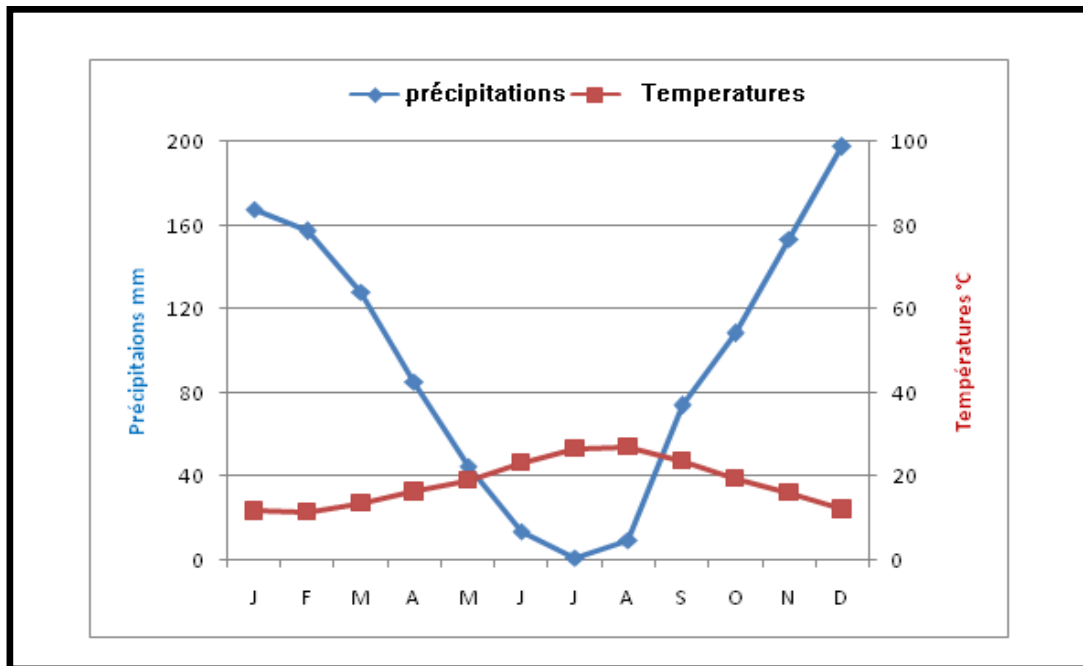


Fig.III.4 : Diagramme ombro-thermique.

III.4. Bilan hydrologique

La méthode que nous allons utiliser pour l'établissement du bilan hydrologie est la méthode empirique de Thornthwaite. Son but c'est pour évaluer la répartition des précipitations entre les composants suivants :

$$P = ETR + R + I + Wa$$

Avec:

P : Précipitations moyennes annuelles en (mm) ;

ETR : Évapotranspiration réelle en (mm) ;

R : Ruissellement (mm) ;

I : Infiltration en (mm) ;

Wa : variation des réserves (négligeable).

III.4.1. Évapotranspiration

L'évapotranspiration est le phénomène de transformation de l'eau en vapeur par l'effet physique. Cette évapotranspiration se constate lors de la formation de pellicules d'eau fines qui recouvrent les feuilles, les tiges de plantes ainsi que la surface des eaux stagnantes et les couches superficielles du sol.

On distingue deux types d'évapotranspiration :

- **Évapotranspiration potentielle (ETP)**
a pour but de quantifier les pertes en eau par leur retour dans l'atmosphère sous forme de vapeur d'eau ou en applique la formule de Thornthwaite pour le calcul de l'ETP.
- **Évapotranspiration réelle (ETR)**

Qui est définie par la quantité d'eau évaporée. Plusieurs formules ont été prises en compte pour le calcul de l'ETP et L'ETR la méthode qu'on va utiliser est la méthode empirique de

Thornthwaite, pour la quelle la température est le facteur utilisé afin de déduire ces deux paramètres.

III.4.2. Calcul de l'évapotranspiration par la formule de Thornthwaite

A- Evapotranspiration potentielle (ETP)

L'ETP au niveau de cette formule sera calculé en fonction de la température à condition de considérer des surfaces suffisamment étendues et des pas de temps assez longs.

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

ETP : évapotranspiration potentielle, mensuelle en mm pour **1** mois avec durée d'ensoleillement de **12** heures.

t : température moyenne mensuelle en C° pour le mois considéré.

I : indice thermique annuel obtenue en sommant $i = \left(\frac{T}{5}\right)^{1,514}$.

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

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

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

K : Coefficient de correction qui dépend du mois et de l'altitude du lieu.

Tableau.III.7 : Valeurs du coefficient d'ajustement mensuel « K ».

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
K	1,03	0,96	0,84	0,83	0,86	0,83	1,03	1,1	1,22	1,23	1,25	1,17

Tableau. III.8: Calcul de l'ETP selon Thornthwaite

Mois	Moyenne mensuelle (mm)	Moyenne mensuelle (C°)	I	ETP	K	ETP _c (mm)
Septembre	74.87	23.61	10.48	104.89	1.03	108.04
Octobre	108.2	19.44	7.81	72.32	0.97	70.15
Novembre	153.1	15.79	5.79	49.47	0.86	42.54
Décembre	197.51	12.01	3.77	28.79	0.84	24.18
Janvier	167.46	11.60	3.58	26.94	0.87	23.44
Février	157.02	11.49	3.52	26.43	0.85	22.47
Mars	128.25	13.54	4.52	36.18	1.03	37.27
Avril	85.29	16.27	5.97	51.44	1.10	56.58
Mai	44.88	18.95	7.52	68.86	1.21	83.32
Juin	13.81	23.20	10.21	101.50	1.22	123.83
Juillet	0.96	26.45	12.45	130.37	1.24	161.66
Aout	9.28	26.9	12.78	134.69	1.16	156.24
Total	1139.64	19.28	88.39	831.88	-	909.72

III.4.3. Calcul de l'évapotranspiration réelle (ETR)

Par définition l'évapotranspiration réelle (ETR) est la quantité d'eau évaporée ou transpirée selon les conditions climatiques réelles. L'ETR est fonction de l'ETP et de la quantité d'eau présente dans le sol.

- si les précipitations (P) du mois sont supérieures à l'évapotranspiration potentielle $ETR = ETP$
- si les précipitations du mois (P) sont inférieures à l'évapotranspiration potentielle (ETP), dans ce cas, Thornthwaite admet l'utilisation d'une Réserve Facilement Utilisable (RFU) de 100 mm.
- $ETR = \sum p_i + RFU$; celle-ci est supposée mobilisée comme suit :
 - a) si la RFU antérieure est assez forte pour combler l'insuffisance des précipitations : $ETR = ETP$
 - b) si la RFU est insuffisante pour satisfaire l'évapotranspiration potentielle : $ETR = P + RU$
- Le déficit d'eau que l'on appelle parfois le déficit agricole égal à la différence entre l'évapotranspiration potentielle et l'évapotranspiration réelle

$$DA = ETP - ETR$$

Tableau. III.9 : Résultats de calcul de l'évapotranspiration réelle selon Thornthwaite (station barrage El-Agrem 2002-2015).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	T
P	73.87	108.20	153.10	197.51	167.46	157.02	128.25	85.29	44.88	13.81	0.96	9.28	1139.64
ETP	104.89	72.32	49.47	28.79	26.94	26.43	36.18	51.44	68.86	101.50	130.37	134.69	831.88
P-ETP	-31.02	35.88	110.56	168.72	140.52	130.59	92.07	33.85	-18.98	-87.69	-129.41	-125.49	/
RFU	0	35.88	100	100	100	100	100	100	81.02	0	0	0	/
ETR	73.87	72.32	49.47	28.79	26.94	26.43	36.18	51.44	68.86	94.83	0.96	9.28	539.37
DA	31.02	0	0	0	0	0	0	0	0	6.67	129.71	125.41	292.81
EX	0	0	46.44	168.72	140.52	130.59	92.07	33.85	0	0	0	0	/

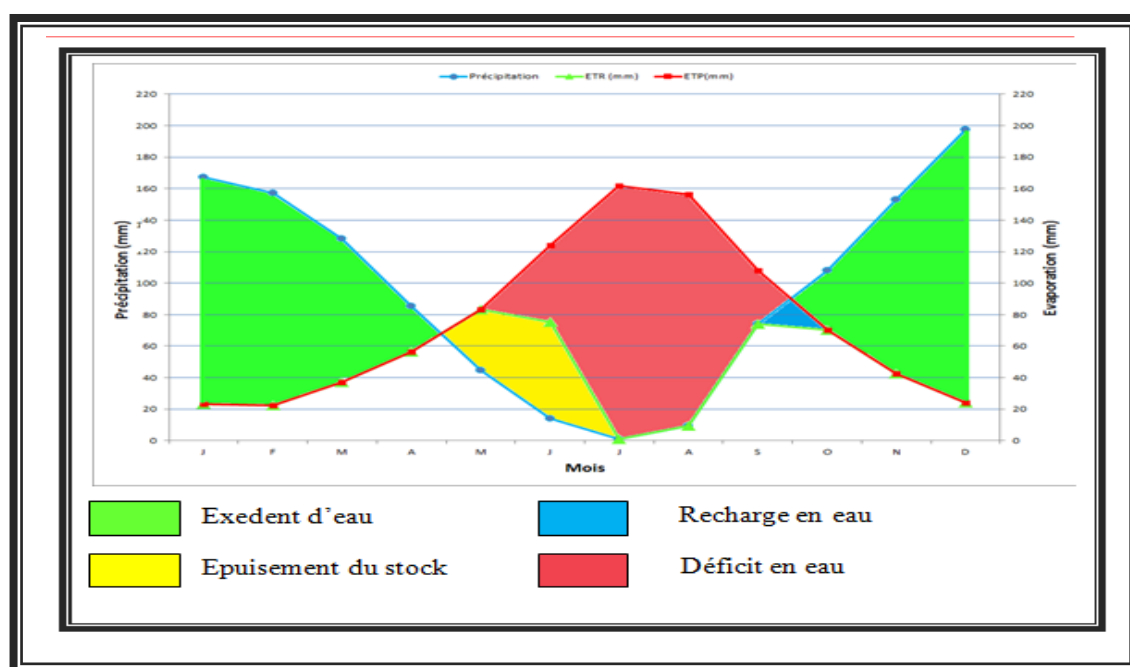


Fig.III.5: Bilan hydrologique par la méthode de Thornthwaite.

Le graphique du bilan hydrologique représenté permet de déduire les points suivants:

La période hivernale s'étale du mois d'octobre au mois d'avril, dans cette période les précipitations liquides sont très abondantes et sont supérieures à l'évapotranspiration. Les pluies tombées vont en premier lieu pour recharger les réserves, 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 sèche s'étale début de mai au mois de septembre, c'est une période déficitaire en eau où les précipitations sont pratiquement nulles, l'évapotranspiration est élevée, les infiltrations sont d'ailleurs nulles, les réserves sont épuisées et les ruissellements sont asséchés,

avec ces conditions les terrains ne glissent pas immédiatement, mais plutôt c'est la résistance des sols qui croit.

III.4.4. Estimation du ruissellement et de l'infiltration

Pour le calcul des ruissellements et des infiltrations on utilise :

Evapotranspiration potentielle. ETP =831.88mm.

Précipitations moyennes annuelles. P =1139.64mm.

Lame évapotranspirée ETR =539.37mm.

III.4.4.1. 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;

ETP : évapotranspiration potentielle.

Le résultat obtenu est : $R = (1139.64)^3 / 3$ **R = 0.492 m** donc : **R = 492 mm**

$$R\% = \frac{(R * 100)}{P} = \frac{492 * 100}{1139.64} = 43.19\%$$

La valeur du ruissellement (R) obtenue est de **492 mm** qui représente 43% des précipitations.

III.4.4.2. Infiltrations

L'infiltration représente la quantité d'eau qui pénètre dans le sol et le sous sol, elle alimente les eaux souterraines, eau de rétention, écoulement hypodermique, écoulement souterrain et la reconstitution des réserves aquifères.

Elle est estimée à partir de la formule du bilan hydrologique :

$$P = ETR + R + I \quad \text{Avec;} \quad I = P - (ETR + R)$$

$$I = 1139.64 - (492 + 539.37)$$

$$I = 108.27 \text{ mm}$$

$$I\% = 9.5\%$$

On obtient alors une quantité d'eau infiltrée qui représente 9.5% des précipitations.

III.5. Conclusion :

Au regard des résultats du bilan hydrologie calculé. Nous observons que pour les eaux de pluie enregistrées au niveau du bassin 9.5% s'infiltrent. Environ 43% des eaux tombées partent rejoindre la mer par ruissellement et 47.5% s'évaporer.

III.6.Contexte hydrogéologique

La perméabilité des différentes formations existantes dans notre région d'étude est donnée dans le tableau ci-dessous, extrait des travaux de *Tekkouk (2005)* :

Tableau .III.9: Perméabilité des différentes formations de la région d'étude.

Formations lithologiques		perméabilité
Superficielle	Argiles, limon	impermeables
	argile, sable +bloc	semi-perméables
	Argiles+Sables	semi-perméable
	Alluvions	perméables interstice
Profonde	Grés	perméable
	Schistes	semi-perméable
	Marnes, argile	impermeable
	Poudingue, brèches	semi-perméable

Deux unités hydrogéologiques ou systèmes aquifères bien nets peuvent être distinguées :

a) Système aquifère amont

Il s'agit de réservoir qui constitue toute la partie amont du bassin versant. Il est constitué par toutes les formations des Olistostromes, du socle Kabyle et les formations de type flysch.

Ce type de réservoir se caractérise essentiellement par la perméabilité en grand de ses différentes formations.

L'abondante fracturation (microfissures, microfissures et diaclases) et les joints de stratification des différentes formations géologiques assurent un rôle hydrologique très important. Ils peuvent en certains endroits provoquer des pertes.

b) Système aquifère aval

On peut aussi l'appeler réservoir à porosité inter-granulaire ou d'interstice, plaine ou nappe alluviale tout simplement. Il englobe toute la partie avale du bassin. Les formations qui le constituent sont essentiellement de nature détritique (consolidées ou non) et que nous avons regroupé (pour l'essentiel) sous l'appellation de formations superficielles

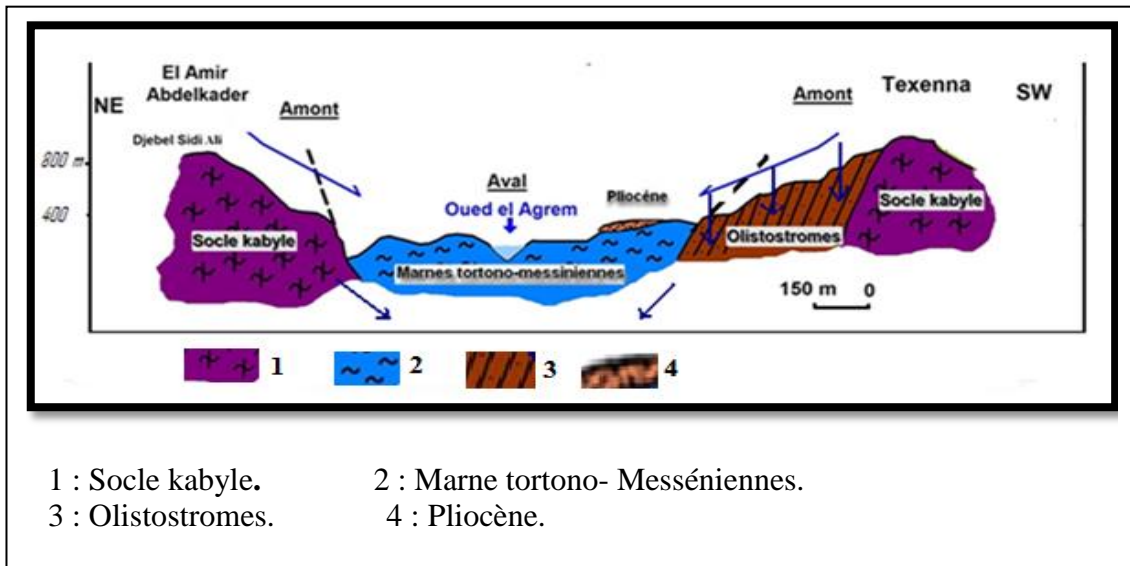


Fig.III.6: Relation Amont -aval des systèmes aquifères du sous bassin versant d'El Agrem (Tekkouk, 2005).

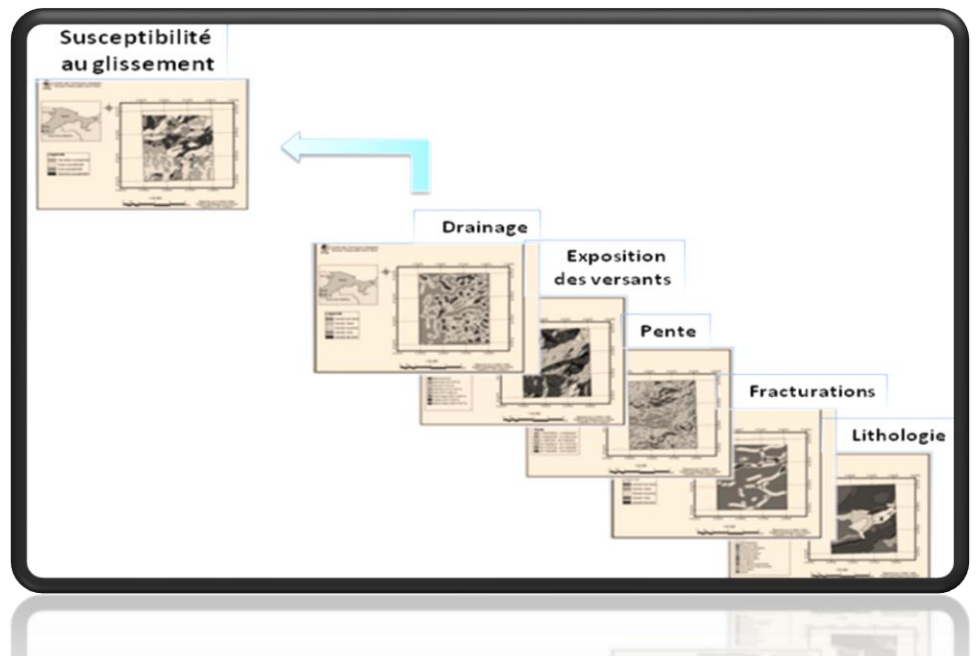
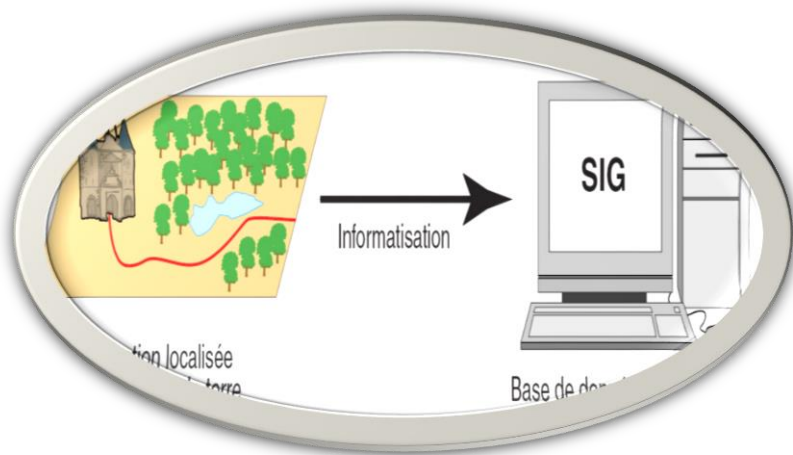
Deuxième partie

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

V. Description du glissement de terrain de la nouvelle daïra.

Chapitre IV

Elaboration du SIG glissement de terrain de la région d'étude



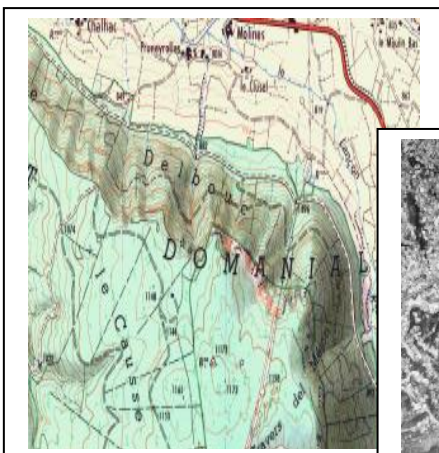
Système d'information géographique

IV.1.Rappel

IV.1.1.Définition du système d'information géographique

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

Image scannée



Ortho photos aérienne

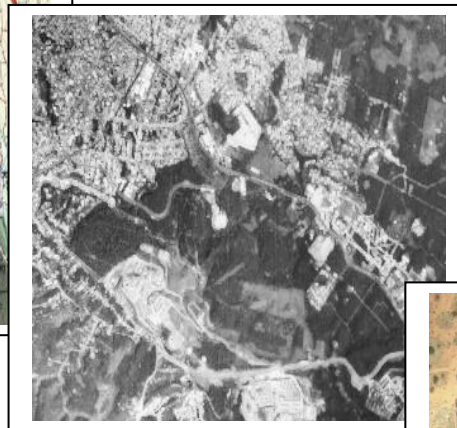


Image satellitaire



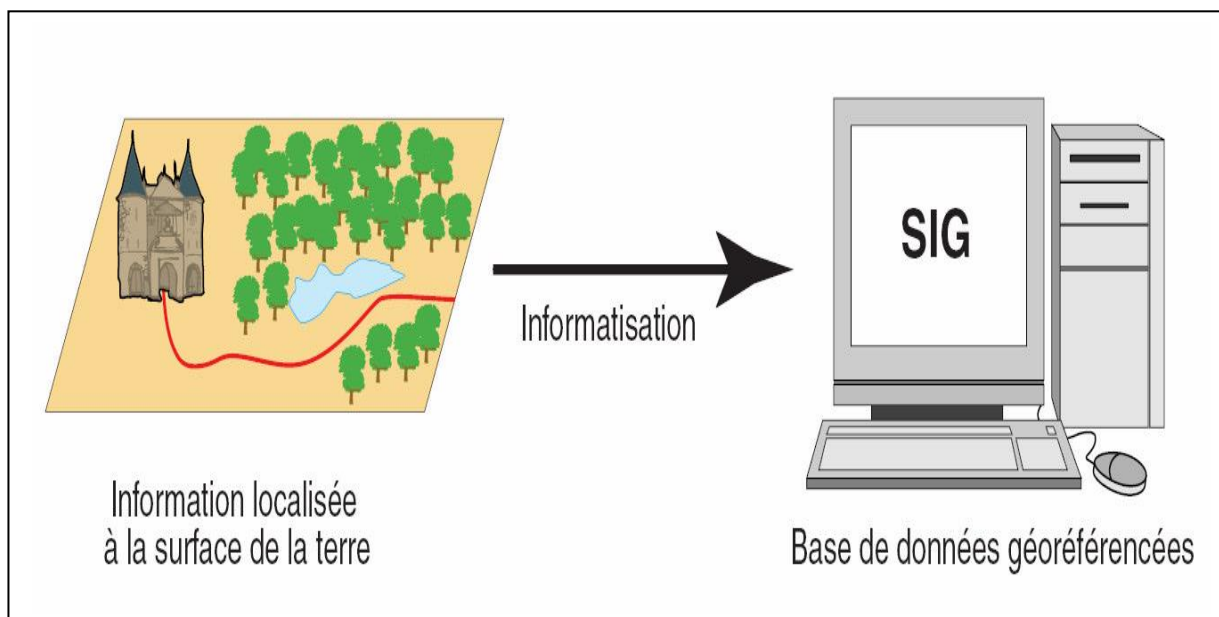


Fig. IV .1: Photo illustre le système d'information géographique.

IV.1.2. Définition de quelques notions :

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

IV.1.3. Modes de représentation de l'information géographique dans un SIG :

IV.3.1.1. Données vectorielles :

Les limites des objets spatiaux sont décrites à travers leurs constituants élémentaires, à savoir les points, les arcs, et les arcs des polygones. Chaque objet spatial est doté d'un identifiant qui permet de le relier à une table attributaire (*Fig. IV.2*).

❖ points:

Ils définissent des localisations d'éléments séparés pour des phénomènes géographiques trop petits pour être représentés par des lignes ou des surfaces qui n'ont pas de surface réelle comme les points cotés.

❖ lignes:

Les lignes représentent les formes des objets géographiques trop étroits pour être décrits par des surfaces (ex : rue ou rivières) ou des objets linéaires qui ont une longueur mais pas de surface comme les courbes de niveau.

❖ polygones:

Ils représentent la forme et la localisation d'objets homogènes comme des pays, des parcelles, des types de sols. (*Habert, 2000*)

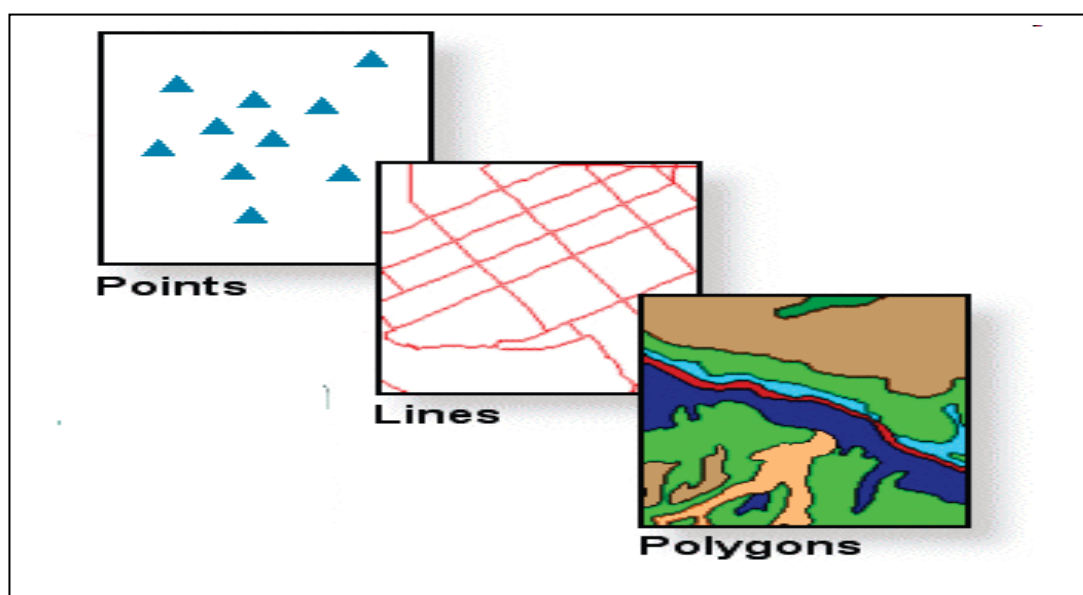


Fig. IV.2: Les données vectorielles.

IV.1.3.2 Données raster :

La réalité est décomposée en une grille régulière et rectangulaire, organisée en lignes et en Colonnes, chaque maille de cette grille ayant une intensité de gris ou une couleur. La Juxtaposition des points recrée l'apparence visuelle du plan et de chaque information. (*Fig. IV.3*)

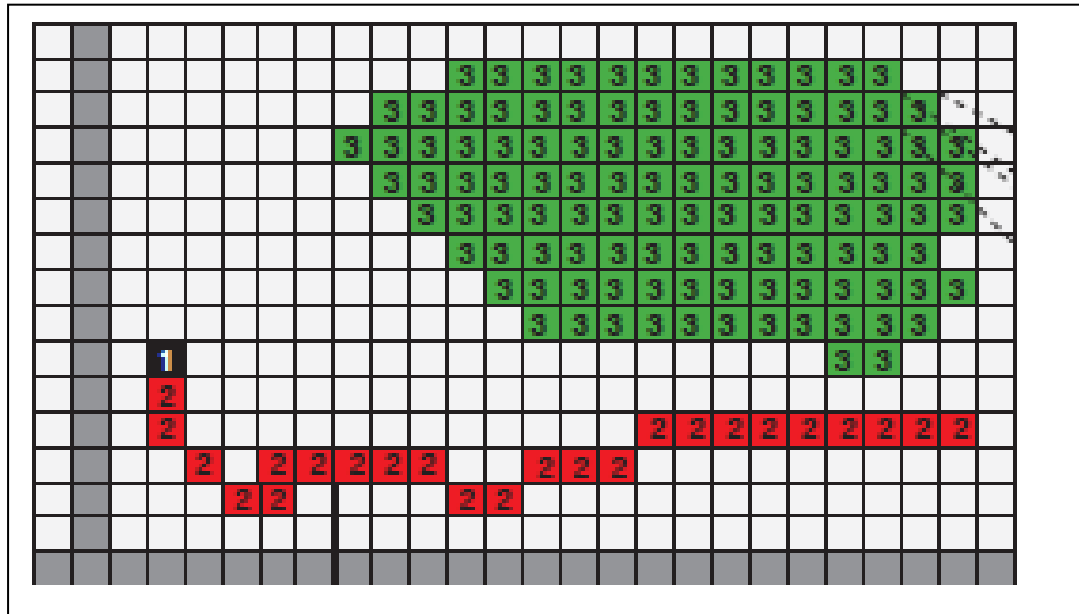


Fig .IV .3 : Exemple des données raster.

IV.1.4.Intérêt du SIG :

- Les informations sont stockées de façon claire et définitive.
- Gérer une multiplicité d'informations attributaires sur des objets
- Comprendre les phénomènes, prévoir les risques (simulations)
- Etablir des cartographies rapides
- Localiser dans l'espace et dans le temps
- Réagir rapidement après des évènements ayant un impact sur le territoire
- Calculer des coûts ou des bénéfices
- Associer un plus grand nombre de partenaires aux choix d'aménagement
- fournir des itinéraires, des plans adaptés (*Habert, 2000*)

Il permet aussi :

- De Convertir les objets graphiques d'un système à un autre.
- De Faciliter la superposition de cartes de sources différentes.
- De Disposer les objets dans un système de référence géoréférencé.

IV.2 .Elaboration du SIG glissement de terrain de la région d'étude :

La commune de Texenna est située dans une région montagneuse du Nord- Est de la wilaya de Jijel. Sa morphologie la rend exposée à un fort potentiel d'aléa glissements de terrain, contrôlé par l'action conjuguée de différents facteurs géologiques, géomorphologiques, structural et hydrique, etc. Pour l'évaluation de l'alea relatif aux glissements de terrains dans cette région, nous avons réalisé un inventaire détaillé des masses instables en utilisant des photos satellites, des images de Google Earth.et des visites de cartographie géologique sur le terrain. Cet inventaire comprend la géologie détaillé, les glissements (lithologie, type, pente, volume, historique), les précipitations, la morphologie (MNT),...etc.

Les informations recueillis ont été introduit dans un logiciel de système d'information géographique ArcGis 10 qui fait des traitements automatisés à partir de données de bases, permettant de produire de l'information, de l'organiser, de le représenter. Nous avons obtenu une carte d'alea ou cette dernière varie de très fort à faible.

Dans ce travail, nous proposons une méthodologie cartographique pour les zones exposées à l'aléa glissement de terrain, en se basant sur des données satellitaires, topographiques, géologiques et climatiques. Le SIG développé nous a permis de superposer et d'analyser plusieurs facteurs, tels que la lithologie, l'altitude, la pente, l'exposition du versant, le réseau hydrographique, la direction et l'accumulation de flux, et en déduire par la suite la carte de l'aléa glissement de terrain de la commune de Texenna. Celles-ci pourraient constituer un document de base pour les planificateurs et les décideurs dans l'aménagement futur de la région (*Fig. IV .4*).

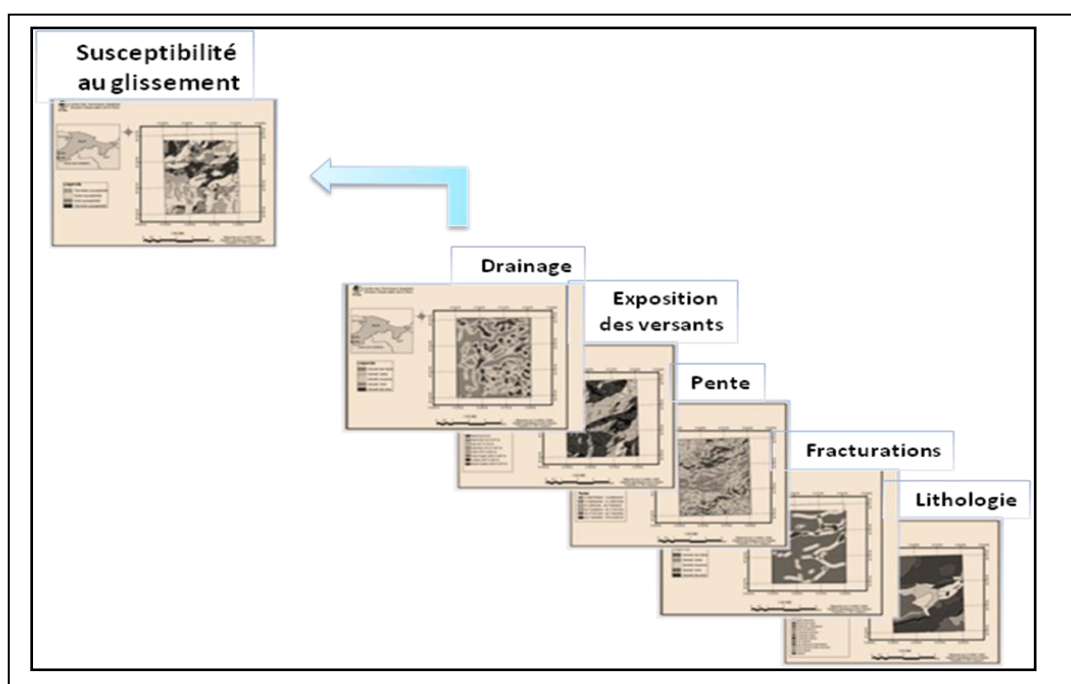


Fig .IV .4: Différentes couches des données dans le modèle d'évaluation de l'aléa.

IV.2.1. Acquisition des données :

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

Ces différentes couches (Basiques et dérivées) sont utilisées dans la modélisation en fonction de certains critères pour définir un modèle logique qui conduit à la production d'un produit final interprété par la carte d'aléa.

IV.2.1.1. Données de base utilisées :

Les cartes de base se composent de la couverture topographique, géologique (géoréférencée), MNT et Séquences satellitaires.

➤ **Carte satellitaire :**

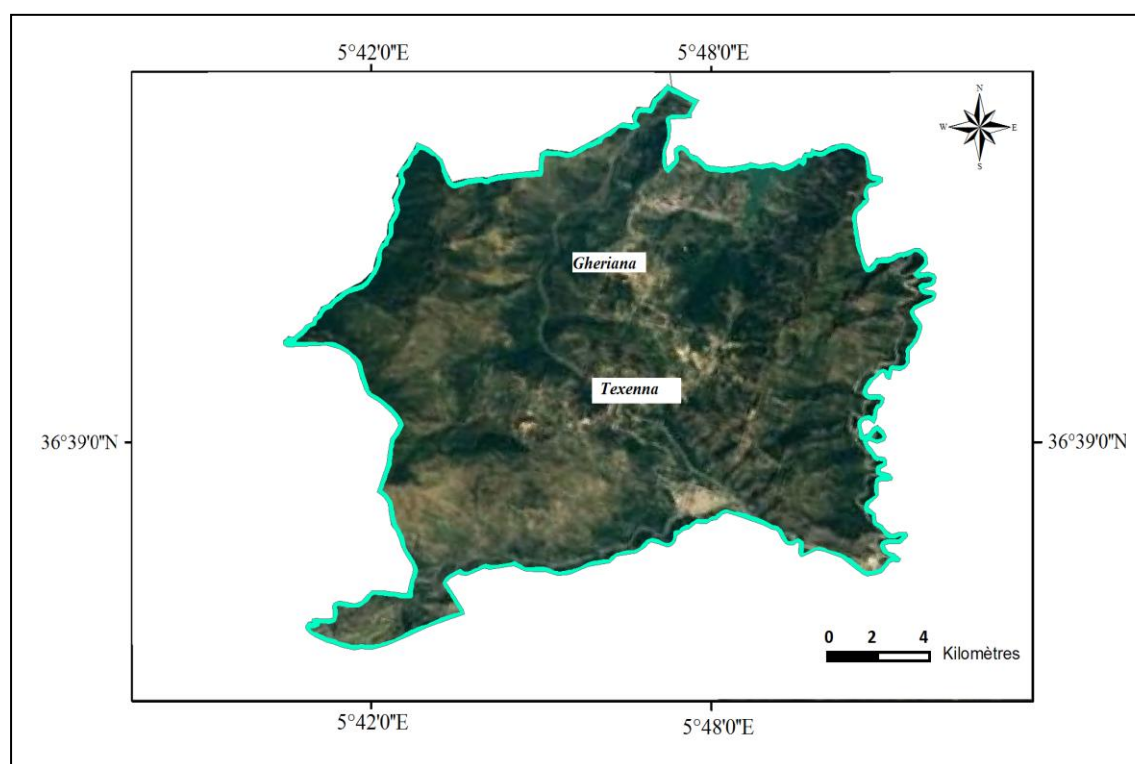


Fig. IV.5:Image satellitaires de la commune de Texenna.

➤ **Carte lithologique de la commune de Texenna:**

La nature du sol constitue un facteur de prédisposition au glissement de terrain. Nous avons réalisé une carte lithologique de notre zone d'étude en utilisant le logiciel Arc Gis 10.2.2 Nous avons Scanné et géoréférencé dans le système de coordonnées (WGS84 UTM N31) (*Fig. IV.8*).

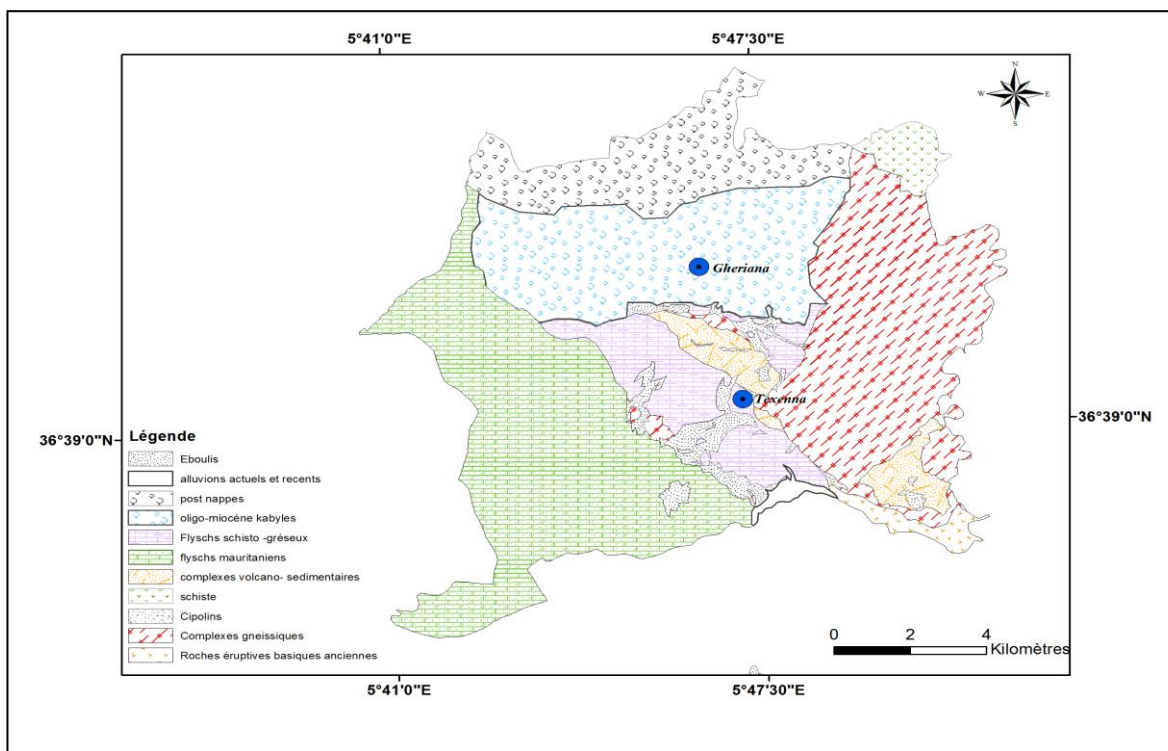


Fig.IV.6: Carte lithologique de la commune de Texenna.

➤ **Carte M.N.T (Modèle Numérique de Terrain) de la région d'étude:**

C'est une carte satellitaire qui représente les altitudes (**Fig. IV.7**). La couleur bleue caractérise les hautes altitudes, la couleur marron correspond aux altitudes les plus basses, et les tendances du jaune représentent les altitudes comprises entre les deux classes précédentes.

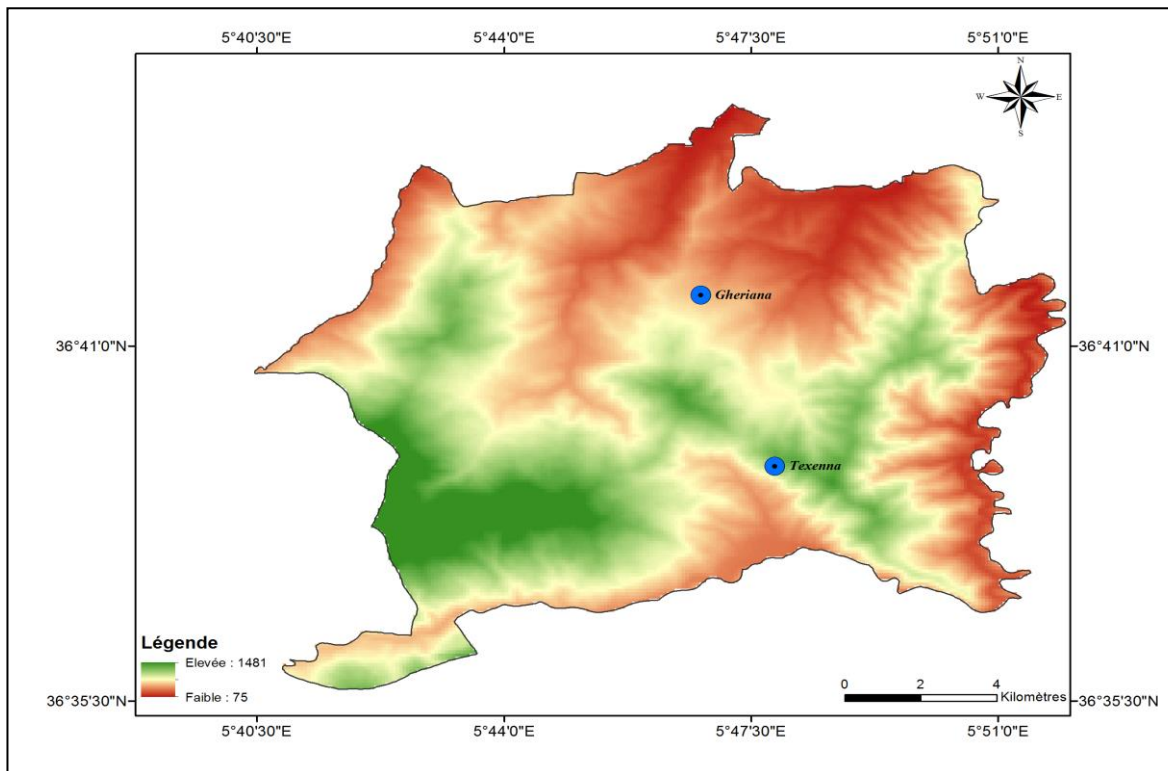


Fig.IV.7 : Carte MNT de la région d'étude.

IV.2.1.2. Cartes dérivées :

A partir du model numérique de terrain (MNT), les cartes suivantes ont été dérivées :

➤ **Création des courbes de niveau**

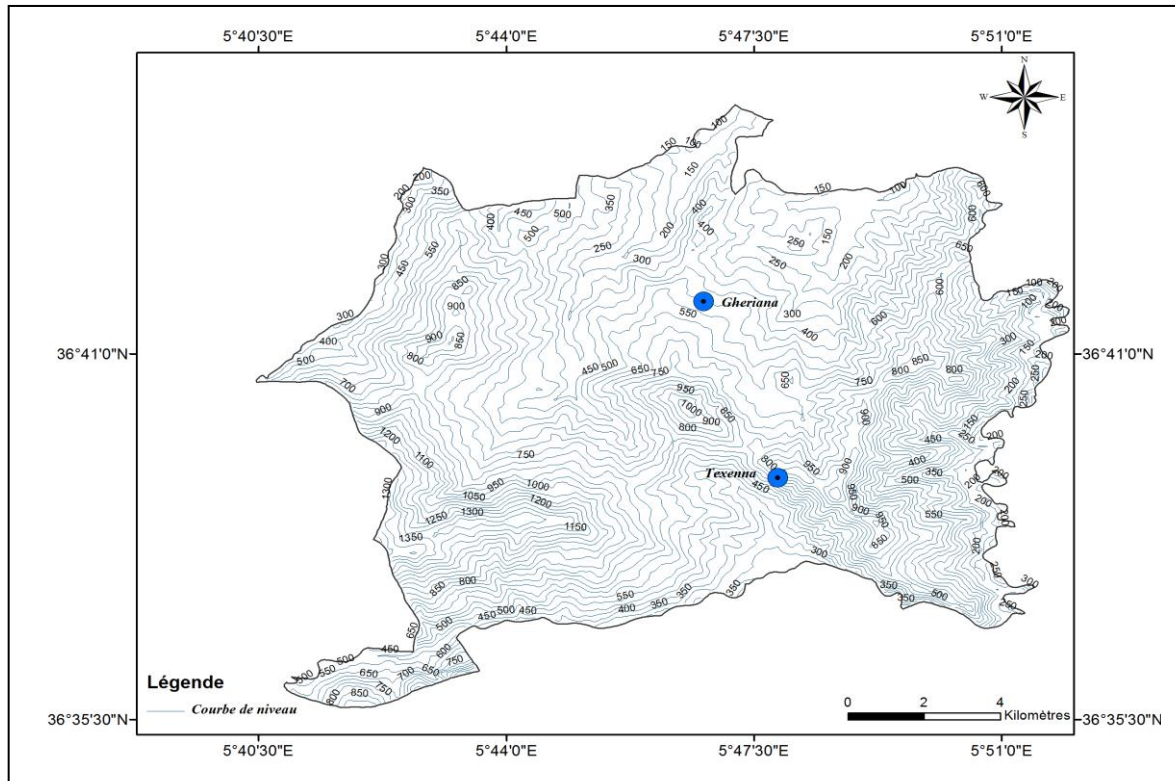


Fig. IV.8: Carte des courbes de niveau de la commune de Texenna .

➤ **Carte d'Altitudes de la commune de Texenna:**

La carte d'élévation a été extraite du model numérique de terrain. A partir des courbes de niveau on peut classer notre zone d'étude entre 77 et 1452m (*Fig.IV.9*).

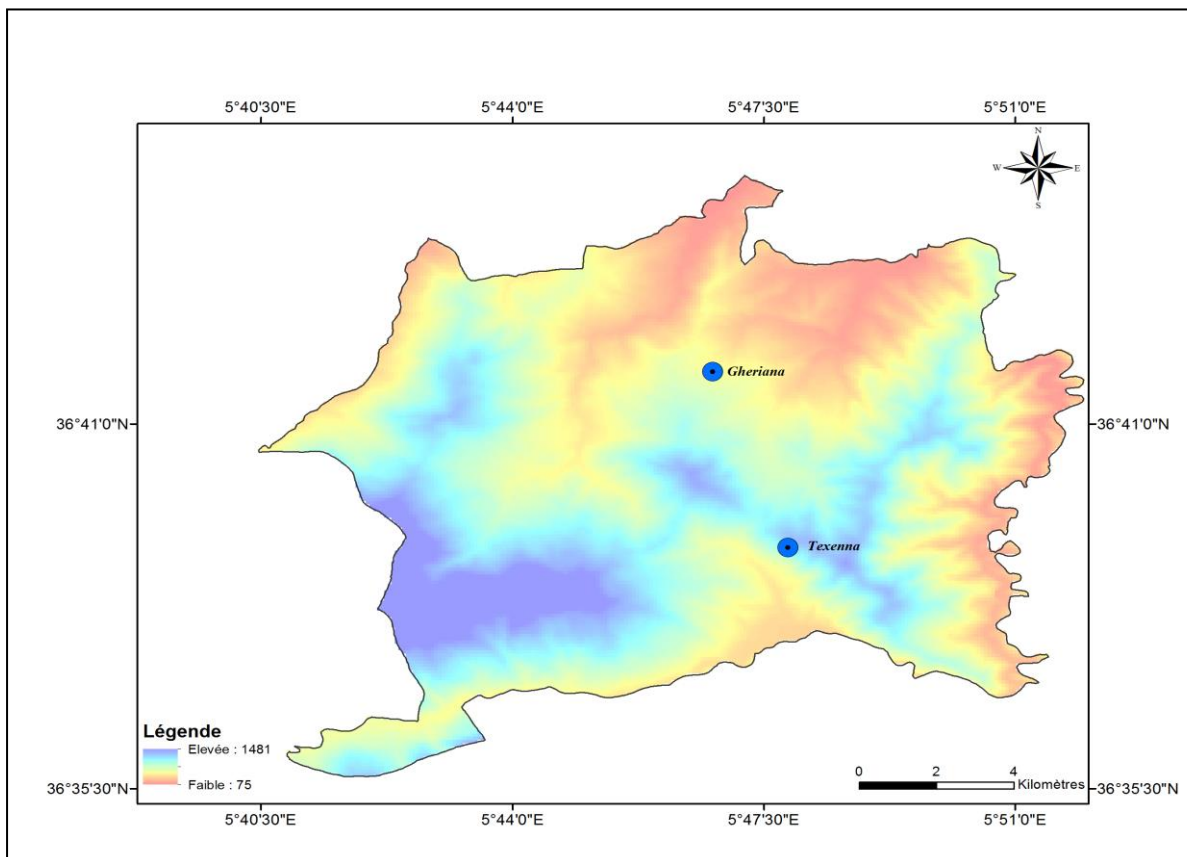


Fig. IV.9 : Carte d'altitudes de la commune de Texenna.

➤ **Carte des pentes de la commune de Texenna:**

La pente constitue un facteur très important dans la susceptibilité des sols aux glissements de terrain. La carte des pentes a été extraite du MNT (*Fig. IV.10*). La carte des pentes de la région d'étude montre cinq zones dont la pente varie de 0° à plus de 60° , on remarque que la région est caractérisée par une variation des classes. La partie Nord Est de la zone d'étude présente des pentes allant de 45° à 60° .

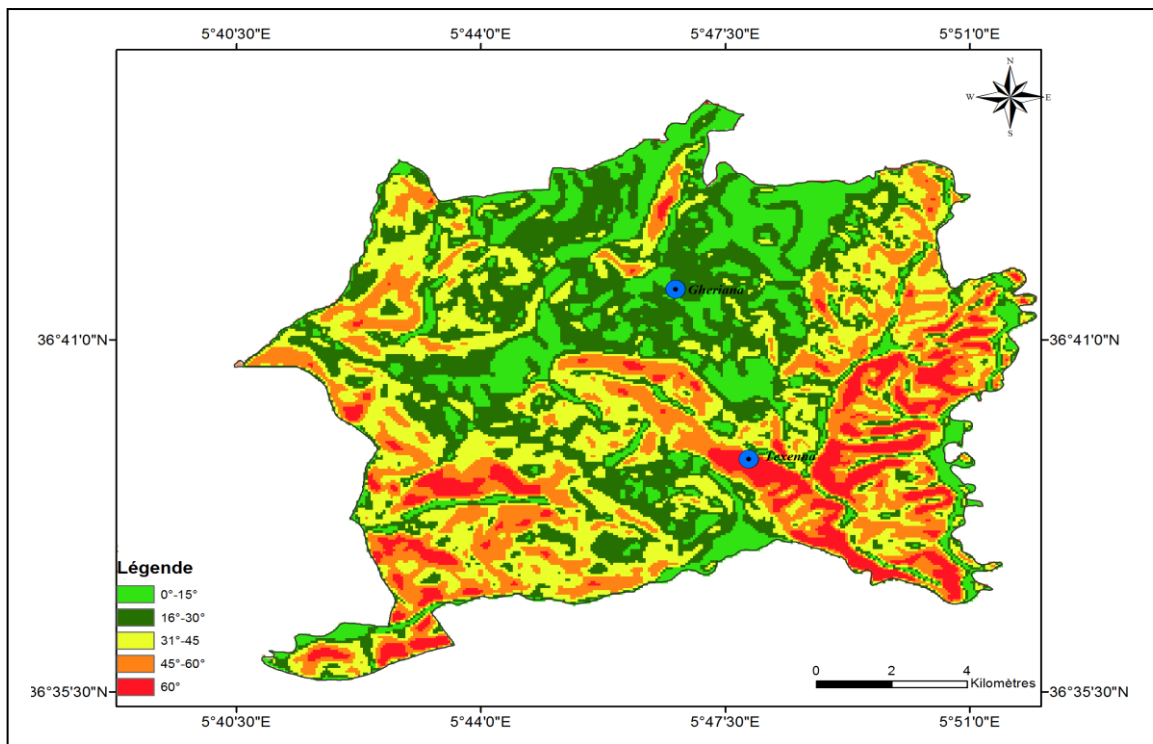


Fig. IV.10: Carte des pentes de la commune de Texenna.

➤ **Cartes de directions et d'accumulations de flux hydrologique de la commune de Texenna :**

La création des cartes de direction et d'accumulation du flux hydrologique (**Fig. IV.11**) et (**Fig. IV.12**) à partir du modèle numérique de terrain (MNT). Ces deux cartes permettent de réaliser la carte du réseau hydrographique de la région d'étude.

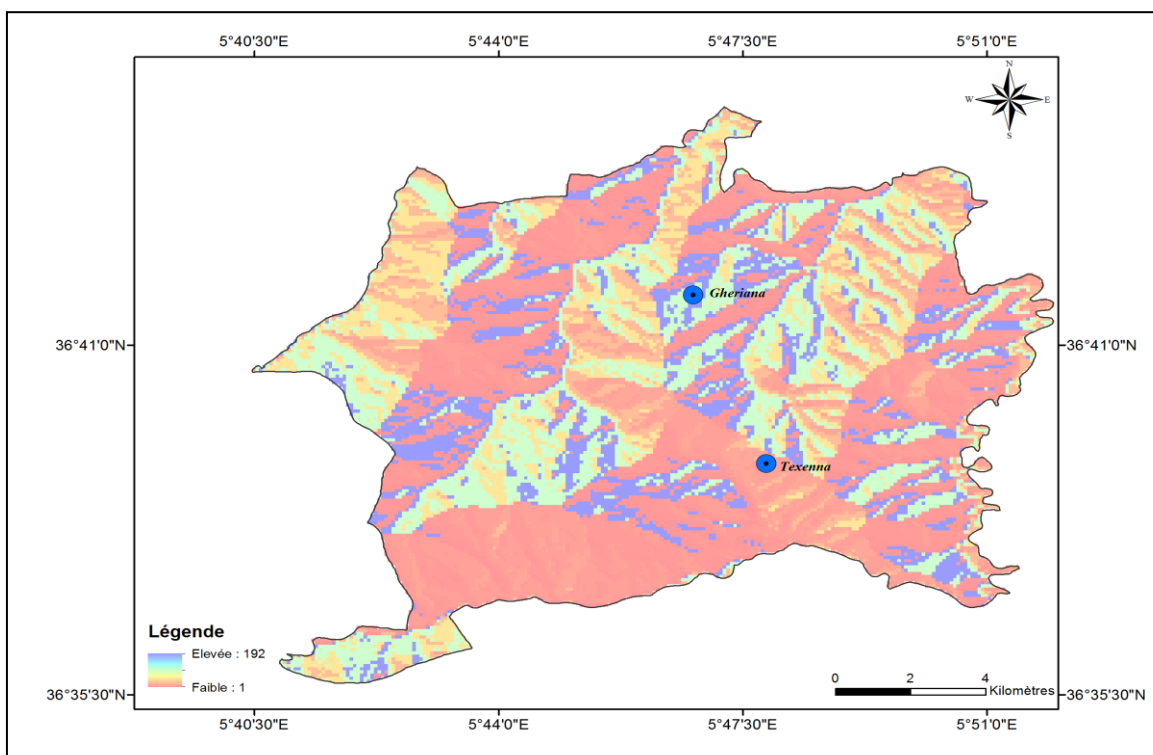


Fig. IV.11: Carte de direction de flux de la commune de Texenna.

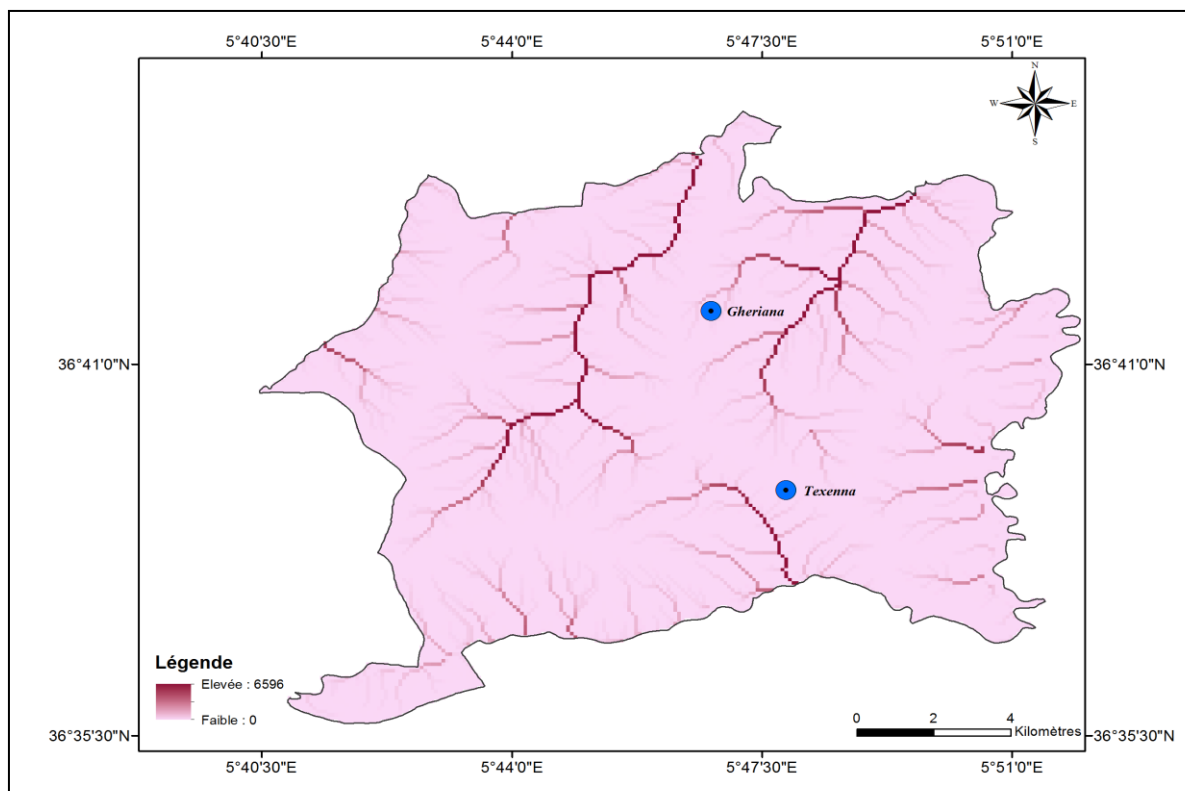


Fig. IV.12: Carte d'accumulation des eaux de la commune de Texenna.

➤ **Carte du réseau hydrographique de la commune de Texenna:**

Réalisée dans le but de localiser les lieux de concentration des eaux d'écoulement, un modèle de drainage a été réalisé sous ArcGis à partir du MNT (*Fig. IV.13*). Cette carte permet de constater que la région d'étude présente un réseau hydrographique très dense, constitué pour la plupart par des oueds à régime permanent.

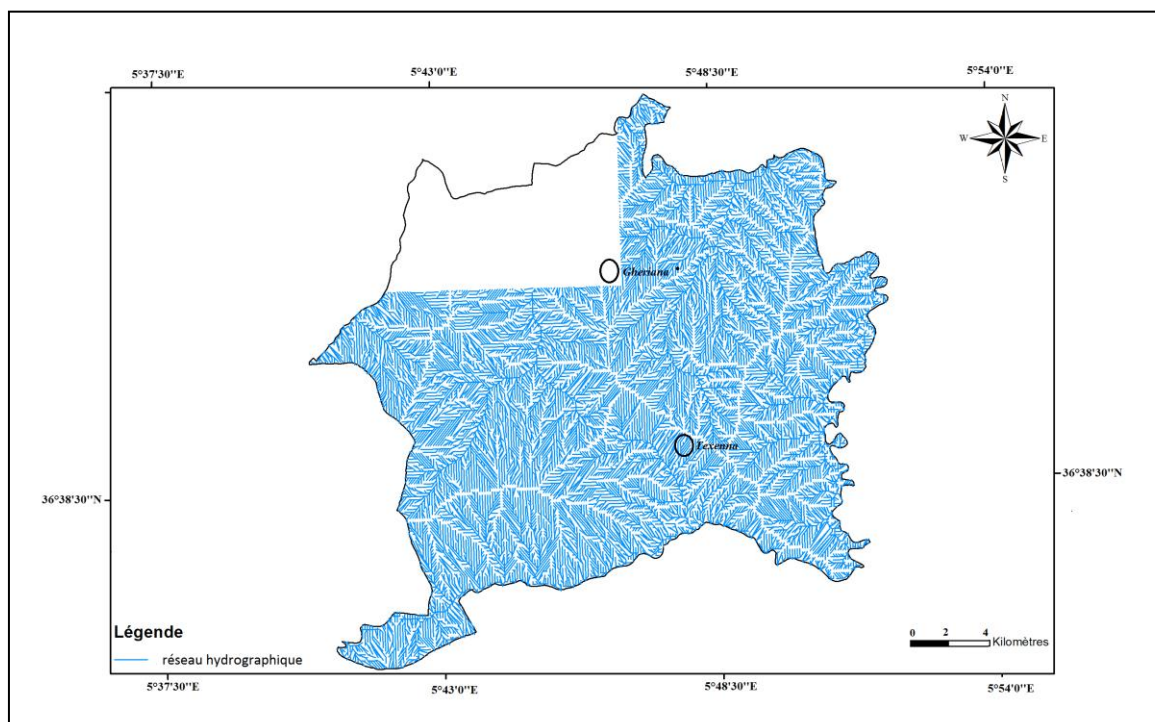


Fig. IV.13: Carte du réseau hydrographique de la commune de Texenna.

➤ **Carte d'exposition des versants de la commune de Texenna :**

C'est une carte dérivée du MNT (Modèle Numérique de Terrain) avec la fonction « Aspect » d'Arc Gis (10.2.2). 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 359,9 degrés, à partir du Nord dans le sens horaire. Cette variable circulaire est représentée en 8 classes. Les classes les plus répandues sont : Nord, Nord-Est et Sud-Ouest.

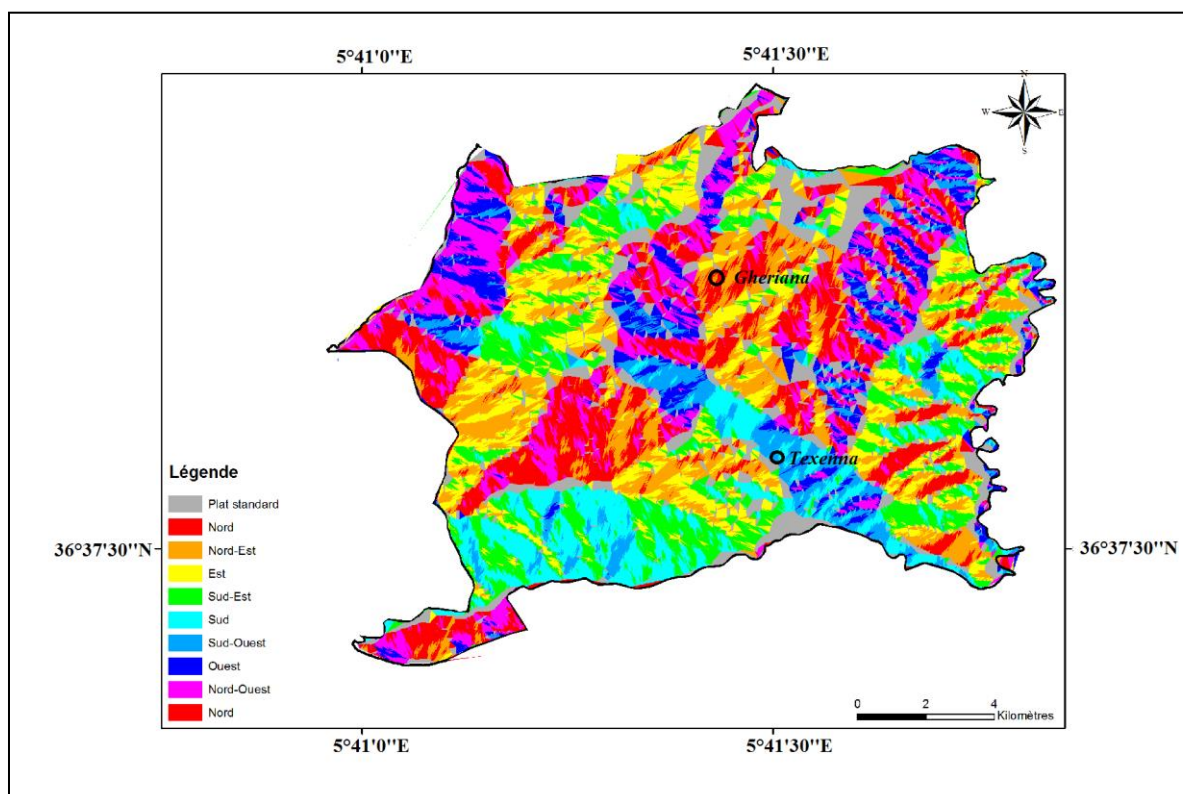


Fig. IV.14: Carte d'exposition des versants de la commune de Texenna.

IV.3.Création de la carte d'aléa glissement de terrain de la commune de Texenna :

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

On a défini trois hiérarchies d'aléas –aléa fort, aléa moyen, aléa faible et aléa nul, (**Tableau IV.1**). Ces classes sont définies en fonction de l'intensité du phénomène et de sa probabilité d'apparition.

Tableau .IV.1 : Qualification des classes d'aléa.

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

Tableau .IV.2. Susceptibilité des différentes couches lithologiques en fonction de leurs faciès

Facès	Susceptibilité aux éboulements	Susceptibilité aux glissements de terrain
Roches éruptives	3	1
Schistes	1	3
Eboulis	3	1
Cipolin	3	1
alluvion	1	3

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 pour différentes conditions environnementales locales.

Le projet en question, a pour but d'évaluer la susceptibilité aux glissements de terrains dans la commune de Texenna. D'une manière générale un projet d'aléa géologique a pour objectifs de mettre en évidence les caractéristiques suivantes :

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

La carte ci-dessous (**Fig. IV.15**) a donné la susceptibilité aux glissements de terrain de notre zone d'étude. Dans cette carte on a basé sur 3 facteurs : La lithologie des formations .La pente et le réseau hydrographique .La combinaison sous ArcGis et suivant les règles de décision mentionnées(proposé) sur le **Tableau. IV.2** a permis de produire la carte de l'aléa glissements de terrain de la région d'étude.

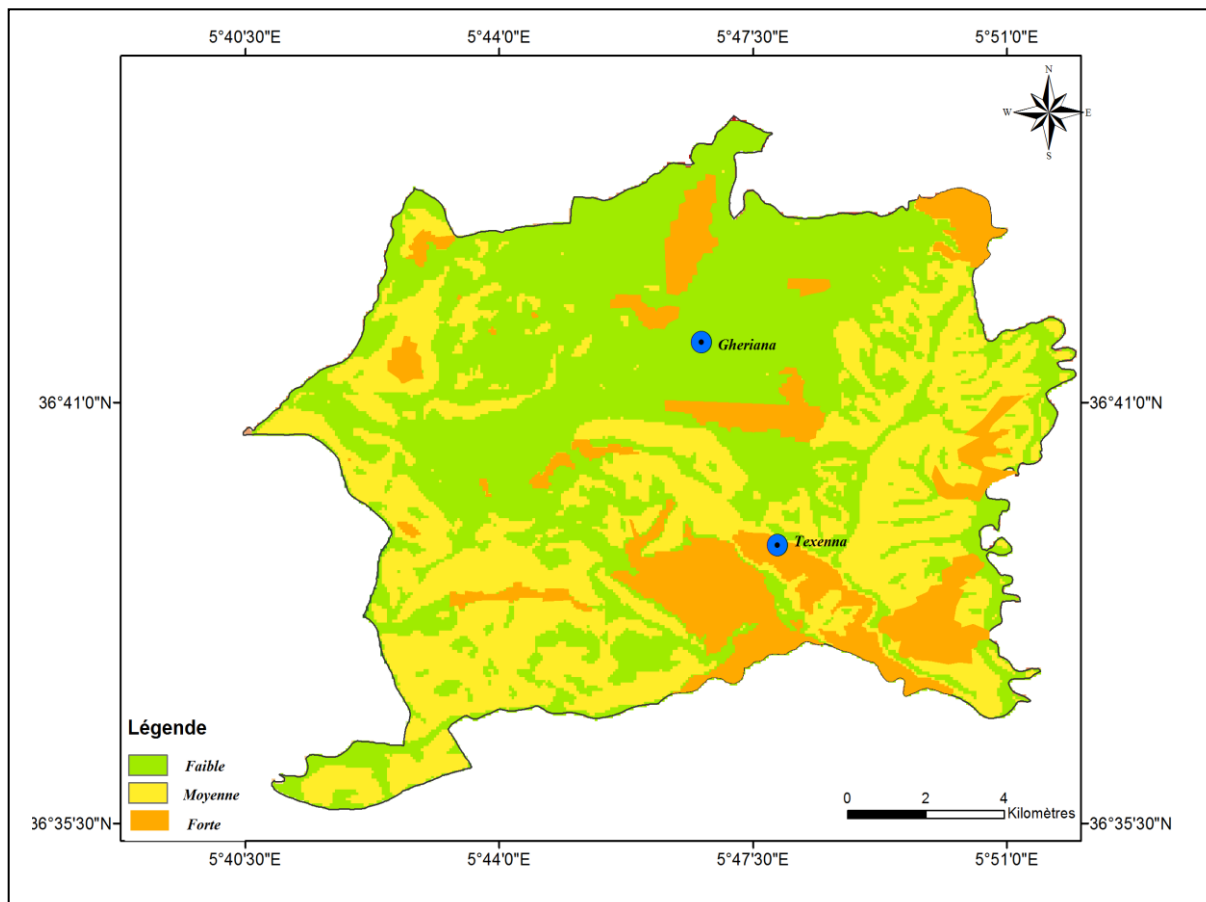


Fig. IV.15: Carte d'aléa glissement de terrain de la commune de Texenna.

IV.4. Création de la carte d'aléa mouvements de terrain de la commune de Texenna :

La combinaison sous Arc Gis de la carte d'aléa éboulements avec celle de glissements de terrain, nous a permis d'établir la carte d'aléa mouvements de terrain. (*Fig. IV.16*).

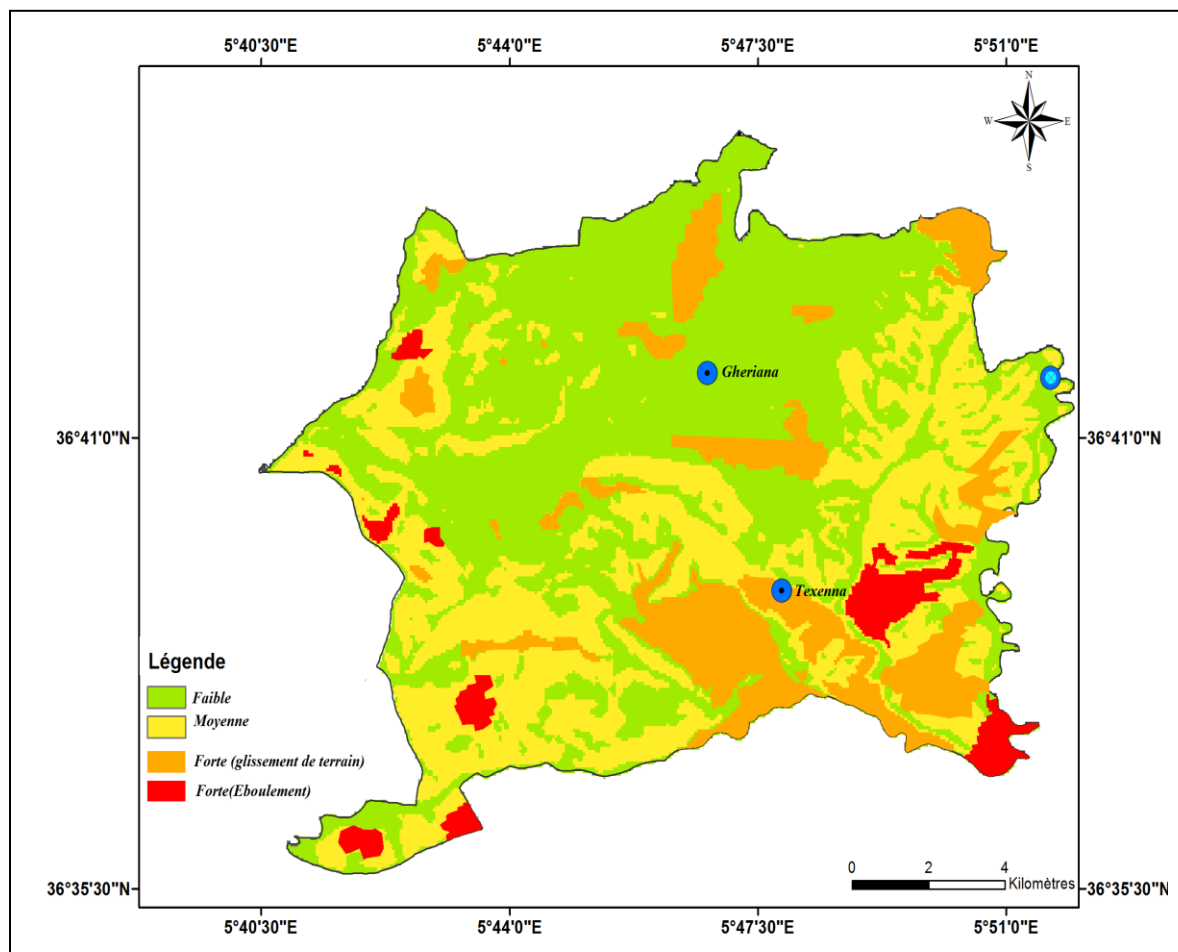


Fig. IV.16 : Carte d'aléa mouvements de terrain de la commune de Texenna.

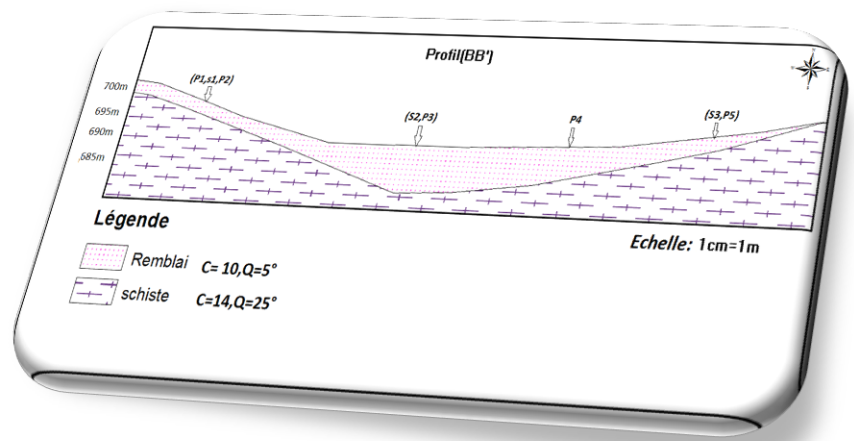
V.4.Conclusion :

La carte d'aléa glissements de terrain identifie tous les secteurs où les caractéristiques intrinsèques de l'environnement (caractéristiques géologiques et géomorphologiques) sont susceptibles de favoriser un glissement de terrain. La carte d'aléa glissement de terrain présente trois zones dont l'aléa varie du faible au fort. Les résultats de ce travail montrent l'intérêt de l'utilisation de la technologie des SIG dans l'évaluation de l'aléa glissements de terrain

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

Chapitre V

Description du glissement de terrain du site de la nouvelle daira de Texenna



V.1.Introduction

Les problèmes de stabilité de pentes qui se rencontrent dans la construction des ouvrages peuvent devenir instables et engendrent des problèmes d'instabilité qui peuvent être catastrophiques et provoquent des pertes en vies humaines ainsi que des dégâts matériels considérables.

Les glissements de terrains sont des mouvements de masse qui se développent dans des matériaux meubles. Le volume des glissements de terrain est très variable : de quelques mètres cube (loupe) à plusieurs millions de mètres cube (versant entiers). Les mouvements de terrains sont des phénomènes naturels conditionnés principalement par la nature lithologique, la pente et les écoulements d'eau dans les versants instables.

V.2 Localisation du site étudié

Le glissement de terrain du siège de la nouvelle daïra est situé au Nord-Est de la ville de Texenna. Ces coordonnées projetées sont :

- Méridiens : entre 749452m et 749493m.
- Parallèle : entre 4060949m et 4060989m.

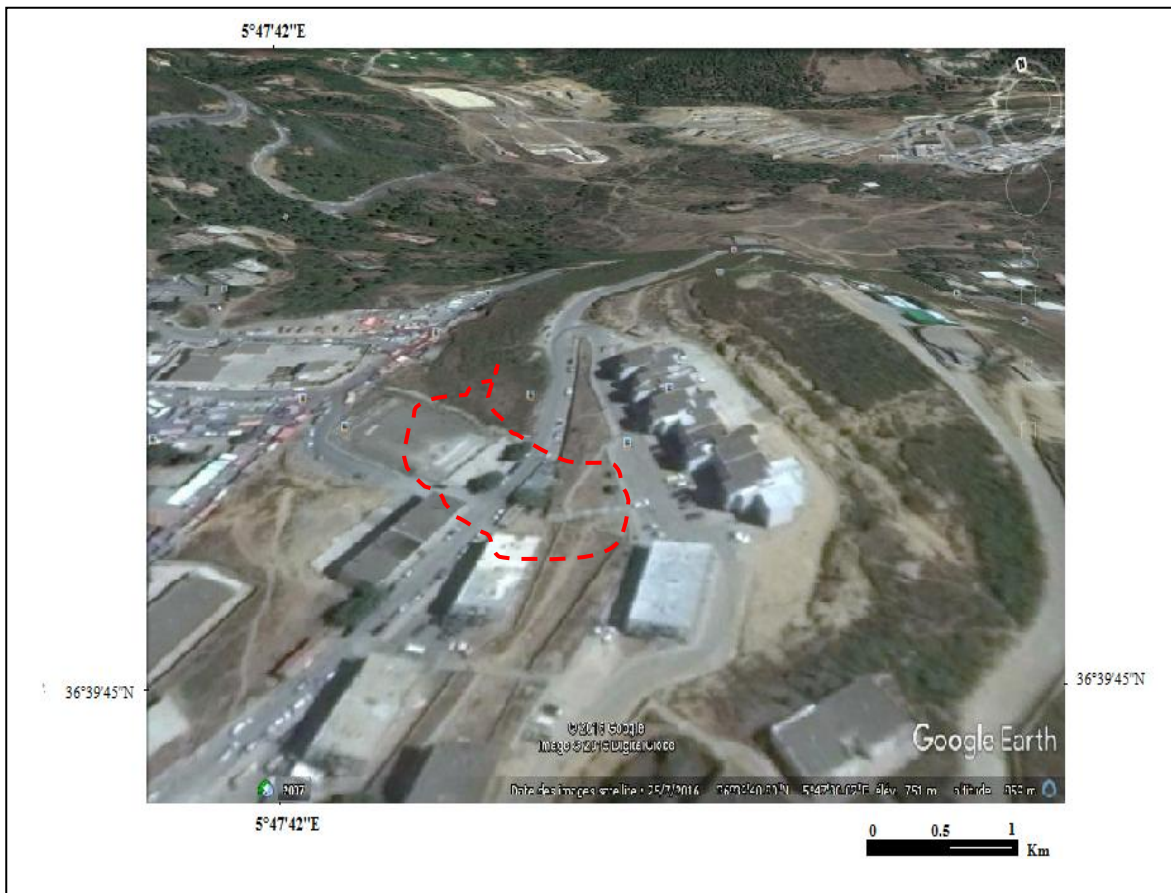


Fig.V.1 : Localisation du glissement étudié (Google Earth ,2017).

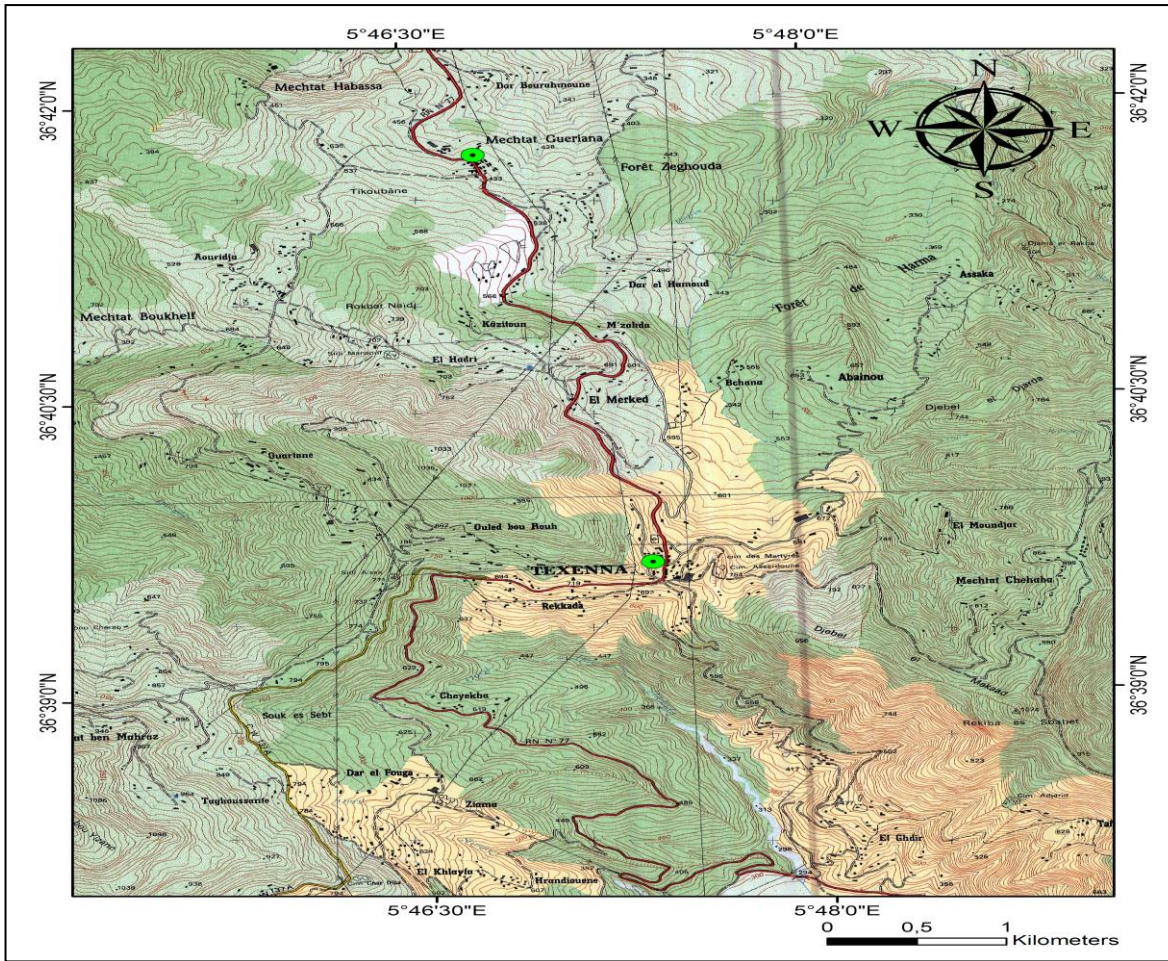


Fig.V.2 : Localisation de la zone d'étude (Extrait de la carte topographique de Texenna1/25.000).

V.3 Constatation des désordres

Les signes morphologiques de l'instabilité de terrain marquée(Fig.V.3) et (Fig. V.4) par :



Fig.V.3 : Niches d'arrachement.

Fig. V.4 : Déformation du gabionnage en amont de la route .

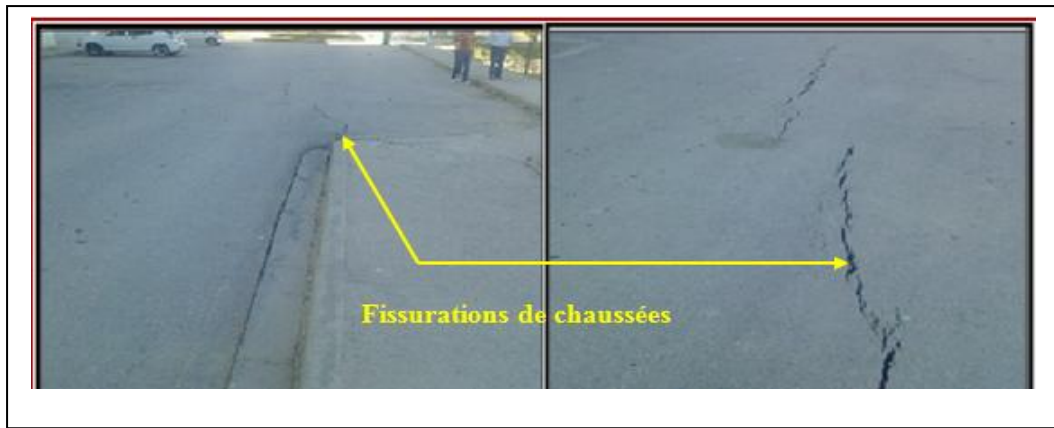


Fig. V.5 : Fissure de la chaussée dans le sens longitudinal

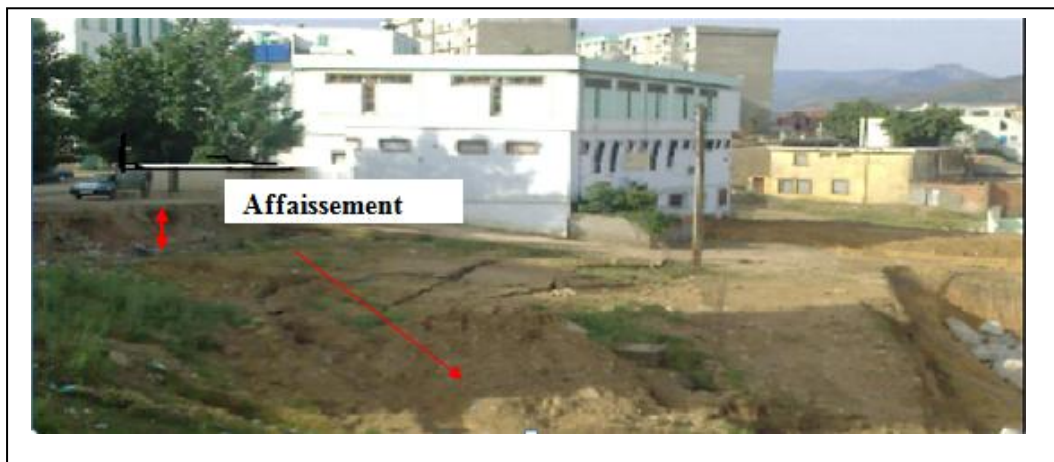


Fig. V.6 : Désordres affectant le glissement

V.4 Compagne de reconnaissance

Pour déterminer les caractéristiques des sols, le laboratoire de géologie et de géotechnique BOUIBAOUNE Lakhdar (L.G.G Sétif, 2012) a organisé une campagne d’investigation comprenant :

- Deux (02) profils de tomographie
- Sept (07) sondages carottés de 15,00 m de profondeur. Des échantillons de sol ont été récupérés et transférés au laboratoire pour identification et analyses.

La carte ci-dessous (*Fig. V.7*) représente l’implantation des différents essais de reconnaissance

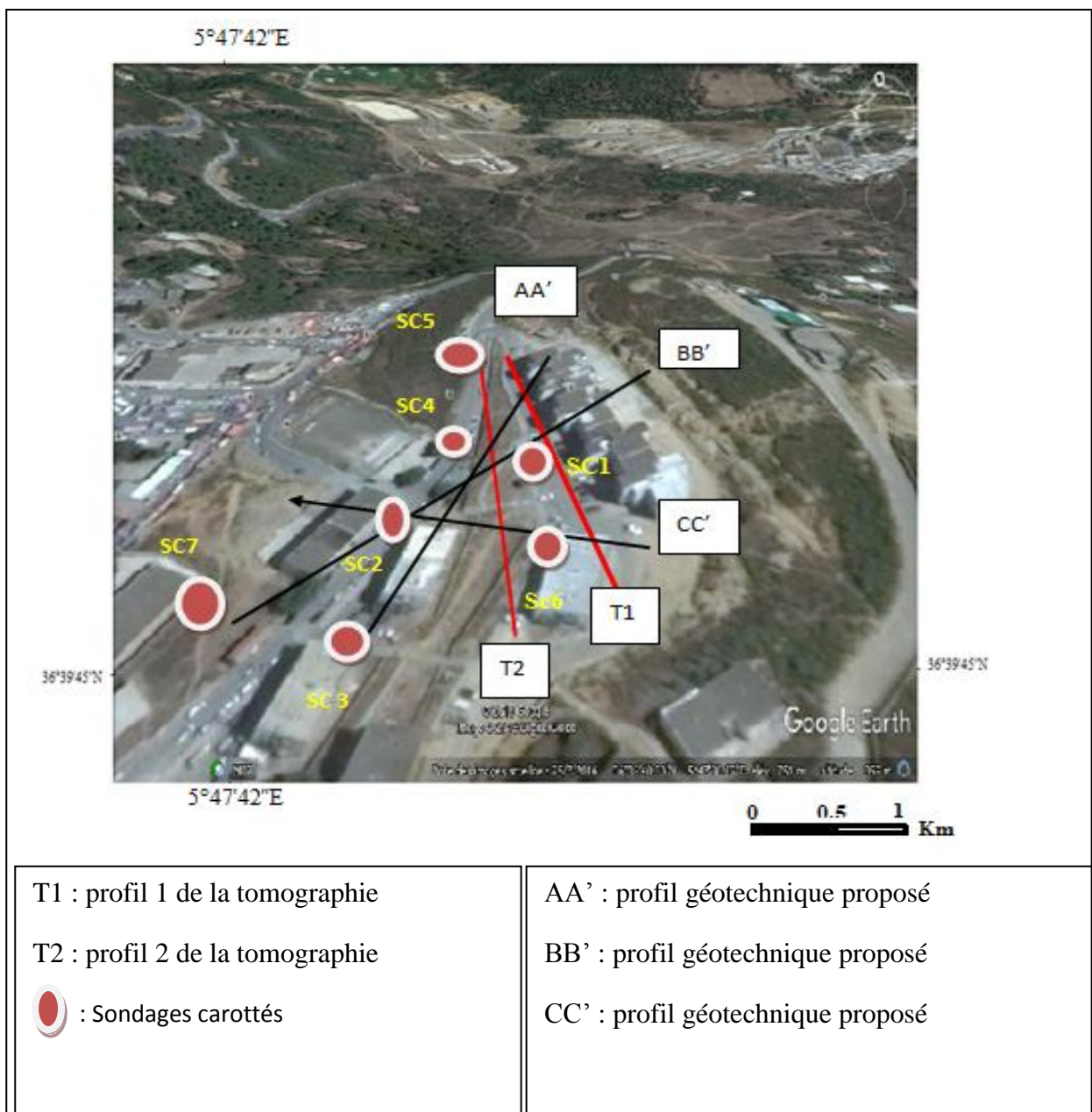






Fig. V.7 : Carte d’implantation des différents sondages dans la zone d’étude.

V.4.1 Compagne de reconnaissance géophysique

L'étude géophysique a pour but de compléter, valider et vérifier les résultats obtenus par l'étude géologique et géotechnique. La méthode géophysique qui a été prévue est de la prospection électrique par la tomographie.

V.4.1.1 Définitions

- ❖ **Tomographie** est une technique d'imagerie, très utilisée géophysique, c'est une amélioration de trainé électrique classique et des sondages électriques verticaux. Cette technique permet de reconstruire le volume d'un objet à partir d'une série de mesures effectuées par tranche depuis l'extérieur de cet objet.
- ❖ **Prospection électrique** est une méthode géophysique classique s'appuyant sur la mesure de la résistivité électrique du sol. Elle permet de déterminer la résistivité du sous-sol à partir de mesures effectuées en surface.
- ❖ **Résistivité électrique** est la capacité d'un milieu à limiter le passage d'un courant électrique. elle se mesure en ohm mètre (Ωm). (*chalikakis, 2006*).
- ❖ **Matériel utilisé**

	
<p>Résistivimètre type SYSCAL R1+ Switch 24.</p>	<p>Booster (batterie)</p>
	
<p>Enrouleurs (Câbles) et accessoires</p>	<p>Electrodes d'injection (AB) et électrodes de mesure (MN)</p>

V.4.1.2 Etude géophysique de sub-surface à l'aide de la tomographie électrique (ERT ou Imagerie Electrique) du site de "la nouvelle daïra de Texenna"

Les pseudo-sections ont été établies avec le dispositif Schlumberger-Wenner, comprenant 24 électrodes espacées chacune par rapport à l'autre de 5m totalisant une longueur de 115m et une profondeur d'investigation de 25m.

Parmi les différentes pseudo-sections réalisées, les 2 images que nous avons retenues dans le cadre de notre travail sont représentées en (Fig.V.8) et (Fig. V.9).

Les différentes pseudo-sections permettent de montrer :

- Une variation graduelle des valeurs de résistivités qui indique le changement du facies ceci est pratiquement visible dans toutes les pseudo-sections.
- L'apparition des zones très saturées en eau montre que le terrain est très perméable par endroit et indique aussi que ces zones présentent un chemin préférentiel de la circulation d'eau.
- Une ligne qui montre la limite entre deux milieux de différente résistivité, cette limite peut être une limite entre le terrain naturel (substratum) et le terrain qui a subi un déplacement.

❖ *Interprétation des images tomographiques*

Comme énoncé précédemment, nous donnons dans ce qui va suivre l'interprétation des profils sélectionnés.

Profil Multi électrodes N°01

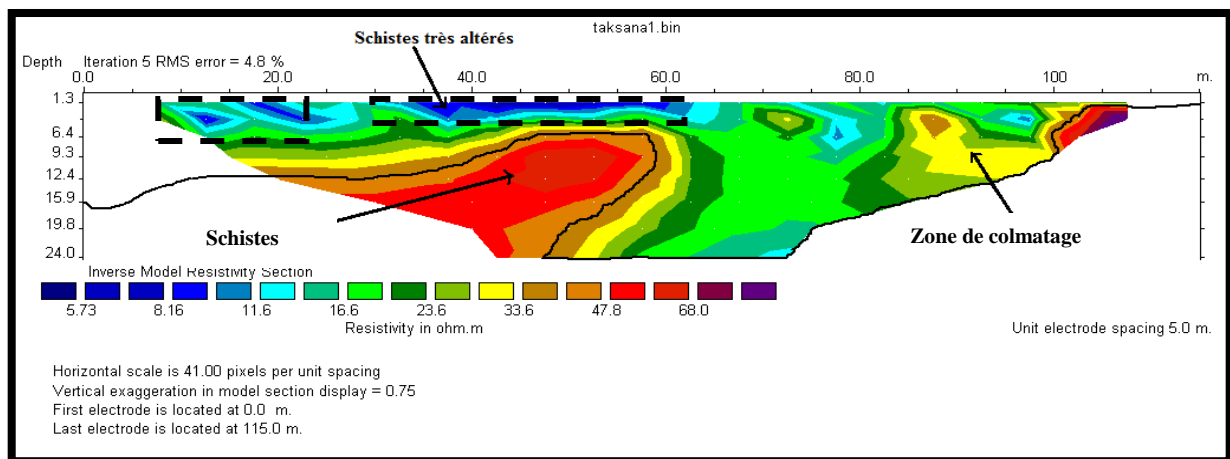


Fig. .V.8:Pseudo-section du profil N°01

a) *Interprétation du profil N°01*

L'image électrique corrélée aux données des sondages mécaniques permet de dégager trois terrains. De haut en bas nous avons :

- **Horizon1** : cet horizon se caractérise par une résistivité variant entre 40 et 68 $\Omega.m$ et d'une profondeur allant de 12 à 24m qui correspond à des schistes.
- **Horizon 2** : cet horizon se caractérise par une faible résistivité variant entre 5,73 et 8,16 $\Omega.m$ et d'une profondeur allant de 1,3 à 6,2m qui correspond aux schistes très altère. Cette faible résistivité est due à la présence d'eau et une matrice argileuse.
- **Horizon 3** : cet horizon se caractérise par une résistivité variant entre 11,6 et 35 $\Omega.m$ et une profondeur 1 à 12 m correspond à des zones de colmatages.

Profil Multi électrodes N°02

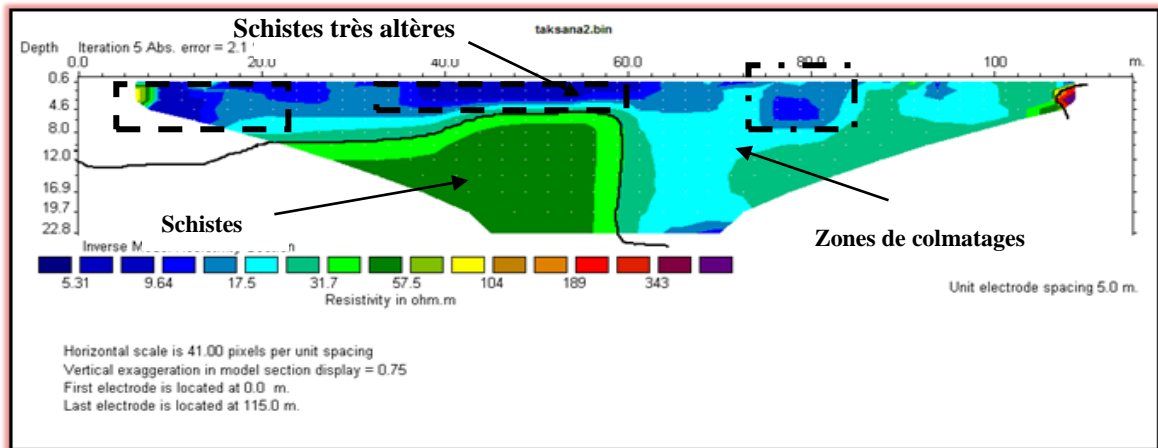


Fig. V.9 :Pseudo-section du profil N°02.

b) Interprétation du profil N°02

- **Horizon1** : cet horizon apparaît sous forme de bloc d'une profondeur allant de 10.5 à 22.8m et d'une résistivité variant entre 31.7 et 57.5 à 189 $\Omega.m$ correspondant à des schistes.
- **Horizon2** : cet horizon se caractérise par une faible résistivité qui varie entre 5.31 et 15.5 $\Omega.m$ et d'une profondeur de 0.6 jusqu'à 7,5m qui correspond à des schistes altère
- **Horizon3** : cet horizon apparaît à des profondeurs variables et de résistivité variant entre 17.5 et 31,7 $\Omega.m$ qui correspond à des zones de colmatages.

V.4.1.3. Conclusion

La campagne géophysique d'imagerie électrique, permis de distinguer 3 types de formations différents de point de vue électrique et lithologique, ce sont :

- Le premier correspond à des schistes ou la résistivité est d'environ 33 $\Omega.m$...
- Le deuxième correspond à des schistes altère d'une résistivité de 8 $\Omega.m$.
- Le troisième correspond à des zones de colmatages ou la résistivité est d'environ de 18 $\Omega.m$.
- Les pseudo-sections obtenues, montrent la cause principale de l'instabilité qui est due à la présence des eaux sous terraines à une profondeur de 4m.

V.4.2 Campagne de reconnaissance géotechnique

V.4.2.1 Essais in-situ

Les sondages mécaniques donnent beaucoup de renseignements sur le sous-sol, ils fournissent une coupe lithologique précise des terrains rencontrés. Ils doivent être implantés après une étude géologique approfondie et une campagne géophysique détaillée.

Sept (07) sondages carottés ont été réalisés à une profondeur qui varie entre 1et 15m, ces sondages ont été implantés de 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.

Tableau. V.1 : Résultats des sondages carottés (L.G.G Sétif, 2012).

Sondages	Profondeur(m)	Nature lithologique
SC N° 01	0,00-2,10 2,10-7,10 7,10-10,00	Remblai. Schistes. Schistes.
SCN° 02	0,00-6,50 6,50-10,00	Remblai. Schistes.
SCN° 03	0,00-1,00 1,00-10,00	Remblai. Schistes.
SCN° 04	0,00-10,00	Schistes
SCN° 05	0,00-7,00 7,00-15,00	Remblai. Schistes.
SCN° 06	0,00-6,50 6,50-15,00	Remblai. Schistes.
SCN° 07	0,00-8,00 8,00-15,00	Remblai. Schistes.

Sur la base des résultats de ces sondages carottés, on peut conclure que la lithologie du terrain est représentée essentiellement par un remblai surmonte des schistes.

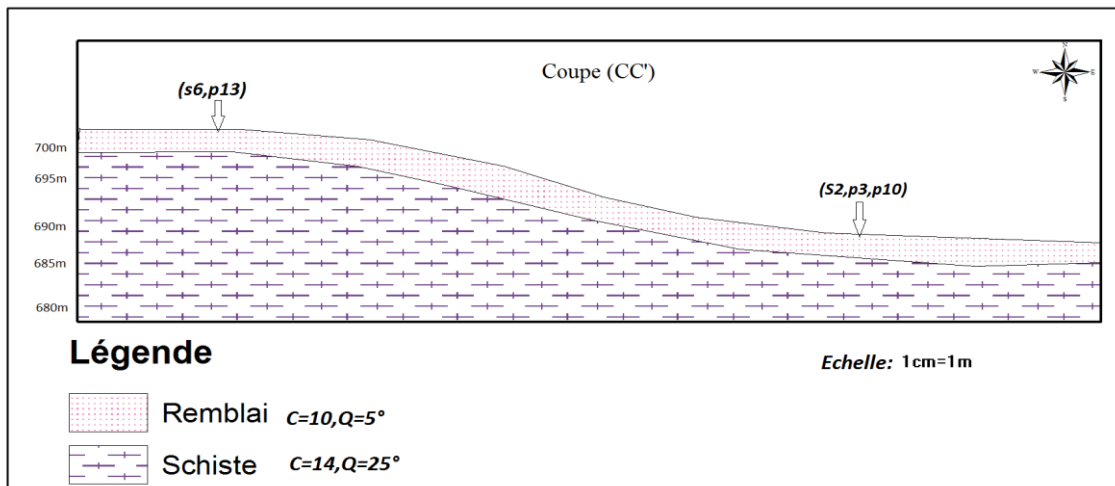
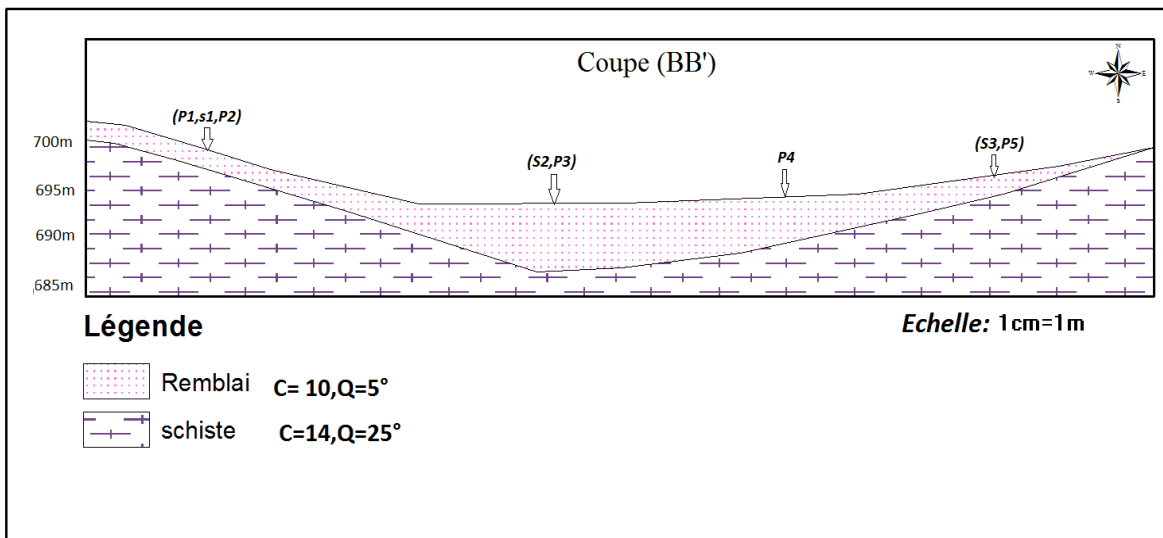
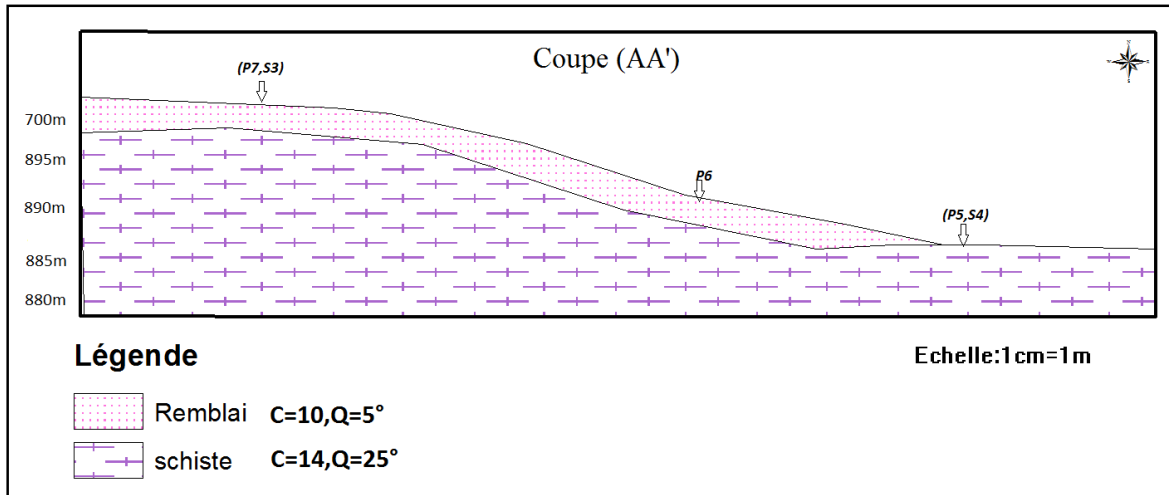


Fig. V.10 : Coupes géotechniques au niveau du site d'étude

V.4.2.2 Essais de laboratoire

Les essais de laboratoire ont été effectués sur des échantillons paraffinés prélevés des sondages carottés réalisés sur le site à différentes profondeurs.

V.4.2.2.1 Paramètres physiques

Les valeurs des principaux paramètres physiques mesurés par L.G.G Sétif (2012) pour les formations rencontrées sont représentées dans le **tableau V.2**.

Tableau .V .2: Valeurs des principaux paramètres physiques (L.G.G Sétif, 2012).

Sondage	Profondeur (m)	Nature lithologique	(W)%	(γ_d) T/m ³	(γ_h) T/m ³	(Sr)%
SC1	2,10-3,20	Schistes	18,07	1,79	2,11	96
SC2	8,60-9,70	Schistes	43,15	1,31	1,87	100
SC3	4,10-5,20	Schistes	36,45	1,36	1,85	100
SC4	2,10-3,20	Schistes	18,07	1,72	2,07	96
SC5	7,00-7,50	Schistes	22,95	1,65	2,03	97
SC6	6,50-7,50	Schistes	21,00	1,69	2,04	95
SC7	8,00-9,00	Schistes	24,50	1,60	1,99	98

Il en ressort de ces résultats que :

- Les valeurs de la teneur en eau (**W**) sont variables entre 18,07 à 43,15%.
- Les valeurs du degré de saturation (**Sr %**) sont très élevées de 95 à 100% pour les schistes

D'après les résultats obtenus, on peut dire que les sols rencontrés sont dans un état humide à mouillé.

- Les valeurs des densités sèches (**γ_d T/m³**) varient de 1,31 à 1,79 t/m³ pour les schistes donc le sol est dense.

V.4.2.2.2 Paramètres mécaniques

Les paramètres mécaniques permettent d'accéder, directement à la capacité portante des sols, compatibles avec une déformation (tassement) acceptables.

Deux types d'essais ont été exécutés pour déterminer les paramètres mécaniques des sols étudiés qui sont :

- Essai de cisaillement rectiligne :
- L'essai de compressibilité à l'œdomètre.

✓ Essai de cisaillement rectiligne

Les échantillons sont testés à la boîte de Casagrande (Essai de cisaillement, non consolidé, non drainé). Les valeurs obtenues sont reportées dans le tableau suivant :

Tableau. V. 3 : Valeurs des caractéristiques intrinsèques (C_u) et (ϕ_u) (L.G.G Sétif, 2012).

N° de Sondage	Profondeur (m)	Nature lithologique	Paramètres mécaniques	
			Cu (bar)	ϕ (°)
SC05	7,00-7,50 m	Schistes	0,73	4,80
SC06	6,50-7,50 m	Schistes	0,72	3,65
SC07	8,00-9,00 m	Schistes	0,79	4,16

D'après le tableau ci-dessus :

Les valeurs de la cohésion pour les schistes sont comprises entre 0,72 et 0,749bars, les valeurs de l'angle de frottement varient entre 3,65 et 4,80°.

Ces résultats sont caractéristiques d'un sol moyennement cohérent à cohérent, et non à peu frottant.

✓ **Essai de compressibilité à l'oedomètre**

Ces résultats sont donnés sous forme des courbes indiquant la variation de l'indice des vides du sol en fonction du $\log \sigma$. Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau .V.4: Valeurs des paramètres de l'essai de compressibilité à l'oedomètre L.G.G Sétif, 2012).

Sondage	Paramètres de compressibilité à l'oedomètre		
Profondeur	Pc (bar)	Cc (%)	
		Cg (%)	
	2,16	16,94	1,29
	1,81	16,28	1,40
	2,08	16,94	1,83

Selon les valeurs du tableau précédent, on a :

- $1.81\text{bar} < P_c < 2,16\text{bars}$.
- $16,28\% < C_c < 16,94\%$.
- $C_g < 4.5\%$.

D'après ces résultats de l'essai de compressibilité à l'oedomètre. On peut conclure que le sol est sur-consolidé, moyennement compressible et non gonflant.

❖ Calcul de la compressibilité

Le tableau suivant donne les résultats de calcul de la compressibilité à l'oedomètre

Tableau.V.5 : Résultats de calcul de la compressibilité à l'oedomètre (L.G.G Sétif, 2012).

Sondage Profondeur	Nature lithologique	C_c	e₀	C_c/1+e₀	Observations
SC 05 (7,00-7,50 m)	Schistes	16,94	0,441	0,12	Sol moyennement compressible
SC 06 (6,50-7,50 m)	Schistes	16,28	0,471	0,11	Sol moyennement compressible
SC 07 (8,00-9,00 m)	Schistes	16,94	0,473	0,11	Sol moyennement compressible

De ces résultats on peut classer le sol dans la catégorie des sols de moyenne compressibilité.

V.5 Principaux facteurs des mouvements de terrain du site de la nouvelle daïra de Texenna

Un glissement de terrain a rarement une cause unique, c'est le plus souvent l'action conjointe de plusieurs facteurs négatifs qui déclenche un glissement de terrain.

La combinaison de plusieurs facteurs est à l'origine du déclenchement de ces mouvement de terrain tell que :

- **La nature lithologique du site** : La lithologie du site est représentée par des Schistes. Très altérés et un remblai est glissée, avec des épaisseurs importante (varie entre 1 m à 8 m).La présence des schistes constitue la contrainte majeure en vue d'optimiser les performances géotechniques de la chaussée.

- **La pente topographique** : Les conditions de stabilité d'un talus étant directement liées à sa pente. La pente de notre site varie entre 30° et 45°.donc la pente est importante et elle peut engendrer des problèmes d'instabilité.

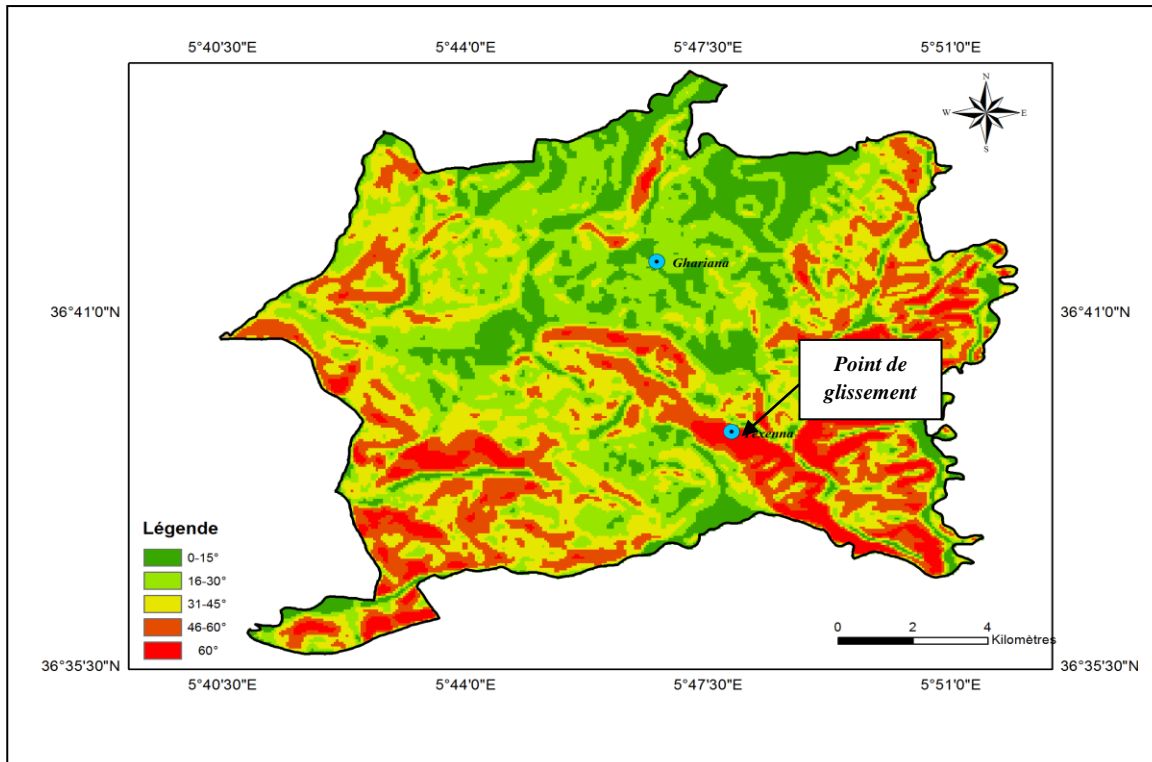


Fig. V.11 : Localisation du glissement étudié sur la carte des pentes de la région.

- **Causes d'origine naturelle** : la forte pluviométrie et eaux de ruissellement, la couverture neigeuse, favorise elle aussi, lors de sa fonte lente l'imbibition des terrains qu'elle recouvre, avec la présence d'une nappe phréatique superficielle.

- **Causes d'origine anthropiques** : suite à des travaux de terrassement (surcharge en tête du talus déjà instable, décharge en pied supprimant une butée stabilisatrice, rejet d'eaux).

- Probabilité d'un mauvais compactage du remblai routier et un mauvais drainage.

V.6 Analyse de stabilité

La recherche par voie manuelle du cercle critique (cas où la rupture est probablement circulaire), nécessite souvent le calcul de plusieurs cercles, ce qui est une opération compliquée et lente, alors que dans le cas où la rupture est non circulaire le calcul sera très difficile. Des calculs de vérification de stabilité ont été effectués au niveau du site étudié. On utilise dans cette vérification le calcul automatique par le **logiciel Géo-Slope**.

V.6.1 Calcul de stabilité

Il est clair que chacune des hypothèses simplificatrices énoncées dans les méthodes de calcul théorique peut être discutée. Avec un programme de calcul, on peut admettre des simplifications moins importantes et prendre en compte par exemple l'intercalation entre les différents paramètres, les surfaces de rupture non circulaires, voir même le calcul à trois dimensions.

L'usage des programmes informatiques facilite l'analyse de la stabilité des talus. Le principal avantage de l'outil informatique est la possibilité de tester à coût très faible, un très grand nombre de surfaces de rupture en temps minimum et de déterminer celle qui est la plus critique.

On peut également faire varier les conditions géométriques, géotechniques et hydrauliques le long d'une même surface et comparer l'influence des différents facteurs. Cela permet, par exemple d'évaluer en modifiant les conditions aux limites, quels sont les résultats à attendre des travaux de stabilisation (*Benaïssa, 2003*).

V.6.2 Hypothèse de calcul

Dans nos calculs de stabilité, nous avons utilisé le logiciel Géo-Slope, ce dernier utilise la théorie de l'équilibre limite basée sur les méthodes des tranches de **Fellenius, Bishop et Janbu**.

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

Parmi les méthodes de calcul à la rupture on a :

- **La méthode globale** consiste à ce que le massif soit homogène et isotrope et il est défini par les caractéristiques suivantes : **C, ϕ et γ** , si le milieu est aquifère la pression interstitielle **U** se rajoute à ces paramètres (**G. Filliat, 1981 ; J. Costet et al, 1983**).

- **La méthode des tranches** : est une méthode suédoise due à **Petterson (1916)**, qui a subi plusieurs adaptations au fil des ans tel que son développement par **Fellenius** en **1927** pour les ruptures circulaires, par **Bishop** en 1954 et en fin elle a été étendue aux ruptures non circulaires par **Nonveiller** en 1965 (**J. Costet et al, 1983**).

Les valeurs de FS en fonction de l'état de talus sont résumées dans le tableau.

Tableau .V.6: Valeurs de coefficient de sécurité FS données en fonction de l'état de talus

Fs	Etat de talus
< 1	Le talus est instable
1 <Fs> 1.5	Le talus est douteux
Fs > 1.5	Le talus est stable

V.6.3 Mesures de sécurité générale contre les glissements de terrain dans le site étudié

Les causes des dommages étant cernés, nous préconisons d'adopter la stratégie suivante pour la stabilisation du site et le confortement de site.

Le talus est constitué principalement par deux couches, (**Fig. V.11**).La première couche c'est un schiste et une deuxième couche de remblai.

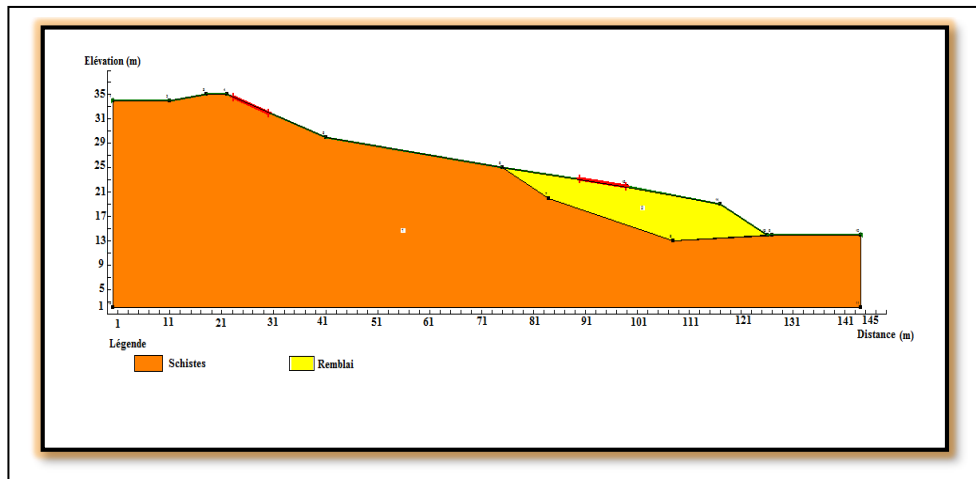


Fig. V.12 : Géométrie du profil utilisé.

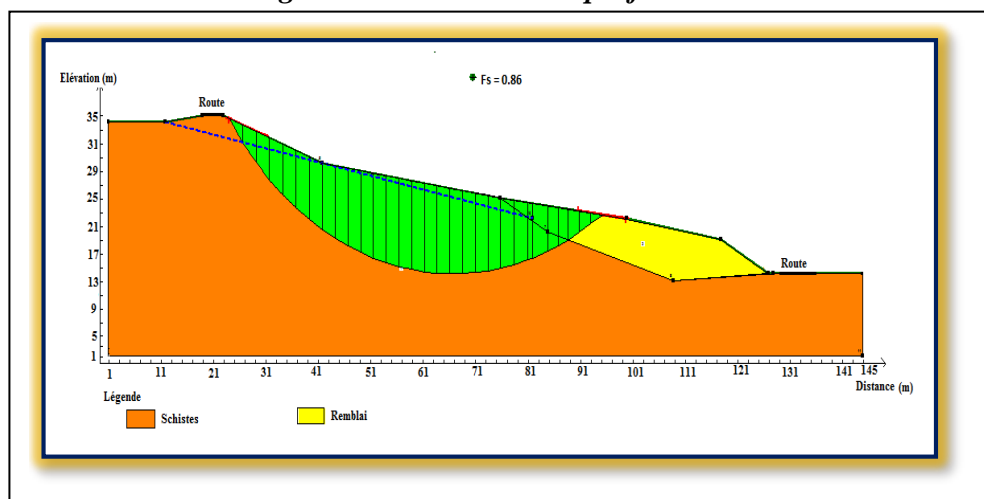


Fig. V.13 : Cercle de glissement dans l'étude de stabilité à l'état initial.

Tableau. V.7 : Valeurs de coefficient de sécurité FS à l'état initial.

Méthodes de calcul	Fs
Ordinary	0.761
Bishop	0.86
Junbu	0.74

Tableau. V.8 : Caractéristiques des couches constituant le site.

Matériaux	$\delta_h(T/m^3)$	C (bar)	ϕ (°)
Remblai	1.9	0.10	10
Schiste	2.07	0.73	4.8

V.7. Confortement du glissement de terrain étudié

Après avoir cerner le problème de glissement rencontré dans la nouvelle daïra de Texanna. Les causes de leur déclenchement, sa surface de glissement et sa profondeur, une dernière étape qui s'impose d'elle-même et qui sans elle, l'étude de stabilité n'aura aucun sens, est celle de la détermination des travaux de confortement vis-à-vis de ces glissements.

Le confortement des talus est défini comme l'ensemble des méthodes qui servent à stabilisés la masse de terrain instable.

a. Action sur la topographique par reprofilage du talus

Le reprofilage reste le moyen d'action le plus naturel dans le cas d'un terrain en pente, il s'agit d'améliorer la stabilité en réduisant la pente moyenne du talus par terrassement. Cette première action a donné une amélioration de la stabilité du talus. Les résultats sont mentionnés dans le *tableau V.9*

Tableau .V.9 : Valeurs de coefficient de sécurité FS après reprofilage.

Méthodes de calcul	Fs
Ordinary	0.93
Bishop	1.01
Junbu	0.89

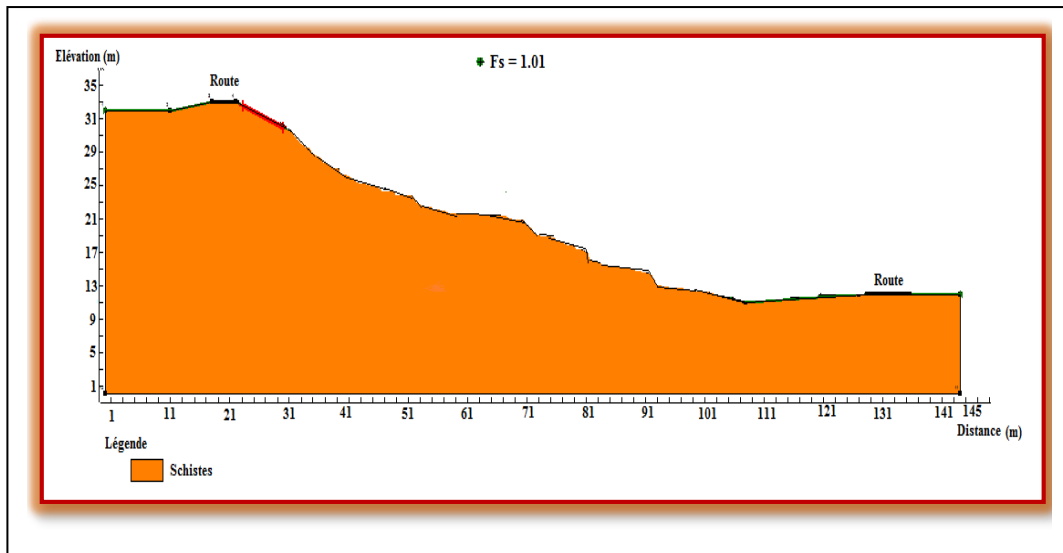


Fig. V.14 : Etude de stabilité du talus après reprofilage.

b. Action de terrassement

- Effectuer les terrassements en gradins, et que chaque parcelle doit être équipée d'un système de drainage efficace et propre à ses spécificités.
- Les terrassements devront débiter des parties sommitales pour diminuer les moments moteurs.
- Les sols sont très sensibles à l'eau, où leur saturation entraîne une chute de portance, est une pression interstitielle plus importante, il est donc préférable d'effectuer les terrassements et l'ouverture des fouilles par saison sèche où en période climatique favorable.
- On élimine les remblais qui sont des matériaux d'apport provenant des terrassements des terrains avoisinants (*Fig. V.15*).

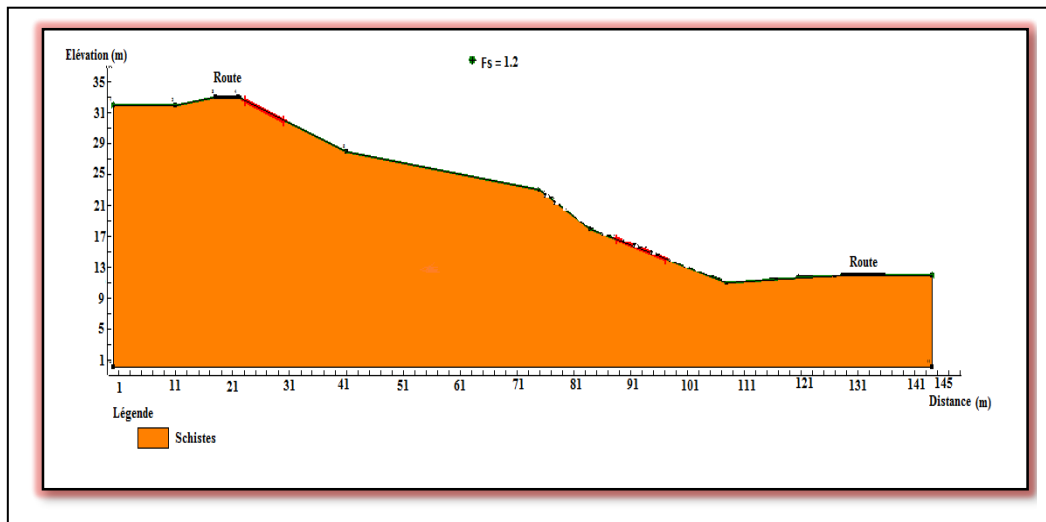


Fig. V.15 : Etude de stabilité après terrassement.

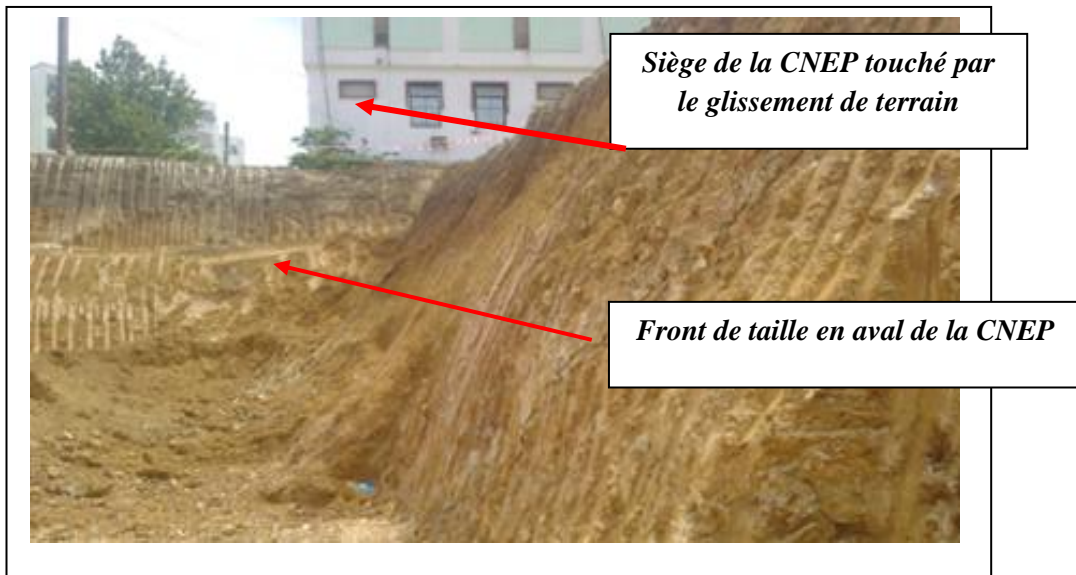


Photo V.1 : Front de taille en aval de la CNEP.

c. **Enrochement**

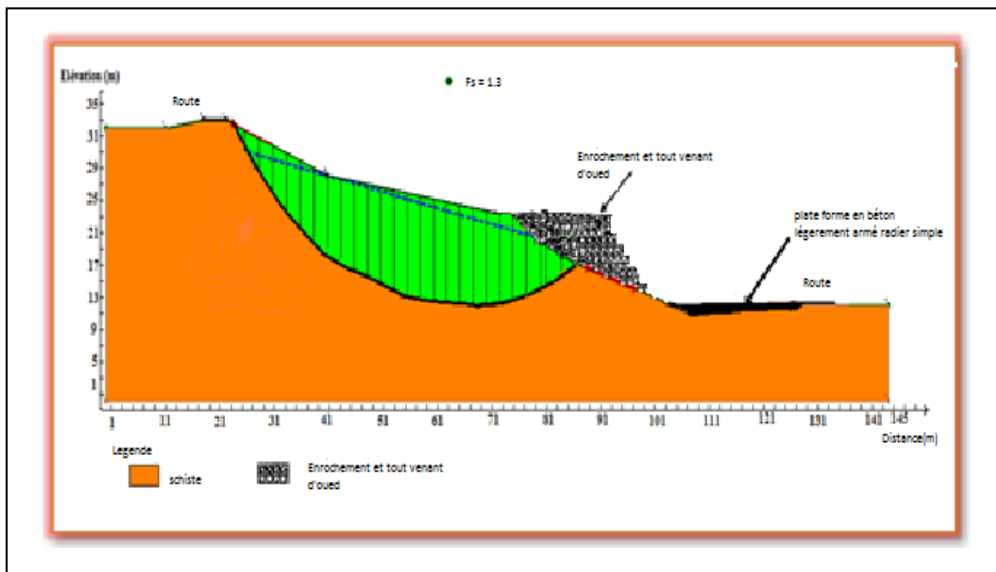


Fig. V.16 : Stabilité du talus par l'utilisation des enrochements.

d. **Drainage**

a. **Superficiel**

Le drainage des eaux superficielles par la mise en place des caniveaux pour diminuer l'action d'eau et limiter l'infiltration des eaux en profondeur (tranchée, fossé) afin d'imperméabiliser au maximum ces terrains. On peut signaler que les chaabets constituent des zones favorables pour la confection des drains superficiels (*Photo. V.2*)

b. **Profond**

Pour abaisser le niveau de la nappe avant toute construction. Ce dernier doit être d'une profondeur de un (1) mètre au minimum au-dessous des fondations.

c. Prévoir un système d'assainissement très efficace.



Photo. V.2 : Réalisation des caniveaux.

e .Gabionnage

Dans notre cas le gabionnage mis en place doit être enlevé sur la zone touchée par le glissement.

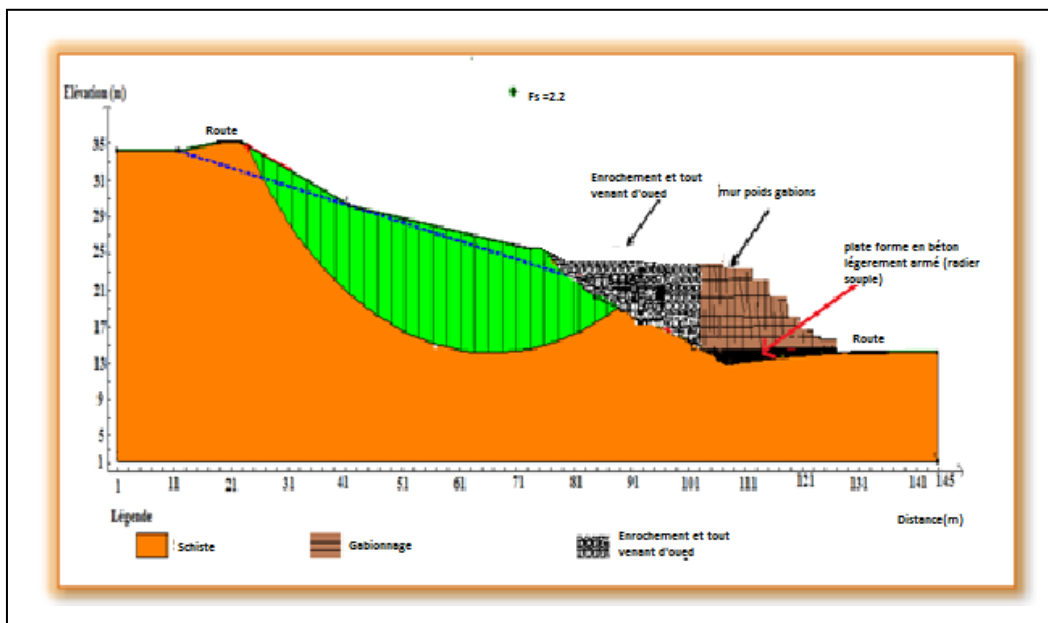


Fig. V.17 : Stabilité du talus par l'utilisation du gabionnage.

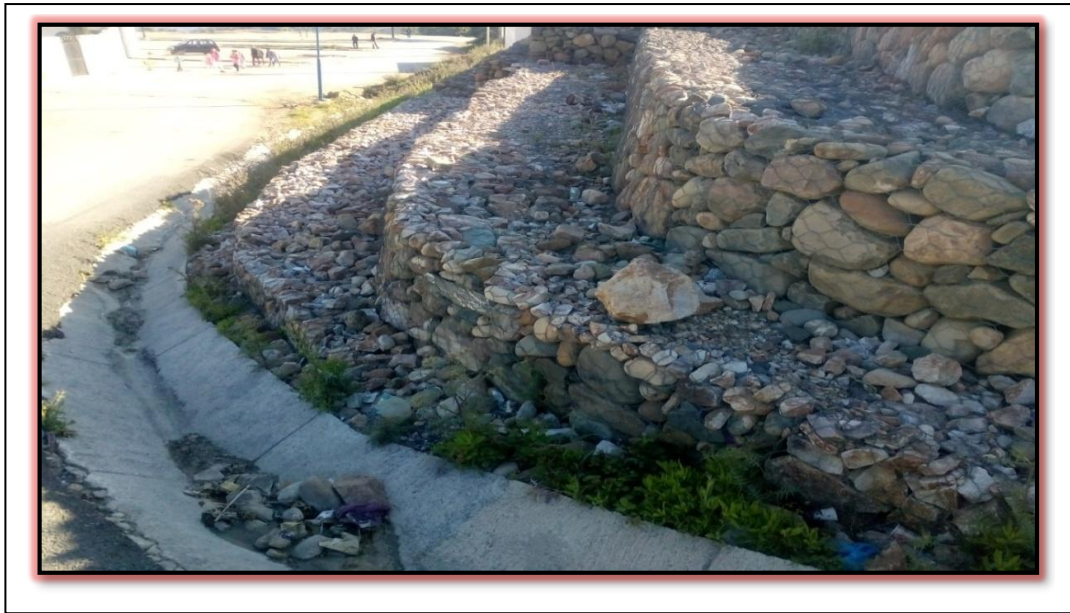


Photo. V.3 : Mise en place du gabionnage

V.8.Conclusion :

L'étude géotechnique met à notre disposition des techniques qui nous permettent d'étudier d'une façon globale ou détaillée le sol et le sous-sol. et les méthodes de confortement.

L'intérêt de l'étude géotechnique réside dans le fait qu'elle nous permet de collecter des informations sur :

- Les propriétés physiques et mécaniques des sols des différentes couches retenues.
- La nature des couches (d'après les résultats des essais in-situ et en laboratoire).

Troisième partie

VII. Conclusion générale et recommandations.

Conclusion générale et Recommandations

Le projet en question, a pour but d'évaluer la susceptibilité aux glissements de terrains dans la commune de Texenna. Cette dernière est confrontée aux problèmes d'instabilités des versants ; ces problèmes sont liés essentiellement à la nature lithologique des terrains meubles (Argileux et schisteux), aux conditions géomorphologiques (relief montagneux très accidenté, pente moyenne à forte, hydroclimatiques (présence de l'eau), tectonique et sismique.

La cartographie des risques naturels (aléa glissement de terrain dans notre cas) permet d'avoir une idée globale, sur des données régionales, ainsi que de simplifier une multitude d'informations parfois très difficile à assimiler. Les données récoltées au cours de cette étude constituent une riche banque de données en différents thèmes de SIG. Ils ont été interprétés individuellement, mais plus encore leur mise en commune permet d'aboutir à une connaissance plus fine des défis géotechniques au quel est confronter la région d'étude.

La cartographie de la susceptibilité aux glissements de terrain est obtenue par la combinaison des cartes de répartition spatiale de différents facteurs susceptibles de provoquer une instabilité de terrain. Cette étude nous a permis de ressortir quatre (3) classes de susceptibilité.

Il faut mentionner que les résultats obtenus par cette méthode sont proches à la réalité et parfois ils possèdent une certaine logique qu'on peut l'observé sur terrain (par exemple les éboulis de pente et les schistes sont classés dans la zone de forte susceptibilité), cela n'empêche pas de remarquer d'autres résultats plus ou moins inadmissibles (par exemple les les schistes et les formations de flysch massyliens sont classés dans la zone de forte susceptibilité, malgré leur très faible extension sur la région étudiée).

L'utilisation du système d'information géographique permet d'ouvrir des perspectives de traitement de problèmes complexes variables dans le temps et dans l'espace.

L'étude de vérification d'un cas choisi concerne le glissement survenu sur le site d'implantation du siège de la nouvelle daïra à Texenna, wilaya de Jijel d'une superficie de 1.5 hectares. Elle a été faite dans l'esprit de contribuer à un meilleur diagnostic de cet aléa et à l'identification des facteurs qui sont à l'origine. Cette étude s'est basée sur la combinaison des données géologiques, géophysiques, hydrologiques et géotechniques.

A l'issue de cette étude et d'après les résultats de calcul de stabilité nous avons constaté que le glissement de terrain étudié est amplifié suite à plusieurs facteurs qui peuvent être scindés en deux groupes :

- Facteurs passifs ou hérités en relation avec les caractéristiques propres du site .
- Facteurs actifs ou facteurs déclenchant en relation avec des agents externes qui, par leurs actions, déstabilisent les talus.

La proposition des solutions pour remédier à ces mouvements de terrain doit impérativement prendre en considération ces facteurs.

Suite à notre étude on recommande de :

- ✓ Déterminer le poids relatif des facteurs déterminants, dans le déclenchement des mouvements de terrains.
- ✓ Réactualisation des données de terrain du point de vue géologique, géotechnique et géophysique afin : d'examiner tous les mécanismes et les facteurs qui influencent l'instabilité; et de confectionner des cartes d'évaluation de risques de mouvements de terrain plus précises;
- ✓ Mettre au point des outils méthodologiques rigoureux (appareillage expérimental, modèles, etc.), un système d'information géographique notamment, pour la mesure de la vulnérabilité de la région aux risques naturels et la prévision dans le temps.

Aouka, M ; Khelifikhalfa, N (2012): Etude géologique, géophysique, géotechnique et modélisation numérique du site du P.O.S N:01 de la région de Texenna wilaya de Jijel .Mém d'ingénieur d'éta, Univ. De Jijel,69P

Benarab,S ;Bouhanna, K (2016) : Contexte Géologique et Analyse Géotechnique des Mouvements de Terrain de la Région de Texenna, Cas de Village de Texenna, Mem de master, Univ de jijel, 66 P

Benaissa, A,(2003): Glissement de terrain, calcul de stabilité. Ed. (O.P.U), Algérie, 95P.

Bouillin, J.P. ; Raoult, J.F. (1971): Présence sur le socle Kabyle du constantinois d'un olistostrome lié au charriage des flyschs; le Numidien peut être un néo-autochtone? Comte Rendu : Somm. Soc. Géol. France, 7 :117P.

Chalikakis, M,(2006) :application des méthodes géophysiques pour la reconnaissance et la protection de ressources en eau dans un milieu karstiques ,thèse de doctorat , Univ de paris 6 .

Djellit, H , (1987): Evolution tectono-métamorphique du socle Kabyle et polarité de mise en place des nappes de flyschs en Petite Kabylie occidentale (Algérie).Thèse Doct. Univ d'Orsay Paris, 206P.

Djellit, H,(2014):1^{ere} école de terrain sur la géologie des Maghrébides jijel 24-27novembre 2014, 51 p

Djerbal, L ,(2013) : analyse de mécanisme de déformation et de la rupture progressive du versant instable d'Ain lahmam .thèse de doctorat. 136 P .

Durand Delga, M , (1955):Etude géologique de l'Ouest de la chaîne Numidique. Thèse d'Etat. Paris, Publ.serv. Carte géol. Algérie, 24,533P.

Ehrmann M. F ,(1928) : carte géologique à 1/50.000^{ème} de la feuille de Tamesguida feuille N_49

Filliat, G , (1981) : La pratique des sols et des fondations. Mouvement de terrain. Ed. Moniteur. Paris, 555-626 P .

Fischer,M ; Nijkamp,p ,(1993) :design and use of geographic information system and spatial models.

Habert, E,(2000): *qu'est ce qu'un système d'information géographique, institut de recherche pour le développement, 2000, 13 p .*

Hammoum, H ; Bouzida, R,(2010) :*pratique des systèmes d'information géographique « application sous map-info »collection les manuels de l'étudiant, 196 p.*

Institut national de la cartographie, *carte topographique de Texenna 1/50.000^{ème}, Texenna.*

Kherrouba, H,(2008): *Etude géologique et géotechnique des zones instables de la région de Texenna-Djimla, wilaya de Jijel(Algérie), Mém. magister, Univ.de Jijel, 162P.*

Laboratoire (L.G.G Sétif), (2012): *Rapport d'étude géotechnique Texenna-Jijel.*

Sanglerat, G ; Costet, J, (1983) : *Cours pratique de mécanique des sols, Tome II- calcul des ouvrages. 3^e Ed. Dunod, Paris, 447 P.*

Soudani, K ,(2006) : *Initiation aux Systèmes d'Informations Géographiques sous ARCGIS 9, Faculté des Sciences d'Orsay, paris, 35 P.*

Tekkouk, M, (2005): *Etude de la pollution par les sulfates des eaux du bassin versant de l'oued Djen-Djen. Mém, magister. Univ. Constantine. Algérie, 162P.*

Liste des figures

Fig. I.1	Situation géographique de la commune de Texenna.....	03
Fig. I.2	Carte des reliefs	04
Fig. I.3	Réseau hydrographique de la région de Texenna	05
Fig. II.1	Coupe géologique des unités alpines de la Petite Kabyle -région de jijel	06
Fig. II.2	Carte géologique des environs de Texenna (petite kabylie) .1/50.000(Durand Delga, 1955)	09
Fig. II.3	Carte géologique de Texenna (Petite Kabylie occidentale) légèrement modifiée	10
Fig. IV.4	Carte géologique de la commune Texenna.....	11
Fig. II.5	Coupe montrant l'édifice structural de la petite Kabylie sur la transversale de Texenna	11
Fig. II.6	Schéma structural simplifié montrant les différentes unités tectoniques de la région de Texenna.....	12
Fig. II.7	Carte de zonage sismique du territoire national (d'après le RPA version 2008).....	15
Fig. III.1	carte pluviométrique de la wilaya de Jijel	16
Fig. III.2	Répartition des précipitations moyennes mensuelles.....	18
Fig. III.3	Répartition des températures moyennes mensuelles.....	20
Fig. III.4	Diagramme ombro-thermique.....	21
Fig. III.5	Bilan hydrologique par la méthode de Thornthwaite.....	24
Fig. III.6	Relation Amont -aval des systèmes aquifères du sous bassin versant d'El Agrem	29
Fig. IV.1	Photo illustre le système d'information géographique.....	30
Fig. IV.2	Données vectorielles.....	31
Fig. IV.3	Exemple des données raster.....	32
Fig. IV.4	Différentes couches des données dans le modèle d'évaluation de l'aléa.....	29
Fig. IV.5	Image satellitaires de la commune de Texenna	33
Fig. IV.6	Carte lithologique de la région de Texenna.....	34
Fig. IV.7	Carte du MNT.....	34
Fig. IV.9	Carte des courbes de niveau.....	35
Fig. IV.11	Carte d'altitudes de la commune Texenna.....	36
Fig. IV.12	Carte des pentes de la commune de Texenna.....	37
Fig. IV.13	Carte de direction de flux de la commune de Texenna.....	37
Fig. IV.14	Carte d'accumulations des eaux de la commune de Texenna	38
Fig. IV.16	Carte du réseau hydrographique de la commune de Texenna.....	38
Fig. IV.17	Carte d'exposition des versants de la commune de Texenna.....	39
Fig. IV.19	Carte d'aléa glissement de terrain de la commune de Texenna	41
Fig. IV.17	Carte d'alea mouvements de terrain de la commune de Texenna.....	42

Liste des figures

Fig. V.1	Localisation du glissement étudié (image Google Earth)	43
Fig. V.2	Localisation de la zone d'étude (Extrait de la carte topographique de Texenna au (1/25.000)).....	44
Fig. V.3	Niches d'arrachement.	44
Fig. V.4	Déformation du gabionnage en amont de la route.....	44
Fig. V.5	Fissures sur routes.....	45
Fig. V.6	Désordres sur construction.....	45
Fig. V.7	Carte d'implantation des différents sondages dans la zone d'étude.....	46
Fig. V.8	Pseudo-section du profil N°01.....	48
Fig. V.9	Pseudo-section du profil N°02.....	49
Fig. V.10	Coupes géotechniques au niveau du site d'étude.....	51
Fig. V.11	Localisation du glissement étudié sur la carte des pentes de la région	55
Fig. V.12	Géométrie du profil utilisé.....	57
Fig. V.13	Cercle de glissement dans l'étude de stabilité à l'état initial.....	57
Fig. V.14	Etude de stabilité du talus après reprofilage.....	59
Fig. V.15	Etude de stabilité après terrassement.....	59
Fig. V.16	Stabilité du talus par l'utilisation d'enrochement.....	60
Fig. V.17	Stabilité du talus par l'utilisation de gabionnage.....	61

Liste des tableaux

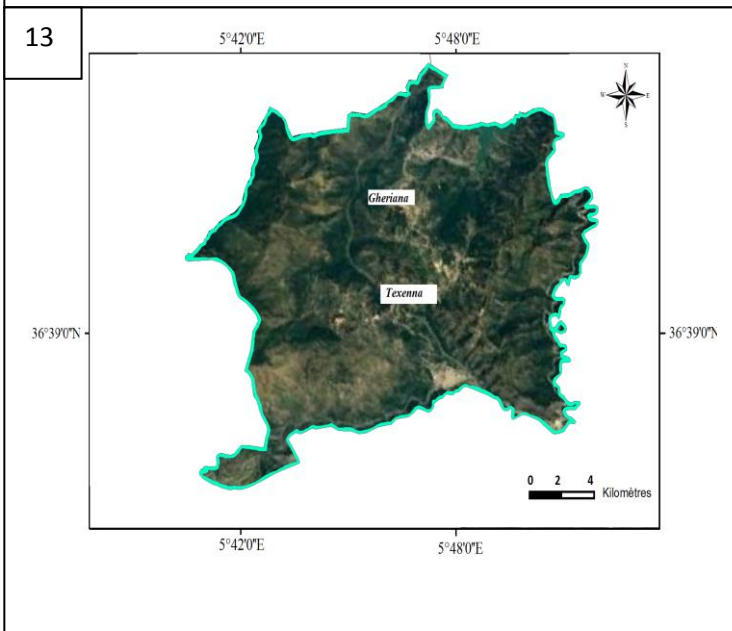
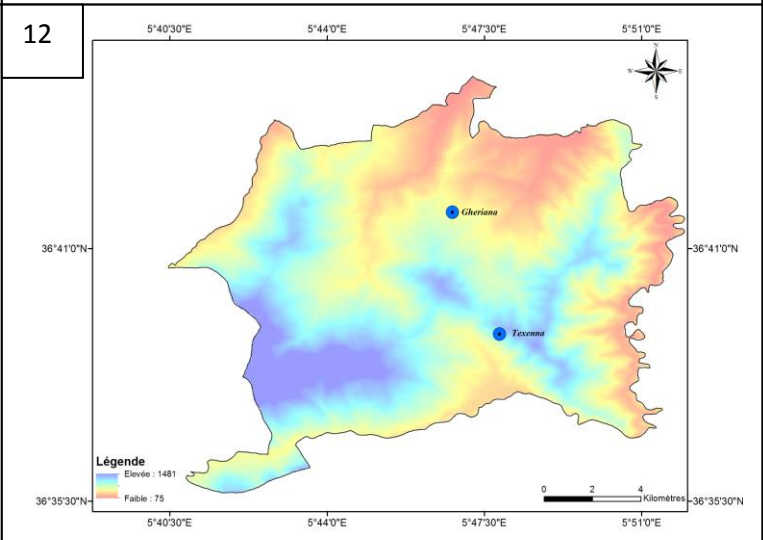
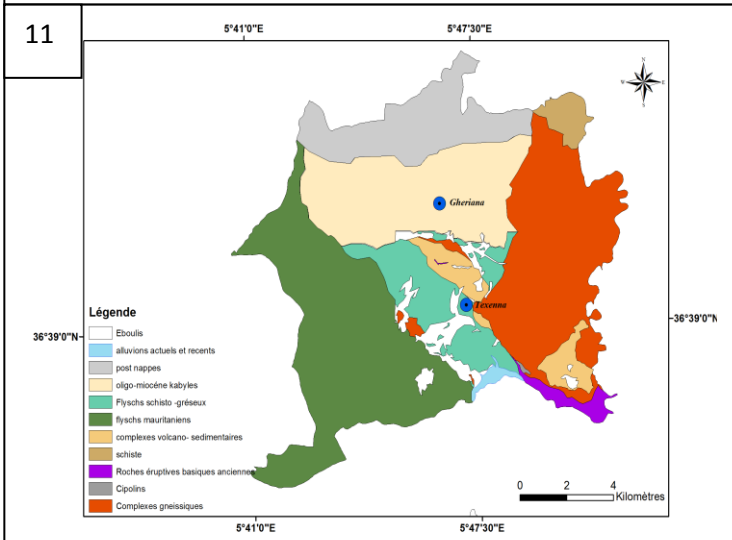
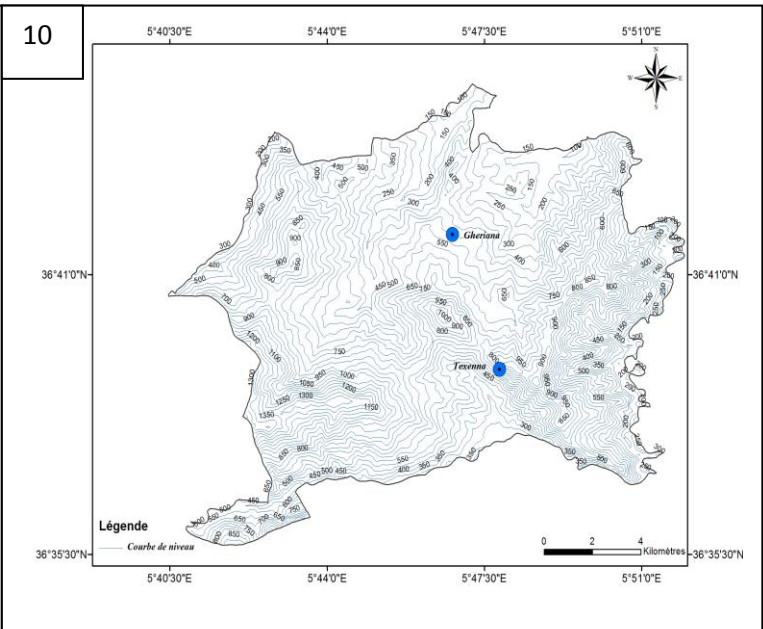
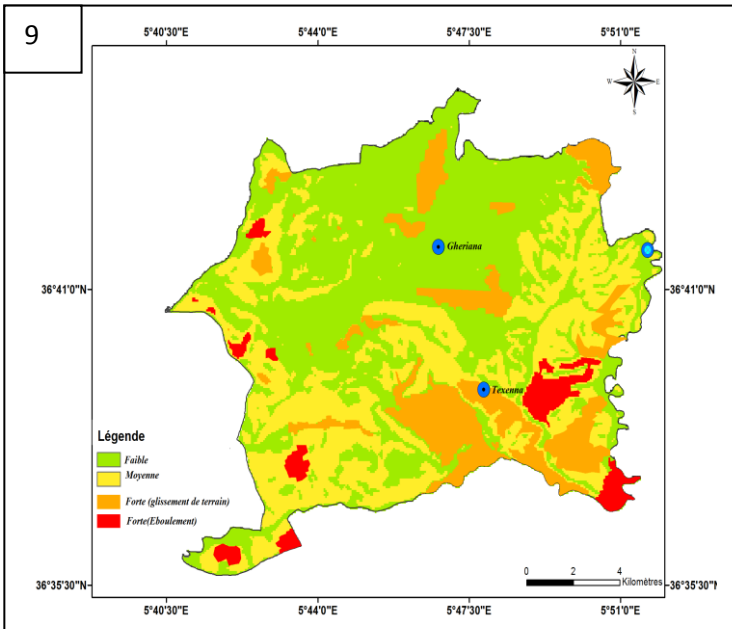
Tableau .II.1	Zones des différentes sismicités.....	15
Tableau.III.1	Caractéristiques de la station du barrage El Agrem.....	17
Tableau .III.2	Répartition mensuelle de la pluviométrie enregistrée (en mm) (du barrage El-Agrem,).....	17
Tableau .III.3	Répartition de la neige	18
Tableau .III.4	Nombre des jours de grêle(Station Aéroport F.Abbès de Taher, période 1996/2006).....	19
Tableau .III.5	Nombre moyen des jours de la gelée blanche	19
Tableau.III. 6	Distribution des températures mensuelles (El-Agrem (2002 -2015)).....	20
Tableau .III.7	Valeurs du coefficient d'ajustement mensuel « K ».....	22
Tableau .III.8	Calcul de l'ETP selon Thornthwaite.....	23
Tableau .III.9	Résultats de calcul de l'évapotranspiration réelle selon Thornthwaite (du barrage El-Agrem).....	24
Tableau .III.10	Perméabilité des différentes formations de la région d'étude.....	26
Tableau .IV.1	Qualification des classes d'aléa.....	40
Tableau .IV.2.	Susceptibilité des différentes couches lithologiques en fonction de leurs faciès.....	40
Tableau .V.1	Résultats des sondages carottés	50
Tableau .V .2	valeurs des principaux paramètres physiques	52
Tableau .V. 3	Valeurs des caractéristiques intrinsèques (C_u) et (ϕ_u)	53
Tableau .V.4	Valeurs des paramètres de l'essai de compressibilité à l'oedomètre	53
Tableau .V.5	Résultats de calcul de la compressibilité à l'oedomètre	54
Tableau .V.6	Valeurs du coefficient de sécurité FS données en fonction de l'état de talus.....	57
Tableau .V.7	Valeurs du coefficient de sécurité FS à l'état initial.....	58
Tableau .V.8	Caractéristiques des couches constituant le site.....	58
Tableau .V.9	Valeurs de coefficient de sécurité FS après reprofilage.....	58

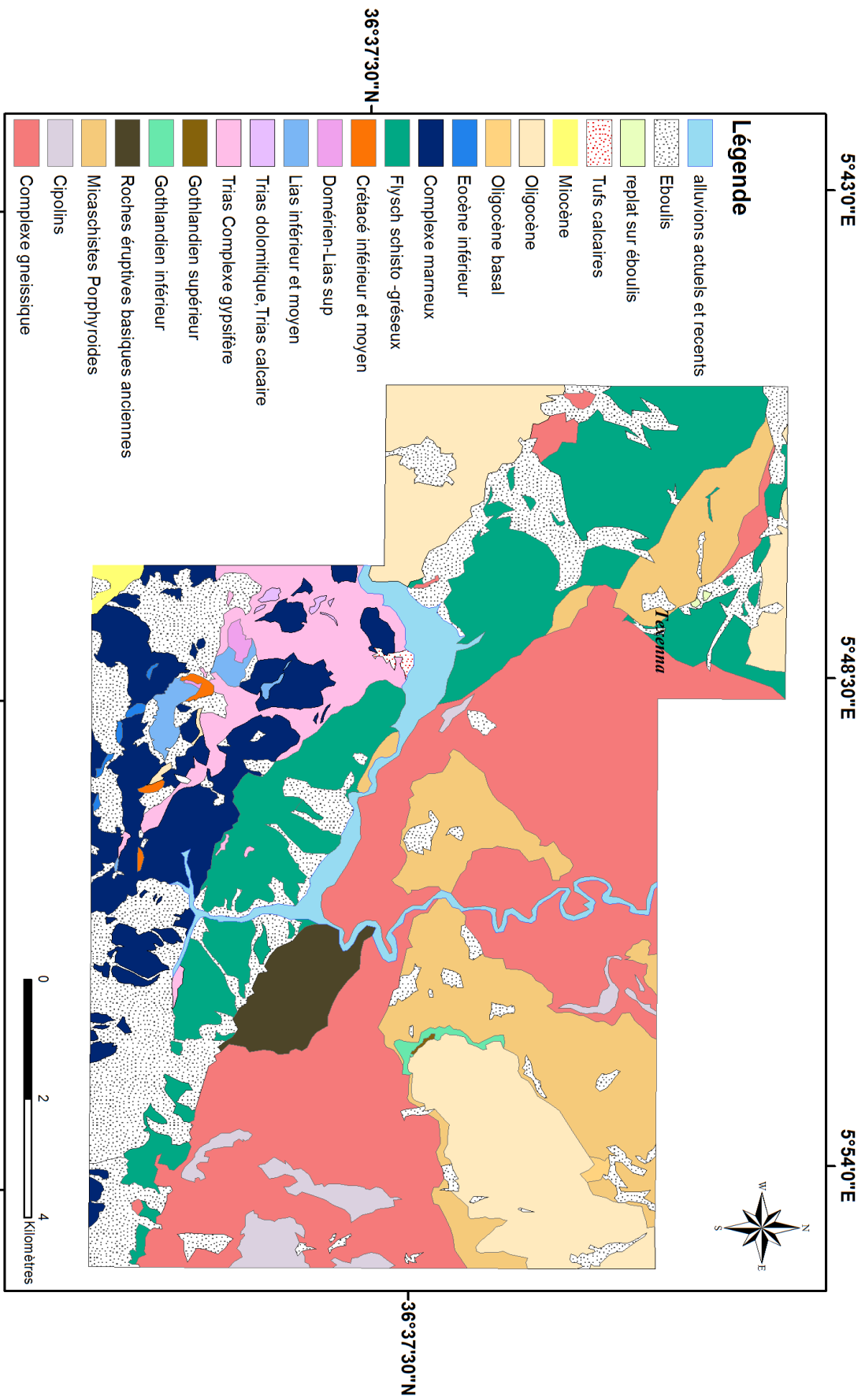
Liste des photos

Photo. II.1	Photo illustrant un affleurement de Trias au niveau de l'oued Djen-Djen.	08
Photo. II.2	Photo illustrant les plissements E-W visibles dans les formations du flysch massylien.....	13
Photo. II.3	Photo illustrant les plissements N-S visibles dans les formations du flysch massylien.....	13
Photo. II.4	Photo illustrant les déformations cassantes visibles dans les formations du flysch massylien.....	14
Photo V.1	Front de taille en aval de la CNEP.....	59
Photo. V.2	Réalisation des caniveaux.....	61
Photo V.3	Mise en place du gabionnage.....	62

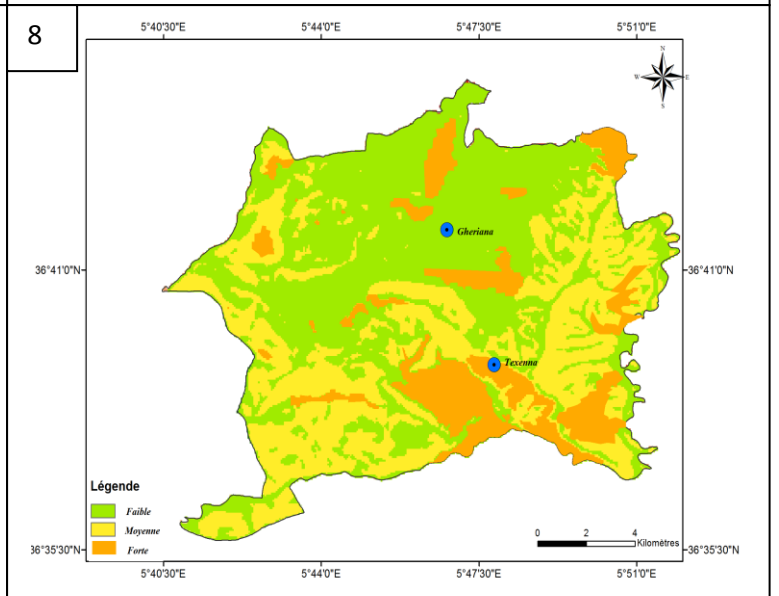
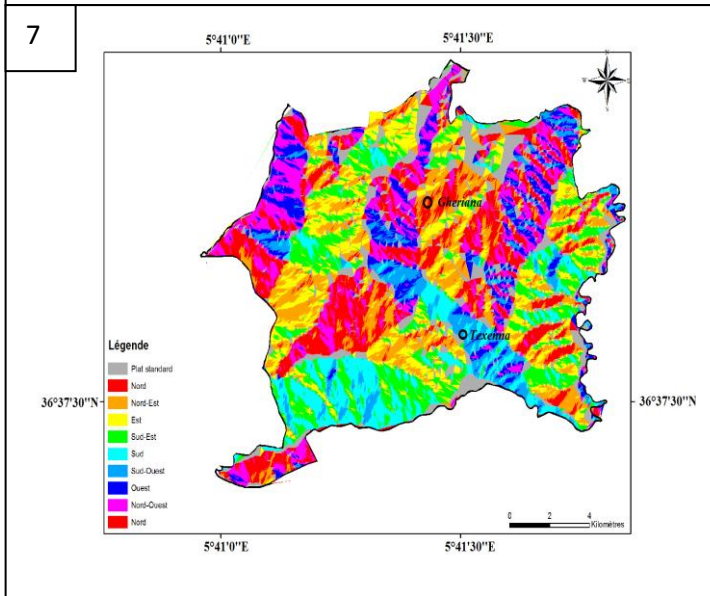
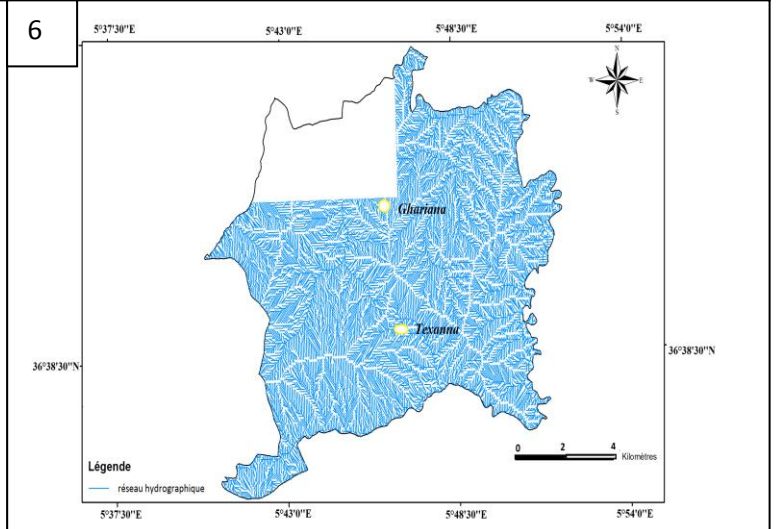
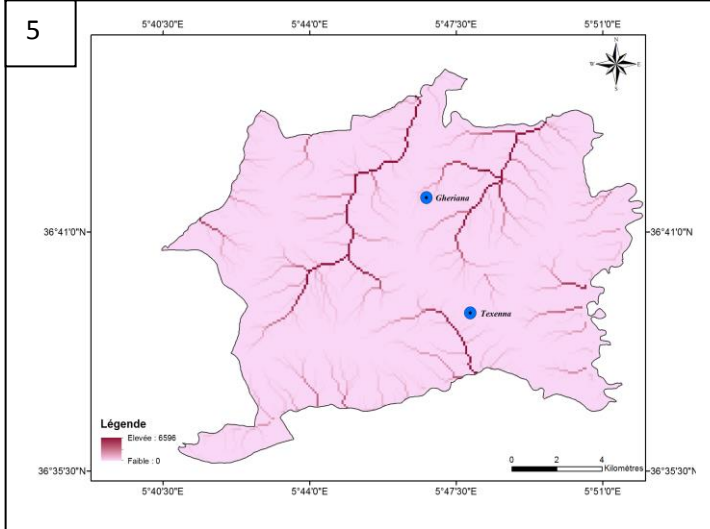
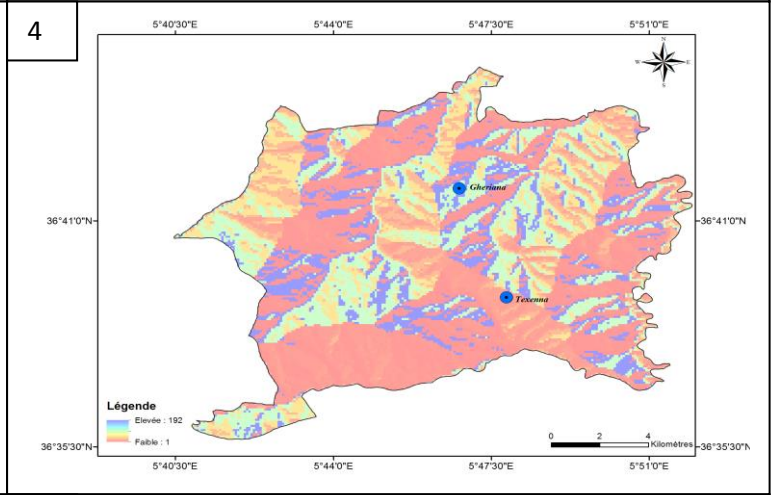
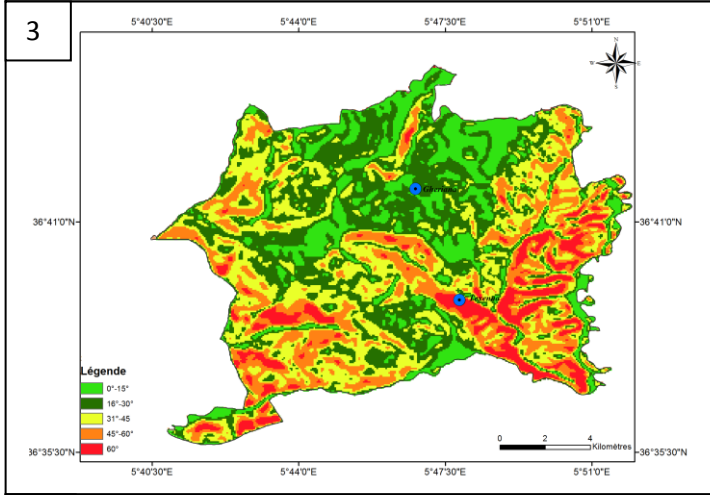
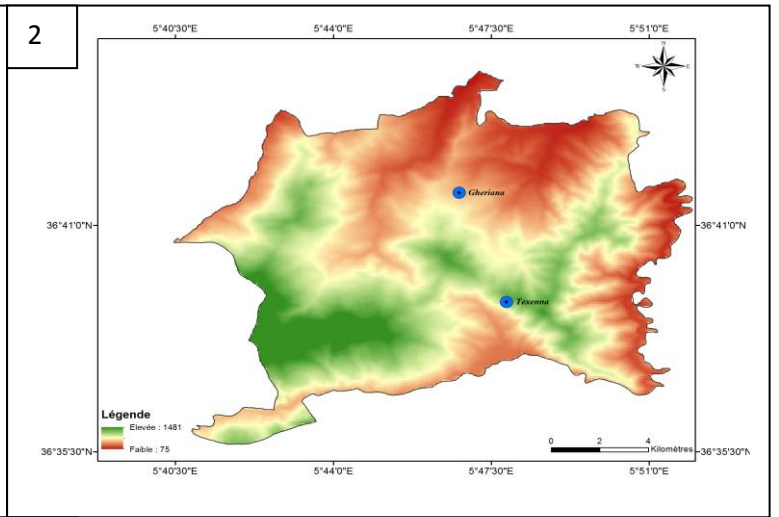
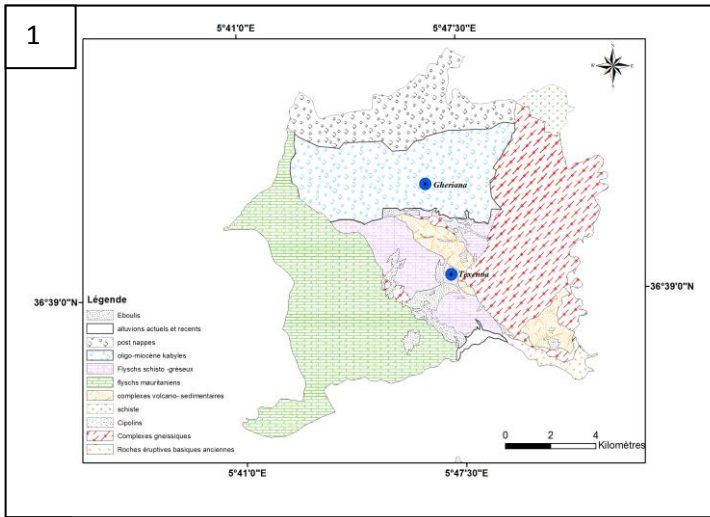
Annexe

Facteur	Classe
Lithologie	Eboulis
	Alluvions actuels et récents
	Post nappes
	Oligo-miocène -kabyle
	Flysch schisto-gréseux
	Flysch mauritaniens
	schistes
	Cipolin
	Complexe gneissique
	Roches éruptives basiques anciennes
Pente	0°-15°
	16°-30°
	31°-45°
	46°-60°
	≥60°
Altitude	77-330
	330-530
	530-730
	730-1005
	1005-1452
Exposition des versants	N
	NE
	SE
	S
	SW
	W
	NW





Carte géologique des environs de Texenna (petite kabylie), 1/50.000 (Durand Delga, 1955) légèrement modifiée.



Résumé

La commune de Texenna comme toutes les régions du nord de l'Algérie compte plusieurs sites affectés par ces mouvements de terrains. Sa morphologie la rend exposée à un fort potentiel d'aléa glissements de terrain, contrôlé par l'action conjuguée de différents facteurs géologiques, géomorphologiques, hydrologiques et structuraux, etc

Les informations recueillis lors de cette étude ont été introduit dans un logiciel de système d'information géographique ArcGis 10.2.2 qui fait des traitements automatisés à partir des données de base, permettant de produire de l'information, de l'organiser, et de la représenter.

Les cartes de facteurs influençant l'occurrence des glissements de terrain, il s'agit des cartes thématiques suivantes (lithologie, pente, MNT, l'exposition des versants, et le réseau hydrographique).

Toutes les cartes thématiques réalisées ont permis d'aboutir une carte de susceptibilité aux glissements de terrain de la région étudiée. Cette carte pourrait constituer un document de base pour tous aménagements proposés au futur.

Mots- clés : Texenna, aléa, glissements de terrain, ArcGis 10.2.2, Susceptibilité.

Abstract

The municipality of Texenna like all the regions of the north of Algeria has several areas affected by important movements of land . Its morphology makes it exposed to a high potential of random landslides, controlled by the combined action of various geological, geomorphological, hydrological and structural factors, etc.

The information gathered in this study was introduced in Geographic Information System software, (ArcGis 10.2.2)which makes automated processing based on the basic data to produce information, organize it and to represent it.

The maps of factors influencing the occurrence of landslides are the following thematic maps (lithology, slope, DEM , slope exposure, and hydrographic network).

All the thematic maps produced led to a map of susceptibility to the landslides of the studied region. This map could be a basic document for all proposed developments in the future.

Keywords: Texenna, hazard, landslides, ArcGis 10.2.2, Susceptibility.

ملخص

تعد بلدية تاكسنة كجميع مناطق شمال الجزائر لديها العديد من المواقع المتضررة من جراء الحركات الأرضية طبيعتها. المورفولوجيا تجعلها معرضة لخطر محتمل من الانهيارات الأرضية، عن طريق مجموعة من العوامل الجيولوجية والجيومورفولوجية والهيدرولوجية

المعلومات التي يتم جمعها خلال هذه الدراسة يتم إدخالها إلى برنامج نظام المعلومات الجغرافية نظام ArcGIS 10.2.2 الذي يعمل على معالجة الية عن طريق معلومات اساسية تسمح بانتاج المعلومة، تنظيمها، واظهارها

العوامل التي تؤثر على بطاقات حدوث انهيارات أرضية تتمثل في الخرائط المواضيعية (الخصائص الصخرية، المنحدر، والتضاريس، والتعرض من المنحدرات ونظام النهر).

جميع الخرائط المواضيعية التي تم انجازها تسمح بإنشاء خريطة قابلية انزلاق التربة. هذه البطاقة يمكن أن تكون وثيقة أساسية لجميع التهينات المقترحة مستقبلا.

الكلمات الرئيسية: تاكسنة، إمكانية حدوث الخطر ، الانهيارات الأرضية، نظام ArcGIS 10.2.2 , قابلية..