

**Ministère de l'Enseignement Supérieure  
et de la Recherche Scientifique**



**UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF- M'SILA**



**FACULTE DE TECHNOLOGIE**

**DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL**

**MEMOIRE**

**Présenté pour l'obtention d'un diplôme de  
MASTER**

**FILIERE: GENIE CIVIL**

**Option: Structures**

**THEME**

**ALEAS GEOTECHNIQUE ET SISMIQUE DE  
LA REGION DE BOUIRA**

**Dirigé par :**

**Mr. GUERRAICHE Ammar**

**Présenté par :**

**BENACHERINE Khelifa**

**Promotion: 2019/2020.**

# *DEDICACES*

*Je dédie ce modeste travail à:*

*Ma mère.*

*Mon père.*

*Ma FEMME*

*Mon fils Mohamed Iyad et mes filles «Nour  
el Houda et Narimane ».*

*Toute la famille « BENACHÉRINE ».*

*Mes amis « DJELLAL .Belkacem*

*.SAAD. ESSAMA ». Tous mes amis  
intimes.*

*A tous ce qui ont aidés de loin ou de près pour  
la réalisation de ce mémoire.*

*Toute la promotion 2019 /2020.*

# *Remerciement*

*Je remercie :*

*En premier lieu Allah pour tout ce qu'il m'a donné et  
m'a procuré.*

*En particulier mon encadreur :*

*MR : GUERRAICHE AMMAR.*

*Le directeur du LCTP de Bouira et Mes  
remerciements à tous mes enseignants*

*Je remercie également le président et les membres de  
jury d'avoir accepté d'examiner mon travail.*

## **RESUME**

Le bassin supérieur de l'oued Djemaa de la région de Bouira qui fait partie de la montagne du Djurdjura est affecté par une importante morphogénèse. Les mouvements de terrain présentent une grande variété dans le secteur d'étude et jouent un rôle prépondérant dans l'évolution des versants. L'étude géomorphologique détaillée, une enquête auprès des populations locales, des analyses géotechniques et l'analyse sédimentologique des formations déplacées nous ont permis de faire une typologie des mouvements de terrain et de dégager les facteurs de leur développement et de leur localisation. Les fortes précipitations d'hiver et de printemps sont à l'origine de tous les mouvements de terrain et des ravinements, mais l'exposition et la lithologie permettent de comprendre les formes différentes rencontrées sur les adrets et sur les ubacs. Les activités humaines jouent un rôle croissant dans l'accélération de la morphogénèse.

Dans cette étude, un système d'Information géographique a été utilisé pour produire les cartes des risques de dégradation du milieu qui sont des outils pour la planification et la gestion de l'utilisation du sol dans le bassin supérieur de l'oued Djemaa ; Il permet de croiser la vulnérabilité avec l'aléa géotechnique et sismique de cette région de Bouira.

Les résultats de ces croisements que nous avons codifiés débouchent sur une carte globale des niveaux de risque à adopter comme aboutissant de la présente investigation.

### **Mots clés :**

Instabilité, morphogénèse, glissement, ravinement, SIG, risques, aléas, cartographie

## **ABSTRACT**

The upper basin of the oued Djemaa of the Bouira region, which includes to the mountain of Djurdjura is affected by an important morphogenesis. The ground movements introduces a large variety in the study area and play a preponderant role in the evolution of mountainsides.

The geomorphology detailed study an investigation into the local populations, geotectonic and analyses it sedimentology of displaced trainings allows us to do ground typology movement and to chow their development factors and their location. The big rainfalls of winter and sprinter are the origin of these ground movements and gully erosions, but exposition and lithology allow to understand different forms on northern and southern slope .

Human activities play more and more an important role in morphogenesis acceleration.

In this study, a geographical information system has been used to provide degradation maps of risks of which are tools for planning and management of soil using in the upper basin of the oued Djemaa. He allows to cross vulnerability witch vagary of this region of Bouira. The result of these crossroads which we codified results in a total map of risk levels.

### **Key words:**

instability, morphogenesis sliding, gully erosion, SIG, risks, vagaries, mapping

# **SOMMAIRE**

**Dédicace**

**Remerciement**

**Résumé**

**Liste des figures**

**Introduction générale.....01**

## **CHAPITRE I : Généralités sur les risques naturels**

I.1. Définitions.....	05
I.2. Les phénomènes naturels dangereux.....	06
I.2.1. Les cycles naturels .....	06
I.2.2. Les phénomènes naturels dangereux .....	08
I.3. Les mouvements de terrain .....	11
I.3.1. Les mouvements de pente.....	12
I.3.1.1. Les écroulements .....	13
I.3.1.2. Mouvements lents et continus.....	14
I.3.1.3. Les glissements .....	16
I.3.1.4. Les coulées de boues.....	18
I.3.2. Les mouvements verticaux .....	19
I.3.2.1. Les affaissements .....	20
I.3.2.2. Les effondrements.....	20
I.4. Les séismes et le risque sismique.....	22
I.4.1. Définitions.....	22
I.4.2. Classification des séismes .....	23
I.4.3. Enregistrement des séismes.....	25
I.4.4. Distribution mondiale des séismes .....	26
I.4.5. Les séismes en Algérie.....	27
I.4.6. Les grands séismes dans le monde.....	27
I.4.7. Le risque sismique .....	28
I.5. Relation entre les séismes et les mouvements de terrain .....	28
I.5.1. Glissement de terrain .....	28

I.5.2. Eboulements et écroulements rocheux.....	30
I.5.3. Liquéfaction .....	30

## **CHAPITRE II : Contexte géographique et géologique de la région d'étude**

II.1. Cadre géographique.....	33
II.1.1. Situation géographique de la zone d'étude.....	33
II.1.2. Aspect socio-économique .....	35
II.1.3. Réseau hydrographique .....	36
II.1.4. Caractéristiques climatiques: .....	39
II.1.5. Sismicité de la région .....	41
II.2. Géologie du bassin de Bouira .....	42
II.2.1. Cadre géologique générale .....	42
II.3. Géologie du bassin de Bouira.....	43
II. 3 Observations tirées pour l'identification de la région:...	44

## **CHAPITRE III : Cadre géomorphologique**

III.1. Introduction.....	48
III.2. morphologique .....	48
III.2.1 Situation et localisation géographique.....	48
III.2.2 Une région montagneuse .....	49
III.2.3 Grands traits du relief .....	49
III.2.4 Les données géologiques du secteur (Stratigraphie).....	53
III.2.5 Géomorphologie du secteur.....	55
III.3. Les caractéristiques morphométriques du bassin supérieur de l'oued Djemaa.....	56
III.3.1 La carte des pentes.....	57
III.3.2 Les caractéristiques des reliefs du bassin supérieur de l'oued Djemaa.....	59
III. 4 Hydrologie et hydrogéologie du versant .....	59
III.4.1 Hydrographie.....	59
III.4.2 L'extension spatiale du phénomène de ravinement.....	60
III.4.3 Hydrogéologie.....	60
III.4.4 Dynamique des oueds.....	61
III.4.4.1-Érosion verticale ou linéaire.....	61
III.4.4.2-Érosion latérale.....	62

III.4.4.3-Érosion régressive.....	62
III.5 Localisation des zones ravinées.....	63
III.5.1 Croisement de cartes thématiques.....	63
III.5.2 Carte de fragilité des terres.....	64
III.5.3 Carte de sensibilité des sols à l'érosion hydrique.....	64
III.5.4 Carte de localisation des zones fortement ravinées.....	64
Conclusion.....	67

## **CHAPITRE IV: Méthodologie et Cartographie des risques liés aux mouvements de terrain**

IV. 1. Introduction.....	69
IV.2. Etablissement de la carte des risques.....	69
1. Historique de la cartographie des risques.....	69
2. Problème de cartographie.....	70
3. La cartographie géomorphologique.....	70
4. Carte des instabilités des versants.....	70
5. La carte des risques.....	72
5.1. Les cartes de synthèse.....	72
5.2. Les cartes analytiques.....	74
5.3. Comparaison entre les modes de représentation du risque.....	78
5.4. La cartographie des risques.....	78
6. Contenu de la carte des aléas.....	78
7. Carte de vulnérabilité.....	80
7.1.Élaboration de la carte de vulnérabilité.....	80
7.2. Interprétation de la vulnérabilité.....	82
IV.3 Carte des possibilités d'aménagement du bassin supérieur de l'oued Djemaa.....	82
1.Établissement de la carte d'aménagement du bassin.....	82
2. Les moyens utilisés contre l'instabilité des versants.....	83
Conclusion.....	85

**CONCLUSION GENERALE ..... 86**

**REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

## Liste des figures

*Page*

### **CHAPITRE I : Généralités sur les risques naturels**

<b>Figure I.1.</b> Schémas explicatifs des notions d'aléa, enjeu et risque .....	05
<b>Figure I.2.</b> Classification des cycles naturels .....	06
<b>Figure I.3.</b> Schéma récapitulatif des manifestations en surface de la Géodynamique interne.....	07
<b>Figure I.4.</b> Schéma récapitulatif des manifestations de la Géodynamique externe.....	08
<b>Figure I.5.</b> Le cycle de l'eau.....	08
<b>Figure I.6 :</b> Classification des phénomènes naturels « dangereux » .....	11
<b>Figure I.7.</b> Classification des mouvements de terrain .....	13
<b>Figure I.8.</b> Ecoulement.....	14
<b>Figure I.9.</b> Exemple de reptation.....	15
<b>Figure I.10.</b> Exemple de fluage .....	15
<b>Figure I.11.</b> Principaux éléments de description d'un glissement de terrain .....	16
<b>Figure I.12.</b> Glissement plan .....	17
<b>Figure I.13.</b> Glissement rotationnel.....	18
<b>Figure I.14.</b> Coulée de boue .....	19
<b>Figure I.15.</b> Les affaissements .....	21
<b>Figure I.16.</b> Les effondrements .....	21
<b>Figure I.17.</b> Foyer, épicerne et lignes isoséistes.....	22
<b>Figure I.18.</b> Schéma simplifié d'un sismographe.....	25

<b>Figure I.19.</b> Carte de la distribution mondiale des tremblements de Terre .....	26
<b>Figure I.20.</b> Glissement ; rapport surface affectée en $\text{km}^2$ -magnitude .....	29
<b>Figure I.21.</b> Glissement de Beni Rached (séisme d'El Asnam, 1980) .....	30
<b>Figure I.22.</b> Liquéfaction : rapport magnitude-distance à l'épicentre .....	31

## **CHAPITRE II : Contexte géographique et géologique de la région d'étude**

<b>Figure II.1.</b> Carte de découpage administratif .....	34
<b>Figure II.2.</b> Situation Géographique de la zone d'étude « image satellite » .....	35
<b>Figure II.3.</b> Carte du réseau routier de la wilaya de Bouira .....	36
<b>Figure II.4.</b> Extrait de la carte du réseau hydroclimatologique et de la surveillance de la qualité des eaux e = 1/500 000 .....	37
<b>Figure II.5.</b> Carte sismique de l'Algérie (RPA 2003) .....	41
<b>Figure II.6.</b> Carte et coupe structurale schématique de la chaîne maghrébine montrant la Disposition des zones internes et externes .....	42
<b>Figure II.7.</b> Carte géologique de Bouira feuille N°66 (e = 1/50 000ème) .....	43
<b>Figure II.8 :</b> Carte d'occupation de sol de la wilaya (Source : DSA de Bouira) .....	44

## **CHAPITRE III : Cadre géomorphologique**

<b>Figure III.2.</b> Délimitation du bassin supérieur de l'oued Djemaa .....	49
<b>Figure III.3.</b> Carte des unités morphologiques .....	53
<b>Figure III.4.</b> Carte lithologique .....	55
<b>Figure III.5.</b> Carte des pentes .....	58
<b>Figure III.6.</b> Fréquence des pentes .....	58

<b>Figure III.7.</b> Localisation des zones ravinées .....	60
<b>Figure III.8.</b> Carte de d'érosion .....	65
<b>Figure III.9.</b> Carte de fragilité.....	65
<b>Figure III.10.</b> Sensibilité des sols à l'érosion hydrique .....	66
<b>Figure III.11.</b> Carte de localisation des zones fortement ravinées avec priorités d'interventions .....	66

#### **CHAPITRE IV: Méthodologie et Cartographie des risques liés aux mouvements de terrain**

<b>Figure VI.1.</b> Carte géomorphologique .....	71
<b>Figure IV.2.</b> Carte d'instabilité .....	72
<b>Figure VI.3.</b> Carte de ZERMOS .....	76
<b>Figure IV.4.</b> Carte d'exposition aux risques (CER).....	76
<b>Figure VI.5.</b> carte des classes du risque .....	77
<b>Figure IV.6.</b> Carte du degré du risque .....	79
<b>Figure VI.7.</b> Carte des risques du bassin supérieur de l'oued djemaa .....	80
<b>Figure IV.8.</b> Carte de vulnérabilité .....	81
<b>Figure VI.9:</b> Carte de l'aménagement du bassin supérieur de l'oued djemaa.....	84
<b>Figure VI.10.</b> Carte des aménagements réalisés .....	85

## Liste des tableaux

*Page*

### **CHAPITRE I : Généralités sur les risques naturels**

<b>Tableau I.1.</b> Echelle M.S.K.....	24
<b>Tableau I.2.</b> Echelle de Richter .....	25
<b>Tableau I.3.</b> Les séismes les plus importants ( $M>6$ ) en Algérie depuis un siècle .....	27
<b>Tableau I.4.</b> Les séismes les plus meurtriers dans le monde ces dix dernières années.....	27

### **CHAPITRE II : Contexte géographique et géologique de la région d'étude**

<b>Tableau 1 :</b> caractéristiques hydromorphométriques.....	38
<b>Tableau 2 :</b> Température moyenne mensuelles et annuelles à la station de Bouira .....	39
<b>Tableau 3 :</b> Moyennes mensuelles de la vitesse du vent maximal et vent moyen en m/s,période..	39
<b>Tableau 4 :</b> Moyennes mensuelles du taux d'humidité relative Bouira.....	40
<b>Tableau 5 :</b> Evaporation moyennes mensuelles et annuelles à la station de Bouira .....	40
<b>Tableau 6 :</b> Les Précipitations moyennes mensuelles et annuelles à la station de Bouira.....	40

### **CHAPITRE III : Cadre morphologique**

<b>Tableau 1 :</b> Caractéristiques morphométriques du bassin supérieur de l'oued Djemaa.....	56
<b>Tableau 2:</b> Valeurs de la pente en fonction de seuils géomorphologiques.....	57
<b>Tableau 3 :</b> Tableau des altitudes de différents secteurs des versants du bassin supérieur de l'oued Djemaa.....	59
<b>Tableau 4 :</b> Classement des substrats en fonction de la sensibilité à l'arrachement et au transport des particules qui les composent.....	63
<b>Tableau 5 :</b> Classe de sensibilité à l'érosion.....	64

### **CHAPITRE IV: Méthodologie et Cartographie des risques liés aux mouvements de terrain**

<b>Tableau 1 :</b> Zonage de stabilité.....	73
<b>Tableau 2 :</b> Indexation des différents facteurs.....	75
<b>Tableau 3 :</b> Classes d'aléa.....	80
<b>Tableau 4:</b> Niveau de vulnérabilité des mouvements de terrain et des ravinements.....	81
<b>Tableau.5 :</b> Indice de vulnérabilité des mouvements de terrain et des ravinements.....	82
<b>Tableau 6:</b> Combinaison sectorielle de la pente et du degré d'instabilité des terrains.....	82

# 1. Introduction Générale

Depuis plusieurs années, la direction des travaux publics et le service forestier de Bouira se sont intéressés aux problèmes posés par les risques d'instabilité, notamment les mouvements de terrain et les ravinements en raison de leur importance dans la région de Bouira (Algérie). Situé à 8km de la ville de Bouira, le secteur étudié appartient au bassin supérieur de l'oued Djemaa qui occupe l'extrémité sud de la chaîne montagneuse du Djurdjura, Kabylie . Cette chaîne appartient au système alpin, elle s'est mise en place au cours des mouvements tectoniques de l'Eocène supérieur, comme dans la majeure partie de l'Algérie. Elle est formée de sédiments imperméables dont le flysch allant des conglomérats les plus grossiers (Wild flysch) à des argiles schisteuses de teinte sombre (flysch noir), en passant par toute une gamme de grés variés dans lesquels s'intercalent à plusieurs niveaux des horizons calcaires (flysch gréseux) . Ce sont les nappes sud -telliennes formées de marnes argileuses de Crétacé, des marnes et calcaires de l'Eocène et un oligocène marno-gréseux. Le modelé apparaît désordonné en raison de l'érosion et de la dynamique des versants. L'évolution des versants est dans notre secteur d'étude caractérisée par la présence de deux types de formes géomorphologiques : les mouvements de terrain et les ravinements.

Pour comprendre les mécanismes de cette évolution, une analyse de la stabilité des versants a été menée lors d'une campagne de terrain et des prélèvements ont été effectués afin de mieux cerner les caractéristiques des matériaux déplacés. Tous les échantillons prélevés ont fait l'objet d'analyses granulométriques et d'essais géotechniques au sein de laboratoire de travaux public à Bouira. Le glissement de terrain de Sidi Mâamar, à l'ouest du secteur d'étude, a fait l'objet d'études spécifiques menées par le Laboratoire Central des Travaux Publics d'Alger qui a procédé à des mesures inclinométriques, à des sondages carottés et à des essais de pénétration statique à l'emplacement du glissement. Ce glissement menace la section « contournement de la ville de Bouira » de l'autoroute est-ouest au niveau du Pk 190 +200.

L'intérêt de ce travail est de mettre à la disposition de l'utilisateur un outil d'analyse de stabilité qui comprend la détection des mouvements en profondeur (inclinomètre) et qui permet de mettre en évidence l'influence de la pluviométrie sur l'accélération ou le ralentissement du mouvement. Parallèlement à ce travail de terrain, un questionnaire a été élaboré puis proposé à la population locale afin d'apprécier sa connaissance des risques naturels.

Notre analyse ne concerne pas uniquement les mouvements de terrain, mais aussi les mesures concernant l'évolution du ravinement au cours des dernières années. Les résultats ont subi des traitements statistiques. L'érosion par ravinement constitue un processus dynamique de dégradation des sols redoutable dans notre secteur d'étude. La violence des averses et la faible cohésion de beaucoup de terrains, conduisent à l'apparition de ravinements, parfois de "bad-lands" tels que ceux qui existent sur le versant sud du Djurdjura.

Les manifestations d'instabilité y sont particulièrement nombreuses et posent de sérieux problèmes au niveau de l'aménagement du territoire. Sur le terrain, on a observé des déformations lentes qui se manifestent sous forme de glissements à l'échelle métrique et à l'échelle de plusieurs dizaines de mètres. Sur les pentes des versants, les fissures, dont l'ouverture a pu atteindre quelques centimètres de largeur et de 1 à 2 mètres de profondeur, sont

## INTRODUCTION GENERALE

---

apparues au sud et à l'ouest du secteur d'étude. Au cours de l'année 1985, une salle de classe d'une école à Tibaouanine s'est effondrée, à la suite de mouvements et de fissures de traction observés à l'emplacement de l'effondrement. Au regard de cette instabilité qui s'est manifestée sur le versant sud et qui s'est accélérée durant l'année 2005, il est probable que le risque d'instabilité puisse affecter, en quelques années, l'ensemble de la région et exposer les populations à l'aléa. Ceci a finalement conduit ces populations à réclamer une étude détaillée pour évaluer les conditions de stabilité dans la zone du lotissement et des aménagements.

Parmi les mesures d'urgence, il y a la réalisation d'un système de drainage superficiel (drains en pierres, tranchées ouvertes et fermées,...) et profond orienté selon la pente qui permettrait de collecter et drainer les écoulements des eaux de surface, pour réduire au maximum les phénomènes d'érosion. Des ouvrages de captage, collecte et évacuation, ont pour principe de capter et dériver les eaux de surface s'écoulant en direction de la zone sensible, d'éliminer les zones de stagnation. Le remodelage de la pente, le confortement des sols et le renforcement des structures sont les principales méthodes à mettre en œuvre pour traiter les glissements et protéger les chaussées routières. Enfin le colmatage de toutes les fissures existantes sur les versants menacés apparaît nécessaire.

Notre étude porte principalement sur les glissements de terrain, les coulées boueuses et les ravinements qui affectent plus spécialement les versants cultivés et les ouvrages d'art. Pour chaque cas étudié, on s'est efforcé de rechercher les causes de rupture, et dans la mesure du possible, d'expliquer l'association glissement-ravinement. On a remarqué que la plupart des glissements sont issus des ravinements. En effet sur le versant sud, on note l'importance du phénomène de ruissellement. Les écoulements superficiels diffus sont très importants et tronquent les horizons superficiels des sols. On observe toutes les formes d'érosion hydrique : formes liées aux rigoles, aux ravinements, aux bad-lands et aux mouvements de terrain comme les coulées boueuses, les glissements de terrain et des mouvements mixtes où des glissements évoluent en coulées en mobilisant des volumes de terre considérables. Souvent des glissements se produisent dans des zones où on observe des formes caractérisant d'anciennes loupes de glissement : cela donne finalement aux pentes, l'aspect d'un escalier aux marches arrondies. De très nombreuses études ont été entreprises et certaines sont en cours d'achèvement (service technique, mairie Ait Laaziz). Elles ont pour but de diminuer la vitesse des eaux de ruissellement et d'arrêter la progression des ravines. Elles ont conduit à la mise en place, en 2005, le long du versant raviné et au niveau des talus des routes, de gabions et de murs des pierres.

L'aboutissement de cette enquête est la constitution d'une carte des risques naturels liés aux mouvements de terrain. Cette carte est un document de base pour la compréhension des problèmes liés à l'aménagement du territoire et à l'environnement. La cartographie représentant les mouvements de terrain est complétée par les zones de risques définies à partir des facteurs de causalité. Le principe général de cartographie est de définir les secteurs en fonction de leur degré d'instabilité. L'échelle du 1 /50000 que nous avons adoptée sur toutes les cartes thématiques et la carte de synthèse, permet de représenter non seulement le type et degré d'aléa mais aussi les différentes formes et formations.

Motivé par notre objectif principal qui est l'étude des glissements de terrain et des ravinements, nous avons inventorié et analysé ces phénomènes géodynamiques. Nous proposons des fiches où sont décrits les exemples de chaque type de phénomène

### Choix du secteur

Le bassin supérieur de l'oued Djemaa, notamment le versant sud, correspond à une région à risques inhérents à la dynamique des versants, et dont l'évolution géomorphologique est susceptible de porter atteinte aux œuvres humaines (maisons et murs fissurés, routes et chemin de fer déformés, canalisations rompues, arbres fruitiers, comme les oliviers, basculés,.....).

Les conditions favorables aux risques naturels sont nombreuses dans le secteur d'étude : abondance des précipitations hivernales et printanières consécutives à de fortes averses et des intensités horaires élevées, relief accidenté avec de fortes pentes, abondance des formations colluviales instables. Ces conditions génèrent de nombreux mouvements de terrain, allant de la solifluxion généralisée à la coulée boueuse, au glissement et au ravinement, dont la plupart semblent aujourd'hui encore en activité.

Les versants sont ponctuellement la proie des ravinements et des mouvements de terrain, à cause de la présence d'argile capable d'absorber de l'eau. Cela traduit un équilibre instable qui est susceptible d'être réactivé par la solifluxion en cas de saturation en eau. La plus grande partie des matériaux argileux subit des phénomènes de retrait et de gonflement, lorsque la teneur en eau varie. Lors du retrait en saison sèche, des fissures apparaissent et dépassent quelques fois 10 cm en largeur et 1 m et plus en profondeur. Celles-ci deviennent les voies de pénétration préférentielles pour les eaux de pluies qui saturent les terrains en surface. Il arrive que sur le versant raviné, le glissement gagne la partie amont du versant, tandis qu'ailleurs le ravin s'installe après la mise en place du glissement et sert de drain pour l'évacuation de l'eau.

De nombreuses actions d'aménagement du milieu naturel sont menées par la wilaya de Bouira pour lutter contre le ravinement par l'érosion hydrique et les glissements de terrain. Il s'agit de la construction des gabionnages sur le canal d'écoulement et les banquettes de D.R.S. (Défense et Restauration des Sols) sur le versant instable.

Nous avons porté notre choix sur une portion du massif kabyle constitué par des versants qui constitue une partie du bassin supérieur de l'oued djemaa. Les raisons du choix du terrain d'étude sont donc multiples, notamment par l'intensité et la diversité des phénomènes de mouvements de terrain qui s'y développent, par des processus d'érosion dominés par le ravinement qui s'exerce sur les versants et pour l'évaluation des aléas naturels qui repose sur une connaissance approfondie de l'environnement géomorphologique du secteur étudié. Celui-ci passe par un relevé cartographique des aléas naturels afin d'apprécier les zones exposées aux risques de mouvements de terrain et de ravinements, pour ainsi attirer l'attention sur la fragilité des versants dans la région. Par ailleurs en matière de futurs projets, il est nécessaire pour recueillir des observations suffisamment complètes, d'examiner le secteur d'étude sous des angles différents. Une étude détaillée destinée à suivre l'évolution des déplacements et connaissance par sondage en vue de déceler une aggravation des mouvements de terrain, permettant l'établissement d'une cartographie prévisionnelle.

# *Chapitre 1*

## *Généralités sur les risques naturels*

### I.1 Définitions

- **Le risque** est la possibilité de survenance d'un évènement susceptible de porter atteinte à l'équilibre naturel. Le risque résulte de la conjonction d'un *aléa* et des *enjeux* en présence.
- **L'aléa** est la probabilité d'occurrence d'un phénomène donné. On parle toujours d'un aléa pour un phénomène et une durée donnés : aléa volcanique, aléa sismique, aléa mouvement de terrain, aléa inondation.
- **Les enjeux** sont les personnes, les biens, les équipements et l'environnement menacés par l'aléa, et susceptibles de subir des préjudices.



**Figure I.1:** Schéma explicatifs des notions d'aléa, enjeu et risque [1].

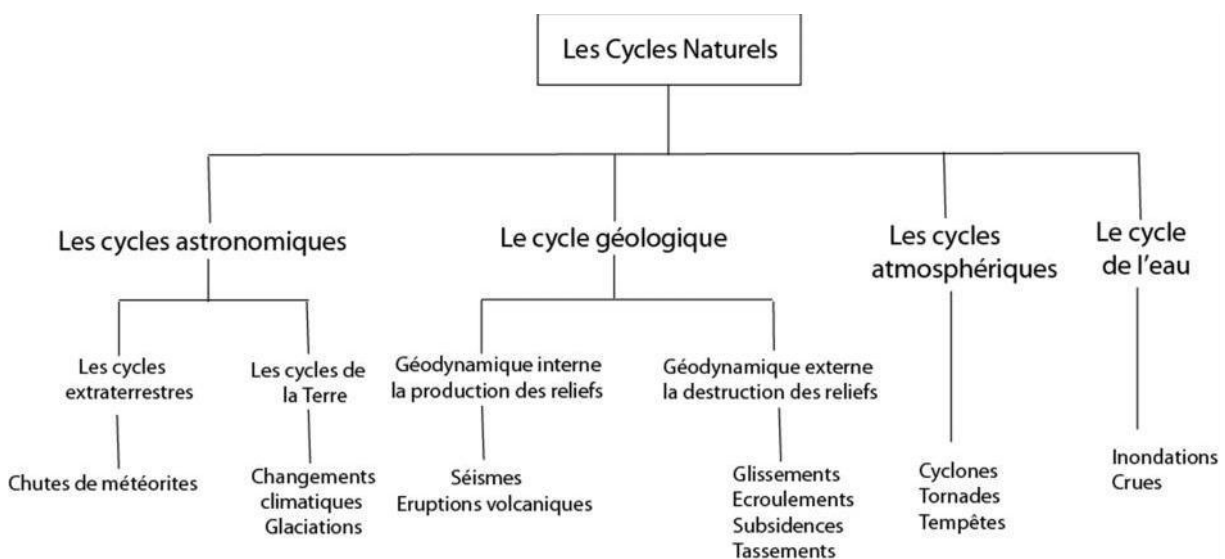
- Il y a risque naturel lorsqu'un enjeu est menacé, même potentiellement, par un phénomène naturel.
- Un phénomène naturel ne menaçant aucun enjeu reste un **phénomène naturel**. Par exemple : une avalanche au fond d'une vallée non fréquentée n'est pas un risque naturel.

## I.2 Les phénomènes naturels dangereux

Les chutes de météorites, les éruptions volcaniques, les séismes, les tsunamis, les cyclones, les crues, les mouvements de terrain... sont des événements intempestifs de phénomènes naturels qui peuvent être plus ou moins fréquents et se révéler plus ou moins dangereux en certaines circonstances dans certains sites.

### I.2.1 Les cycles naturels

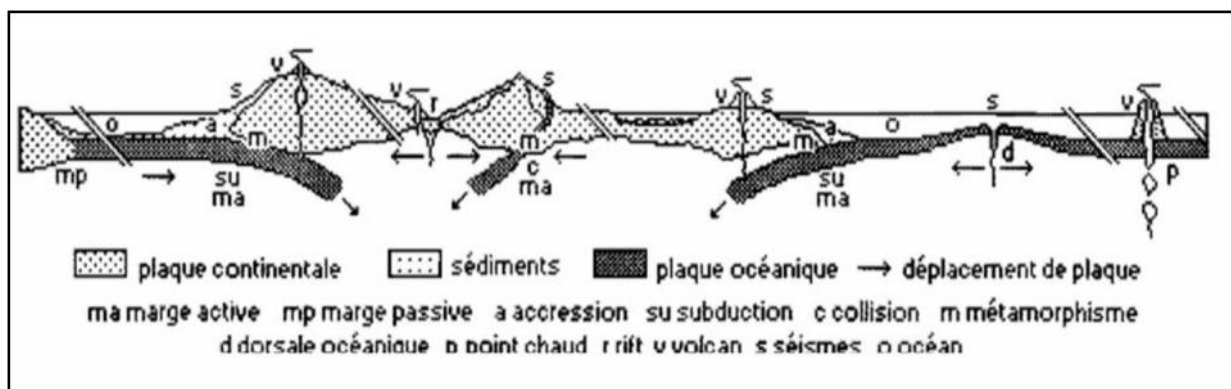
Les phénomènes naturels sont généralement liés aux cycles naturels qui peuvent être résumés dans le schéma de la (figure I.2.)



**Figure I.2:** Classification des cycles naturels [1].

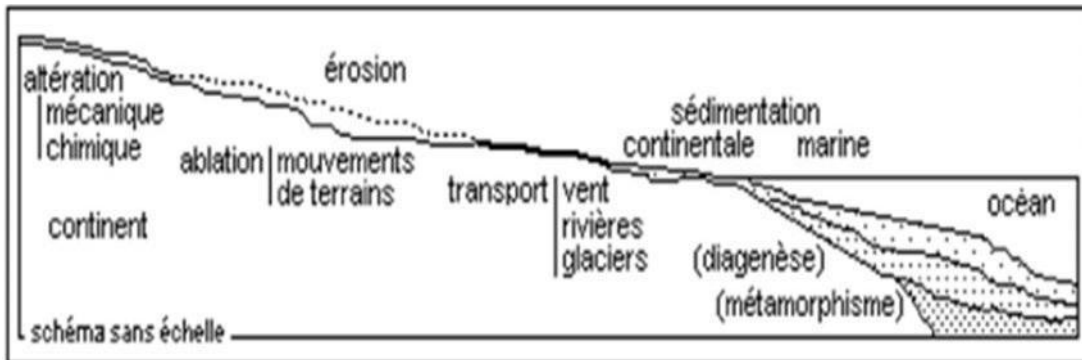
- **Les cycles astronomiques :** qui sont liés aux mouvements des astres dans le Système solaire. On distingue :
  - Les cycles extraterrestres, liés aux mouvements des planètes (excepté la Terre), astéroïdes et comètes autour du Soleil et de la Lune autour de la Terre. La chute de météorites en tant que risques naturels est liée à ce cycle.
  - Les cycles de la Terre, liés aux mouvements de la Terre autour du Soleil et autour de son axe de rotation. A ces cycles sont liés le climat et les glaciations.

- **Le cycle géologique** : le cycle géologique est le modèle schématisé de comportement du système terrestre selon lequel, depuis l'origine de la Terre, des reliefs se créent et se détruisent incessamment à la surface du globe. On distingue des phases **internes** d'orogénèse et surrection et **externe** d'érosion, altération, ablation, transport, sédimentation et diagenèse.
- Géodynamique interne (la production des reliefs), liée à la tectonique des plaques et due à la dissipation de l'énergie interne de la Terre. Selon la théorie de la tectonique des plaques, la partie superficielle de la Terre est formée de plaques rigides d'une centaine de kilomètres d'épaisseur, flottant sur l'asthénosphère. Ces plaques sont en mouvement les uns par rapport aux autres et peuvent comporter une croûte océanique ou continentale ou les deux. La croûte océanique est formée au milieu des océans au niveau des dorsales océaniques et peut disparaître par plongement au niveau des zones de subduction (figure I.3). Quand deux plaques continentales se rencontrent, une chaîne de Montagnes se forme. Le mouvement des plaques se manifeste en surface par les séismes et les éruptions volcaniques, événements naturels les plus dangereux [1], [2].



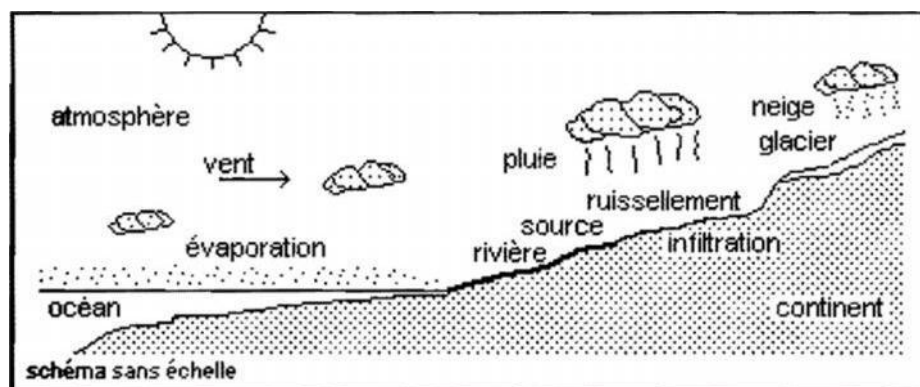
**Figure I.3** : Schéma récapitulatif des manifestations en surface de la Géodynamique interne [1].

- Géodynamique externe (la destruction des reliefs), qui concerne la dynamique des enveloppes externes telles que l'hydrosphère, l'atmosphère et les interactions entre ces enveloppes et la lithosphère : érosion, transport, sédimentation, diagenèse (figure I.4) Ces phénomènes sont susceptibles d'être des facteurs de risques « naturels » ; on rattache par exemple les glissements et les écroulements à l'érosion, les subsidences et les tassements à la diagenèse .



**Figure I.4 :** Schéma récapitulatif des manifestations de la Géodynamique externe [1].

- **Les cycles atmosphériques :** L'activité solaire est à l'origine des cycles atmosphériques . Des écarts d'apport énergétique solaire entre les différents points du globe naissent les phénomènes météorologiques les plus divers.
- **Le cycle de l'eau :** provoque et entretient en grande partie la destruction des relief . L'eau s'évapore depuis la surface des océans dans l'atmosphère où, sous forme de nuages, elle se déplace sur des distances importantes. Au-dessus des continents, l'eau en suspension dans les nuages se condense et retombe sous forme de précipitations, s'infiltrant dans le sol et alimentant les lacs et les cours d'eau. Cette eau finit par retourner aux océans et le cycle recommence (figure I.5) .



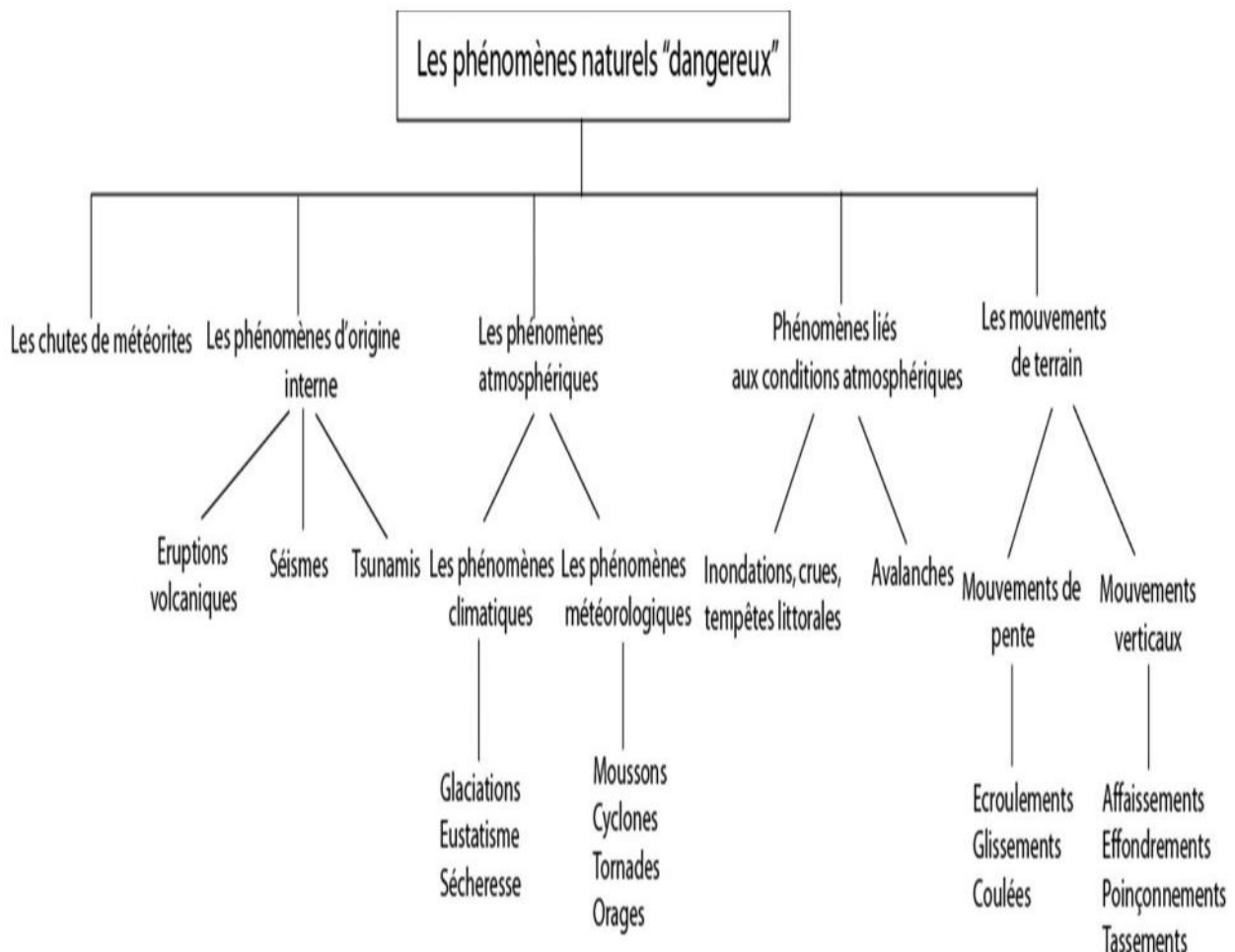
**Figure I.5 :** Le cycle de l'eau [1].

### I.2.2 Les phénomènes naturels dangereux [3].

Une classification simplifiée des phénomènes naturels susceptibles d'être dangereux est donnée dans la (figure I.6).

- **Les chutes de météorites** : des chutes de météorites peuvent se produire partout, n'importe quand, de n'importe quel volume et sont imprévisibles. Comme exemple, citons l'événement de la Toungouska survenue le 30 juin 1908 en Sibérie, qui a détruit la forêt sur un rayon de 20 kilomètres et fait des dégâts jusqu'à une centaine de kilomètres.
- **Les phénomènes d'origine interne** : les effets de la tectonique des plaques sont les éruptions volcaniques et les séismes qui se produisent à la limite entre les plaques tectoniques. Exemple : la ceinture de feu à la périphérie du Pacifique connue pour ses séismes destructeurs et son volcanisme actif.
- **Eruptions volcaniques** : plus de six cents volcans sur Terre ont eu des éruptions pendant la période historique. Ces éruptions sont rares même près des volcans actifs. Comme exemple, citons le réveil du volcan Pinabuto aux Philippines qui a fait plus de 800 victimes en 1991, décimant des dizaines de milliers d'hectares.
- **Séismes** : on appelle séismes les vibrations terrestres naturelles et résultent de la libération brusque d'énergie accumulée par les contraintes exercées sur les roches. Il se produit de très nombreux séismes tous les jours, mais la plupart ne sont pas ressentis par les humains. Les plus puissants d'entre eux comptent parmi les catastrophes naturelles les plus destructrices. Citons comme exemple le séisme qui frappa la capitale haïtienne Port-au-Prince en 2010 et qui a fait plus de 230 000 morts.
- **Tsunamis**: ce sont des ondes isolées du large qui s'amplifient démesurément à l'approche des côtes et pénètrent souvent très loin du rivage, provoquant alors des dommages bien plus considérables que les tempêtes. Comme exemple, citons le Tsunami qui ravagea les côtes des pays de l'océan indien en 2004 et fait plus de 230.000 morts.
- **Les phénomènes atmosphériques** : les événements atmosphériques (cyclones, tempêtes, tornades...) et les événements naturels qui en sont les sous-produits (inondations, mouvements de terrains...) sont les aléas les mieux connus et les plus suivis.
- **Les phénomènes climatiques**: les phénomènes climatiques glaciations, eustatisme, sécheresse affectent une partie voire l'ensemble du globe pour des durées qui dépassent largement le temps humain et même historique. Exemple: la sécheresse qui a eu lieu dans les années 1970 et 1980 au Sahel et qui a fait des centaines de milliers de morts.

- **Les phénomènes météorologiques:** les phénomènes météorologiques, moussons, cyclones, tornades, orages...affectent des régions bien déterminées et sont plus ou moins saisonnier. Exemple : l'ouragan Katrina qui dévasta le Sud- Est des Etats-Unis en 2005 a fait 1 836 morts.
- **Phénomènes liés aux conditions atmosphériques**
- **Inondations, crues, tempêtes littorales:** ces provoquent et entretiennent, l'érosion, le transport et la sédimentation à l'échelle régionale, et des déplacements de lits, de côtes, des modifications de paysages... à l'échelle locale. Exemple : les inondations liées à la mousson qui ont eu lieu en 2010 au Pakistan et qui ont fait 1600 morts et 12 millions de sinistrés.
- **Avalanches:** sont des aléas naturels extrêmement fréquents en Montagne et souvent très Graves.
- **Les mouvements de terrain :** ce sont les effets de la gravité sur le matériau terrestre, associée à d'ers événements déclencheurs, séismes, fortes précipitations, excavations naturelles ou artificielles.
- **Mouvements de pente :** constituent la classe la plus vaste d'aléas. Ce sont des mouvements obliques, qui affectent les pentes tant naturelles qu'artificielles, écroulements, coulées, glissements ....
- **Mouvements verticaux:** comprennent les affaissements, effondrements, tassements, qui résultent de la consolidation progressive de sédiments, sous l'effet de leur propre poids, à laquelle s'ajoute parfois la subsidence, d'effondrements de voûtes de cavités de formations karstiques, gypseuses... ils peuvent être provoqués soit par surcharge locale de la surface du sol, comme celle résultant de la construction d'un ouvrage, soit par extraction de matériau du sous-sol, comme lors de l'exploitation de pétrole, d'eau, de matériaux, de minerai, la construction de galeries.



**Figure I.6 :** Classification des phénomènes naturels « dangereux » [1].

Dans ce qui suit, nous développerons en détails les phénomènes naturels susceptibles d’être dangereux liés au cycle géologique et qui font l’objet de ce mémoire (qui concernent la région d’étude) : mouvements de terrain et séismes

### I.3 Les mouvements de terrain

Les mouvements de terrain regroupent tous les cas de déplacement de masses de terrain sous l’action de la pesanteur. Ils peuvent être très lents ou extrêmement rapides. On peut classer les mouvements de terrain en deux grands types (figure I.7) :

- Le premier groupe concerne les déplacements obliques vers des surfaces libres inclinées ; ils affectent les pentes naturelles ou terrassées : c'est les **mouvements de pente**.
- Le second groupe concerne les déplacements verticaux confinés abaissant sans rupture des surfaces horizontales : c'est les **mouvements verticaux**.

### **I.3.1 Les mouvements de pente [4].**

Les mouvements de pente constituent la classe la plus vaste d'aléas. Ce sont des mouvements obliques qui affectent les pentes tant naturelles qu'artificielles. De nombreuses classifications ont été proposées pour rendre compte de la diversité des mouvements de pente. Les principaux critères de classification retenus sont :

- Types de terrain affectés.
- Types de mouvements.
- Vitesse des processus.
- Taux de remaniement des matériaux après le mouvement.

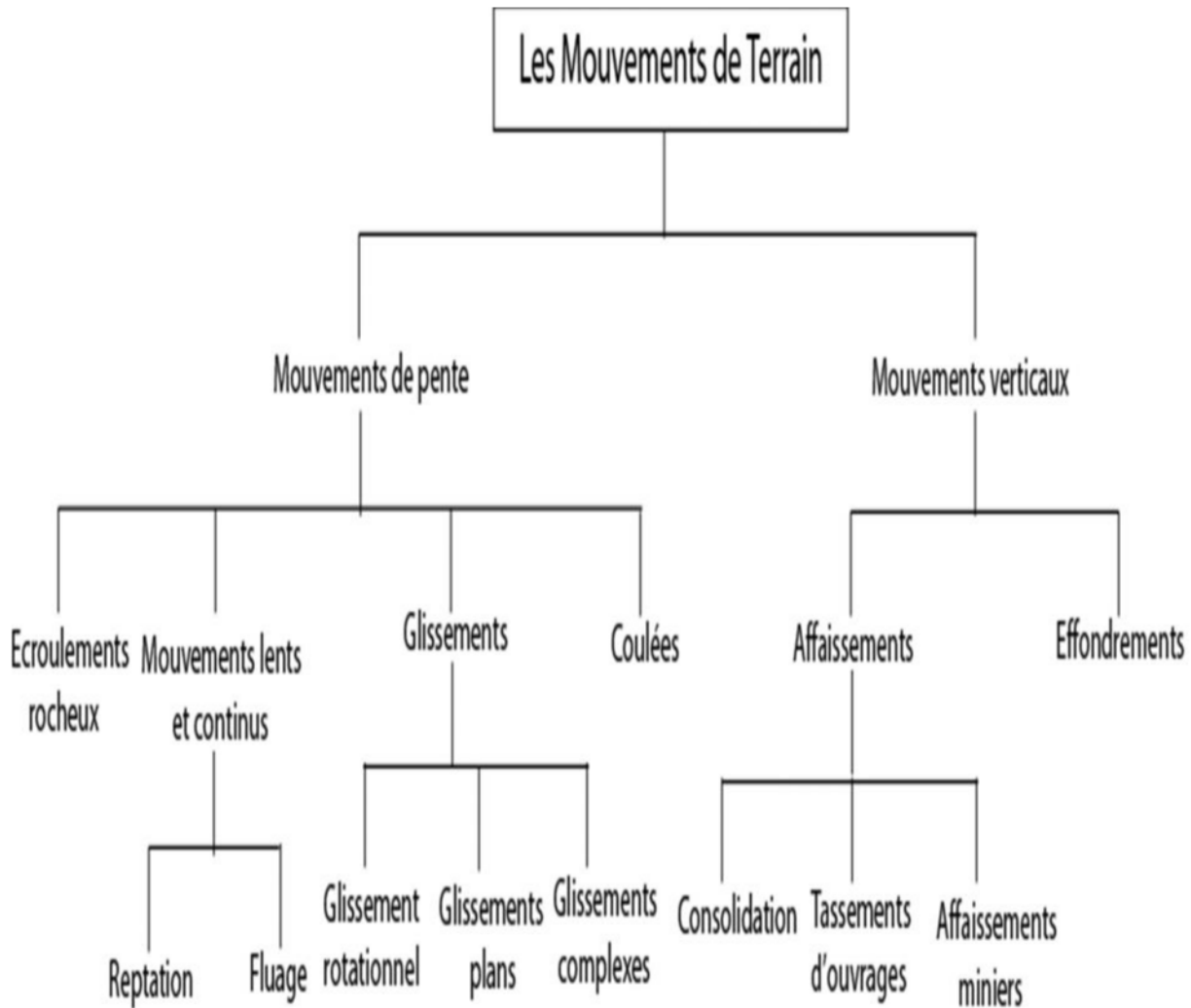
Les mouvements de pente les plus fréquents sont classés en :

- Ecoulement rocheux.
- Mouvements lents et continus (reptation et fluage).
- Glissements.
- Coulées, laves et lahars.

Les causes des mouvements de pente sont nombreuses ; les principales sont d'ordre :

- Hydrogéologique : altération de matériau, accumulation d'eau souterraine...
- Mécanique : vibrations, suppression de butée, affouillement en pied de pente et/ou accroissement de poussée, surcharge en tête.....

Les mouvements de pente peuvent être activés par : (1) un séisme ; (2) des précipitations excessives ; (3) une crue ; (4) une tempête ; (5) des ruptures de canalisations d'eau ou d'assainissement ; (6) un défaut de drainage ; (7) un dégel rapide ; (8) un terrassement mal étudié ou intempestif ; (9) une construction mal implantée ou mal conçue ; (10) un soutènement inadapté ....

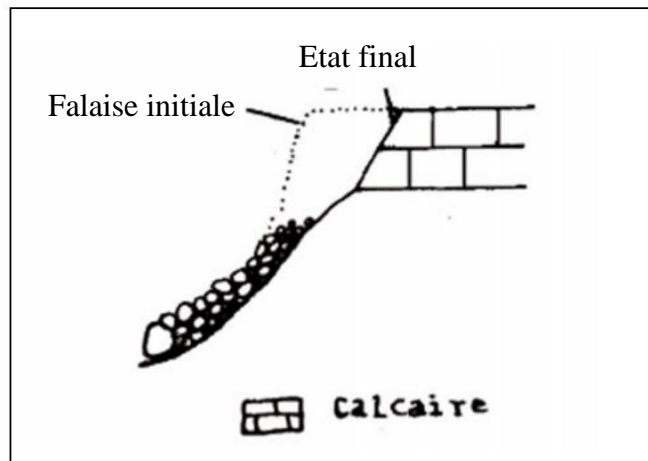


**Figure I.7:** Classification des mouvements de terrain [1, 4].

### I.3.1.1 Les écoulements

Ce sont des chutes soudaines de masses rocheuses (Figure I.8). On utilise le terme de chute de pierres lorsque des fragments ou des blocs de petite taille se détachent d'une paroi rocheuse.

Le terme écoulement (ou éboulement) est utilisé lorsque la chute affecte, simultanément, une masse importante de matériaux de gros calibre. Les écoulements ont deux origines : présence de fractures préexistantes et de niveaux tendres sous-jacents.



**Figure I.8:** Ecoulement [1, 4].

### I.3.1.2 Mouvements lents et continus

Les mouvements lents et continus affectent soit la couverture meuble de talus, soit l'altérite et/ou le substratum plus ou moins décomprimé de versants montagneux.

#### a. Reptation

La reptation consiste en un déplacement et une redistribution des particules, au sein d'une formation meuble, sous l'action de la pesanteur ce qui se traduit par une lente descente de l'ensemble. Elle s'exprime, le long des versants en pente par la courbure de la base des troncs d'arbre, l'inclinaison des piquets des pâtures, et le fauchage de la partie sommitale des affleurements de roches meubles (figure I.9) .

#### b. Fluage

Le fluage se produit généralement au sein de formations (marnes, argiles plastique, etc.) de grande épaisseur, supportant une surcharge (naturelle ou anthropique). Ce type de phénomène s'observe également dans des remblais constitués d'argiles, qui ont été amenées à des teneurs en eau élevées au cours du temps et fluant sous leur propre poids. Dans l'exemple de la (figure.10), le banc de marne flue sous le poids de la falaise calcaire. Ceci peut provoquer une fissuration du banc calcaire peu déformable et un risque d'écroulement de La falaise [5].

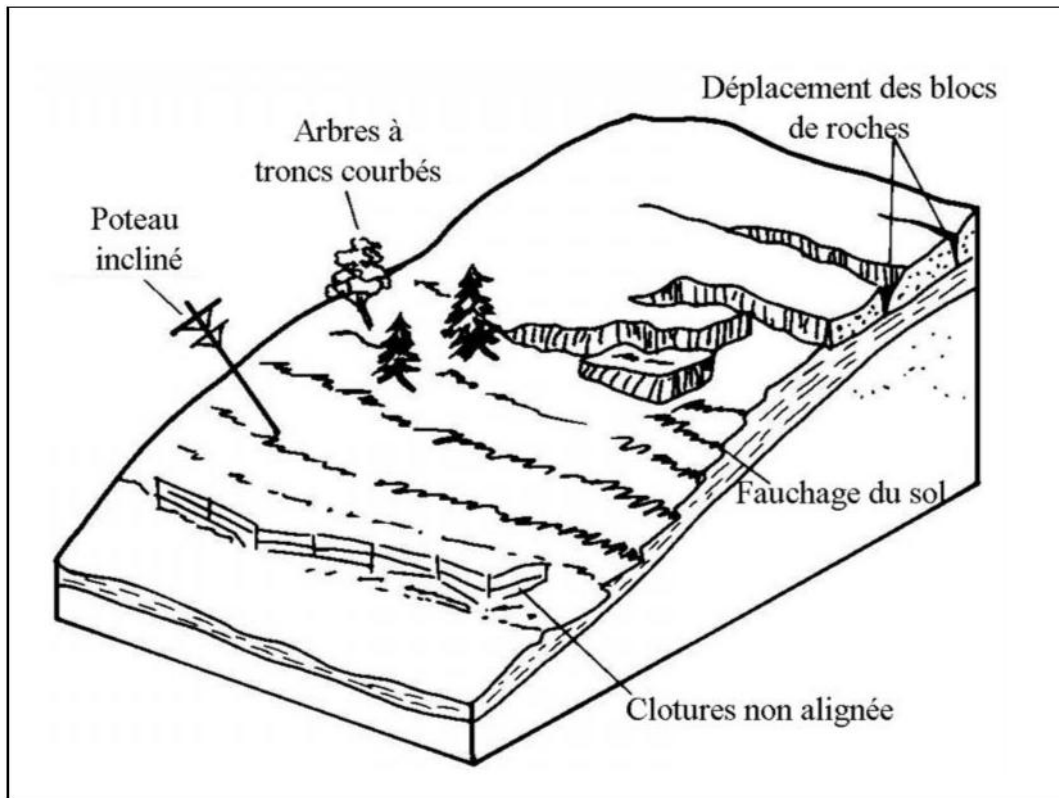


Figure I.9 : Exemple de reptation [1].

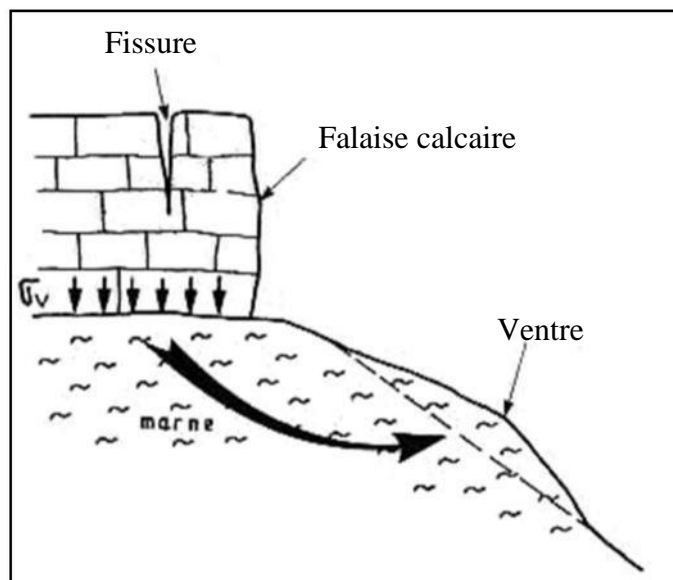
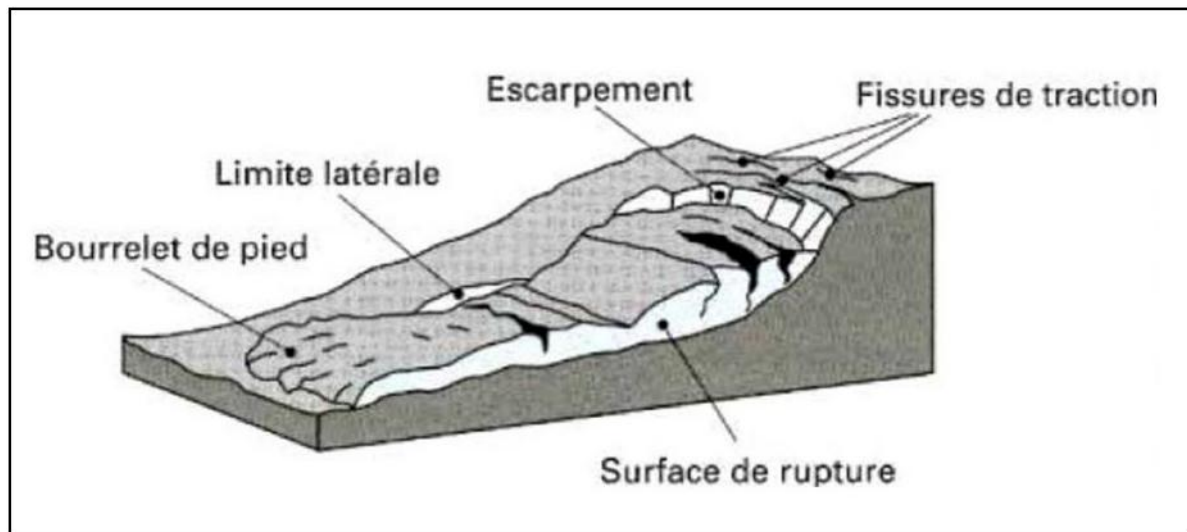


Figure I.10 : Exemple de fluage [5].

### I.3.1.3 Les glissements

Les glissements consistent en une descente massive et relativement rapide de matériaux le long d'une surface bien définie. Ils se produisent généralement dans des matériaux faiblement cohérents (marnes, argiles..). Un glissement de terrain se produit lorsque les contraintes de cisaillement, dues aux forces motrices telles que le poids, excèdent la résistance du sol le long de la surface de rupture. Les glissements sont les mouvements qui affectent le plus fréquemment les ouvrages de génie civil et génie minier [4, 6].

Les principaux éléments morphologiques d'un glissement sont représentés sur la (figure I.11).



**Figure I.11** : Principaux éléments de description d'un glissement de terrain [6].

La forme de la surface de rupture a permis de définir deux grandes catégories de glissement :

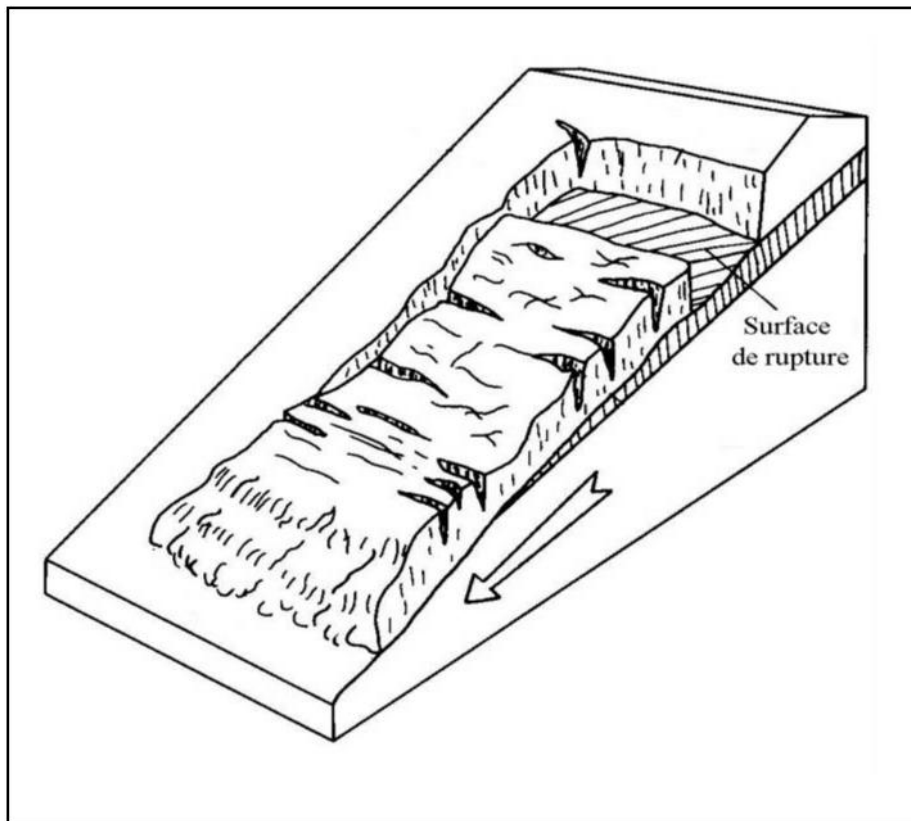
- Glissement plan ;
- Glissement rotationnel simple ;

#### a. Glissement plan

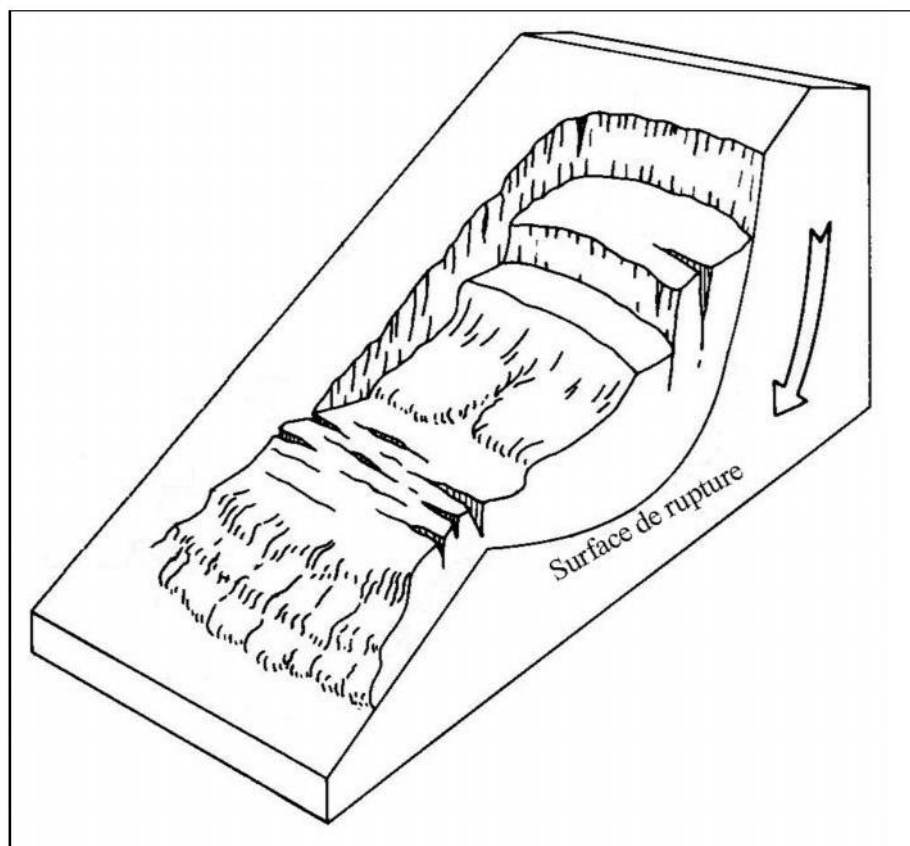
Il se produit suivant un plan, le plus souvent au niveau d'une zone de discontinuité entre deux matériaux de nature différente par exemple limite entre une altérite et son substrat (figure I.12). La ligne de rupture suit une couche mince de mauvaises caractéristiques sur laquelle s'exerce souvent l'action de l'eau. Une telle couche est appelée « couche savon ».

**b. Glissement rotationnel**

Ce type de glissement est très fréquent. Le terrain glisse le long d'une surface concave ayant la forme d'une cuillère (figure I.13). La partie supérieure affaissée se scinde en blocs surmontés d'escarpement de failles. La partie inférieure évolue en une coulée plus ou moins développée.



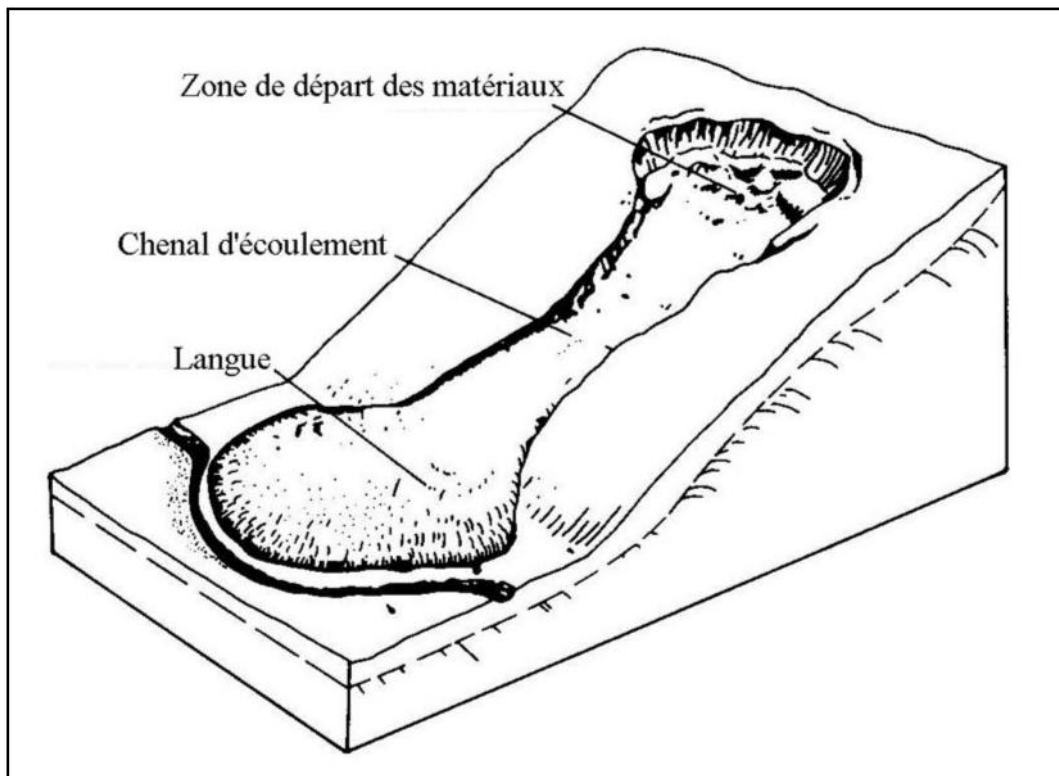
**Figure I.12 :** Glissement plan [6].



**Figure I.13 :** Glissement rotationnel [6].

#### **I.3.1.4 Les coulées de boues**

Les coulées sont assimilables à l'écoulement d'un fluide visqueux charriant des éléments de tailles diverses (depuis les fines jusqu'aux blocs) sur des distances parfois importantes. Elles se produisent à partir de matériel meuble, momentanément saturé en eau, prenant alors une consistance plus ou moins visqueuse, parfois proche de la fluidité. On distingue plusieurs types de coulées telle que : (i) **coulées boueuses** (incluant coulée de blocs, de terre, de boue, lave torrentielle, lahar : coulée boueuse d'origine volcanique, avalanche de débris et se produisant surtout en montagne) (Figure I.14), (ii) **coulées de solifluxion** (déplacement lent des sols en milieu périglaciaire, résultant de l'instabilité de la partie dégelée du sol, en surface, au cours de l'été).



**Figure I.14 :** Coulée de boues [1].

### **I.3.2 Les mouvements verticaux**

Les affaissements et effondrements sont aussi des mouvements naturels provoqués ; naturels, ils résultent de la consolidation progressive de sédiments, sous l'effet de leur propre poids, à laquelle s'ajoute parfois la subsidence, d'effondrements de voûtes de cavités de formations karstiques, gypseuses... ils peuvent être provoqués soit par surcharge locale de la surface du sol, comme celle résultant de la construction d'un ouvrage, soit par extraction de matériau du sous-sol, comme lors de l'exploitation de pétrole, d'eau, de matériaux, de minerai, la construction de galeries.

### I.3.2.1 Les affaissements

Les affaissements sont des mouvements verticaux de terrain qui abaissent lentement et sans rupture, la surface du sol, la plupart résultent d'un processus naturel, la consolidation ; ils produisent des cuvettes et dépressions parfois très vastes et des tassements d'ouvrages. Les effondrements de cavités profondes comme les mines peuvent produire de vastes zones d'affaissements en surface. Les mouvements provoqués par le dégel ou la sécheresse sont des cas particuliers plus limités mais néanmoins souvent dommageables.

- **La consolidation** : elle affecte des matériaux meubles récemment déposés, sédiments subactuels, remblais... Elle est le résultat de l'écrasement des interstices d'un matériau granuleux, sous l'effet de son propre poids
- **Les tassements d'ouvrages** : un ouvrage construit dans un site dont le sous-sol est rocheux ou meuble, induit un champ de contraintes qui provoque sous lui des déformations progressives et permanentes. L'ouvrage s'enfonce plus ou moins dans le sol et peut subir des distorsions qui entraînent sa fissuration, voire son inclinaison.
- **Les affaissements miniers** : Le sol des régions de mines s'affaisse généralement de façon irrégulière et sur de grande surface. Certaines techniques d'exploitation des mines créent des vides souterrains importants qui se combleront par effondrement du toit, cela entraîne la décompression et la fragmentation des matériaux stériles coiffant le gisement.

### I.3.2.2 Les effondrements

Les effondrements sont des écroulements subverticaux entraînés par des ruptures brusques de toits de cavités naturelles résultant de dissolutions de roches, calcaire ou gypse ou de soutènements de carrières souterraines ou de mines ; selon la surface, la hauteur et la profondeur de la cavité, ils aboutissent en surface à des dépressions, des cuvettes, des avens, des gouffres ou des fontis, après s'être propagés à travers toutes sortes de matériaux, entre la cavité et le sol, en les fracturant et en les faisant foisonner.

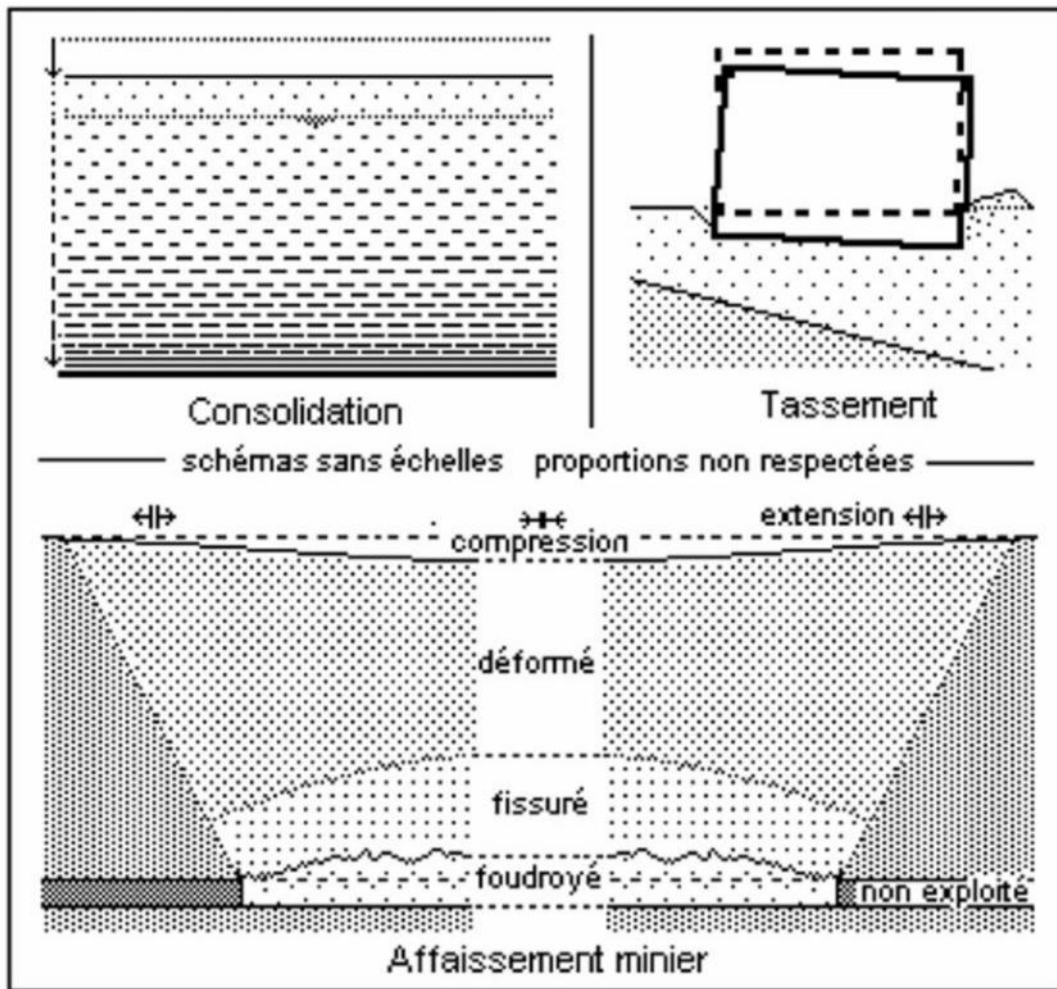


Figure I.15 : Les affaissements [1, 2].

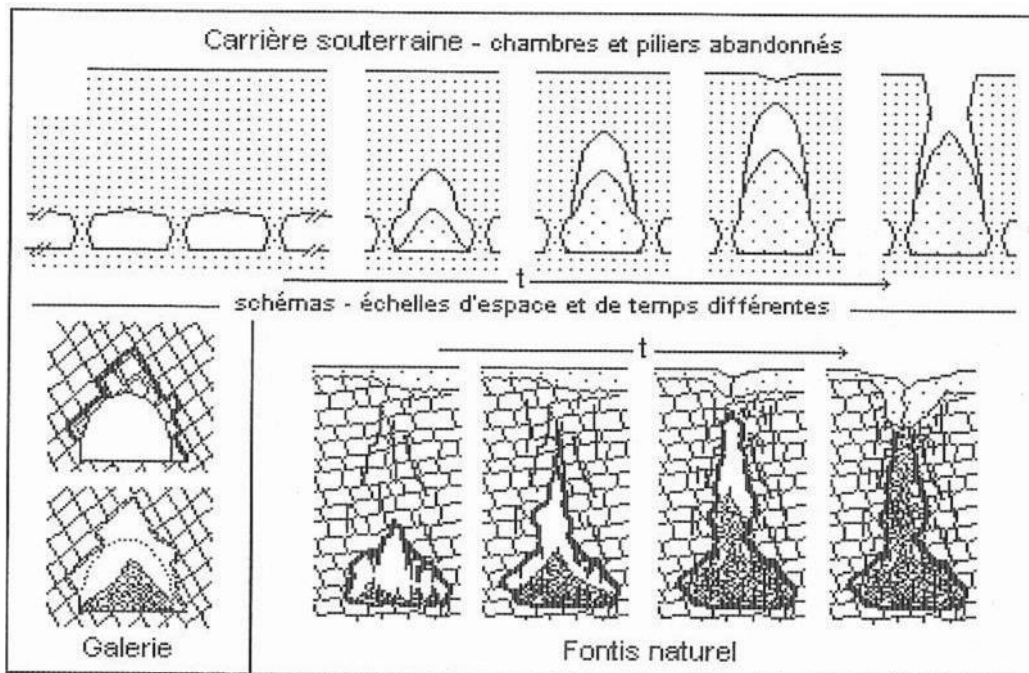


Figure I.16: Les effondrements [1, 2].

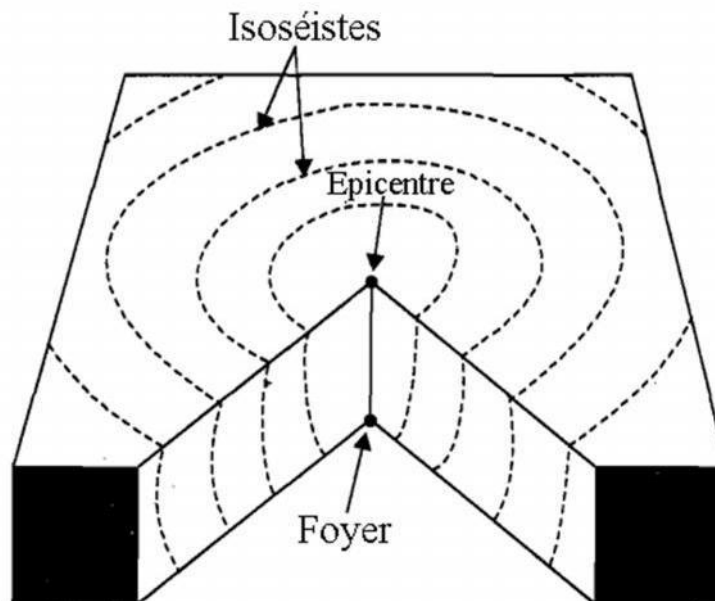
## I.4 Les séismes et le risque sismique

### I.4.1 Définitions

On appelle tremblement de terre ou séisme toute secousse (vibration de la surface de la Terre) ou série de secousses plus ou moins violentes du sol.

Les séismes sont provoqués par la libération d'une grande quantité d'énergie accumulée depuis des dizaines ou des centaines d'années dans une région donnée. Cette énergie libérée se propage sous forme d'ondes sismiques qui provoquent des vibrations à la surface de la terre. En général, l'énergie est libérée lors de la fracturation des roches en profondeur (RPA 2003, Aléas sismique) [7, 8].

- On appelle **foyer** ou **hypocentre** le lieu où se produit le premier choc en profondeur (C'est le lieu de la rupture des roches en profondeur) (Figure I.17).
- On appelle **épicentre**, le point de la surface situé à la verticale du foyer (figure I.17). À l'épicentre, la force d'un tremblement de terre est maximale, et à mesure qu'on s'éloigne elle diminue.
- **L'intensité d'un séisme** est définie en un lieu par rapport aux effets produits par ce séisme (effets et conséquences du séisme en un lieu donné).
- Les lignes d'égalité de force (intensité) d'un tremblement de terre s'appellent **isoséistes** (Figure 1.17).
- L'instrument utilisé pour enregistrer les séismes s'appelle : **le sismographe**.



**Figure I.17** : Foyer, épicentre et lignes isoséistes [1, 2].

### I.4.2. Classification des séismes

La classification des tremblements de terre se base sur un nombre de critères. Les plus importants sont : (1) la profondeur du foyer ; (2) l'origine du séisme et (3) l'intensité et la Magnitude des tremblements de terre [9, 10].

- Selon la profondeur du foyer, on distingue :
  - Les séismes **superficiels** : la profondeur du foyer est inférieure à 60 km.
  - Les séismes **intermédiaires** : le foyer est situé entre 60 et 300 km de profondeur.
  - Les séismes **profonds** : la profondeur du foyer dépasse 300 km.
- Selon l'origine du séisme, on distingue les séismes d'origine tectonique et ceux d'origine non-tectonique.
  - Les séismes **d'origine tectonique** sont directement liés aux mouvements de l'écorce terrestre le long de failles. C'est les plus importants (95 % des séismes enregistrés), les plus destructeurs et peuvent affecter de grandes superficies.
  - Les séismes **d'origine non-tectonique** peuvent être provoqués par des éruptions volcaniques, l'effondrement de cavités souterraines naturelles ou par de gros glissements de terrain. Ces séismes sont en général de faible intensité et concernent des superficies limitées.
- Une autre classification se base sur l'intensité ou la magnitude d'un séisme. Nous avons déjà indiqué que l'intensité d'un séisme est liée aux effets et conséquences du séisme en un lieu donné. La magnitude d'un séisme est différente de l'intensité et exprime la quantité totale d'énergie libérée lors d'un tremblement de terre.
  - Il existe plusieurs échelles d'intensité : la plus utilisée est **l'échelle M.S.K** (Medvedev-Sponheuer-Karnik) précisant l'ancienne échelle de Mercalli. Elle compte 12 degrés (tableau I.1), le degré 1 correspond à une secousse mesurée uniquement par les instruments, et les dégâts matériels ne sont importants qu'à partir de 8.
  - L'échelle des magnitudes utilisée dans le monde est celle de Richter. Elle compte 9 degrés (tableau I.2).

**Tableau I.1** : Echelle M.S.K. [7, 11].

Degrés	Dégâts observés	Magnitude équivalente
I	Secousse non perceptible. La secousse est détectée et enregistrée seulement par les sismographes.	< 3,4
II	Secousse à peine perceptible; quelques individus au repos ressentent le séisme.	3,5-4,2
III	Secousse faible ressentie de façon partielle. La vibration ressemble à celle provoquée par le passage d'un camion léger.	3,5-4,2
IV	Secousse largement ressentie. La vibration est comparable à celle due au passage d'un gros camion.	4,3-4,8
V	Réveil des dormeurs. Le séisme est ressenti en plein air.	4,9-5,4
VI	Frayeur. Le séisme est ressenti par la plupart des personnes aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur des habitations. Les meubles sont déplacés.	5,5 -6,1
VII	Domages aux constructions. Quelques lézardes apparaissent dans les édifices.	5,5 -6,1
VIII	Destruction de bâtiments. Les cheminées des maisons tombent.	6,2-6,9
IX	Domages généralisés aux constructions. Les maisons s'écroulent. Les canalisations souterraines sont cassées.	6,2-6,9
X	Destruction générale des bâtiments. Destruction des ponts et des digues. Les rails de chemin de fer sont tordus.	7,0 -7,3
XI	Catastrophes. Les constructions les plus solides sont détruites. Grands éboulements.	7,4-7,9
XII	Changement du paysage et bouleversements importants de la topographie. Les villes sont rasées.	> 8

**Tableau I.2 :** Echelle de Richter [7, 8].

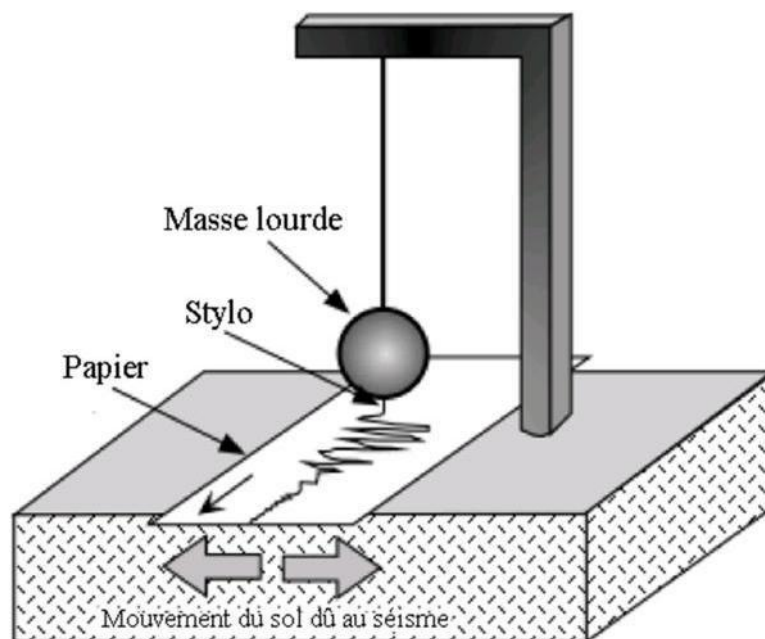
Magnitude	Description de l'intensité du séisme
2,5	Non ressenti, mais enregistré par les sismographes Provoque de faibles dommages Destructif dans les régions peuplées Grand séisme, provoque de sérieux dommages Séisme majeur qui provoque la destruction totale des habitations
4,5	
6	
7	
8	

### I.4.3. Enregistrement des séismes

Un **sismographe** est un appareil que l'on emploie pour enregistrer les chocs et vibrations créés par les tremblements de terre. Un sismographe doit être attaché à la surface de vibration de la Terre et vibre en même temps que cette surface.

Pour mesurer le mouvement vertical, les sismographes emploient une masse lourde supportée par un ressort. Le ressort est attaché au support qui est lui-même connecté à la terre. Lorsque la terre vibre, le ressort se comprime et se décomprime, mais la masse reste presque stationnaire. Pour mesurer le mouvement horizontal, la masse lourde est suspendue comme un pendule - il y a un appareil pour mesurer les mouvements est-ouest et un autre pour mesurer les mouvements nord-sud. Les sismographes modernes sont capables de détecter des vibrations aussi petites que 10<sup>-8</sup> centimètre.

La courbe dessinée par le sismographe s'appelle : **sismogramme** (figure I.18).

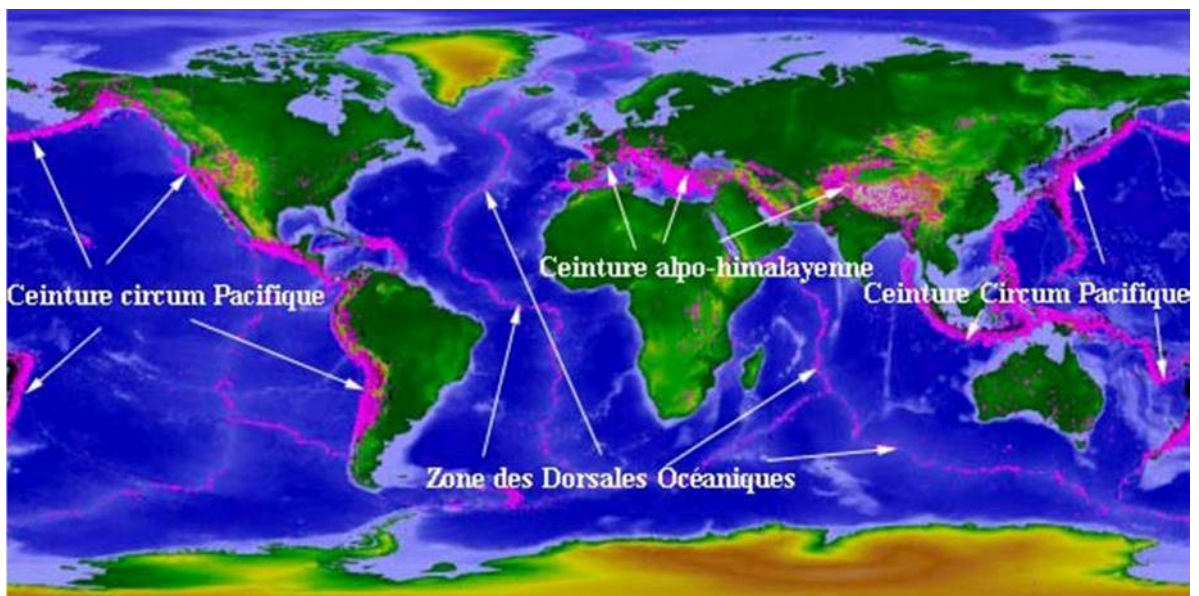


**Figure I.18:** Schéma simplifié d'un sismographe [1, 8].

#### I.4.4. Distribution mondiale des séismes

Les tremblements de terre se produisent dans les régions actives du point de vue géologique (zones de subduction), les zones des dorsales océaniques et les régions de formation de chaînes de Montagnes. Ils se localisent dans les zones de limite des plaques tectoniques. Les zones où se produisent fréquemment des séismes sont dites ceintures sismiques. On connaît trois principales ceintures sismiques à la surface de la Terre (figure I.19)

- **La ceinture Circum pacifique** : c'est la zone qui entoure l'océan pacifique. C'est la plus importante zone sismique à la surface de la Terre et libère plus de 80 % de l'énergie sismique de notre planète. Cette chaîne couvre le Chili, le Pérou, l'Amérique Central, la région des Caraïbes, le Mexique, Kamtchatka, le Japon, les Philippines, L'Indonésie, la Nouvelle Zélande... Cette zone coïncide avec les zones de subduction et les foyers des séismes peuvent être profonds.
- **La ceinture Alpo-himalayenne** : elle comprend la bande plissée allant des Açores à la Birmanie en passant par l'Espagne, le Maroc, l'Algérie, l'Italie, la Turquie, l'Iran, le Nord de Inde et l'Himalaya. La majorité des séismes de cette ceinture sont superficiels.
- **La zone des dorsales océaniques** : des séismes sont localisés le long des dorsales océaniques. Ils sont en général imperceptibles étant donné qu'ils se produisent au milieu des océans



**Figure I.19:** Carte de la distribution mondiale des tremblements de Terre [1, 2].

### I.4.5. Les séismes en Algérie

Le plus puissant tremblement de terre de l'histoire enregistré en Algérie est celui qui se produisit à El Asnam (Chlef) le 10 octobre 1980. Sa magnitude a atteint 7,3 sur l'échelle de Richter et a fait 2600 victimes. Les tremblements de terre **les plus importants** (magnitude supérieure à 6) en Algérie des 100 dernières années sont donnés dans le (tableau I.3) [8, 12].

**Tableau I.3 : les séismes les plus importants (M>6) en Algérie depuis un siècle.**

Ville / Zone	Date	Magnitude	Victimes
Sour el Ghozlane	24/06/1910	M=6,6	-----
Nord d'El Asnam (Chlef)	25/09/1922	M=6,1	2 morts
El Asnam (Chlef)	09/09/1954	M=6,7	1243 morts
El Asnam (Chlef)	10/10/1980	M=7,3	2600 morts
Zemmouri (Boumerdès)	21/05/2003	M=6,9	2300 morts

### I.4.6. Les grands séismes dans le monde

Le plus puissant tremblement de terre de l'histoire enregistré est celui qui se produisit au Chili le 22 mai 1960. Sa magnitude a atteint 9,5 sur l'échelle de Richter. Il a fait 3000 victimes. Les tremblements de terre **les plus meurtriers** dans le monde ces dix dernières années sont donnés dans le (tableau I.4).

**Tableau I.4 : les séismes les plus meurtriers dans le monde ces dix dernières années [12].**

Ville / Zone	Pays	Date	Magnitude	Victimes
Bhuj	Inde	26/01/2001	M=7,7	20 085 morts
Bam	Iran	26/12/2003	M=6,6	26 200 morts
Sumatra	Indonésie	26/12/2004	M=9,3	232 000 morts
Muzaffarabad	Pakistan	08/10/2005	M=7,6	79 410 morts
Province du Sichuan	Chine	12/05/2008	M=7,9	87 149 morts
Port-au-Prince	Haïti	12/01/2010	M=7,2	230 000 morts

### I.4.7. Le risque sismique

Le risque sismique correspond à la probabilité de pertes humaines et de dégâts sur un secteur en fonction de l'aléa sismique au cours d'une période donnée, ce que l'on exprime généralement par :  $R=A \times V$ , où :

- R = risque sismique ;
- A = aléa sismique, qui correspond à la probabilité qu'un séisme d'une certaine magnitude puisse affecter une région durant une période donnée ;
- V = vulnérabilité, capacité d'un enjeu (personnes, biens, activités, moyens, etc.) à résister à un aléa donné

La précision de l'aléa repose sur une bonne connaissance au niveau régional du **contexte** géologique et tectonique et de la sismicité historique. Par ailleurs, face à un phénomène comme les séismes où l'on ne peut contraindre l'aléa, on ne peut diminuer le risque qu'en réduisant la vulnérabilité.

Le risque sismique se mesure en grande partie à l'aune de la densité et du niveau de développement des populations des zones sensibles et à celle de la qualité de ses constructions. Car en fait, contrairement à tous les autres phénomènes destructeurs, ce n'est pas le séisme lui-même qui est dangereux, mais les ouvrages qu'il affecte s'ils sont mal implantés et/ou mal construits.

## I.5. Relation entre les séismes et les mouvements de terrain

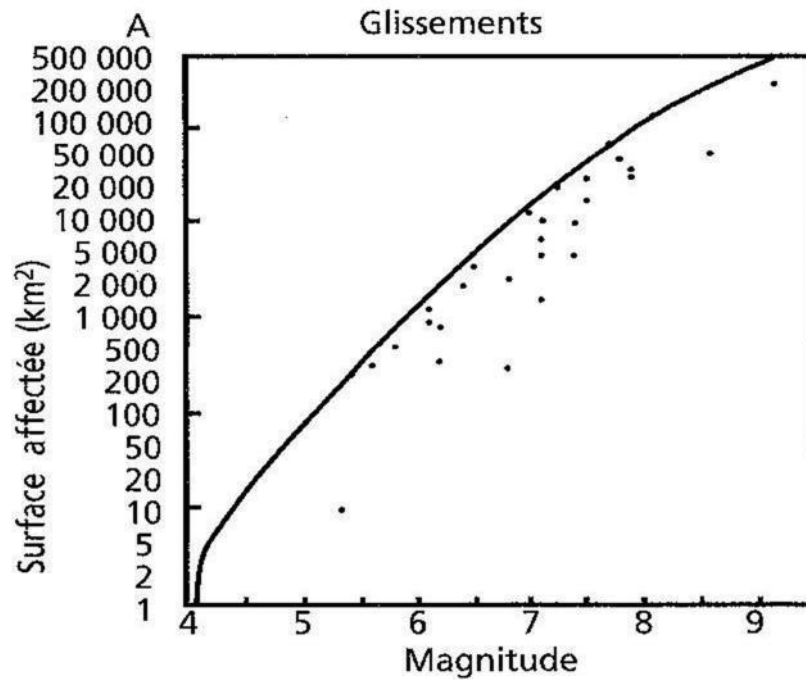
Les séismes peuvent avoir des effets secondaires qui consistent en des mouvements de terrain : glissements de terrain, écoulement, perte de cohésion de terrain gorgé d'eau ou Liquéfaction. Plusieurs de ses effets se combinent parfois ou bien déclenchent à leur tour d'autres effets, eux-mêmes néfastes.

### I.5.1. Glissement de terrain

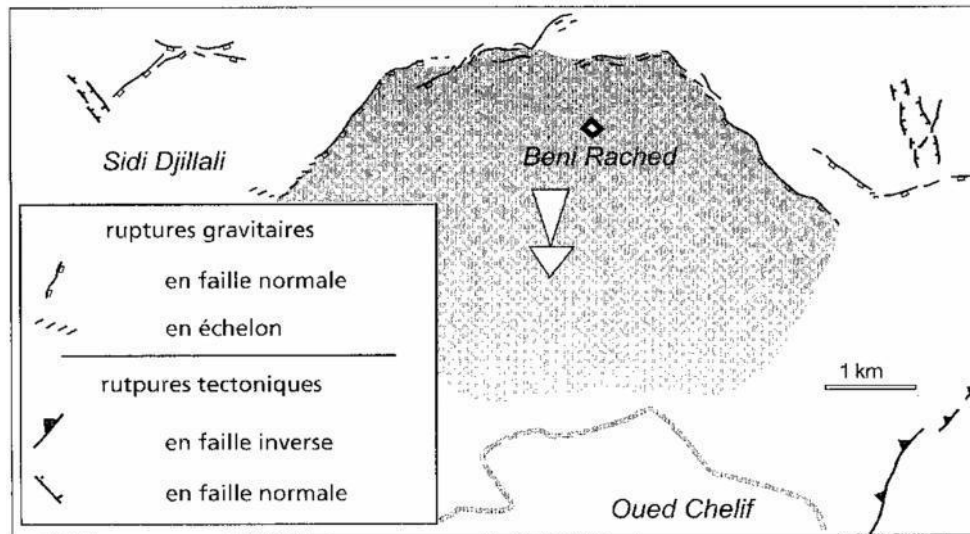
Les glissements de terrain sont très communs dans les zones épacentrales des séismes, aussi bien à terre qu'en mer.

Leur nombre et leur importance est fonction de la magnitude du séisme. Il en est de même pour la surface (figure I.20) sur laquelle ils peuvent se produire : jusqu'à plus de  $100\,000\text{ km}^2$  pour du séisme de magnitude supérieure à 8.

En 1980, le séisme d'El Asnam de magnitude  $M_s = 7.2$  a frappé une région dont la lithologie dominante (marnes du Messinien) est très favorable aux glissements. Celui de Beni Rached (figure I.21) le plus grand d'entre eux d'une surface d'environ  $18 \text{ km}^2$  se présentait avec une disposition typique en arc de cercle de la niche d'arrachement, lieu d'effondrement de sa partie supérieure, alors que sa base montrait des évidences de compression.



**Figure I.20:** Glissement ; rapport surface affectée en  $\text{km}^2$ -magnitude [8].



**Figure I.21:** Glissement de Beni Rached (séisme d'El Asnam, 1980)

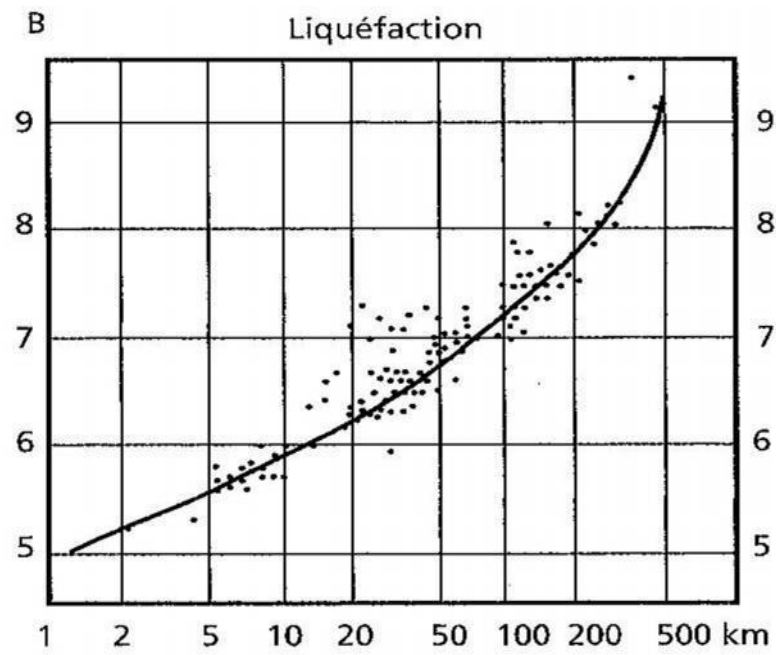
### I.5.2. Eboulements et écroulements rocheux

En raison du contexte tectonique qui leur donne naissance, les séismes frappent souvent des régions à fort relief qui comportent des masses rocheuses rigides vigoureusement attaquées par l'érosion et affleurent en falaise. Ces dernières sont la source d'éboulement et chutes de blocs et pierres.

### I.5.3. Liquéfaction

Ce phénomène accompagne très fréquemment les séismes. Sous l'effet des secousses sismiques, certaines formations géologiques superficielles (en général terrasse alluviales et remblaiements récents de plaines alluviales, contenant une nappe phréatique), perdent leur cohésion et se « liquéfient ». Sur le terrain, après un séisme, des craterlets ou « volcans » de sable sont les manifestations visibles les plus nettes de ce phénomène : de l'eau et du sable de la couche liquéfiée sont éjectés à la surface, à cause du poids des niveaux sus-jacents qu'ils traversent par des fontes et fissures.

L'étendue de la zone de liquéfaction peut être très importante. Elle dépend de la magnitude de séisme (figure I.22)



**Figure I.22 :** Liquéfaction : rapport magnitude-distance à l'épicentre

## ***Chapitre II :***

# ***Contexte géographique et géologique de la région d'étude***

## II.1. CADRE GEOGRAPHIQUE

### II.1.1. SITUATION GEOGRAPHIQUE DE LA ZONE D'ETUDE

Issue du découpage administratif institué par ordonnance n° 74/69 du 02 juillet 1974, relative à la refonte de l'organisation territoriale des Wilayate.

La wilaya de Bouira est située au Sud Est de la wilaya d'Alger, elle est bordée par les chaînes montagneuses du Djurdjura et des Bibans, elle est délimitée :

- Au Nord par les deux wilayas de Boumerdès et de Tizi Ouzou ;
- Au Sud par la wilaya de M'Sila ;
- A l'Est par les deux wilayas de Béjaïa et de Bordj Bou Arréridj ;
- A l'Ouest par les deux wilayas de Blida et de Médéa.

La wilaya de Bouira s'étend sur une superficie de 4 454 km<sup>2</sup>, elle est composée de douze circonscriptions administratives (daïra), chacune comprenant plusieurs communes, pour une totalité de quarante-cinq communes, comme indiqué dans le tableau ci-dessous :

Daïra	Nombre de communes	Communes
Bouira	3	Bouira - Aïn El Turc - Aït Laziz
Haizer	2	Haizer - Taghzout
Bechloul	5	Bechloul - El Asnam - El Adjiba - Ahl El Ksar - Ouled Rached
M'Chedallah	6	M'Chedallah - Saharidj - Chorfa - Ahanif - Aghbalou - Ath Mansour
Kadiria	3	Kadiria - Aomar - Djebahia
Lakhdaria	6	Lakhdaria - Boukram - Maala - Bouderbala - Zbarbar - Guerrouma
Bir Ghablou	3	Bir Ghablou - Raouraoua - El Khabouzia
Aïn Bessem	3	Aïn Bessem - Ain Laloui - Aïn El Hadjar
Souk El Khemis	2	Souk El Khemis - El Mokrani
El Hachimia	2	El Hachimia - Oued El Berdi
Sour El Ghozlane	6	Sour El-Ghozlane - Maamora - Ridane - El Hakimia - Dechmia - Dirrah
Bordj Okhriss	4	Bordj Okhriss - Mezdoor - Taguedit - Hadjera Zerga

Du point de vue géomorphologie, la wilaya de Bouira comporte cinq grands ensembles physiques :

- La dépression centrale (plaines des Aribes, plateau d'El Asnam, la vallée de Oued edhous et Oued Sahel).
- La terminaison orientale de l'Atlas blidéen.
- Le versant sud du Djurdjura (Nord de la wilaya).
- La chaîne des Bibans et les hauts reliefs du sud.
- La dépression sud des Bibans.

Dans la région de Bouira, on distingue deux grands ensembles :

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

Ces deux ensembles sont orientés globalement dans la direction est-ouest, direction des structures de l'Atlas Tellien.

Les versants septentrionaux du Djurdjura sont abrupts et ceux méridionaux sont relativement doux passant progressivement par un avant pays mamelonné à la dépression de Bouira.

Concernant la région d'El Esmam le relief est a prédominance montagneux a caractère alpin, au Nord se présente une étroite dépression où la côte moyenne des chaînons varie entre 700m et 800m.

Au Sud Est, du côté de Bordj Oukhris, on note la présence de la dépression sud bibanique où sont creusées les vallées principales, les bas fonds sont a des altitudes voisines de 700m, dans cette dépression on voit inclus un système disjoint de relief relativement important où quelques sommets marquent un prolongement sud-oriental tels que Tagdit avec 1446 m.

La région d'Ain Bessem se présente comme une dépression intérieure, enchâssées entre deux rides topographiques. Le raccord entre le chaînon septentrional de la kabylie et Ain Bessem s'opère par l'intermédiaire d'une suite de collines d'altitudes élevées égion(800 à 900m), mais aux pentes raides qui correspond à l'Atlas tellien dénommé « Atlas de Tablat », ce relief s'adoucit vers le sud, et se raccorde à une vaste plaine intérieure qui s'étend de Médéa vers Bouira allant jusqu'à la vallée de la soummam. Cette plaine dont l'altitude moyenne est de 600m, est dominée au sud par une ligne de reliefs qui appartiennent à la chaîne orographique des Bibans.

Djebahia fait partie de l'Atlas tellien, la feuille géologique au 1/50 000ème N° 65 a laquelle appartient cette région montre que sa partie centrale, est traversée du SW au NE par deux dorsales constituant la terminaison Est de l'Atlas de Tablat, le territoire est caractérisé par les formes alpines typiques des reliefs. La partie SE se distingue par l'absence d'édifices montagneux.

La région de Lakhdaria se distingue par un relief raviné, des collines a de hauteur moyenne avec un point culminant à 1032 m avec des dénivèles de l'ordre de 500m, il se caractérise aussi par la précarité des affleurements La partie Sud comprend une série de chaînons sublatitudinaux, qui s'étendent des massifs de Bouzegza à l'Ouest jusqu'à El Merouane à l'Est, formant ainsi une partie de la chaîne calcaire (L Glangeaud,1932). Dans la partie Nord in trouve un groupe de massifs montagneux qui représente la terminaison occidentale a savoir Djebel Ifri, Djebel Ben Norah etc...[13].



Figure II.1: Carte de découpage administratif [13].



**Figure II.2:** Situation Géographique de la zone d'étude « image satellite » [13].

### II.1.2. Aspect socio-économique :

La commune de Bouira est d'une superficie de 97km<sup>2</sup>, elle regroupe actuellement sept entités ; le chef lieu, les cinq agglomérations secondaires (Ouled bellil, Said Abid, Ouled Bouchia, Thameur, Ras Bouira a fait fusion avec le chef lieu de la commune) (PDAU de Bouira, 2013). Sa population est de l'ordre de 108899 habitants en 2017 avec une densité de 1123 habitants/km<sup>2</sup> (DPSB, 2018).

La région de bouira est essentiellement à vocation agricole.

Surface terre agricole : 2935,45 km<sup>2</sup>

Surface massif forestier : 1122,5 km<sup>2</sup>

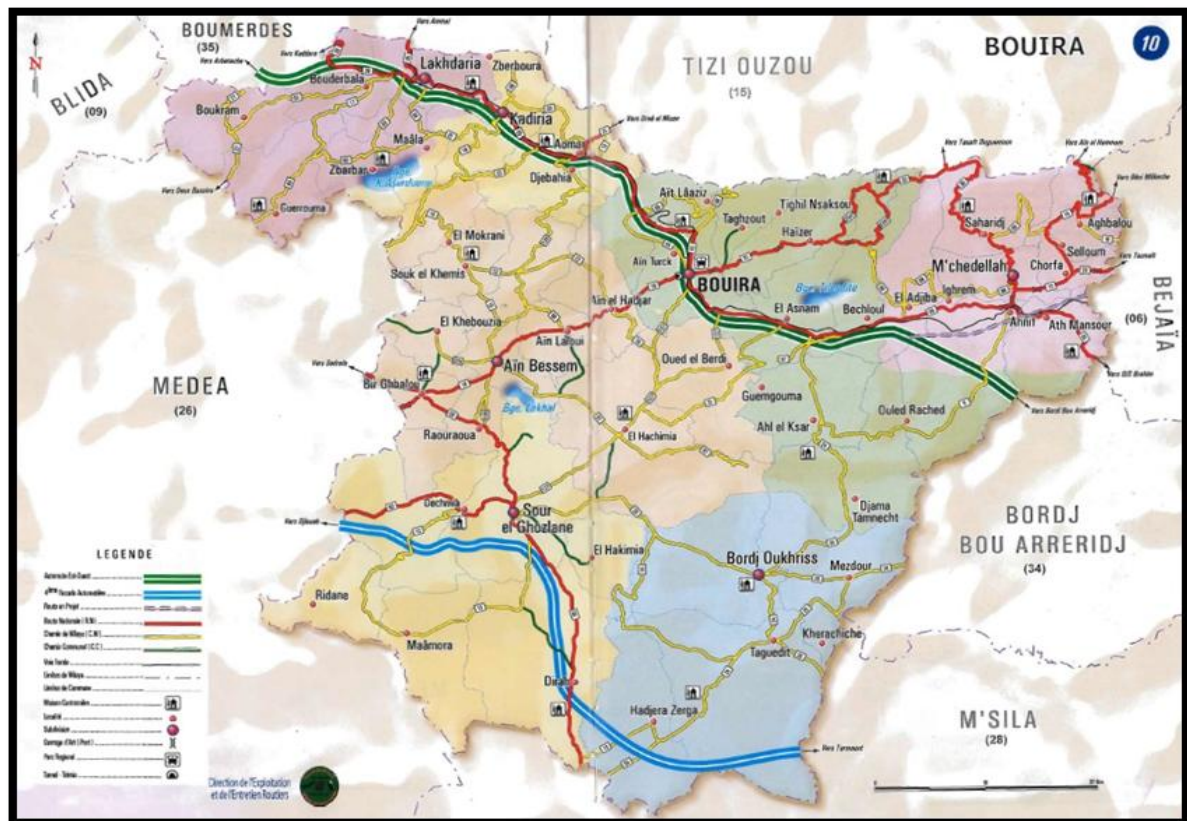
Les céréales et l'élevage représentent les principales activités.

#### INFRASTRUCTURES ECONOMIQUES, ADMINISTRATIVES

- Surfaces zones industrielles : 2,25 km<sup>2</sup>;
- Nombre de zone industrielle : 01;
- Nombre de zone d'activités : 14;
- Les Pôles universitaires : 01;
- Nombre d'hôpitaux et centre de santé : 33;
- Salles de soins : 138.

Le territoire de la wilaya desservie par réseau routier Composé essentiellement par :

- Route nationale : 456 ,58 km
- Chemin de wilaya : 699,05 km
- Les chemins communaux (CC) : 1807.44 Km.
- L'Autoroute Est – Ouest : 95.00 km
- Chemin de fer : 101 km



**Figure II.3 :** Carte du réseau routier de la wilaya de Bouira [13].

### POTENTIALITES ET ACTIVITES TOURISTIQUES

La Wilaya de Bouira est un carrefour routier et de civilisations offre à ne pas en douter des potentialités touristiques indéniables permettant plusieurs types de tourisme dont :

- Un tourisme de loisirs et de détente (à travers le parc national du Djurdjura, les massifs forestiers, les plans d'eau et barrages);
- Un tourisme thermal (curatif et de relaxation) (source thermale Hammam K'sana );
- Un tourisme historique et archéologique (vestiges préhistoriques, romains, turcs, français etc.. à découvrir);
- Un tourisme culturel et de particularités traditionnelles (à découvrir à travers les Zaouiate, les Mosquées, les fêtes et manifestations ancestrales traditionnelles dont « Aid El Hassad » et fête de l'olivier);
- Un tourisme lié aux curiosités artisanales et culinaires [13].

#### II.1.3. Réseau hydrographique :

La wilaya de Bouira renferme d'importantes ressources en eau, elle est traversée par des bassins versants importants

Le bassin de Chott El Hodna N° 05 qui touche la partie Sud de la wilaya.

le bassin d'Isser N° 09 qui touche la partie Ouest de la wilaya.

Le bassin de la Soummam N° 15 qui touche les parties Nord et Ouest.

Le bassin côtiers Algérois N°02 qui touche une petite partie du Nord Ouest (Guerrouma).

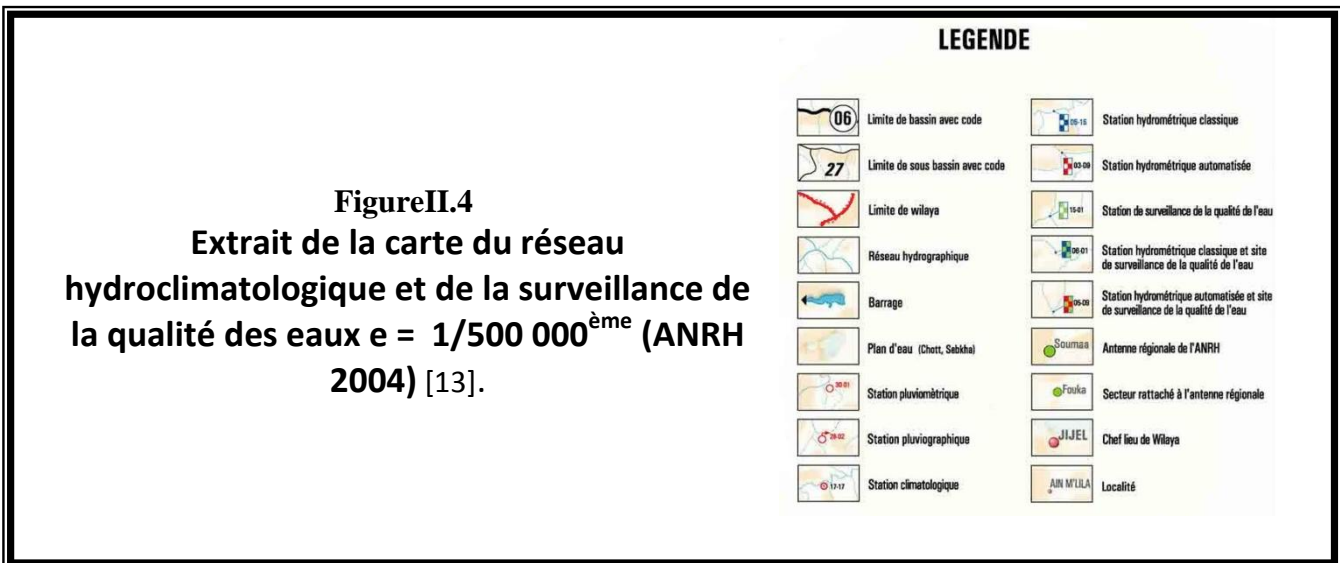
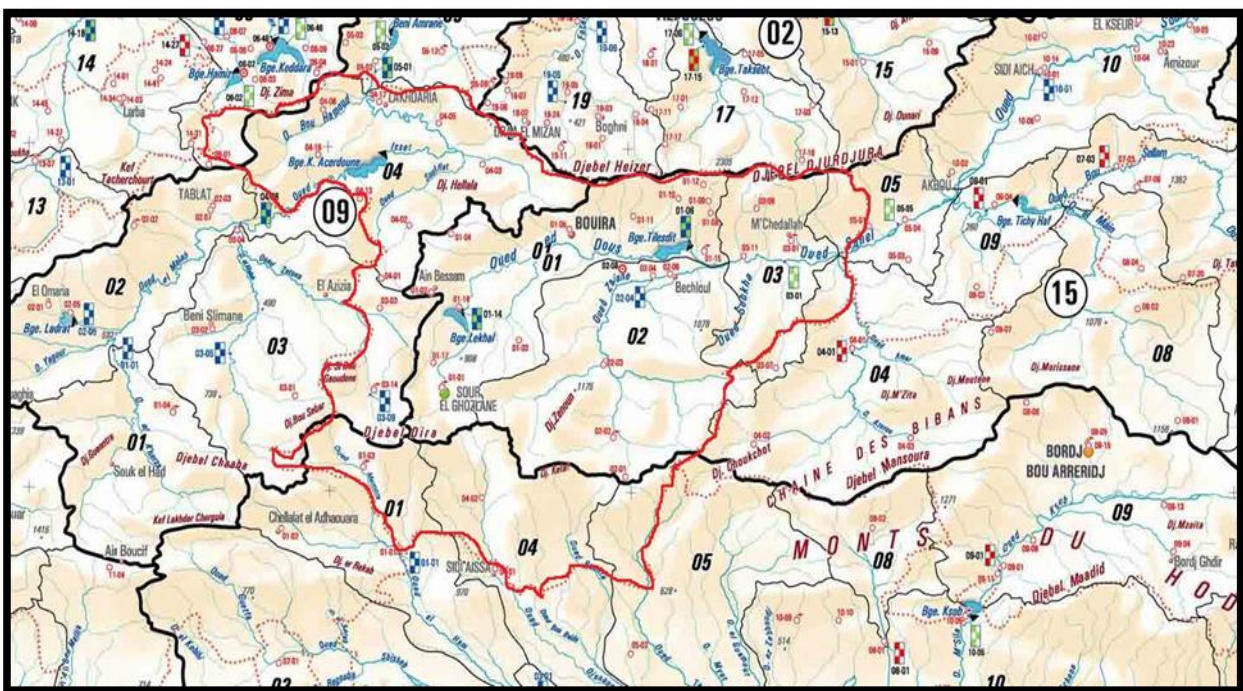
Dans cette wilaya on distingue la présence d'un réseau hydrographique important, il est favorisé par la nature peu perméable des sols. L'écoulement superficiel des oueds est principalement alimenté par la fonte des neiges du Djurdjura et par les eaux de pluie [13].

Ce réseau hydrographique dans le détail, est représenté par oued El Guares, oued Djemaa, oued Sbisseb et oued Lekehel qui se déversent dans oued Eddous. Il ya aussi oued El Berdi qui déverse dans oued Zaiane, ce dernier ainsi que oued Eddous et oued Sebkha sont des affluents d'Oued Sahel qui est l'un des deux principaux affluents de Oued Soummam.

Dans la partie Nord Ouest de la wilaya, nous marquons la présence de oued Bou Hammoud, oued Soufflat et oued Isser. On note également la présence de oued Rmiza, ourd Okhris et oued Maamora dans la partie Sud. (Voir l'extrait de la carte de L'ANRH 2004, ci-dessous).

Il ne faut pas oublié de citer les trois barrages qui existent dans la wilaya, et qui alimentent Bouira et quelques unes de ses wilayas avoisinantes, nous nottons :

- ≡ Le barrage de Tilesdit.
- ≡ Le barrage de Koudiet Acerdoune.
- ≡ Le barrage de Lekehel.



### - Caractéristiques hydromorphométriques :

La wilaya de Bouira appartient en partie quatre bassins versants :

- le bassin de Chott El Hodna N° 05 qui touche la partie Sud de la wilaya.
- le bassin d'Isser N° 09 qui touche la partie Ouest de la wilaya.
- et celui de la Soummam N° 15 qui touche les parties Nord et Ouest.
- le bassin côtiers Algérois N° 02 qui touche une petite partie du Nord Ouest (Guerrouma).

Chaque bassin versant est subdivisé en plusieurs sous bassins versants, chacun d'entre eux a ces propres caractéristiques hydromorphométriques, les onze (11) sous bassins versants qui touchent la région d'étude sont représentés dans le tableau ci-dessous

**Tableau 1.** Caractéristiques hydromorphométriques [13].

Bassin versant	Code SBV	Nom SBV	Surf	Périm	Long chev	K	L re	l-re	Dd	H <sub>min</sub>	H <sub>max</sub>	H <sub>moy</sub>
Cotiers Algérois N° 02	2.06	Côtier Cap Matifou	785.34	185.02	540.91	1.85	83.05	9.46	0.69	00	1100	550
Chott El Hodna N°05	5.01	Oued Ham	805.80	176.30	621.46	1.74	77.79	10.36	0.77	550	1800	1175
	5.04	Oued Djenane	860.47	183.71	653.97	1.75	81.27	10.59	0.76	500	1700	1100
	5.05	Oued Targua	1026.94	170.81	885.72	1.49	70.93	14.48	0.86	450	1800	1125
Isser N° 09	9.03	Oued Zeroua	1136.78	175.49	709.94	1.46	71.94	15.80	0.62	400	1800	1100
	9.04	Oued Isser moyen	1029.65	184.80	572.13	1.61	79.44	12.96	0.56	100	1250	675
Soummam N° 15	15.01	Oued Eddous	901.56	205.05	635.79	1.91	92.81	9.71	0.71	400	2150	1275
	15.02	Oued Zaïane	1005.40	165.89	689.02	1.46	68.20	14.74	0.69	400	1500	950
	15.03	Oued Sahel amont	430.79	121.08	475.73	1.63	52.30	8.24	1.10	300	2100	1200
	15.04	Oued Azerou	1081.24	169.04	671.12	1.44	68.81	15.71	0.62	300	1850	1075
	15.05	Oued Sahel aval	321.58	88.57	272.84	1.38	35.13	9.15	0.85	200	1850	1025

Avec :

- **SBV** : Sous bassin versant
- **Surf** : la surface (Km<sup>2</sup>)
- **Perim** : le périmètre (Km).
- **Long. Chev** : la longueur du chevelu hydrographique (Km).
- **K** : l'indice de compacité.
- **L re** : la longueur du rectangle équivalent (Km)
- **l-re** : la largeur du rectangle équivalent est de 14.74 Km
- **Dd** : la densité de drainage (Km/Km<sup>2</sup>).
- **H<sub>min</sub>** : l'Altitude minimale (m).
- **H<sub>moy</sub>** : l'Altitude moyenne (m).
- **H<sub>max</sub>** : l' Altitude maximale (m).

### II.1.4. Caractéristiques climatiques:

#### .Température

Ce paramètre est un facteur très important dans l'évaluation du déficit d'écoulement, qui rentre dans l'estimation du bilan hydrologique. Les relevés moyens mensuels des températures ont été enregistrés sur une période de 08ans (2009-2017), par la station de Bouira

Les températures ambiantes ont été mesurées à l'aide de thermomètre à minima et à maxima. Le tableau suivant résume les moyennes mensuelles et annuelles correspondant à la période d'observation [13].

**Tableau2.** Température moyenne mensuelles et annuelles à la station de Bouira (2009-2017).

Paramètres	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
T moyennes	23.02	19.07	12.7	9.42	8.7	8.4	10.82	15.08	18.71	23.57	27.95	27.66	16.93

La température moyenne annuelle est de l'ordre de 16.93 °C. On constate que les mois les plus chauds sont juillet et août avec une température de 27.95°C en raison des courants chauds provenant du Sud. Les mois froids sont décembre, janvier et février [13].

#### . Le vent

C'est un agent climatique influant directement sur le climat d'une région, en raison des dégâts qu'il cause, notamment en agriculture.

Dans la zone d'étude, les vents soufflent dans des directions à différentes intensités en fonction des saisons, les vents les plus dominants sont ceux du West et Est.

Durant les trois mois: janvier, février, mars, la valeur maximale reste inférieure à 28 m/s. Pendant le reste de l'année, elle dépasse 28m/s en moyenne pour atteindre son maximum en mois d'avril 38 m/s. Ces vents agissent sur la nébulosité en réduisant les écrans nuageux pour faire place aux rayons solaires qui augmentent les températures favorisant l'évaporation.

Le vent du Sud ou siroco, souffle dès la fin du printemps et durant l'été accentuant ainsi le dessèchement du sol et l'évapotranspiration des végétaux [13].

**Tableau 3 :** Moyennes mensuelles de la vitesse du vent maximal et vent moyen en m/s, période 2009-2017.

Station de Bouira	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moyenne annuelle
Vmoy	2.9	3.2	4.8	6.2	3.8	4.3	4.3	3.9	4.2	3.9	3.8	5.2	4.2
Vmax	20	25	30	36	29	30	30	25	30	29	29	36	29.08

### . Humidité relative

C'est le quotient entre la tension de vapeur réelle et la tension de vapeur saturante. L'humidité de la région montre un écart important entre la période hivernale et estivale.

Les valeurs moyennes mensuelles mesurées à la station de Bouira sont portées dans le tableau suivant :

**Tableau 4 :** Moyennes mensuelles du taux d'humidité relative Bouira(2009-2017).

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Moyenne mensuelle (%)	79.25	75.75	73.37	70.75	66.87	57.62	49.62	51.75	54.62	67	76	77.12

L'humidité est supérieure à 70% sur les 6 mois de l'année et ceci à partir du mois de Novembre. Le maximum est enregistré en saison hivernale 80% alors que le minimum 49% est observé en été.

### . Evaporation

Selon Musy, 2005 l'évaporation se définit comme étant le passage de la phase liquide à la phase vapeur, il s'agit de l'évaporation physique. Les plans d'eau et la couverture végétale sont les principales sources de vapeur d'eau. On parle de sublimation lors du passage direct de l'eau sous forme solide (glace) en vapeur. Le principal facteur régissant l'évaporation est la radiation solaire.

Les mesures de l'évaporation ont été effectuées sous abri à l'aide de l'évaporé mètre "Piche" à la station de Bouira, le tableau 29 résume les moyennes mensuelles de l'évaporation en mm sur une période de 10 années (2009-2017) [13].

**Tableau 5 :** Evaporation moyennes mensuelles et annuelles à la station de Bouira (2009–2017).

Paramètres	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
Evaporation (mm)	193.6	156.3	79.3	63.4	65.3	71.1	115.4	137.5	179.3	284.4	336.1	307.3	1981.7

### . Les Précipitations :

**Tableau 6 :** Les Précipitations moyennes mensuelles et annuelles à la station de Bouira (2009– 2017).

Paramètres	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
Pmoyennes (mm)	27.41	35.01	51.25	52.33	74.28	91.16	78.61	51.33	43.03	12.57	1.91	10.33	44.1

Les précipitations moyenne annuelle est de l'ordre de 44,10mm. On constate que les mois les plus pluvieux sont janvier, février et mars.

**II.1.5. Sismicité de la région :**

Les caractéristiques sismo-tectoniques du nord algérien montrent que celui-ci est caractérisé par une activité tectonique récente se manifestant sous forme de séismes de magnitudes plus ou moins élevées.

Les désordres induits par les séismes au niveau du sol, représentent la cause principale des dégâts. Ils sont de diverses natures. Parfois le résultat est la combinaison de plusieurs types de désordres. Tout phénomène sismique se manifeste par des vibrations au niveau du sol généré par les ondes sismiques et l'apparition de failles en surface, lorsque les séismes sont de fortes magnitudes.

Les instabilités liées aux séismes concernent entre autres :

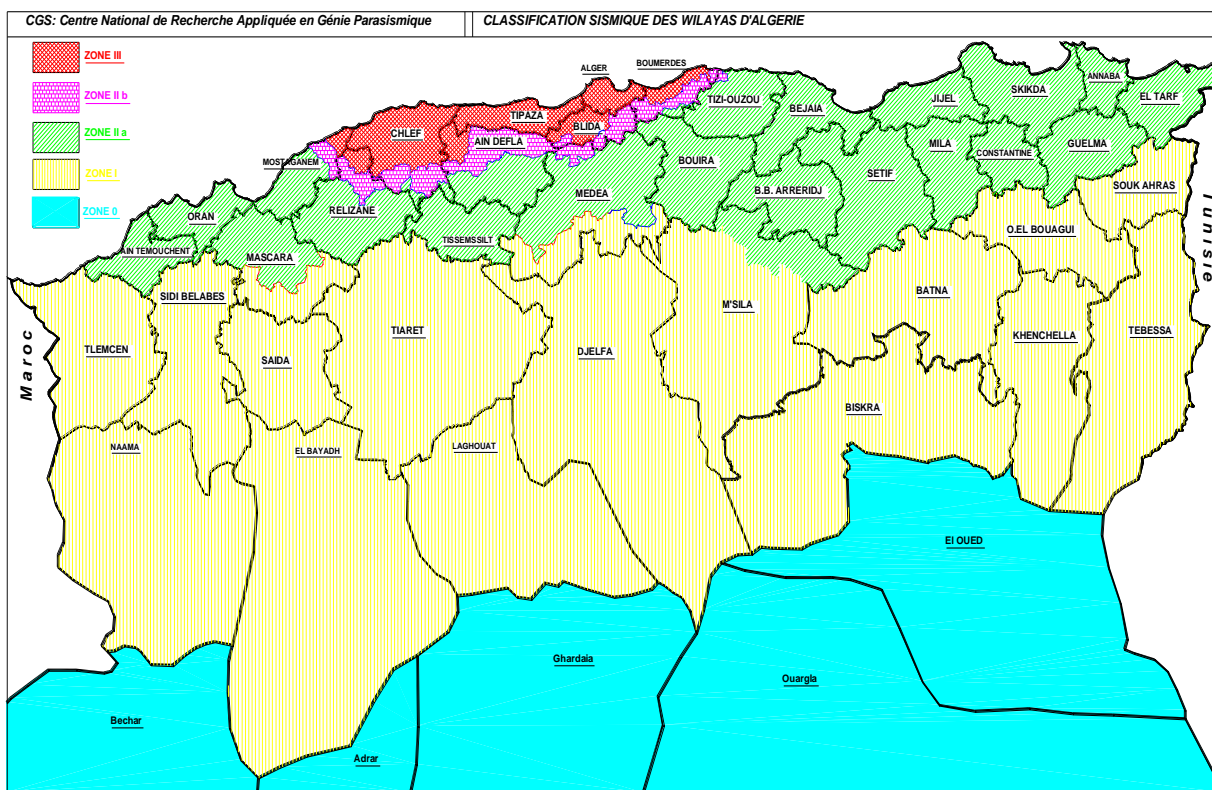
- les glissements de terrain
- les ruptures de failles en surface...

La conception et la réalisation des ouvrages devront donc, tenir compte de la sismicité de la région et se conformer à la réglementation en vigueur

La nouvelle réglementation parasismique (RPA, version 2003) classe les zones sismiques comme suit : (voir carte classification sismique des wilayas d'Algérie RPA).

<b>Zone 0</b>	<b>sismicité négligeable</b>
<b>Zone I</b>	<b>sismicité faible</b>
<b>Zones IIa et IIb</b>	<b>sismicité moyenne</b>
<b>Zone III</b>	<b>sismicité élevée</b>

**Zoning sismique de l'Algérie (RPA.2003)**



**carte de zonage sismique (RPA 2003)**

**Figure II.5 :** La wilaya de Bouira appartient d'après la carte de zonage sismique (RPA, 2003) à la Zone IIa à sismicité moyenne [7, 13].

## II.2. GEOLOGIE DU BASSIN DE BOUIRA

### II.2.1. Cadre géologique générale

L'Algérie du Nord fait partie de l'orogénèse alpine des maghribides. Elle couvre les zones internes de grande Kabylie et les zones externes qui bordent le Hodna vers le Sud. Elle est caractérisée par une structure complexe due à des mouvements tertiaire et surtout Miocène. Plusieurs déformations se sont produites après la mise en place des nappes au Miocène moyen. La structure post-nappe peut être caractérisé d'après les travaux de M.KIEKEN(1975), par deux phases majeure de déformation :

Une phase de distension d'âge miocène : elle conduit à :

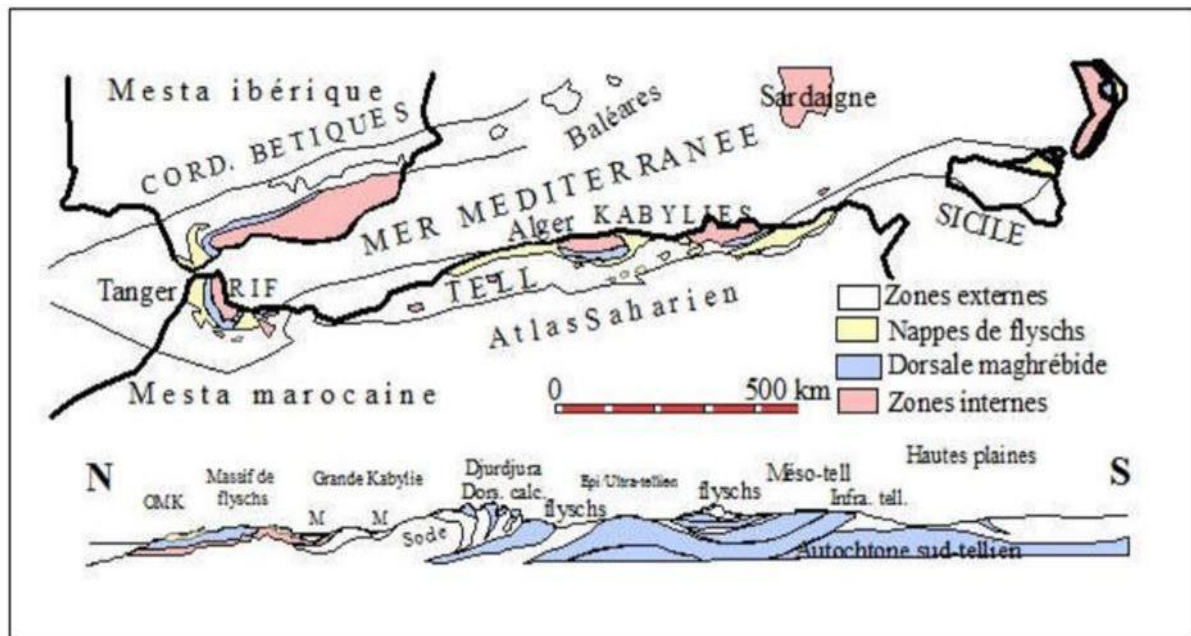
- ✓ La formation du fossé de la Soummam au Miocène supérieur, au nord de la chaîne des Bibans.
- ✓ L'effondrement et le remplissage du bassin mollassique de Tizi ousou au Nord.

Une phase de compression d'âge pliocène :

Après la mise en place des dépôts miocène-post nappe, elle est responsable :

- ✓ Des déformations plicatives ou cassantes ;
- ✓ Des plis affectant le socle et le miocène du bassin de Tizi Ouzou, au Nord,
- ✓ Du plissement de l'édifice de nappe dans le massif d'Akfadou,
- ✓ Du chevauchement tardif des nappes sur le Miocène continental de la Soummam ;
- ✓ Du serrage et de redressement de la chaîne calcaire.

Le secteur Sud kabyle enregistre une phase tardive de serrage non négligeable qui est responsable de grande failles inverses qui sectionne l'édifice des nappes et le miocène continental (post-nappe). (Figure II.6) [13].



**Figure II.6:** Carte et coupe structurale schématique de la chaîne maghrébine montrant la disposition des zones internes et externes [13].

La région de Bouira est située au pied du Djurdjura, massif calcaire appartenant à l'Atlas Tellien, le bassin de Bouira est rempli de sédiments Secondaires, Tertiaires et Quaternaires. Le Tell-Rif (ou Maghribides) est une chaîne de type alpin qui résulte de la fermeture de la Tethys occidentale (J.P. BOUILLIN, 1986). La tectonique de la phase alpine se divise en deux phases :

une phase Lutétienne et une phase Miocène accompagnée du chevauchement de nappes de charriage vers le sud (D. FRIZON DE LAMOTTE et al., 2000 ;R. BRACENE et D. FRIZON DE LAMOTTE, 2002).

Le versant sud du Djurdjura est formé par l'empilement de ces nappes qui chevauchent les sédiments du bassin de Bouira. Les mouvements peuvent être considérés comme n'étant pas totalement achevés, car la réactivation des chevauchements a dénivélé d'une dizaine de mètres le glacis et les cônes de déjection Quaternaires situés à la rupture de pente entre le versant du Djurdjura et le bassin (A. BOUDIAF et al. 1999).

L'activité sismique actuelle, qui exploite des failles régionales et locales profondes de direction NE-SW et ENE-WSW (A. YELLES-CHAOUCHE et al. 2006), montre que le soulèvement du Tell est toujours actif et que la bordure du bassin de Bouira est affectée par cette tectonique.

### II.2.2. Géologie du bassin de bouira

La base du Mésozoïque est représentée par un Trias carbonaté et terrigène, apparaissant localement dans la partie axiale de Djurdjura. Le Trias est surmonté par un Jurassique carbonaté d'une grande épaisseur formant les principaux contreforts de la chaîne du Djurdjura.

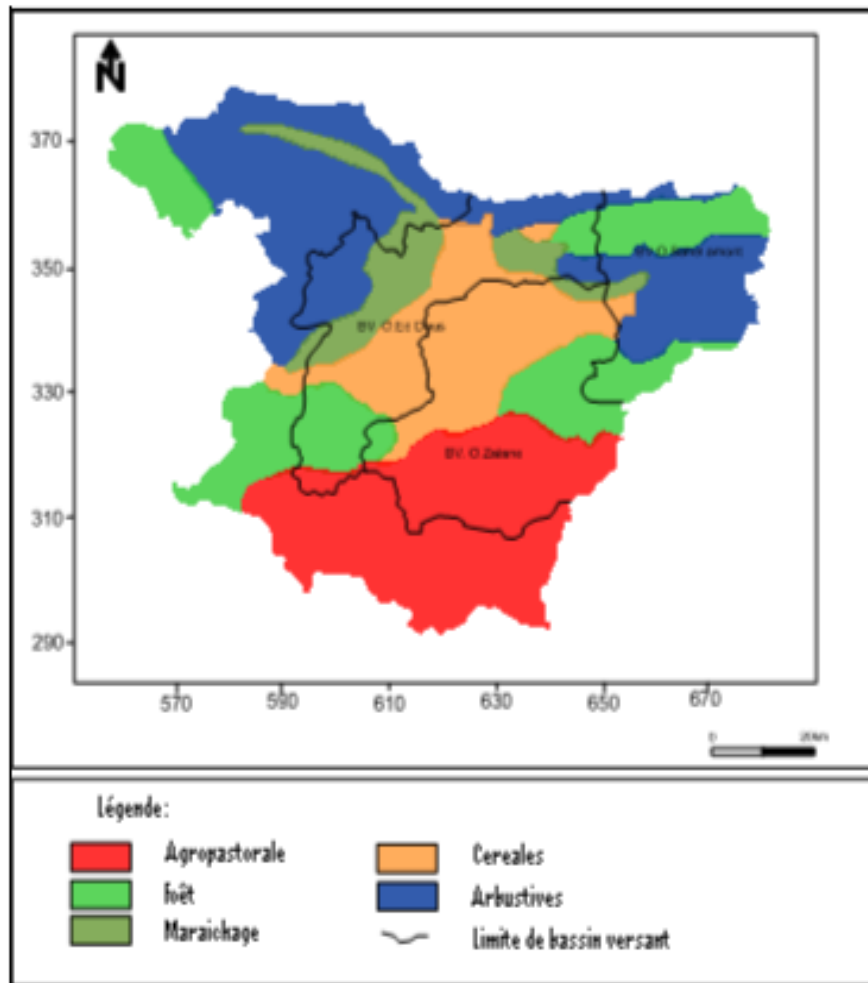
Le Crétacé terrigène ou Carbonato-terrigené est largement répandu sur le versant Sud de la chaîne, on le retrouve également localement dans les limites de la partie axiale de la chaîne.

Le Méso-Cénozoïque se termine par un Eocène carbonaté, Oligo-Miocène Kabyle et un Miocène carbonaté et terrigène formant de puissants terrains occupant de grandes étendues (versants Nord et Sud du Djurdjura).

Dans la région d'Agouni Guegherane, située au Nord-est, on note la présence de sédiments d'âge Ordovicien et Carbonifère ainsi que des formations métamorphiques du Protérozoïque supérieur.



Figure II.7: Carte géologique de Bouira feuille N°66 (e = 1/50 000ème) [14].



**Figure II.8** : Carte d'occupation de sol de la wilaya (Source : DSA de Bouira) [13].

### II. 3 Observations tirées pour l'identification de la région:

L'exploitation de la documentation récoltée des différents organismes, et l'observation sur site ont permis d'identifier les conditions géologiques, hydroclimatologiques et géomorphologiques du site étudié :

➤ Les sources de documentations utilisées pour l'établissement de ce chapitre sont citées.

La wilaya de Bouira est située au Sud Est de la wilaya d'Alger, elle est bordée par les chaînes montagneuses du Djurdjura et des Bibans. Du point de vue géomorphologie, elle comporte cinq grands ensembles physiques :

- La dépression centrale (plaines des Aribes, plateau d'El Asnam, la vallée de Oued edhous et Oued Sahel).
- La terminaison orientale de l'Atlas Blidéen
- Le versant sud du Djurdjura (Nord de la wilaya).
- La chaîne des Bibans et les hauts reliefs du sud
- La dépression sud des Bibans.

- Du point de vue géologique, La wilaya de Bouira fait partie des zones externes de l'Algérie du Nord, elle est située au pied du Djurdjura, massif calcaire appartenant à l'Atlas Tellien. elle présente une géologie complexe qui se présente comme suit :
  - ✓ Dans la partie nord on note :
    - Le complexe post nappe : Il est formé de dépôts d'âge Quaternaires et Cénozoïques.
    - Le complexe allochtone : c'est des formations du Miocène inférieur, du Crétacé supérieur et du Trias.
    - Le complexe autochtone : Il est formé essentiellement par des dépôts du Crétacé.
  - ✓ Dans la partie Sud dans la région de Ain Bessem et ses environs on note la présence de :
    - Dépôts de la couverture post nappes.
    - Séries allochtones.
    - Séries autochtones.
  - ✓ Sur la feuille de Oued Okris on note la présence de formations quaternaires formées par des éboulis, travertins et alluvions ; ensuite l'Oligocène et Eocène supérieur formé attribués à des formations d'argile et grès quartzeux, On note également la présence des marnes noirs du Sénonien, des calcaires en gros bancs du Lias et le complexe argilo-gypseux du Trias.
- Du point de vue sismique, la wilaya de Bouira est classée dans une zone de moyenne sismicité.
- Du point de vue hydroclimatique, la zone d'étude appartient aux bassins versants suivants :
  - ✚ Le bassin de Chott El Hodna N° 05 qui touche la partie Sud de la wilaya.
  - ✚ le bassin d'Isser N° 09 qui touche la partie Ouest de la wilaya.
  - ✚ et celui de la Soummam N° 15 qui touche les parties Nord et Ouest.
  - ✚ Le bassin côtiers Algérois N° 02 qui touche une petite partie du Nord Ouest (Guerrouma).

C'est le climat méditerranéen qui règne dans la région, avec des températures minimales et maximales de 9° et 28° respectivement enregistrées au mois de Janvier et Août, et avec des précipitations irrégulières qui varient entre 3 mm et 78 mm.
- Du point de vue hydrogéologique, dans la région de Bouira les eaux sont générées par les infiltrations de précipitations atmosphériques et par la perte des eaux d'oueds. Par leur liaison avec les formations géologiques, leur mode de gisement et leur extension, elles se répartissent en trois types:
  - Les eaux souterraines liées à l'Oligo-Miocène et Quaternaire
  - Les eaux souterraines liées au Jurassique, Crétacé et l'Eocène
  - Les eaux souterraines liées au Protérozoïque

- Le réseau routier de la wilaya de Bouira est dense, il fait **3058.07 Km** de long, on note :
  - ≡ Les Routes Nationales (RN) : 456.58 Km.
  - ≡ Les chemins de wilaya (CW) : 699.05 Km.
  - ≡ Les chemins communaux (CC) : 1807.44 Km.
  - ≡ L'Autoroute Est – Ouest : 95.00 km

Des missions ont été effectuées au niveau de la wilaya de Bouira, nous avons procédé par subdivisions, après avoir contacté chacune d'entre elles, et en compagnie de leurs représentants, nous avons sillonné tout le réseau routier concerné par le projet (Autoroute E-O, Routes nationales, chemins de wilaya) afin de recenser tous les mouvements de terrains qui existent. Sur terrain, nous avons procédé au remplissage des fiches d'aléas qui servent à alimenter la base de données du logiciel Géoconcept utilisé sur les tablettes, cela dans le but d'associer ces aléas au réseau routier ce qui permet de faire plusieurs requêtes. Ce logiciel est un outil qui nous permet d'établir un SIG (Système d'informations géographiques) qui permettra à ses utilisateurs de faire des requêtes avec des données choisies, et d'éditer des rapports avec des extraits de cartes thématiques.

***Chapitre III :***  
***Cadre géomorphologique***

### III.1 Introduction

L'étude géomorphologique et les cartes géomorphologiques sont utiles pour expliquer l'évolution récente du paysage : formation des vallées, des terrasses, configuration des pentes et processus en action dans le paysage à l'époque actuelle. Il s'agit d'un élément essentiel dans la cartographie géotechnique et qui est souvent un facteur décisif dans les études précédant des recherches géotechniques. Il est aussi un facteur primordial pour l'estimation du degré de l'aléa naturel lié aux mouvements de terrains.

La caractérisation géomorphologique d'un bassin aide beaucoup dans la compréhension de l'évolution du relief et ses mécanismes.

Lorsqu'on établit des cartes géotechniques, l'évaluation des conditions géomorphologiques ne saurait être une simple description de la topographie de la surface. On doit expliquer les relations entre les conditions de surface et le cadre géologique, l'origine et l'évolution de chaque élément géomorphologique, l'influence des conditions géomorphologiques sur l'hydrologie et les processus géodynamiques externes (érosion, mouvement de pentes, activité sismique...).

On va s'intéresser dans ce chapitre de présenter, d'une manière générale, les principales entités géomorphologiques de la région d'étude et essayer d'établir les cartes de facteurs déclencheurs des instabilités à savoir la carte des pentes, la carte lithologique, la carte du réseau hydrographique et la carte des indices d'instabilité [15].

### III .2 Morphologique

#### III.2.1 Situation et localisation géographique (fig.2)

Il s'agit de l'extrémité sud de la chaîne montagneuse du Djurdjura qui est la plus haute des régions littorales d'Algérie. Elle a été mise en place au cours de la phase orogénique très importante dite pyrénéo- provençale, entre l'Eocène moyen et l'Oligocène. Ce massif montagneux, circonscrit au sud par l'oued Sahel et à l'ouest par l'oued Isser, fait partie de l'Atlas tellien. Il présente des reliefs importants qui forment un arc de cercle bordé par l'Atlas tellien au nord qui culmine à 1200 m et la chaîne des Bibans au sud qui culmine à 1700 m au Djebel Dira (40 km de secteur). Dressée comme une barrière entre les formations tendres du massif métamorphique au nord et du Crétacé tellien au sud [16]. La chaîne montagneuse du Djurdjura s'allonge sur moins de 50 km depuis le village kabyle d'Halouane et Tizi-Djaboub à l'ouest jusqu'aux abords de Chellata à l'est. Cette chaîne allongée se subdivise en quatre groupes de chaînons élémentaires principaux dont le massif culminant du Tamgout ou de Lalla Khadîdja qui occupe une partie de notre secteur d'étude.

Les contreforts de cette chaîne du Djurdjura font partie du bassin supérieur de l'oued Djemaa qui fait l'objet de notre étude. Ce bassin est situé à 110km à l'est d'Alger, au nord de la ville de Bouira. Ce bassin fait partie de l'extrémité sud de la chaîne montagneuse du Djurdjura qui forme une barrière infranchissable. Au sud, le secteur s'élève à 400 m d'altitude et forme la plaine de Bouira. À partir de cette dernière vient se souder au nord, une série de contreforts plus au moins étendus dont l'ensemble constitue la Kabylie du Djurdjura.

Situé dans la wilaya (département) de Bouira, cette région d'étude s'étend entre les coordonnées Lambert (long/lat) : 3°54'05 E / 36°22'48'' et les coordonnées géographiques : longitude 3°50' à 3°55' Est et latitude nord 36°25' à 36°28'. Dans ces dimensions maximales, le site couvre une superficie supérieure à 4500 hectares. La majorité des habitants sont regroupés, soit dans les villages (Ait Laaziz A, Ait Laaziz B), soit dans les hameaux (Ksara, Kchour). Tous les autres vivent en habitats dispersés

### III.2.2 Une région montagneuse

C'est une morphologie caractéristique d'une région montagneuse, constituée par des vallées très encaissées, dominées par des reliefs importants qui sont marqués par des lignes de crêtes au sommet. La raideur de ces reliefs peut avoir une influence considérable sur la stabilité des versants. C'est dans cette optique que l'on a analysé le site dans ses caractéristiques morphologiques.

Le site proprement dit est constitué par des contreforts du versant sud du Djurdjura qui s'abaisse brusquement sur les contreforts des Merkalla (700 à 900m) et qui se prolonge vers la plaine de Bouira. Cette dernière se relève à l'ouest en pente douce vers les hauteurs de Tekouka (769 m). Toute la zone étudiée s'inscrit approximativement dans un quadrilatère dont les quatre coins sont marqués par les limites des lignes de crête de :

- Djebel Béni-Fouda, Tachechit Nador, Aougni Amrous, au nord,
- Draa-el-Kemis, Draa Taferka et s'étale jusqu'à la plaine de Bouira au sud,
- Messaoud Ramdane à l'est,
- Draa-el-Rich à l'ouest.

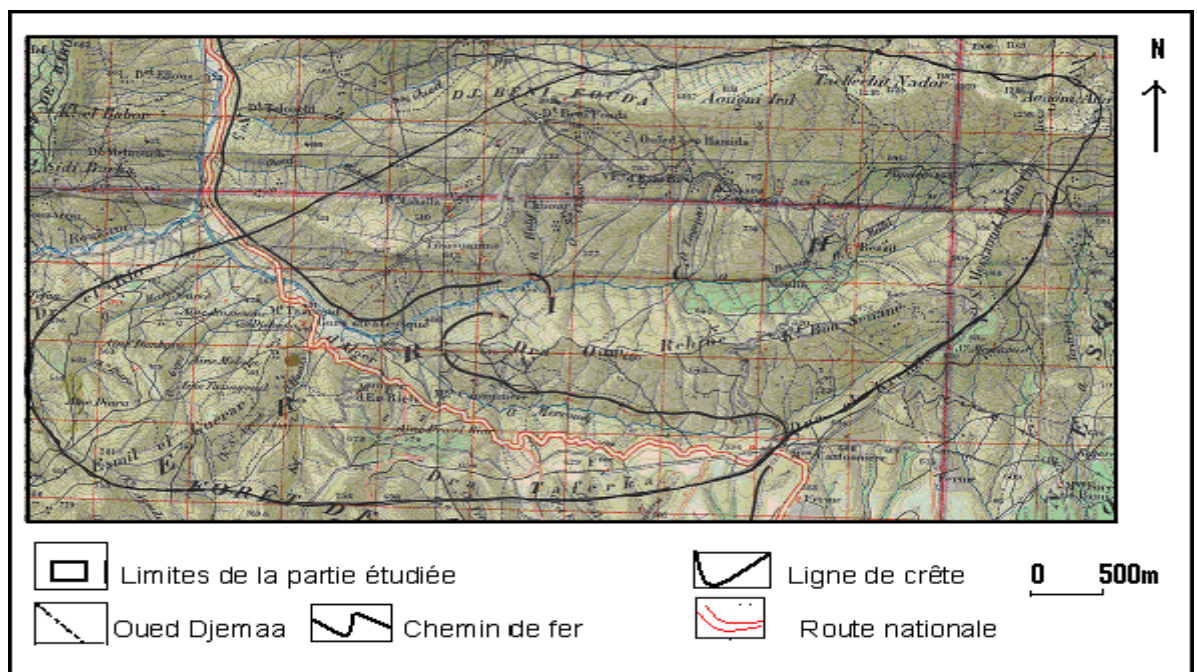


Fig.2: Delimitation du bassin supérieur de l'oued Djemaa[15].

### III.2.3 Grands traits du relief

L'analyse de la carte topographique au 1/50000 de Bouira montre que notre région d'étude est marquée par d'importants reliefs dont l'altitude peut atteindre parfois 1286m (Aougni) et 1024 m (Beni Fouda). Le Djurdjura qui forme ce vigoureux relief présente une orientation est-ouest. Dans la partie nord, il domine le bassin miocène post-nappes de la ville de Tizi-Ouzou. Au sud, il domine l'étroite dépression de la vallée de l'Oued Sahel Soummam, des villes de Bouira à Akbou. Cette dépression est orientée vers l'ouest dans la région de Bouira – M'chedallah.

Au nord elle est dominée par le versant sud qui est l'un des points culminants du massif de Kabylie. Au sud, elle est limitée par de petits reliefs qui forment les nappes telliennes. Le relief ainsi défini comprend une plaine plus ou moins élevée et des versants parfois abrupts, formant un système de relief profondément entamé par trois vallées importantes. Le relief peut avoir une influence considérable pour les orientations du développement urbain. Les fortes pentes stimulent les processus morphodynamiques qui sont responsables des formes du modelé que l'on observe aujourd'hui. C'est dans cette optique que l'on a analysé le secteur d'étude dans ces caractéristiques morphologiques en nous appuyant sur la carte géologique, les photos aériennes et les observations directes sur le terrain.

**-À petite échelle :** trois ensembles de reliefs traversés

-Au nord du secteur d'étude, le versant de Djurdjura forme un adret découpé en quelques larges interfluves, profondément entaillé par des ravins. Une ligne de crêtes élevée dans la partie Est (Aougni Amrous, 1286 m, point culminant), décroît en direction de l'ouest (Djebel Beni-Fouda 1024m, point culminant).

-Au sud, une basse plaine (570m d'altitude), presque parfaitement plate englobe une partie de versant méridional de Tekouka et de Draa Rehine. Ce dernier s'élève progressivement vers l'est pour dépasser régulièrement 700 m le long de la ligne de crête.

-La confluence des vallées de l'oued Djemaa, de l'oued Bezzit et de l'oued Merroudj constitue l'exutoire de bassin supérieur du l'oued Djemaa. Ces oueds (Bezzit et Merroudj) suivent parallèlement le tracé des crêtes. La largeur de leurs vallées est fonction de l'écartement des crêtes. Ainsi certaines sont étroites comme celles de Bezzit et Merroudj, alors que celle de l'oued Djemaa se développe plus largement. La vallée de l'oued Merroudj débouche en amont dans de petits chenaux situés vers le haut de la plaine de Bouira, par contre les vallées des oueds Bezzit et Djemaa constituent la bordure nord et Est du versant sud du Djurdjura. Elles collectent les eaux de pluie de ce dernier et aussi celles des pentes de la plaine de Bouira. Le drainage est donc très généralement orienté parallèlement aux crêtes. L'oued Djemaa continue son parcours en traversant la région des collines de Ben Haroun, Aomar pour rejoindre l'oued Soufflet, venu du sud-ouest et terminer dans l'Isser. Ces collines présentent une orientation nord-ouest – sud-est.

**-À grande échelle**

Dans le paysage, on distingue quatre grandes unités de reliefs qui recoupent notre secteur (fig.3) :

**a. Unité de Beni - Fouda**

Située sur le versant sud et représentée par les djebels de Beni-Fouda, de Tachechit Nador et d'Aougni Amrous sur une longueur de 6 km, de l'est à l'ouest et de 4,7 km du nord au sud, elle constitue le cœur de relief du massif du Djurdjura. Les crêtes, au nord, sont allongées de l'ouest vers l'est, et à l'ouest, du sud vers le nord. Elles se prolongent par des versants dont l'altitude varie de 800 à 1200m. Le matériau est caractérisé par des formations tendres à dominante de calcaire marneux et de marnes schisteuses du Crétacé supérieur. Cette unité couvre dans notre domaine d'étude une superficie très étendue à l'extrémité sud. Elle est approximativement parallèle à l'unité centrale et comprend les deux géofaciès suivants:

**a. 1 Le crêt**

Aménagé dans des roches dures (grès) [16]. il se présente sous forme d'un long plan plus au moins étendu vers l'est et s'abaisse régulièrement en direction du village de Zeboudja vers l'ouest.

Ce crêt est l'un des points culminants de la chaîne et dessine comme un arc de cercle.

Il est constitué par des sommets relativement plats qui se raccordent aux versants par des pentes très fortes et se caractérisent par une élévation d'altitude de l'ouest (1042m) vers l'est (1286m), soit une dénivellation importante de l'ordre de 262 mètres. Le front du crêt ayant l'aspect d'une surface uniforme est situé sur le pourtour des sommets entre les courbes de niveau 1000 m et 1100 m avec une pente raide. Celle-ci dépasse les 45 % dans la partie est, puis progressivement diminue dans la partie ouest, comme le soulignent les cartes des pentes.

#### **a. 2 Les versants**

Ils sont en direction du sud jusqu'à l'oued Bezzit et de l'ouest jusqu'à l'oued Djemaa. Généralement la pente est comprise entre 20% et 30%. Ces versants relativement jeunes, n'ont pas encore atteint leur équilibre par régularisation naturelle. Celui-ci ne sera acquis qu'après le développement d'une pente nettement plus faible, ce qui peut expliquer le grand nombre de glissements affectant les versants. Le profil des versants n'est pas rectiligne et présente souvent des ruptures de pente, la longueur aussi est compartimentée par des vallées taillées en forme de V et de U ménageant des interfluves en croupes. Localement, le ruisseau de Zagouar à Ksara, est plus encaissé, il prend de la profondeur et il forme ainsi des interfluves assez élevés à pente supérieure à 30 %. Des petits ruisseaux comme Mellal, Ckhour, Halif, Mahalla, dissèquent le versant en ravins parallèles. Nous avons observé le fonctionnement de ces derniers par le cheminement de produits de décomposition des versants et aussi par le creusement ou l'ablation des flancs des ravins. La pente de ces versants est découpée en séries de replats et donne naissance à des formes topographiques assez douces. Les replats sont limités parfois par un talus assez raide, comme c'est le cas à Ksara (700m) et à Kchour (600m). Ces pentes douces ont été utilisées pour la culture des céréales.

#### **b. Unité centrale**

C'est, en réalité, une petite zone montagneuse disséquée par les cours d'eau qui assurent le drainage de cette zone. Il s'agit de l'oued Bezzit qui draine le versant nord et de l'oued Merroudj qui draine le versant sud. Cette zone, orientée de l'est à l'ouest, est constituée d'un sommet peu volumineux, ayant des altitudes oscillant entre 600 et 900 mètres. Dans la partie ouest, elle est formée par deux sous unités qui sont : Dra-Oum-Rehine d'altitude maximale de 680m, et Kef Bou-Senane d'altitude de 829m. La longueur de cette zone est de 5km et ses versants sont dissymétriques. Le versant le plus long est exposé au sud. L'aspect morphologique de ces versants est diversifié à cause non seulement des agents naturels, mais aussi de l'action de l'homme qui est un agent morphologique non négligeable. Le matériau ne diffère pas beaucoup de celui de l'unité de Beni Fouda qui est caractérisée par des formations tendres marno-schisteuses du Crétacé supérieur. C'est une région de relief montagneux plus bas que celui de l'unité de Béni Fouda et de Tekouka.

- Le versant de direction nord, est court (750m), il se termine par des affleurements rocheux au niveau des berges de l'oued Bezzit, qui entraînent un rétrécissement de la vallée. Le profil du versant est généralement concave, mais il est accidenté de bossellements qui résultent de la forte activité érosive liée à la forte pente. Ce versant dépend de l'évolution de l'oued Bezzit.

- Le versant sud, plus long (1km), de pente allant de 20 à 30 %, se caractérise par des irrégularités et présente un profil concavo-convexe plus doux, limité à son extrémité par l'oued Merroudj. Une partie de ce versant est utilisable pour l'agriculture (céréales).

### **c. Unité de Tekouka**

C'est un sommet montagneux qui limite l'extrémité nord de la plaine de Bouira. Cette unité s'étend sur une longueur de 8,5km, de l'est à l'ouest et de 3,5 km du sud au nord. Elle s'élargit du côté ouest et se rétrécit du côté est dans la dépression de l'oued Merroudj. Son matériau est composé d'argiles et de quartz avec intercalation de paquets de gypse. Des conglomérats bordent ce sommet montagneux qui est constitué par :

#### **c.1 La ligne de crête**

Le trait dominant du relief du secteur d'étude est l'existence de longues crêtes parallèles, formant parfois des abrupts rocheux dominant des vallées situées 400 – 500 m en contrebas des sommets. Les lignes de crêtes ont été tracées d'après la carte topographique, en joignant les points maxima entre eux. Ces lignes de partage des eaux de ruissellement délimitent le bassin supérieur de l'oued Djemaa. De cet ensemble de lignes de crêtes, j'ai extrait une famille particulière constituée de lignes de crêtes d'orientation assez constante. Ces crêtes sont généralement allongées selon une direction est-ouest sur la partie nord et sud du secteur d'étude. Elles se suivent sur 3,5 km environ de Aougni Amrous à Telouchit, puis sur 3 km de Messaoud Rabauch à Dra –El khemis et enfin Dra Taferka à Dra el Rhis. Elles sont limitées au nord par le bassin de Tizi-ouzou et au sud par la plaine de Hamza. Ces crêtes diminuent de largeur et se resserrent dans le sens est et l'ouest.

- Vers l'est, trois lignes de crêtes approximativement parallèles, Tachechit Nador(1265m), Draa Oum-Rehine (680m), Kef Boussenane (820m) et Draa –El Khemis(600m), dont les altitudes diminuent vers l'ouest jusqu'à 500m. Ces crêtes se raccordent entre elles par la crête Messaoud Ramdane (900m) à l'est.

- Vers l'ouest, trois crêtes : Dra Taferka (600m) et Dra –El-Rhis (596 m) qui se raccordent toutes entre elles par la crête courbée de Tekouka (700m). Elles sont modelées dans des formations allochtones : conglomérat tertiaire et argile de couleur rouge sédimentaire (A.F.A.S) [association française pour l'avancement des sciences] dont l'épaisseur dépasse 150m avec un pendage inférieur à 8 degrés vers le nord. Ces crêtes ont des altitudes relativement voisines, de 600 m à 800 m, sauf celle qui se trouve sur le versant sud et qui dépasse 1000 m d'altitude, à l'est. Dans notre secteur d'étude elles ne recouvrent qu'une superficie très réduite et se présentent sous forme de sommets arrondis, à l'exception de celle du sud qui a un sommet façonné dans un matériau gréseux résistant.

#### **c.2 Les versants**

Exposés au nord et à l'est, ils se présentent sous forme de plans inclinés de pente comprise entre 20 à 30 %, dépassant les 45 % dans certains secteurs, et se caractérisant par une topographie très boursoufflée avec des bosses et des creux. Les ruptures des pentes des versants sont liées à des mouvements de terrain qui affectent une partie de ces versants.

### **d. Plaine de Bouira**

En contrebas des contreforts du Djurjura, la plaine quaternaire de Bouira, correspond à une large dépression alluvionnaire dont l'altitude varie entre 500 m et 600 m. Elle se présente comme une vaste plaine sub-horizontale peu accidentée, et s'apparente à une dépression à la fois par sa position topographique au pied de versant et par la douceur de son modelé.

Drainée par un réseau de vallons secs faiblement incisés et régulièrement inclinés vers le nord, elle a une pente qui est dirigée du sud vers le nord de l'ordre de 10 %. La plaine se relève à l'ouest, en pente douce, vers les hauteurs de Tekouka (769m) qui font face au nord-ouest à la petite croupe qui porte la forêt de Babor (729m). Elle s'étend jusqu'à la vallée de l'oued Merroudj et n'est reliée au versant sud du Djurdjura que par un étroit pédoncule. Sa bordure méridionale est marquée par la faille de Dra El Kremis qui marque la rupture de pente entre les flysch sud kabyles et cette plaine quaternaire. Cet escarpement orienté selon une direction Est Ouest mesure 18 km environ [17].

La plaine de Bouira ou Hamza, formée de Quaternaire moyen et récent, résulte de la coalescence des cônes de déjection des torrents descendants du Djurdjura, qui ont remanié une partie des alluvions oligocènes (Aquitanien) qui occupent les hauteurs boisées de Tekouka, à l'ouest.

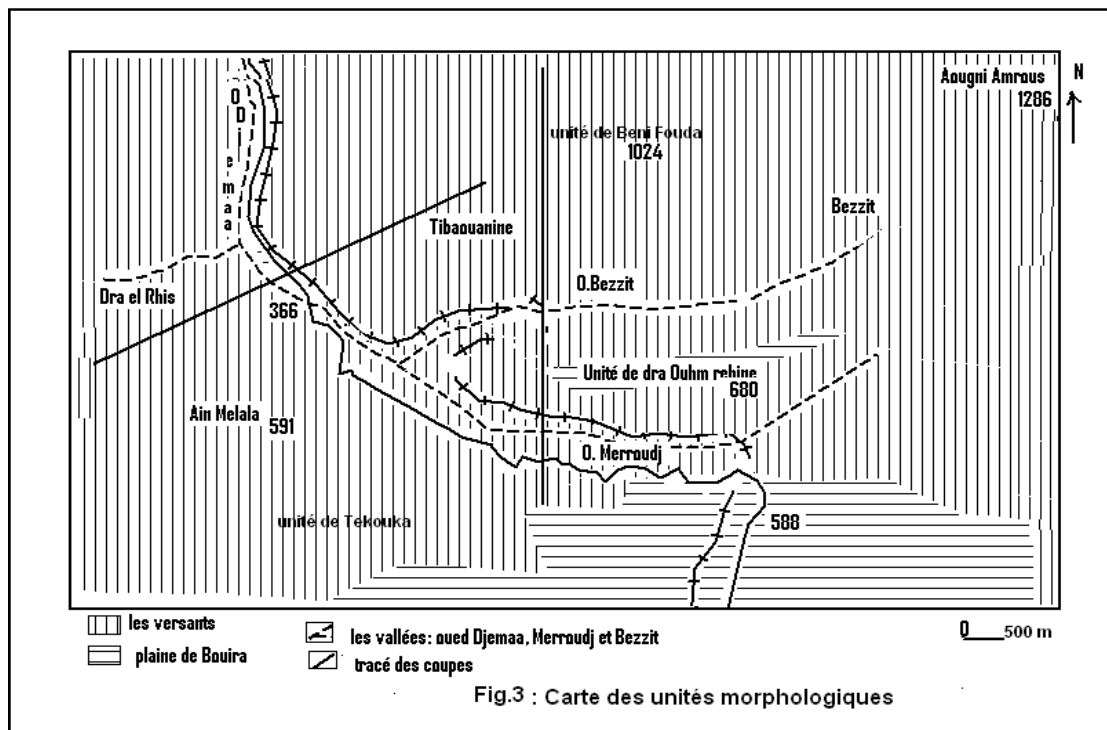


Fig.3 Carte des unités morphologiques [15].

### III .2.4 Les données géologiques du secteur (Stratigraphie)

#### - Stratigraphie

Sur le versant sud du Djurdjura, l'Oligocène est représenté par un ensemble de marnes sableuses dans lesquelles s'intercale un grand nombre de petits bancs de grès et de calcaires. Les bancs de grès, dont l'épaisseur ne dépasse généralement pas quelques décimètres, sont très variables. Les schistes prédominent dans le bas de la série tandis que les grès augmentent de fréquence et d'épaisseur quand on s'élève dans celle-ci. Ce sont le plus souvent des grès à ciment calcaire ou marneux, de teinte jaunâtre, peu résistants. Dans quelques cas ces grès deviennent quartzeux et prennent le faciès des grès du flysch crétacé avec lesquels il serait facile de les confondre. Les calcaires sont généralement bréchoïdes et se présentent sous forme de lentilles très allongées qui ressortent nettement dans le paysage.

### **a.Litho-stratigraphie**

La carte géologique de Bouira et les sondages de reconnaissance carottés réalisés à l'ouest de secteur d'étude permettent de distinguer la succession litho- stratigraphique suivante, de haut en bas :

-Une puissante assise, atteignant jusqu'à 300 m d'épaisseur, de roches variées, allant des grès aux marnes, occupe une zone continue sur le flanc sud de la chaîne du Djurdjura et de son prolongement à l'ouest.

-Les flyschs d'âge oligocène supérieur à aquitanien-burdigalien, nommés flyschs sud kabyles, situés sur le flanc sud du Djurdjura, sont représentés par une très puissante formation de 500 à 1000 m formée de schistes verdâtres, de quartzites, de grès et surtout d'argiles et de marnes. Les grès augmentent de fréquence et d'épaisseur quand on s'élève dans la série [16]. Ils occupent la position la plus élevée dans l'édifice structural, recouvrant ainsi l'ensemble des unités inférieures.

Le grès constitue un faciès résistant qui occupe des positions hautes. Sa dureté explique la déclivité accentuée des versants du massif et l'absence de dépôts superficiels. Plus à l'est Coutelle (1979) décrit un chevauchement des flyschs sud kabyles sur le Miocène post-nappes. Les argiles et les flyschs sont une unité lithologique qui fait alterner des couches tendres et d'autres plus résistantes. Cette disposition est favorable aux mouvements de masse.

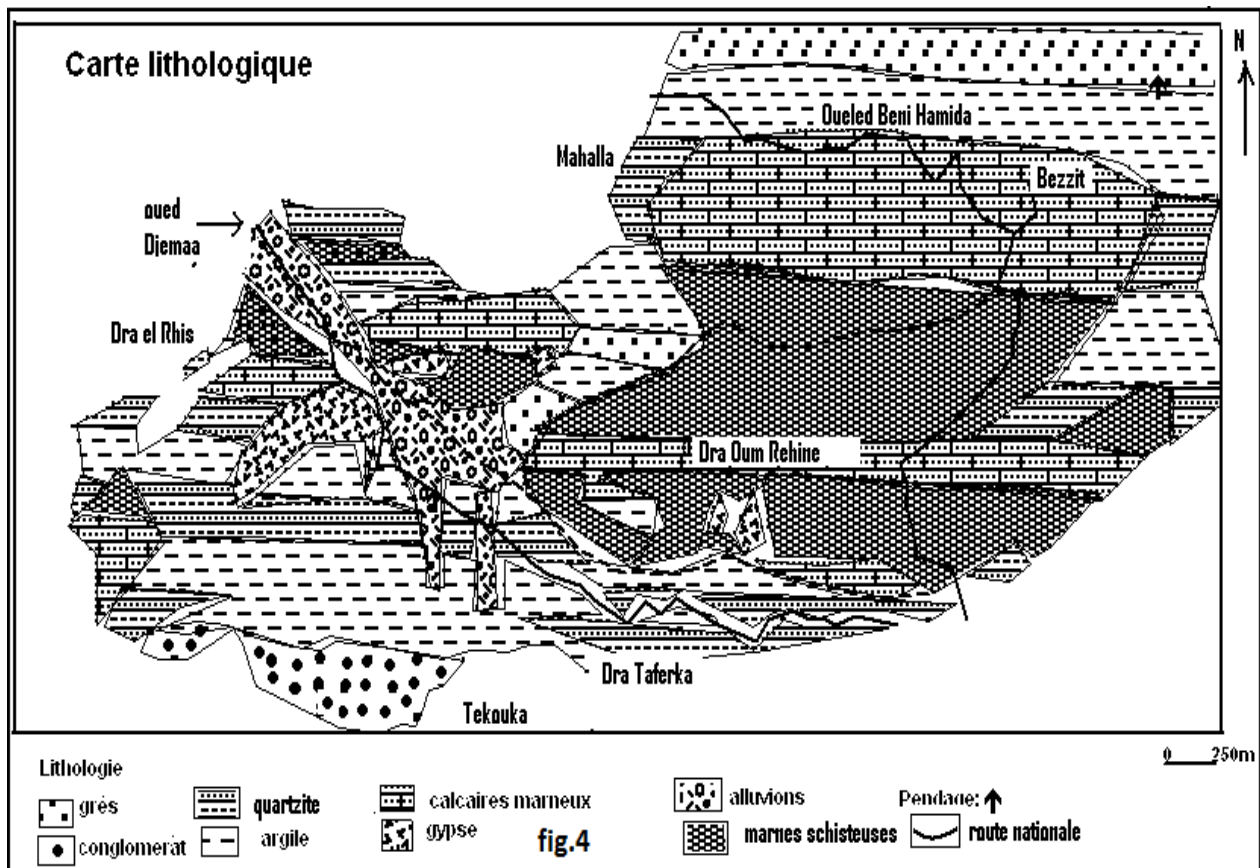
- Des marnes schisteuses et calcaires marneux forment les versants des reliefs du secteur. Ils sont plastiques, raides et sur -consolidées en profondeur, mais altérables en surface. La formation est aisément remaniée en surface et incorpore des éléments détritiques (galets, graviers) dans le bas des reliefs.

- Le Quaternaire rouge est une formation présente dans le lit moyen de l'oued Djemaa et aussi dans la zone haute du secteur ouest de la zone d'étude. Elle est d'origine alluviale à torrentielle, lithologiquement variable, allant des limons graveleux aux argiles à galets. Cette formation est distinguée par sa forte proportion d'éléments détritiques et sa couleur ocre rouge. Elle comporte une base d'altitude très variable montrant qu'elle s'insère dans un relief préexistant. Enfin, le matériau est de qualité suffisante pour avoir été utilisé dans la réalisation des remblais du projet autoroutier.

-Les marnes rouges, qui comportent des concrétions calcaires et du gypse, sont rencontrées à la base des sondages ou à la base des reliefs, dans la plaine agricole que domine l'autoroute.

### **b. Diversité lithologique**

La lithologie intervient dans le façonnement des versants. L'érosion est moins active dans les roches les plus dures comme les calcaires qui donnent des reliefs énergiques avec des pentes raides. Au contraire, l'érosion est plus active dans les roches moins résistantes comme les argiles, les marnes ou les sables, qui engendrent des versants irréguliers avec des ruptures de pente. Le bassin présente une grande diversité lithologique (fig.4).



### III.2.5 Géomorphologie du secteur

Pour évaluer l'instabilité de la pente, il convient d'étudier en détail la géologie locale qui peut fournir des outils supplémentaires pour l'étude du mécanisme des ruptures engendrant les mouvements de terrain.

Les formes d'instabilité les plus graves sont localisées sur les affleurements argilo-sableux du Miocène continental post-nappe et sur les formations marno-schisteuses et marno-calcaires du Crétacé supérieur. Or ces formations occupent de vastes superficies dans le secteur d'étude. De plus, elles ont des proportions de matériaux perméables en général faibles. Or, ces matériaux de sables et graviers, ont une grande importance, car ils favorisent la mise en charge de l'eau. Les informations apportées par les analyses géotechniques confirment le rôle fondamental joué par l'eau dans tous les mouvements observés

Du côté nord et à l'ouest, on trouve des terrains de couleur rouge, en général riches en galets, correspondant à des formations continentales quaternaires. Le déblai à l'ouest est, quant à lui, dans une formation gris-noir, argileuse, dont le contact avec des formations continentales rouges paraît très complexe. Les dépôts rouges sont vraisemblablement des dépôts torrentiels remblayant des talwegs creusés dans les marnes noires.

L'érosion différentielle dégage quelques belles formes structurales dans les secteurs où les formes lithologiques sont les plus résistantes. Dans la zone El-Rich, à l'ouest, près de l'oued Djemaa, une grande masse calcaireuse constitue un mont remarquable, alors que dans les secteurs marneux les formes au contraire sont beaucoup moins nettes. L'évolution morphologique a été rapide dans ces terrains. Le secteur constitue donc un domaine original pour l'étude des glissements de terrain et les ravinements avec des loupes de glissement multiples et un « creeping » généralisé qui indique des stabilités critiques à l'état naturel. Cela peut être expliqué par les faits suivants :

-Le bassin est caractérisé par une forte instabilité de ses sols à cause d'une part de la géologie et de la morphologie particulière des terrains et d'autre part des précipitations qui les affectent. La formation géologique traversée par les secteurs instables correspond aux marnes miocènes à zones plus ou moins sableuses. Le Miocène de ce secteur a été quelques fois faillé au cours d'une phase tectonique attribué au Pliocène.

-La morphologie des versants étudiés est marquée par un relief accidenté avec des pentes en moyenne de l'ordre 30 %. Ces versants à dominante argileuse présentent un important ravinement et sont le siège de fréquentes manifestations d'instabilité qui se manifestent par des nets affaissements et les glissements de terrain

-On y relève l'inclinaison des éléments verticaux (arbres) vers le bas et des fissures de traction témoigne de l'actualité de l'instabilité.

-Enfin la morphologie concave des versants pourrait être l'héritage des escarpements rotationnels qui témoignent et témoignent de l'instabilité. Ainsi certains épisodes de la géomorphogenèse ont laissé des traces responsables de l'évolution des versants. Il s'agit des glaciaires et des terrasses.

### III.3 Les caractéristiques morphométriques du bassin supérieur de l'oued Djemaa

La détermination des caractéristiques morphométriques du bassin consiste à calculer des paramètres explicatifs (tableau.1).

Pour mesurer l'influence de la morphologie sur la dynamique de la réponse hydrologique en tout point du bassin, il faut étudier quantitativement la géométrie des formes, et en particulier le calcul de formes moyennes et des variations autour de ces formes. L'hydrologie est influencée par la morphométrie, qui peut être exprimée par des attributs représentatifs de la distribution des altitudes (indice de relief), de la longueur et de la forme du bassin (indice de forme), et les paramètres décrivant le réseau de drainage [18].

Tableau.1 : Caractéristiques morphométriques du bassin supérieur de l'oued Djemaa

Superficie (hectares)	4500
Périmètre (km)	37
Longueur du réseau global (km)	147
Densité de drainage (km/km <sup>2</sup> )	4,41
Point culminant (m)	1236
Pente moyenne du cours d'eau principal (m/km)	10
Pente moyenne du bassin versant (%)	56
Coefficient de torrentialité	9,48
Densité hydrographique (/km <sup>2</sup> )	3,26
Coefficient de Gravelius	1,54
Longueur du cours d'eau principal (km)	3
Altitude de l'exutoire (m)	340
Dénivelée [H5% - H95%] (m)	600

Le secteur d'étude présente des altitudes entre 300m et plus de 1200m. L'altitude extrême est de 1236m au lieu dit Tachechit Nador.

### III.3.1 La carte des pentes

C'est un document qui représente les contrastes de pente. La valeur de la pente topographique définit l'inclinaison et présente des irrégularités. L'inclinaison des versants est un facteur de fragilité incontestable qui permet aux forces d'attraction liées à la gravité de s'exercer plus facilement. Le redressement de la pente entraîne une accélération des processus dynamiques [19]. Les versants du bassin ont généralement des pentes moyennes à fortes et des dénivellations importantes. La raideur de la pente s'explique par les mouvements tectoniques quaternaires qui ont rehaussé le massif kabyle. La pente, en tant qu'élément du relief, accélère le ruissellement : plus la pente est grande et longue, plus le risque est grand.

#### - Réalisation d'une carte des pentes (fig.5)

Préalablement à une future carte de risque, on a réalisé une carte des pentes manuellement qui consiste à délimiter, sur le fond topographique au 1/25000 de la carte de Bouira, les surfaces sur lesquelles la pente du terrain est sensiblement constante où les différentes valeurs sont représentées par des hachures. Ces valeurs en pourcentage calculées à partir de la carte selon la formule la plus courante  $(H - h) \times 100/L$  (rapport de la distance horizontale et la dénivellation verticale entre les points les plus hauts et les plus bas). Dans une seconde phase, un histogramme de fréquence des valeurs permet la répartition en classes de pentes, plus proche de la réalité qu'avec des seuils arbitraires (Bosse, 1974). La désignation des classes est la suivante :

- Nulle : 0-10% (0°-6°) ,
- Douce : 10 -20%, 6°-11°
- Modérée : 20 – 30 % , 11°-16°
- Raide : 30 – 45%, 16°-24°
- Abrupte : 45 – 80%, 24°- 38°

L'objectif de cette carte est de faire apparaître le facteur pente dans le processus d'érosion et le déclenchement des glissements de terrain et des ravinements. Elle réduit de ce fait la saturation du sol par remontée de nappe [20]. Dans le bassin supérieur de l'oued Djemaa (tableau.2) nous avons regroupé les valeurs de pentes en cinq classes que nous avons choisi en fonction de seuils en géomorphologie dynamique [21].

Tableau .2: Valeurs de la pente en fonction de seuils géomorphologiques

Type de mouvement et autres formes dynamiques	Nature des terrains	Valeur de la pente
Bad-lands	Grès	>45 %
Glissements de terrain et coulées boueuses, ravinements	Argiles	30% < P < 45%
Glissements de terrain, ravinements	Marnes chisteuses	20% < P < 30%
Solifluxions, ravinements et coulées boueuses	Gypse et quartz	10% < P < 20%
Stable	Alluvions	P < 10%

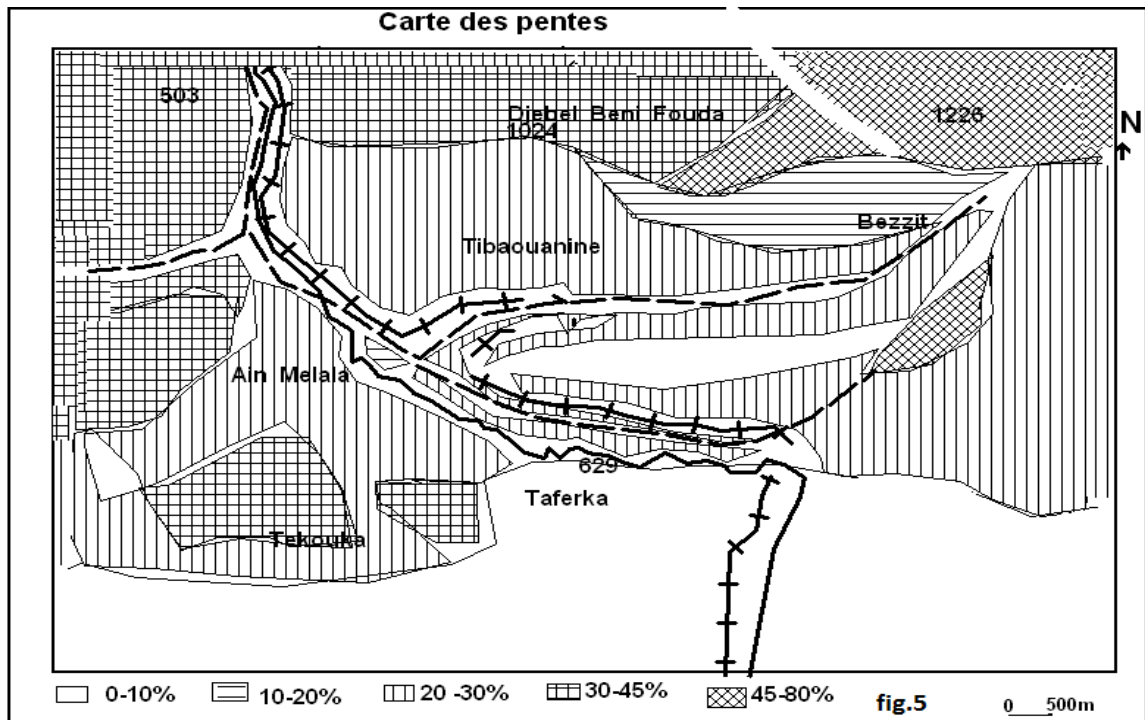


Fig III.5 Carte des pentes [15].

L'examen de la carte des pentes nous permet de distinguer quatre unités morphologiques :

Dans les pentes très fortes et fortes sur le crêt (sommets du versant sud) et de part et d'autre de l'oued Djemaa la vallée de l'oued Djemaa, le terrain est instable,

-Dans les pentes moyennes à fortes, de part et d'autre de l'oued Bezzit et l'oued Merroudj, la colline de Dra-Oum Rhine, de l'oued Merroudj vers Tekouka, le terrain est très instable,

les pentes faibles où se trouve la plaine de Bouira, sont stables.

Les pentes atteignent 45% et plus sur les crêts, soit 13% de la superficie totale (fig.6),

Les versants constitués de roches tendres ont une pente comprise entre 20 et 30%, soit 61% de la superficie globale (fig.6),

Les versants sur crêtes ont une pente comprise entre 30 et 45% de la superficie totale, Soit 20% de la superficie des versants ont une pente inférieure à 15% (fig.6).

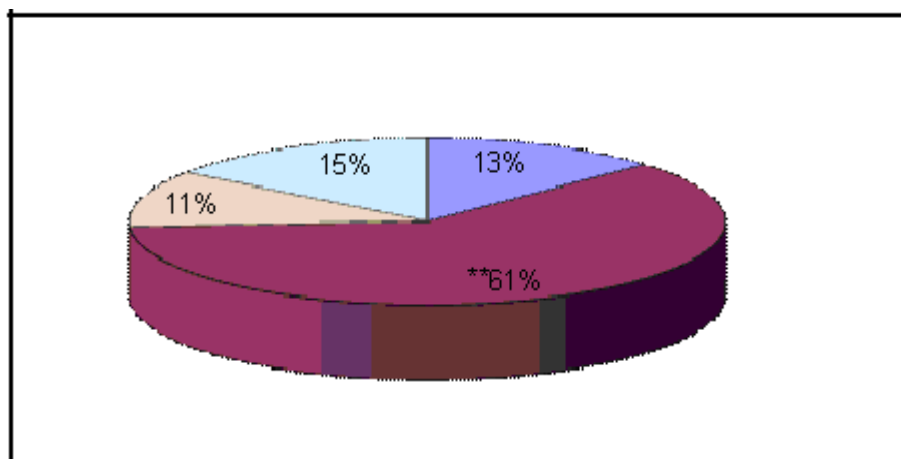


fig.6: Fréquence des pentes [15].

### III.3.2 Les caractéristiques des reliefs du bassin supérieur de l'oued Djemaa

Tableau.3 : Tableau des altitudes de différents secteurs des versants du bassin supérieur de l'oued Djemaa

Classes d'altitudes (m)	Altitude moyenne	Surfaces		
		Km2	%	Cumulées
> à 1200		0,08	0,24	0,24
1200-1100	1150	0,56	1,68	1,92
1100-1000	1050	1,34	4,02	5,84
1000-900	950	1,31	3,93	9,87
900-800	850	2,12	6,37	16,24
800-700	750	3,43	6,37	26,54
700-600	650	7,06	21,2é	47,76
600-500	550	9,75	29,30	77,06
500-400	450	6,31	18,96	96,02
< à 400		1,31	3,93	99,95

On remarque dans le tableau.3 des altitudes des différents secteurs que plus de 27% de la surface totale des versants se caractérise par une altitude supérieure à 600 mètres, ce qui permet de dire que la région d'étude présente une topographie élevée de relief accentué. À partir du tableau des altitudes et de la courbe hypsométrique, on peut déduire les principales caractéristiques morpho-métriques suivantes :

- Altitude moyenne : 630m
- Altitude minimale : 371m

### III.4 Hydrologie et hydrogéologie du versant

#### III.4.1 Hydrographie

Le réseau hydrographique correspond à tout écoulement linéaire concentré sur la surface topographique qu'il transforme progressivement [22]. Le réseau hydrographique est très dense et fortement hiérarchisé dans le secteur d'étude. Des ravins et des oueds s'enfoncent et se concentrent dans les terrains peu résistants (argileux et marnes schisteuses). Ils déversent leurs eaux dans l'oued Djemaa au nord et ses affluents (oued Bezzit à l'est et oued Merroudj au sud –ouest). Le réseau hydrographique assure aussi le drainage de la plaine de Bouira. L'érosion des berges des cours d'eau peut à la longue provoquer de l'éboulement qui est dû aux glissements des berges qui sont emportées progressivement par les cours d'eaux. En effet, lors de fortes averses avec des intensités horaires élevées, le régime de ces oueds connaît de hautes eaux de décembre à avril et des basses de mai à octobre/novembre. Si l'action de creusement du cours d'eau est plus rapide que l'usure des versants, il tend à se former une gorge étroite et profonde. C'est ce qu'on a constaté sur l'oued Bezzit où la profondeur de lit mineur approche 1 mètre sur sa partie amont au niveau de village de Bezzit. Au contraire, si le creusement est plus lent que l'usure des versants, ceux-ci s'adoucissent et la vallée s'élargit comme prouve l'oued Djemaa. Son élargissement dépasse très largement celui de l'oued Bezzit et Merroudj et atteint les 10 mètres.

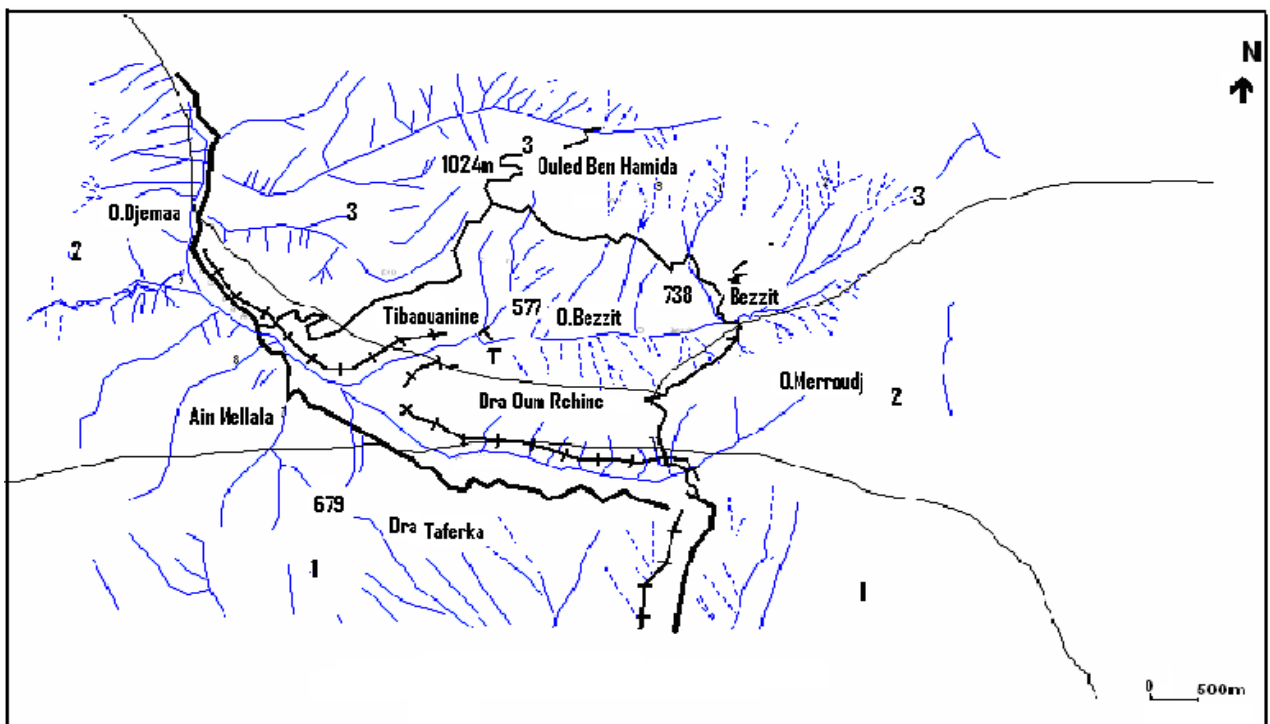
Les talwegs sont formés d'une part de l'ensemble des cours d'eau permanents ou temporaires et d'autre part des prolongements du réseau hydrographique figurés sur la carte topographique au 1/25000. Ce réseau hydrographique permet de différencier les cours d'eau en fonction de leur pouvoir érosif. Du fait de l'agressivité des pluies abondantes, ils sont particulièrement denses, ramifiés, ce qui entraîne la raideur de la pente dans les roches ou les formations superficielles moins perméables, et. Cela conduit à l'apparition des "badlands" tels que ceux qui existent à Djebel Beni Fouda, sur le versant sud. Ces ravins ne fonctionnent que lors de très fortes précipitations, alimentées par le ruissellement dont la localisation s'explique par des raisons géologiques et géomorphologiques.

### III.4.2 L'extension spatiale du phénomène de ravinement

La hiérarchie du réseau hydrographique se manifeste par l'importance croissante de ses éléments depuis les ramifications originelles de l'amont dépourvues de tributaires (ordre 1) jusqu'à la fin du collecteur principal de l'oued Djemaa et ses affluents (Bezzit et Merroudj). La région se caractérise par une forte densité de drainage et une hiérarchisation de la densité hydrographique, à cause d'une roche mère peu perméable, d'un couvert végétal restreint et d'un relief montagneux (cf. carte de pente). Le réseau hydrographique du bassin est marqué par une dissymétrie importante, la majorité des affluents de rive droite sont hiérarchisés, le chevelu en rive gauche est peu dense et constitué de cours d'eau de faible extension. Le développement du réseau hydrographique prend une forme de ramification irrégulière, ceci est dû au fait que son réseau s'effectue indépendamment des contraintes géologiques. La dégradation des versants sous l'effet du ravinement est le témoignage d'un milieu sous l'emprise du ruissellement et soumis à une intense érosion hydrique.

La fréquence spatiale des formes de ravinement se distribue en 3 classes (fig.7) :

- Dans la première classe, les formes de ravinement occupent 11 % de la surface dans la partie nord. Ces fréquences élevées se rencontrent surtout au sud du secteur d'étude.
- A l'ouest et à l'est du secteur d'étude, le ravinement intéresse 35 % de la superficie
- La troisième classe correspond à toute la partie sud du terrain. Le ravinement intéresse 52 % de la superficie.



Classe 1 : 11 % Classe 2 : 35 % Classe 3 : 52 %

Fig. 7 : Localisation des zones ravinées

### III.4.3 Hydrogéologie

Des sources se situent au sud et au nord car les eaux souterraines ne sont pas très profondes et ceci laisse supposer que l'eau s'infiltrerait difficilement dans le versant.

La plus grande partie de la région étudiée est occupée par des formations lithologiques peu perméables : marnes, argiles, schistes ou flysch. Dans ces formations, les ressources en eau souterraines sont insignifiantes. Quelques puits fournissent l'eau à la population locale qui se ravitaille aussi auprès des nombreuses sources. De nombreux ravins empruntés par des cours d'eau temporaires entaillent les versants et alimentent ces puits superficiels.

Le secteur d'étude reçoit de grandes quantités d'eau, soit en pluies, soit en neige durant l'hiver. Il emmagasine une grande partie dans sa formation peu perméable, surtout les flyschs, l'autre partie ruisselle rapidement dans les vallées pour rejoindre l'oued Djemaa. Le ruissellement et l'infiltration, sont à la base de la répartition des eaux de pluie entre les écoulements superficiels et souterrains. Le ruissellement est favorisé par les fortes pentes du versant sud du bassin, par la concentration des précipitations durant la saison d'hiver et au printemps et par l'imperméabilité ou faible perméabilité de certaines formations géologiques à la surface.

Les flyschs sont considérés comme des niveaux imperméables sur lesquels les eaux aquifères supérieures viennent s'arrêter. Ces formations sont peu favorables à la formation de nappes aquifères. Ces eaux peuvent s'accumuler et donnent naissance à quelques sources. Par contre l'infiltration est favorisée par les faibles pentes dans les dépressions, les replats et la plaine et par la perméabilité de dépôts limoneux à la surface. Les alluvions caillouteuses anciennes quaternaires du plateau de Hamza renferment, à différents niveaux, des nappes aquifères qui s'écoulent par de petites sources assez nombreuses (notice explicative de la carte géologique de Bouira).

### III.4.4 Dynamique des oueds

Trois oueds sillonnent notre secteur d'étude dont le principal est l'oued Djemaa, les deux autres, l'oued Bezzit en rive droite et l'oued Merroudj en rive gauche sont considérés comme ses principaux affluents. Ces affluents naissent dans les régions sommitales du djebel Djurdjura et de Draa Taferka et El Khemis correspondent à des écoulements saisonniers. Les affluents Merroudj et Bezzit ne comportent pas de lit majeur, mais ils présentent un lit mineur épisodique, bien délimité par des berges. Les sapements et l'éroulement des berges sont des phénomènes dynamiques essentiellement dans les concavités de méandres des oueds. L'érosion est bien visible sur les oueds, elle entaille les roches tendres et déclenche l'érosion régressive sur des versants dominant les rives concaves. La genèse de nouvelles ravines déclenche des glissements en coulées. Les déplacements des eaux et des matériaux s'accompagnent soit de l'ablation, soit de l'accumulation de matériaux. L'activité hydrodynamique des oueds s'intensifie, lors des pluies exceptionnelles. Cette érosion fluviale présente trois composantes principales :

#### III.4.4.1-Érosion verticale ou linéaire:

Elle provoque l'approfondissement du cours d'eau et conduit à la formation de terrasses. On a observé ce type de phénomène d'une part sur l'oued Djemaa au point de coordonnées (x= 603,10 ; y= 349,50) et d'autre part sur ses affluents : l'oued Merroudj au point de coordonnées (x=604,50 ; y = 347,48) et l'oued de Gypse au point de coordonnées (x = 602,7 ; 348,50).

D'après la notice explicative (carte géologique de Bouira), la stratigraphie de lit se distingue par :

- des alluvions récentes constituées par des dépôts limoneux présents dans le lit majeur de l'oued Djemaa,
- des alluvions anciennes des vallées, constituant les terrasses caillouteuses et limoneuses dominant de 10 à 15m les berges des petits oueds principalement dans les nombreux ravins qui découpent le versant sud.

Les alluvions dans ces vallées comportent aussi des galets, des graviers, une matrice argilo sableuse, ainsi que des éléments plus grossiers comme des blocs, dont certains sont de taille métrique. La présence de ces épaisses alluvions en fond de vallée s'explique par l'incapacité des cours d'eau à assurer le transport des produits de l'érosion. Ces accumulations favorisent l'élargissement des cours d'eau par sapement latéral lors des périodes de fortes averses.

#### **III.4.4.2-Érosion latérale :**

À grande échelle, l'importance de l'érosion latérale dépend de la nature des matériaux qui constituent les berges [23].

La carte géomorphologique nous montre le travail d'érosion, particulièrement sur les rives concaves des méandres. C'est à ce niveau que s'effectue le sapement de la base des versants qui contribue fortement à leur déstabilisation. La rive concave se creuse donc de plus en plus. En revanche sur la rive convexe, le courant trop lent pour transporter la charge abandonne une partie de celle-ci et construit une grève. La courbure s'accroît ainsi.

La forme du lit de l'oued Djemaa et de ses affluents diffère le long du cours d'eau, dans le sens longitudinal.

-Profil longitudinal du cours d'eau

L'érosion latérale est prépondérante sur le profil en long. Plusieurs paramètres contribuent à ce gradient longitudinal : le débit augmente vers l'aval et le calibre de la charge diminue par usure progressive des matériaux transportés. Un débit élevé, pour transporter une charge donnée, s'accommode d'une pente plus faible qu'un débit indigent ; à débit égal, des matériaux fins sont transportés sur une pente plus faible que des matériaux grossiers [24].

Le profil en long de la rivière présente une forme concave douce traduisant la décroissance de la pente du lit depuis l'amont vers l'aval. Les valeurs de pente les plus fortes sont observées sur le versant sud, dans la zone de Bezzit (jusqu'à 30%), les plus faibles sur les sections aval de la plaine de l'oued Djemaa (10%). La concavité du profil est accidentée par des ruptures de pente. Celles-ci sont dues à la nature lithologique de la roche plus résistante (calcaire). Au cours des crues, le cours d'eau creuse le fond de lit et affouille les berges. Lors de la descente, l'eau arrive dans une zone où la pente s'atténue brusquement. La vitesse du courant et la puissance du cours d'eau se réduisent et les alluvions commencent à se déposer. À ce stade, l'eau va passer à un stade d'érosion régressive. Le profil longitudinal se creuse plus à l'aval qu'à l'amont et chaque rupture de pente remonte vers l'amont.

Le profil en long d'un cours d'eau permet de définir sa pente moyenne. Le calcul de la pente longitudinale du cours d'eau consiste à diviser la différence d'altitude entre les points extrêmes du profil par la longueur totale du cours d'eau (Musy et Higy, 2003).

$$P_{\text{moy}} = H_{\text{max}} / L \text{ avec } H = 255 \text{ et } L = 3 \quad P_{\text{moy}} = 85 \text{ m/km}$$

Dans le sens transversal, la vallée se présente sous la forme d'un V dans la partie amont. On observe des alluvions de différentes tailles qui dépassent dans certains endroits le mètre cube. En revanche dans la partie aval, la vallée prend la forme d'un U. Ceci est dû aux affouillements des berges et à la charge grossière qui induit des lits tressés.

#### **III.4.4.3-Érosion régressive**

Des formes d'érosion régressives sont visibles dans le lit des oueds, mais aussi sur les versants entaillés par des ravins peu profonds. L'enfoncement du lit des oueds peut être observé en plusieurs endroits ; il est presque toujours associé à des déstabilisations de berges. Par exemple, sur l'oued Bezzit à 300 m de point de rencontre oued Merrudj et Bezzit, on a pu suivre le recul d'une petite cascade de 1 m de dénivelé, favorisée par la superposition de calcaires résistants sur des argiles tendres. Les pluies exceptionnelles du décembre 2002 ont permis un recul de 50 cm

La déstabilisation des berges résulte de plusieurs facteurs dont l'élévation du niveau des eaux, l'augmentation de la vitesse du courant et le déplacement du lit.

Elle provoque des glissements de berges et des déplacements des chenaux. Ces derniers ont été observés en bas des versants c'est-à-dire sur l'oued Djemaa où le courant a effectué un travail de sape jusqu'au niveau de l'ancien lit.

Il arrive aussi que la végétation qui colonise la rive de l'oued contribue à l'instabilité des berges.

Sur l'oued Bezzit on a observé ce type d'instabilité où le basculement d'un arbre a déstabilisé la berge de l'oued.

### III.5 Localisation des zones ravinées

La méthode consiste à réaliser des cartes thématiques : carte lithologique, carte des pentes, carte d'occupation de sol, carte de fragilité des terres et carte des sensibilités des sols.

#### III.5.1 Croisement de cartes thématiques :

Le croisement de la carte d'occupation du sol avec la carte lithologique fait ressortir une première carte de fragilité des terres. Le croisement de cette dernière avec la carte des pentes permet d'obtenir une carte de sensibilité des sols à l'érosion hydrique. Enfin, la superposition de la carte du réseau hydrographique avec la carte de sensibilité des sols permet d'obtenir la carte de localisation des zones fortement ravinées.

##### a) Lithologie :

La carte lithologique du bassin supérieur de l'oued Djemaa fait apparaître la grande diversité des formations lithologiques avec prédominance des flyschs et des argiles. On distingue 6 classes de sensibilités par ordre décroissant :

- 1 : très fortement sensible
- 2 : fortement sensible
- 3 et 4 : moyennement sensible
- 5 : faiblement sensible
- 6 : très faiblement sensible

Type de roche	Sensibilité à la battance	Erodibilité	Sensibilité à la fissuration	Classe de sensibilité
Grés	Limite	moyenne	Faible	5
Calcaires marneux	faible battance	faible	Faible	4
Conglomérat	faible battance	faible	Faible	6
Argiles	Limite	moyenne	Forte	3
Alluvions	Battance	Fort	très faible	1
Marnes	Battance	Fort	Forte	2

**Tableau.4** : Classement des substrats en fonction de la sensibilité à l'arrachement et au transport des particules qui les composent

##### b) Couvert végétal

À partir de la carte topographique, de photographies aériennes et des études de terrain, une carte d'occupation du couvert végétal a été élaborée au 1/1000 pour le bassin supérieur de l'oued Djemaa. Quatre classes de couverture végétale apparaissent. À chaque classe, a été affecté un degré de protection contre l'érosion hydrique.

### III.5.2 Carte de fragilité des terres (fig.8)

J'ai croisé la carte d'occupation du sol avec la carte lithologique et le résultat a permis d'élaborer une carte de fragilité des terres. Il ressort du croisement quatre classes de fragilité des terres :

- 1 : terres très fragiles ; 2 : terres fragiles ;  
3 : terres moyennement fragiles ; 4 : terres peu fragiles.

La superficie des terres fragiles et très fragiles représentent 37 % de la superficie du bassin supérieur de l'oued Djemaa.

### III.5.3 Carte de sensibilité des sols à l'érosion hydrique (fig.9)

Pour l'élaboration de ce type de carte, j'ai croisé la carte de fragilité des terres et la carte des pentes.

#### Carte des pentes

Pour les cinq classes des pentes j'ai affecté un degré de sensibilité à l'érosion hydrique

**Tableau.5** : Classe de sensibilité à l'érosion

Pente en degré	Degré d'érosion	Sensibilité à l'érosion
0°-6°	4	très faible
6°-11°	3	Faible
11°-16°	2	Moyenne
16°-24°	1	Fort
24°- 38°	1	très fort

On peut dégager trois classes de sensibilité par rapport à l'érosion qui sont :

**Classe1 : sensibilité forte à à l'érosion**

**Classe2 : sensibilité moyenne à l'érosion**

**Classe3 : sensibilité faible à l'érosion**

Les sols à une forte sensibilité à l'érosion hydrique représentent plus de 40 % du bassin.

### III.5.4 Carte de localisation des zones fortement ravinées (fig. 10)

Pour élaborer cette carte, j'ai superposé la carte du réseau hydrographique sur la carte de sensibilité des sols. Les zones très sensibles correspondent aux zones de ravinement.

Pour aboutir à une classification des ravines par ordre de priorité pour l'intervention, trois caractéristiques principales ont été retenues : la pente, la lithologie et l'occupation du sol. Onze zones ravinées ont été identifiées où l'ordre d'intervention est prioritaire

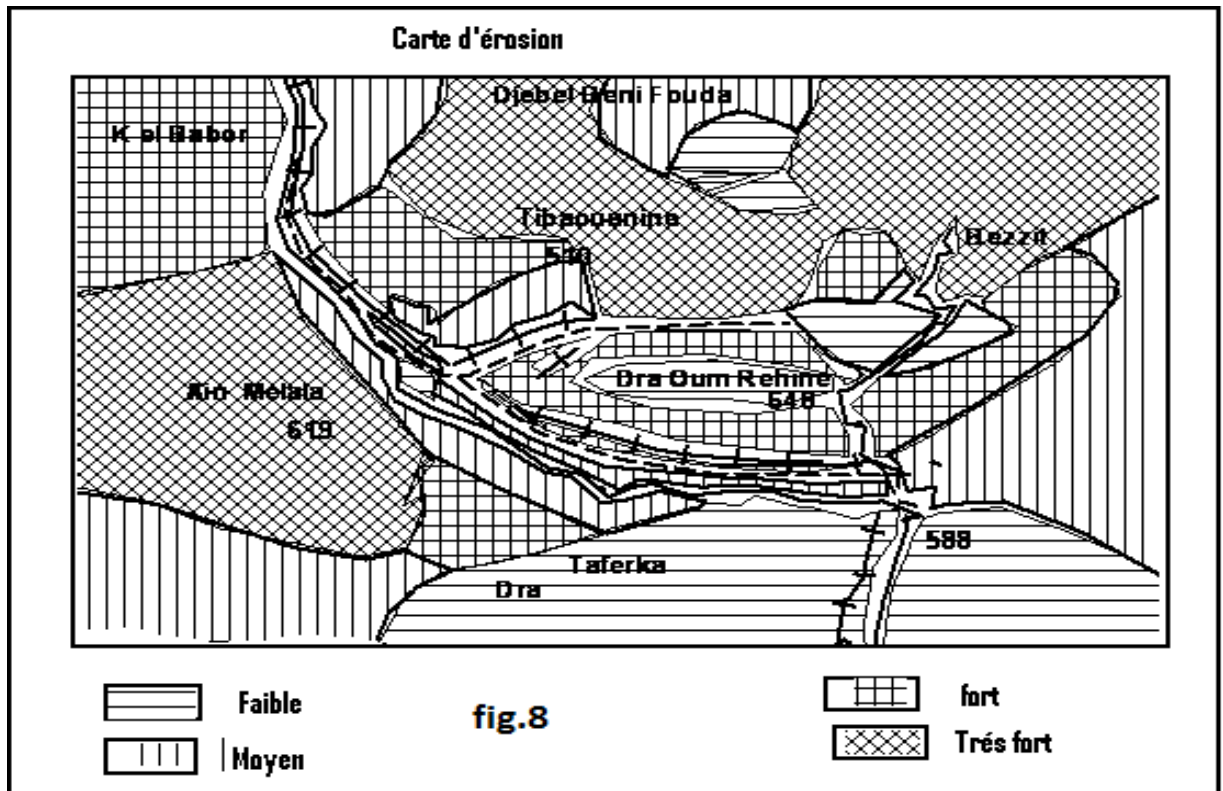


Fig.8 : Carte d'érosion

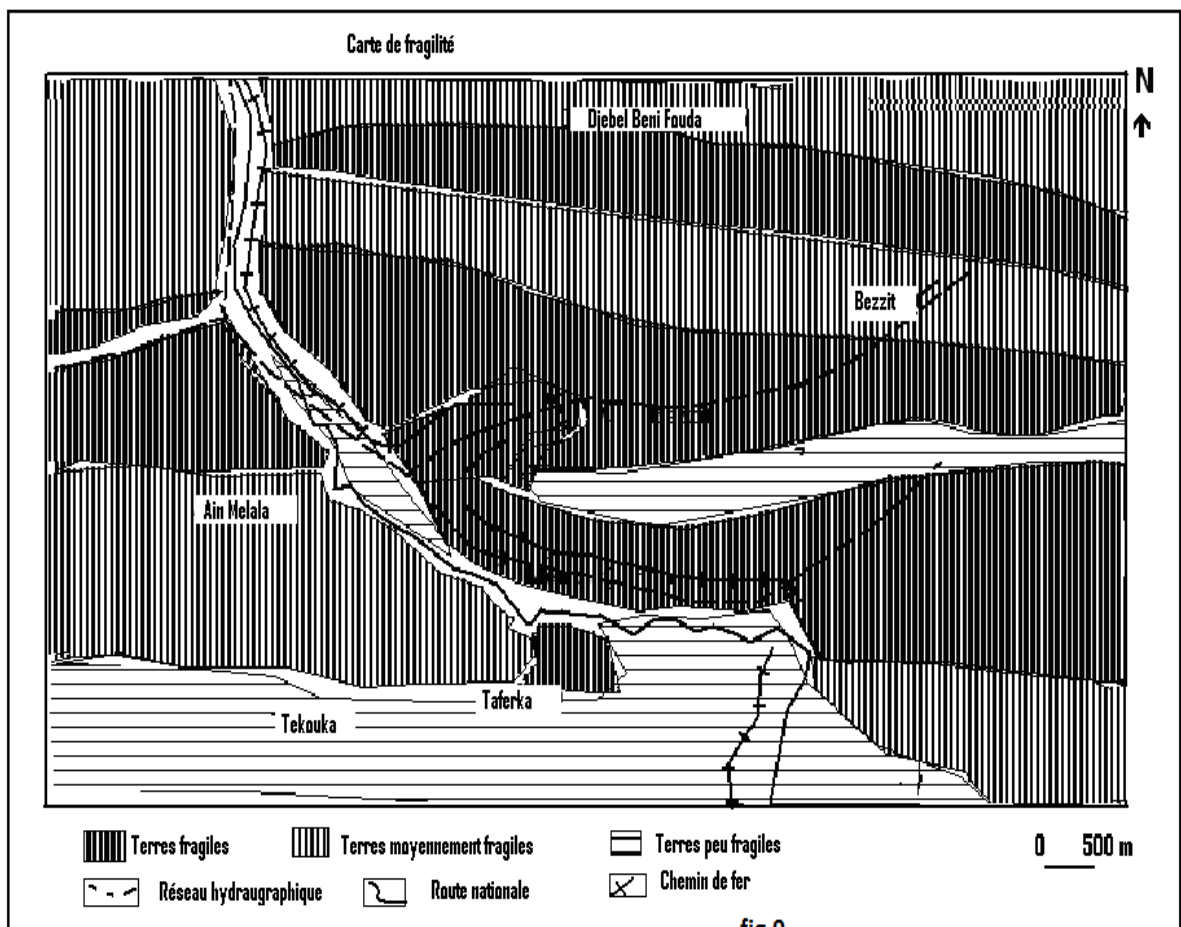


Fig.9 : Carte de fragilité

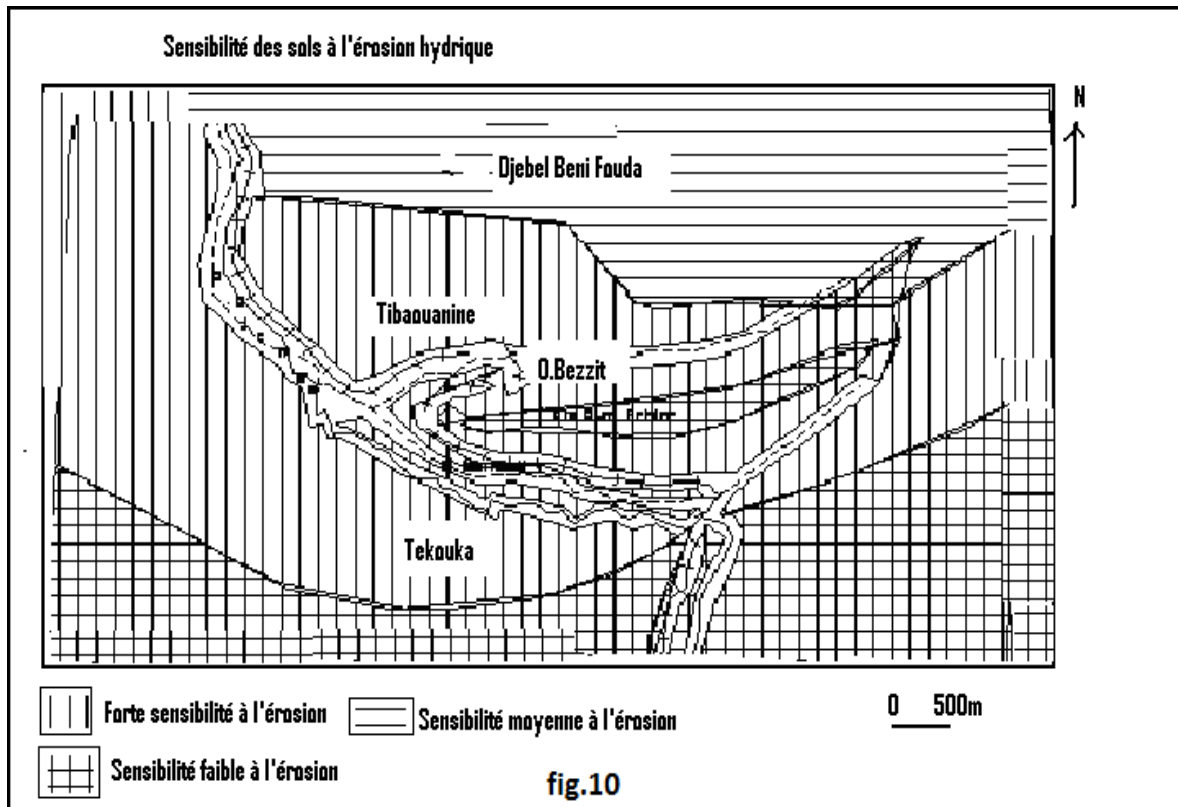


Fig. 10 :Carte Sensibilité des sols à l'érosion

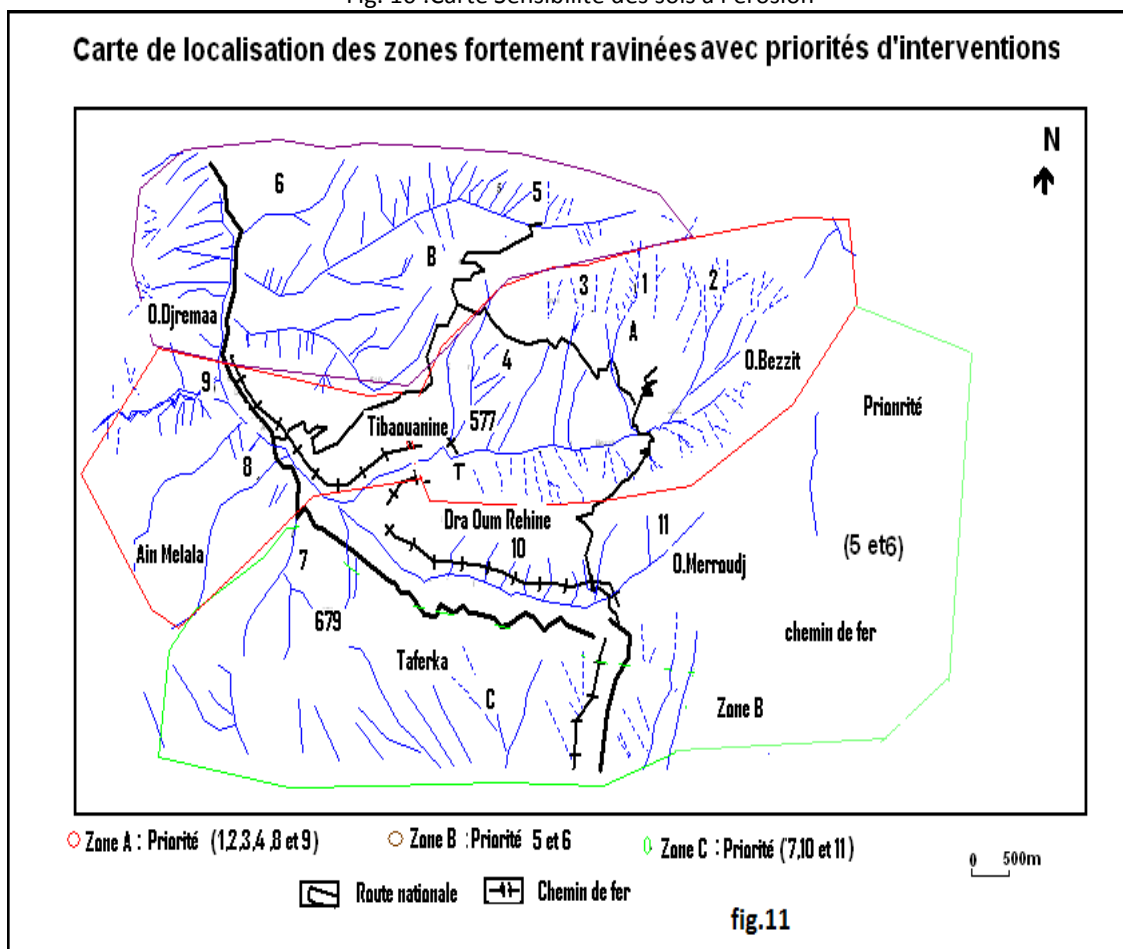


Fig.11 : Carte de localisation des zones fortement ravinées avec priorités d'interventions

## Conclusion

L'analyse des formes d'érosion observées sur les photos aériennes de 1984 et sur le terrain aujourd'hui révèle une évolution importante. Nous avons distingué quatre types d'érosion : aréolaire, les rigoles, les ravines, les ravins et les badlands. L'interprétation des photos aériennes, actualisées sur le terrain, révèle que les zones faiblement érodées représentent 30% de la surface totale du bassin versant, alors que l'érosion en nappe représente 24%. Les types de ravin et ravinement généralisé touchent respectivement 36% et 3%. La distribution des formes d'érosion montre que les zones à érosion verticale et en nappe se développent sur tous les faciès lithologiques et sur toutes les classes de pente. Le ravinement dans toutes ses formes se concentre essentiellement sur les argiles, les grès et les marnes schisteuses et sur des pentes comprises entre 20 % et 45 %. Le ravinement généralisé s'étend sur des formations argileuses et sur des pentes dépassant 45%. Les facteurs favorables à l'érosion sont l'abondance et la forte intensité des pluies méditerranéennes, les fortes pentes, des sols sensibles à la battance et des vastes espaces à faible couverture végétale.

L'étude a permis d'évaluer et de localiser des changements très appréciables des formes d'érosion. À titre d'exemple, les valeurs des densités trouvées dans le bassin supérieur de l'Oued Djemaa, permettent de conclure que l'érosion par ravinement a beaucoup évolué. Le réseau hydrographique est très dense et ramifié jusqu'à l'ordre 3 de la classification de Horton, les incisions ont une forme V et l'augmentation de la longueur des ravins, par exemple dans l'unité 7 est passée de 11350 m à 16000 m de 1960 à 1984. Ces observations et mesures permettent de comprendre l'évolution des ravins qui engendrent une érosion sur les versants et un comblement des talwegs. À la longue, ceci va engendrer un adoucissement des pentes des versants et un élargissement des ravins. En revanche sur certains versants, l'érosion par ravinement est moins évoluée, ceci en raison des travaux d'aménagement anti-érosifs réalisés sur des ravins comme c'est le cas sur le versant est.

Le système d'information géographique (SIG) a été utilisé dans le but de mieux cerner les paramètres qui conditionnent l'évolution et la variabilité spatiale des formes d'érosion. Il a permis la superposition des cartes d'occupation, la carte lithologique, la carte des pentes avec celle de la carte de sensibilité. À l'issue de ce croisement, l'étude a permis de produire une carte de sensibilité des sols à l'érosion hydrique que montre que presque 40 % de la surface est fortement sensible à l'érosion.

***Chapitre IV :***  
***Méthodologie de Cartographie***  
***Des risques liés aux***  
***Mouvements de terrain***

## IV.1 Introduction

L'environnement naturel et ses divers composants constituent un grand obstacle face aux plusieurs projets et constructions élaborés par l'homme, cet obstacle est exprimé par le terme d'érosion quand il s'agit du milieu naturel. Il se manifeste sous différentes formes de mouvement des composants de surface, cela a poussé les chercheurs à s'intéresser au domaine d'érosion et risque de mouvement des masses, et planifier des plans précisant les différentes forme d'érosion en s'appuyant sur des méthodes et des techniques, y compris les différents plans ZERMOS (zones exposées aux risques de mouvements de sol et de sous-sol).

Au début des années quatre-vingt, s'est apparus les Plans d'Exposition aux Risques naturels (PER) dans les pays occidentaux, ces plans ont attiré l'attention de divers départements administratifs, ce qui les a poussés à la réalisation de ces plans, qui servent les intérêts de travaux publics. Ces plans sont associés aux plans d'occupation des sols.

## IV.2 Etablissement de la carte des risques

À l'issue de cette étude, nous aborderons les cartes de synthèse des différents facteurs qui donnent des indications sur les conditions de stabilité du secteur étudié même en absence d'instabilité déclarée. On a essayé de délimiter les zones où le mouvement de terrain peut apparaître. À partir des zones à risques, on a dégagé le degré de risque. La représentation des mouvements de terrain est complétée par les zones à risque. On a présenté une carte semblable à la carte de ZERMOS puis une carte de risque basé sur un langage numérique. La carte des risques réalisée constitue un état des lieux précis et contribue à une meilleure utilisation du sol. Elle fournit un document de base indispensable pour les problèmes liés à l'instabilité.

### IV.2.1 Historique de la cartographie des risques

La conception de la cartographie de "ZERMOS" (Zones exposées aux Risques de Mouvement du sol et du sous-sol), reposent sur une technique de superposition des cartes de facteurs, dont les paramètres pris en compte ne représentent pas l'ensemble des causes déclenchant une instabilité. Elle délimite schématiquement les zones susceptibles de connaître un mouvement de terrain.

En 1970, la forte coulée de boue qui a détruit le Sanatorium sur le plateau d'Assy (Haute – Savoie) faisant 40 morts, a mis en évidence le rôle de la pluviométrie dans le déclenchement descatastrophes. Cet événement est à l'origine de la mise en œuvre des cartes des zones exposées aux mouvements du sol et du sous-sol (ZERMOS) [guide plan de prévention des risques naturels P.P.R, 1994], établies à l'échelle 1/20000 ou 1/25000 et publiées par le B.R.G.M.

En France, les études de cartographie des risques naturels ont été entreprises à partir du début des années soixante dix, par le bureau de recherche géologique et minière (B.R.G.M) et le laboratoire de géologie de l'université de Grenoble.

En 1971, des travaux de synthèses cartographiques sur les mouvements de terrain, ont été effectués par M. Lacroix sur les pentes instables du Rif (Maroc), et surtout dans les pays de l'Est, notamment en Tchécoslovaquie par les ingénieurs tchèques.

Dans la même optique, nous orientons cette recherche en prenant les préoccupations de la cartographie ZERMOS et en définissant une méthodologie utilisant le principe de la cartographie numérique basée sur la simulation des facteurs à partir des observations et des données de surface

### **IV.2.2 Problème de cartographie**

- Le relief est très accidenté et certaines zones sont inaccessibles ;
- À certains endroits, la densité de la végétation empêche toute observation des marques d'instabilité ;
- Certains secteurs appartiennent au domaine privé dont l'accès est strictement interdit.

Dans les endroits difficiles d'accès nous avons utilisé les jumelles pour avoir une vision suffisante pour repérer quelques types de mouvements de terrain

### **IV.2.3 La cartographie géomorphologique (Fig. 1)**

Pour l'étude du risque, on fait appel systématiquement à la géomorphologie pour l'analyse des conditions de stabilité et la recherche des indices de mouvement.

La carte géomorphologique constitue l'une des bases fondamentales de l'évaluation des aléas naturels. Il s'agit de cartographier tous les indices d'instabilité à partir des photos aériennes et des observations sur le terrain.

La carte nous permet donc de représenter les formes du relief, les manifestations les plus repérables des processus morphodynamiques en jeu et des phénomènes d'érosion hydrique. Par ailleurs la distinction entre mouvements actuels et mouvements du passé se fonde souvent sur un critère géomorphologique. Ainsi, pour pouvoir établir et décrire de manière très précise et détaillée ces phénomènes morphodynamiques, on a utilisé l'échelle de 1/25000 qui est très bien adaptée aux levés des manifestations de mouvements de terrains et d'érosion hydrique.

### **IV.2.4 Carte des instabilités des versants (fig. 2)**

L'instabilité des versants mérite un inventaire permettant de localiser les différents mouvements de terrain sur les versants. La carte des zones exposées à des mouvements de terrain est élaborée en relevant l'ensemble des indices de mouvements récents ou anciens quels que soient leurs extensions, leurs modes de mise en évidence et les formations affectées.

Il est certain que la détermination spatiale des risques d'instabilité serait utile pour la prévision de tels événements potentiels. La méthodologie proposée est basée sur une analyse qualitative des facteurs déterminant le phénomène de mouvements de terrain :

- -Inventaire des événements qui se sont produits dans la région,
- -Analyse des différents paramètres déterminant l'instabilité.

Les principales instabilités de terrain déclarées se situent en majorité sur le versant sud. Nous avons aussi constaté que les mouvements de terrains encore actifs surviennent à proximité des suintements là où la pente est la plus forte.

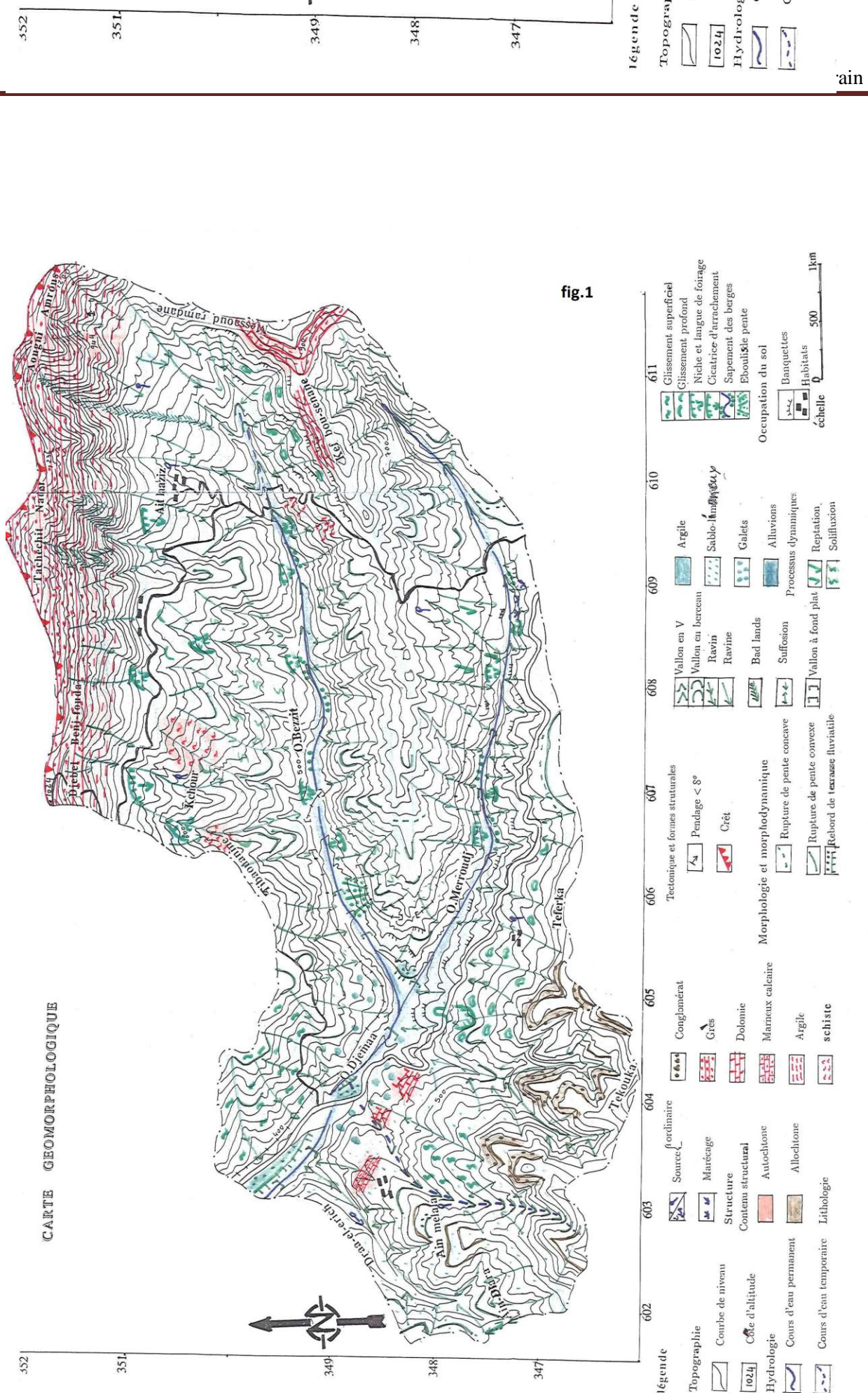


Fig. IV.1 : Carte géomorphologique de la région [15].

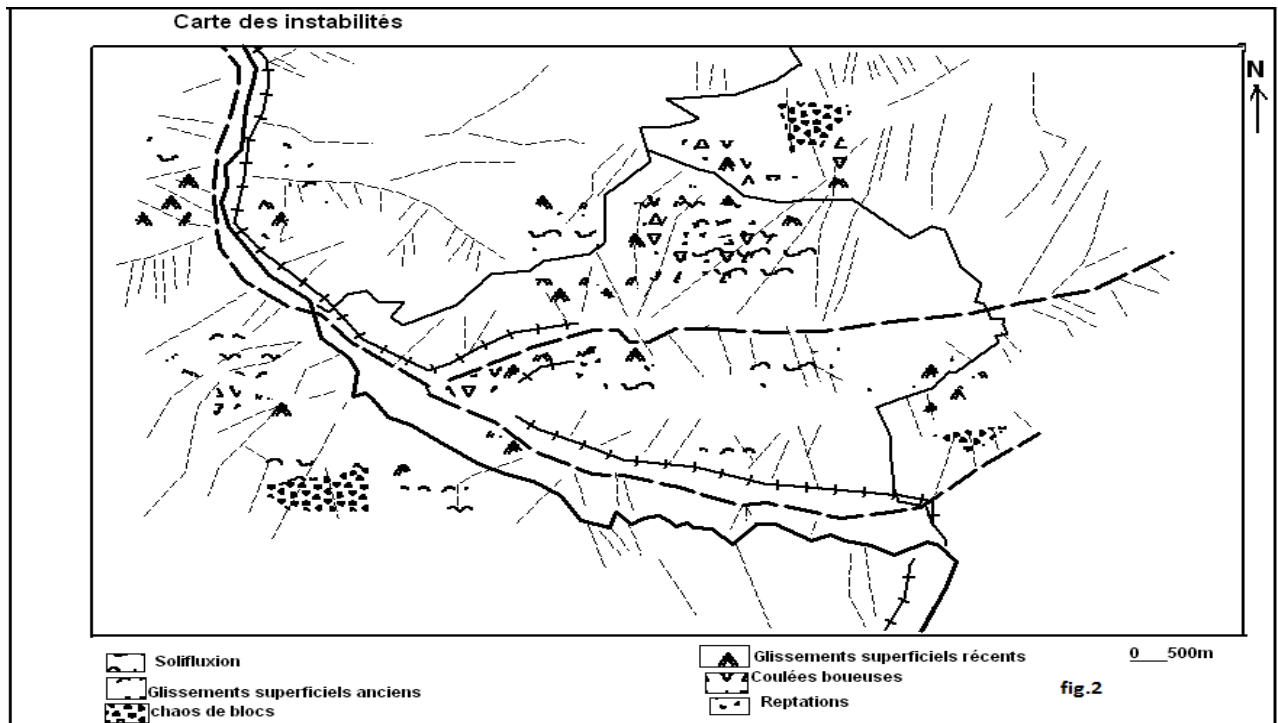


Fig. IV.1 : Carte des instabilités de la région [15].

## IV.2.5 La carte des risques

### IV.2.5.1 Les cartes de synthèse

Elles permettent de délimiter des ensembles de zones à risques homogènes ou “ bassins de risques ” [25]. Ce sont des cartes plus synthétiques, établies à petite échelle, sont l’expression finale d’une étude intégrant par exemple les cartes intermédiaires de géologues et qui montrent les manifestations potentielles d’un ou de plusieurs phénomènes en un zonage hiérarchisé.

On peut distinguer deux grandes catégories :

- Les cartes de type ZERMOS qui localisent les mouvements de sol et qui définissent un zonage hiérarchisé en termes de stabilité [26].
- Les cartes d’aléas du P.E.R, sont sous forme de carte de vulnérabilité qui localisent les zones vulnérables. Les PER a été remplacée par les PPR depuis le février 1995.

Dans les deux cas, les cartes sont destinées aux collectivités locales, au public, etc.....

Les cartes de ZERMOS sont remplacées par des cartes dites « aléas » qui localisent la probabilité d’apparition d’un certain type mouvement et d’une certaine intensité (Aléa instabilité du sol).

La première carte sera présentée de la même façon que les cartes “ZERMOS” (zones exposées aux risques liés aux mouvements du sol et du sous-sol). La carte d’aléas qui combine intensité et probabilité et aboutit sous la forme d’un zonage à quatre couleurs de base : rouge, marron, jaune, verte.

La deuxième carte de synthèse sera confectionnée selon un langage numérique. Les cartes de synthèse ont un double objectif et leurs destinataires sont les collectivités locales et le public.

La notion de risque est traditionnellement divisée en deux composantes qui sont d’une part l’aléa, et d’autre part la vulnérabilité. Cette dernière, qui correspond aux conséquences d’un évènement, est directement reliée à la société humaine. L’aléa est par contre considéré comme assez indépendant de l’homme, il est l’évènement naturel à la source du risque.

Caractérisé par une probabilité, il est comme tel dénommé « hasard » par les anglo-saxons et ne doit pas être confondu avec le « risk », qui lui, résulte de la combinaison de l'aléa et de la vulnérabilité [27].

#### IV.2.5.1.1. La carte des zones exposées aux Risques de Mouvements du sol et du sous-sol du bassin : la carte ZERMOS.

C'est une carte de synthèse qui s'appuie sur l'analyse de mouvements de terrains existants et des facteurs pouvant avoir des effets sur la stabilité des terrains (pente, cadre géologique, condition de drainage, etc.) et qui définit un certain nombre de zones d'instabilité [28].

Cette carte informe donc sur la localisation probable des zones exposées à des risques de mouvements du sol et les degrés de ces risques à la suite de la synthèse des facteurs d'instabilité (premier chapitre). Elle a été établie à une échelle 1/25000 et comporte un zonage simple des terrains, représenté par des couleurs rouge (risque élevé), marron (risque moyen) et vert (risque nul ou faible).

Cette carte de zonage est utilisée temporairement, donc elle évolue au cours des années. Les limites des zones changent dans le temps, surtout où la région a connu une évolution temporelle.

Pour se faire, nous allons dresser le tableau suivant qui montre la possibilité d'une zone donnée plus ou moins stable en période normale évoluant vers l'instabilité en période exceptionnelle.

Dans le tableau ci-dessous on donne un zonage de stabilité. Dans le cas exceptionnel, elle touche seulement la zone B. Ces zones ainsi établies ont permis de limiter celles sujettes à des risques déclarés ou probables.

Activité	Zone	Sous -zones	
		Période normale	Période exceptionnelle
Stable	A	-	-
Faible-Moyenne	B	B1	B2
forte	C	-	BC

**Tableau.1** : Zonage de stabilité

**Zone A** : correspond à un secteur stable quelque soit la période (pluvieuse ou non)

**Zone B** : correspond à un secteur de stabilité moyenne (secteur B1 : stabilité faible, secteur B2 : stabilité moyenne)

**Zone C** : correspond à un secteur instable (en période pluvieuse, le secteur C est instable. En période d'orage les deux secteurs B sont instables).

##### IV.2.5.1.1.1 La signification des couleurs

**-Rouge** : indique une instabilité réelle, en cours d'évolution ou une menace précise susceptible d'entraîner de graves conséquences difficilement contrôlables

**-Orange** : indique une menace potentielle pouvant être écartée par des dispositions particulières

**-Verte** : indique qu'aucune instabilité ne semble devoir se produire dans la zone considérée et que celle-ci peut être aménagée sans contrainte particulière, au prix de quelques vérifications ou précautions, généralement de peu d'importance

#### **IV.2.5.1.1.2 Observation sur le terrain (fig. 3)**

Il apparaît que les degrés de risque se répartissent en fonction de la géomorphologie et de la pente.

##### **Zone rouge**

Dans cette zone, on rencontre toutes les manifestations d'instabilités anciennes ou actuelles des glissements de terrains, des coulées boueuses, des solifluxions, des reptations et des ravinements ou bad-lands qui apparaissent dans les formations superficielles et le substratum.

##### **Zone orange**

Les instabilités dans cette zone sont représentées surtout par des glissements de terrain, favorisés par certains facteurs d'instabilité comme la pente et la lithologie.

##### **Zone jaune**

Dans cette zone, la pente est modérée et les facteurs d'instabilité sont moins favorables à l'instabilité de terrain.

##### **Zone verte**

Elle n'indique aucune instabilité liée aux mouvements de terrain. La zone est stable pour le moment.

#### **IV.2.5.1.2 La carte d'exposition aux risques (C.E.R) (fig. 4)**

Dans le CER, la plupart des instabilités de terrain sont représentées par des glissements, des solifluxions, des coulées boueuses, des reptations et ravinements ou bad-lands. Ceux-ci affectent la roche tendre, et les formations superficielles.

#### **IV.2.5.2 Les cartes analytiques**

##### **IV.2.5.2.1 Evaluation du risque**

Plusieurs méthodes pour l'évaluation de la cartographie ou le zonage de l'aléa de mouvements de terrains ont été trouvées dans la littérature. Les méthodes déterministes s'appuient sur les lois de la mécanique des sols. Elles offrent les meilleures garanties d'objectivité, mais sont peu utilisées.

L'estimation des risques de mouvements de terrain peut être définie par deux méthodes distinctes, au moment du déclenchement du mouvement de terrain et des dommages qu'ils peuvent occasionner.

Les deux méthodes sont : la méthode numérique et la méthode probabiliste

##### **IV.2.5.2.1.1 Méthode numérique ou arithmétique**

Cette méthode a été utilisée par Milles (1968) pour aboutir à la carte prévisionnelle des mouvements de masse dans le Rif marocain au 1/100000. Nous nous sommes basé sur le même principe pour cette évaluation.

##### **IV.2.5.2.1.1.1 Méthodologie**

Notre méthode s'appuie sur des moyens faciles à mettre en œuvre, à savoir : une carte topographique 1/25000, une carte géologique 1/50000 et quelques analyses géotechniques.

La méthode consiste donc à combiner les facteurs pour aboutir à une carte globale d'instabilité ou en zonage hiérarchisé.

### a. Codage des facteurs

Pour aboutir à une carte des secteurs susceptibles d'être le siège de mouvements de terrain, nous avons retenu les facteurs de base qui sont : la topographie (raideur de la pente), la lithologie (nature du matériau) et la géomorphologie (indice d'instabilité), avec la même importance.

A chacun de ces facteurs, on a donc attribué un coefficient de risque en rapport avec son appartenance relative dans la genèse des instabilités. Ceci nous a conduit à transcrire les cartes de facteurs en cartes numériques appelées cartes de simulation de risque.

### b. Indexation des différents facteurs

Pour donner une signification au risque, on a symbolisé chaque facteur noté X suivant son importance dans la genèse des instabilités.

**Tableau.2** : Indexation des différents facteurs

Facteurs	X°	X-	X+-	X++
Degré d'activité	Stable	Faible	Moyenne	Forte
Degré de risque	1	2	3	4

Nous avons donc défini des indices de risque selon une échelle numérique. Cette systématisation graphique nous a conduits à transcrire les cartes de facteurs en cartes de simulation du risque.

#### IV.2.5.2.1.1.2 La carte de simulation du risque liée à la géomorphologie

La carte géomorphologique montre une prédominance des mouvements plastiques : les glissements de terrain et les solifluxions sont largement représentés, les coulées boueuses prennent une importance secondaire et les chutes de blocs sont rares. Quant au ravinement (bad-lands) ils occupent parfois des surfaces importantes comme le cas du versant sud du bassin.

L'évaluation du risque est relative aux conséquences sur la stabilité occasionnée par les mouvements de masse. Nous avons donc fait correspondre pour chaque type d'instabilité, d'après le tableau d'indexation, un code ou un indice de risque, ce dernier évoluant selon l'importance de son influence sur le facteur. Ainsi on a regroupé aussi toutes les manifestations d'instabilité suivant l'importance de ses conséquences sur le terrain d'étude. En les classant selon une échelle numérique au nombre de quatre et suivant son importance dans le secteur d'étude :

- Secteur à glissements de terrain, superficiels et profonds et coulées boueuses : 4
- Secteur aux solifluxions et ravinements ou bad-lands : 3
- Secteur à petite instabilité (reptations) : 2
- Secteur ne présentant aucune instabilité : 1

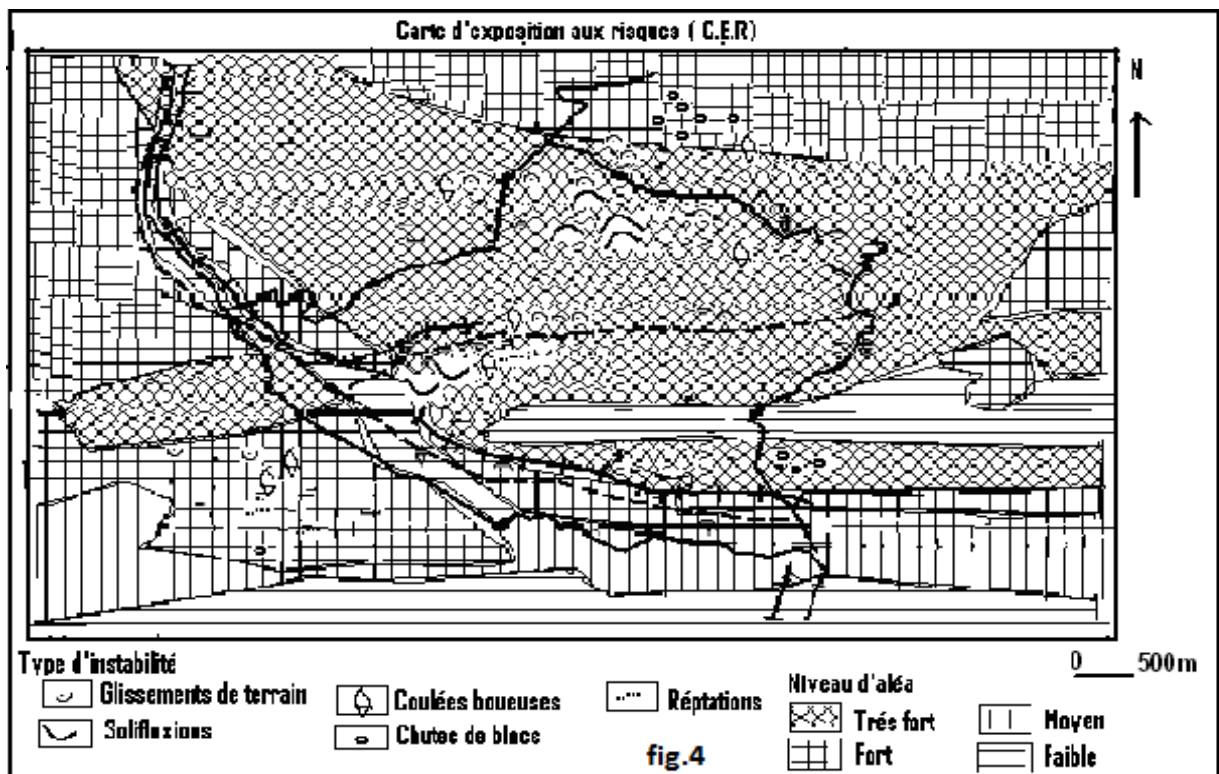
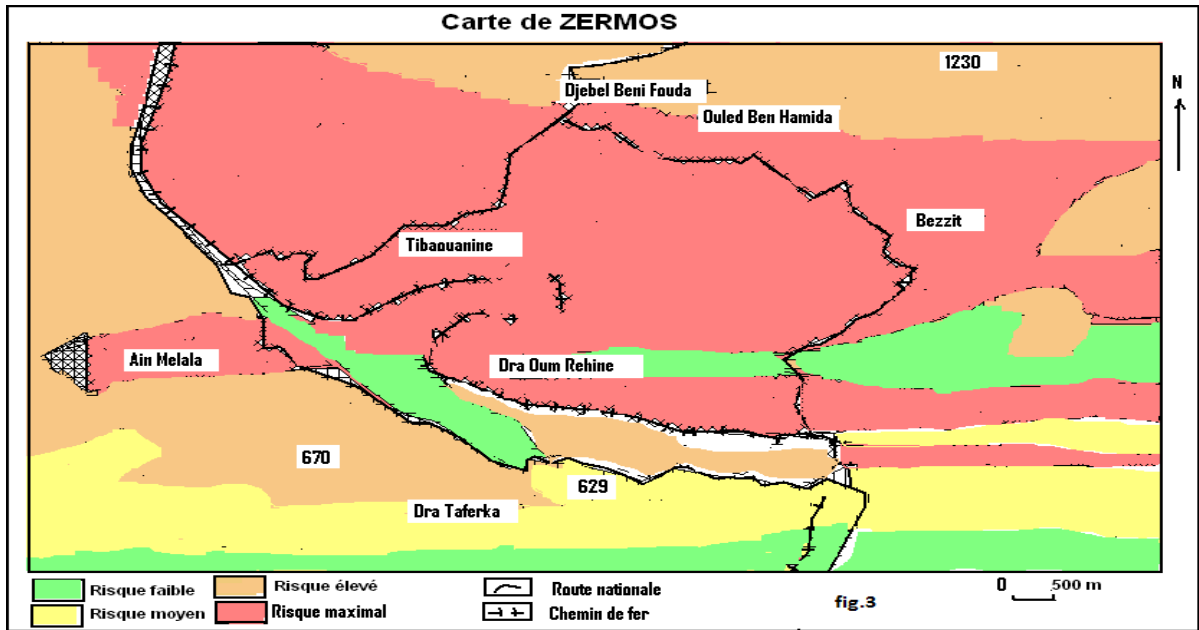
#### IV.2.5.2.1.1.3 La carte de simulation du risque liée à la pente

Pour donner une signification à la pente en terme de risque, nous avons défini (voir chapitre précédent) dans le secteur quatre classes de pentes, chacune d'elles se caractérise par un indice de risque : si l'action de la pente sur la stabilité est forte, l'indice qu'on lui attribue est de valeur élevée et inversement.

On voit que toutes les pentes inférieures à 10% sont relativement stables et qu'à partir de 10% la stabilité des terrains dépend d'autres facteurs d'instabilité.

Nous avons attribué un indice de risque d'après le tableau d'indexation et par comparaison avec les pentes des versants aux pentes limites :

- Si la pente du versant est inférieure à la pente limite, l'indice de risque prend la valeur minimum de 1
- Si la pente de versant est presque égale à la pente limite, l'indice de risque est égale à 2
- Si la pente de versant est supérieure à la pente limite, l'indice de risque est égal à 3
- Si la pente de versant est très supérieure à la pente limite, l'indice de risque prend la valeur maximum de 4



#### IV.2.5.2.1.1.4 Carte des classes du risque (fig.5)

Les 4 zones de la carte de sommation du risque comportent des terrains en 4 niveaux de risques :

**Classe 1 :**

Risque nul à faible, qui indique qu'aucune instabilité ne semble devoir se produire dans la zone considérée.

**Classe 2 :**

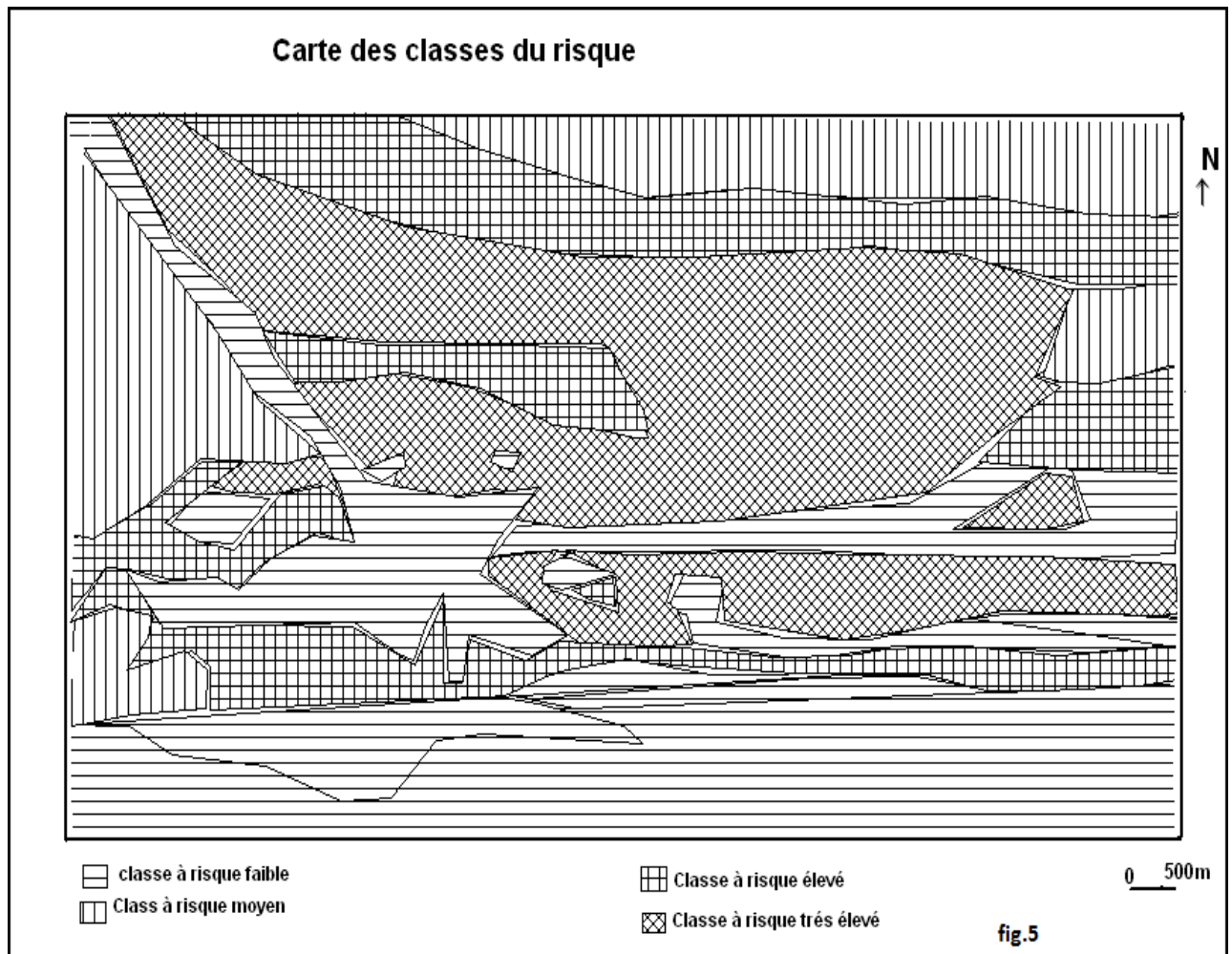
Risque moyen où l'intensité des facteurs est peu propice à la stabilité des terrains.

**Classe 3 :**

Risque élevé caractérisé par l'intensité forte des facteurs favorables aux mouvements de Terrain.

**Classe 4 :**

Risque très élevé, on trouve toutes les manifestations d'instabilité actives tels que les Glissements et les solifluxions.



#### IV.2.5.2.2 Carte du degré du risque (fig. 6)

- **Degré du risque nul à faible** : il correspond à des secteurs où la probabilité d'apparition du risque est comprise en 1% et 10% ;
- **Degré du risque moyen** : il correspond à des secteurs où la probabilité d'apparition du risque est comprise entre 10% et 31% ;
- **Degré du risque élevé** : il correspond à des secteurs où la probabilité d'apparition du risque est comprise entre 31% et 56% ;
- **Degré du risque très élevé** : il correspond à des secteurs où la probabilité d'apparition du risque est comprise entre 56 % et 100%.

#### IV.2.5.3 Comparaison entre les modes de représentation du risque

L'observation des trois types de zonage de l'aléa des mouvements de terrain montre dans l'ensemble que les modes de cartographie présentent des secteurs à risques très rapprochés. La différence peut résider dans la conjugaison des facteurs d'instabilité.

La conception de la cartographie de ZERMOS s'appuie sur l'analyse des mouvements de terrain existants et la superposition des cartes de facteurs. Elle délimite schématiquement les zones probablement exposées à des risques de mouvements de terrain.

La cartographie des degrés du risque est basée sur l'analyse des principaux facteurs de l'instabilité. À chacun de ces facteurs, nous avons évalué le degré de risque relatif dans la genèse des instabilités de 1 à 4 :

- La méthode arithmétique conduit à un cumul des intensités des facteurs et donne une évaluation du risque ;
- Dans la méthode probabiliste, les facteurs sont indépendants et il y a interaction entre les différents facteurs.

#### IV.2.5.4 La cartographie des risques (fig.7)

Pour représenter ce type de carte final des risques, l'opération consiste à transcrire sur un fond topographique les graduations des risques induits par les mouvements de terrain. La superposition de la carte des risques sur le fond topographique adapté conduit donc à une carte globale d'instabilité ou carte des risques naturels.

Cette carte est, plus riche en information et elle reste toujours générale et pratique. Les facteurs, qui présentent l'aspect le plus défavorable à la stabilité pour une zone donnée, peuvent ne pas l'être pour une autre zone. Enfin cette carte des risques ne doit pas être considérée comme un document figé mais évolutif. Les limites de zonage des graduations des risques sont susceptibles d'évoluer légèrement dans le temps et dans l'espace.

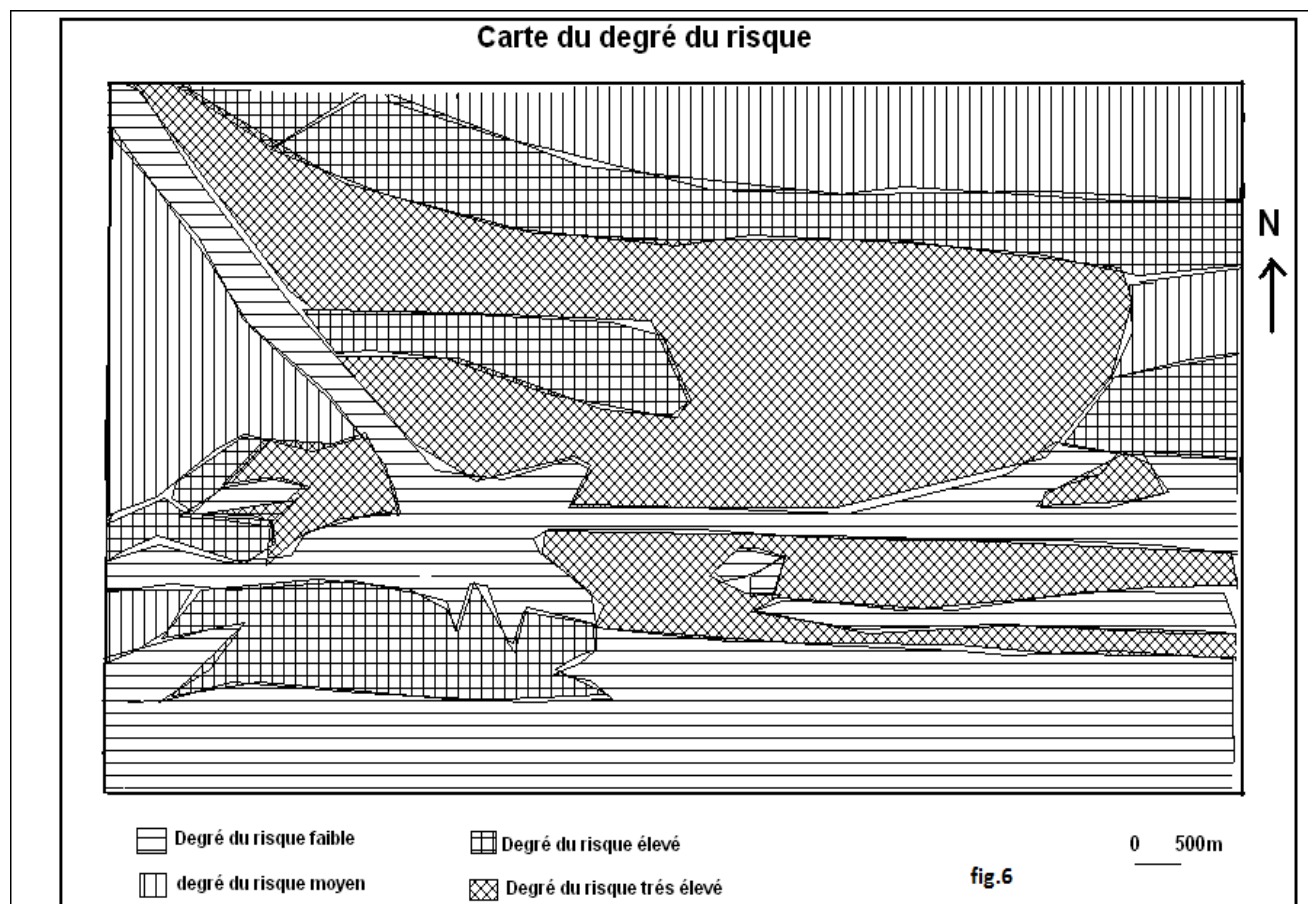
#### IV.2.6 Contenu de la carte des aléas

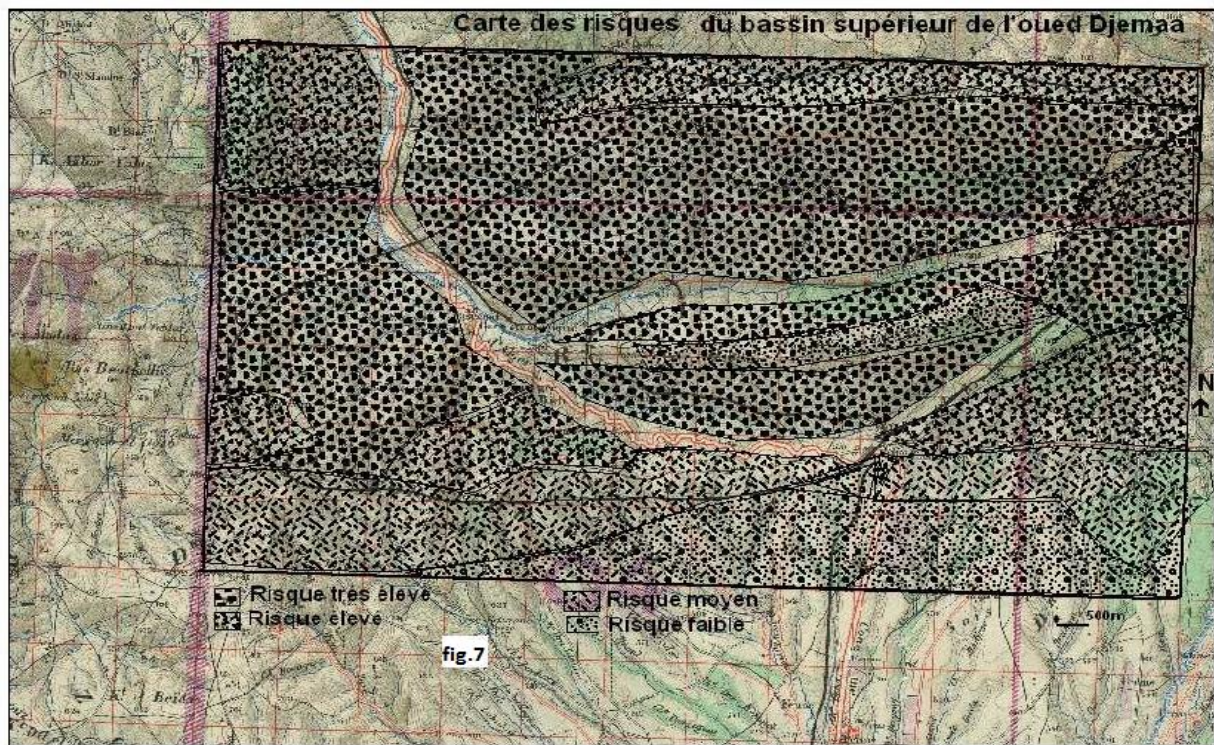
La carte des aléas du bassin supérieur de l'Oued Djemaa (Djurdjura) montre que les zones urbaines (village de Bezzit et Ait Laaziz) sont situées sur les zones à risques. Les niveaux de risque se rencontrent sur les pentes des versants. Il est élevé sur les pentes raides, moyen sur les pentes modérées et nul ou négligeable sur les pentes faibles. Celles-ci sont représentées par les replats, les terrasses et la plaine de Bouira.

L'aléa se manifeste sur le terrain à pente assez forte, par des fissures, des décollements très fréquents après de fortes pluies. La masse glissée dégage un talus semi-circulaire et s'étalant vers le bas, des loupes pâteuses se transforment en coulées boueuses. Associées à de petites niches d'arrachements en forme de marches d'escaliers. On observe des glissements de terrain et de nets affaissements et des solifluxions et aussi des signes évocateurs des mouvements longs de surface : fluage et reptation. En effet l'utilisation des matériaux de remblai inadaptés (caractéristiques mécaniques trop faibles, matériau sensible à l'eau) sur le versant exerce par son poids un effet dynamique important sur le substrat argileux. Ainsi, il comprime les argiles sous-jacentes en y augmentant la pression interstitielle jusqu'à ce que l'eau en surplus soit écoulée. Cette pression se propage vers le bas et permet un déplacement de matériau. De même, on y relève également des inclinaisons d'arbres vers le bas de la pente, des fissures sur des murs des maisons qui sont autant de signes matérialisant l'instabilité du terrain.

Ces indices d'instabilité apportent des informations concernant l'aménagement (reboisement, terrassement, ouverture ou détérioration des routes et chemins de fer, détérioration du système de drainage etc.). Pour lutter contre ces instabilités des versants et préserver le paysage, un choix d'aménagement doit être pris en compte pour chaque site. Dans ce domaine, tout mauvais choix entraîne des pénalités économiques pour la communauté'' [29].

Enfin, on note que l'absence de mouvements de terrain dans un versant donné n'est pas automatiquement une stabilité pour le futur. Le développement de mouvements de versant peut être un jour accéléré par des conditions naturelles ou par les travaux routiers lesquels ont été la cause de la réactivation de beaucoup d'anciens glissements





#### IV.2.7 Carte de vulnérabilité (fig.8)

Cette méthode de cartographie est une approche purement qualitative qui vise à analyser les causes des phénomènes et les indices associés. Pour qualifier la vulnérabilité du bassin versant aux aléas de mouvement de terrain et de ravinement, on commence par identifier des espaces d'étude, un zonage basé sur la localisation des processus.

La vulnérabilité aux mouvements de terrain et ravinement est déduite à partir des facteurs d'instabilité. La carte a pour objectif, d'une part, de refléter le degré d'exposition aux risques des sociétés, et d'autre part d'aider à la mise en place de mesures de prévention efficaces. Elle peut servir à plusieurs intervenants, à la municipalité, à l'environnement et au niveau des réseaux routiers.

Les coûts des glissements de terrain sont difficiles à calculer. Les répercussions économiques peuvent atteindre des millions de dinars par année. Dans le secteur d'étude, les mouvements de terrain et plus particulièrement les glissements de terrain ont surtout des impacts sur le réseau de transport, les champs de culture et sur l'habitat. Des murs des maisons individuelles ont subi des fissurations plus ou moins importantes. Des chaussées de route ont été endommagées et aussi de nombreuses fissures ont menacé les champs cultivés.

#### Classes d'aléa

Les niveaux d'aléa sont déduits à partir de la carte d'exposition aux risques. Les quatre classes d'aléa ont été reportées dans le tableau suivant ci-dessous.

**Tableau 3** : Classes d'aléa

Niveau d'aléa	Superficie en %
Aléa 1	20
Aléa 2	7,2
Aléa 3	28
Aléa 4	44,8

#### IV.2.7.1 Élaboration de la carte de vulnérabilité

La carte de vulnérabilité permet d'identifier les zones à haut risques, indépendamment du type de mouvement de terrain car elle prend en compte les principaux facteurs d'instabilité : la lithologie, la géomorphologie et la pente. Ces facteurs sont représentés par des poids qui dépendent respectivement de leur importance relative. La somme des poids des divers paramètres aboutit à une valeur numérique

Le niveau de vulnérabilité dû à la nature du substratum reprend les valeurs attribuées aux unités lithologiques de la carte lithologique. Ces unités permettent de prévoir le comportement mécanique vis-à-vis de la sensibilité à l'érosion hydrique. Le niveau de vulnérabilité lié à la pente est défini par la reclassification en classes de la carte de pente.

**Tableau 4:** Niveau de vulnérabilité des mouvements de terrain et des ravinelements

Superficie d'aléa de mouvements de terrain et ravinelements (%)	Poids de facteur pente	Poids de facteur lithologie	Poids de facteur géomorphologie	niveaux des vulnérabilités
Sup1	1	2	1	4
Sup2	2	3	2	7
Sup3	4	3	3	10
Sup4	4	4	4	12

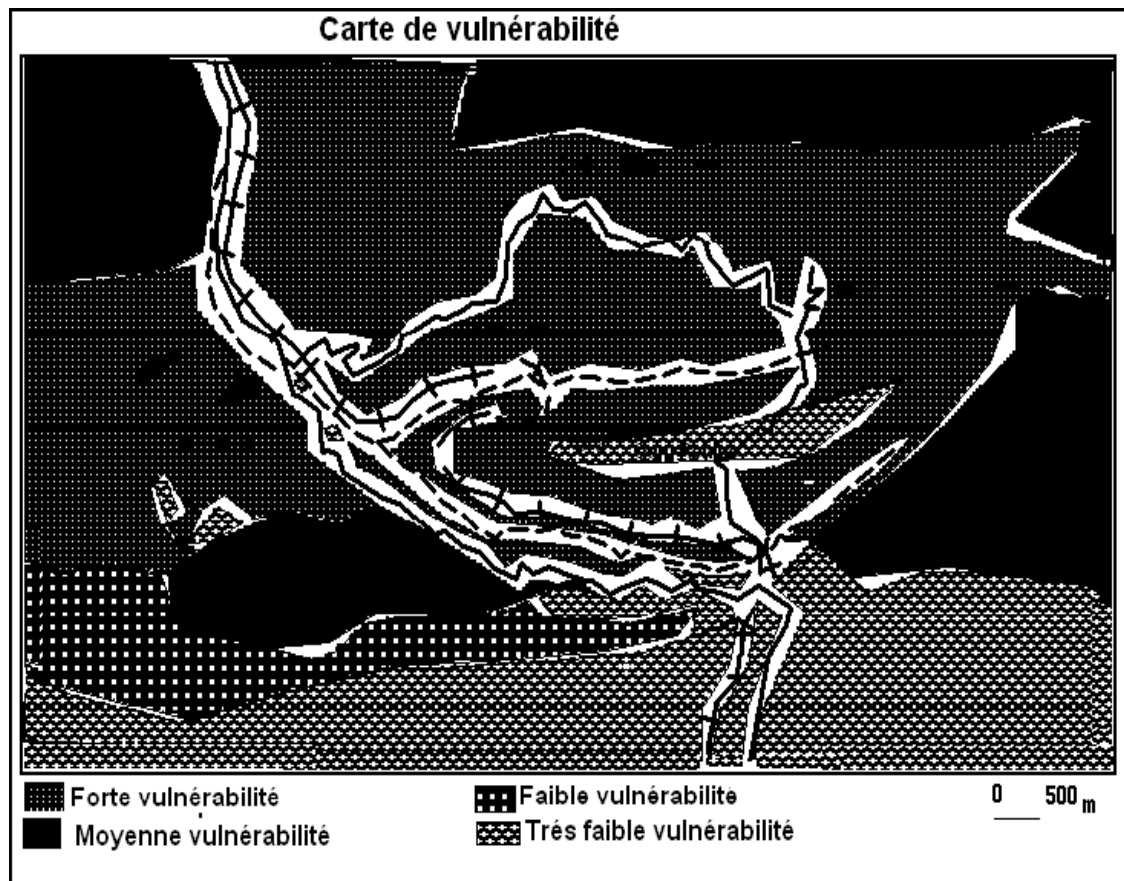


fig.8

## 7.2. Interprétation de la vulnérabilité :

La carte de l'indice de vulnérabilité repose sur quatre niveaux indiciels. Ce classement de niveau est en fonction de la sécurité des personnes et des biens ainsi que de l'importance dans l'économie locale dans un objectif de développement durable.

**Tableau.5 :** Indice de vulnérabilité des mouvements de terrain et des ravinements

Superficie en %	niveaux des vulnérabilités : 4	niveaux des vulnérabilités : 7	niveaux des vulnérabilités : 10	niveaux des vulnérabilités : 12
évaluation de la vulnérabilité	très faible vulnérabilité	Vulnérabilité Faible	Vulnérabilité moyenne	Vulnérabilité Forte

Selon le degré de vulnérabilité, la carte de vulnérabilité permet de porter une attention particulière lors de l'exécution des travaux de construction et d'aménagement. Elle doit servir comme outil préalable à l'étude des risques naturels, soit en interdisant de futures expansions urbaines dans les zones sensibles aux risques de mouvement, soit en imposant des normes en matière d'assainissement.

### IV.3 Carte des possibilités d'aménagement du bassin supérieur de l'oued Djemaa

Sur le bassin, les mouvements de terrain (en majorité les glissements de terrain) jouent un rôle prépondérant dans l'évolution des versants. En effet, les mouvements de terrain sont favorisés par la présence de sables, des limons et des argiles qui affleurent sur des pentes fortes. La pente constitue une barrière pour l'extension du tissu urbain dans le bassin.

#### IV.3.1 Établissement de la carte d'aménagement du bassin

##### IV.3.1.1 La carte analytique de l'aménagement

Elle représente le degré d'agressivité des contraintes physiques naturelles. C'est la superposition de la carte de risque à la carte des pentes, en utilisant une codification les différentes classes de pentes :

Tab.6: Combinaison sectorielle de la pente et du degré d'instabilité des terrains

Classe des pentes / Degré du risque	P >45%	30% < P < 45%	20% < P < 30%	10% < P < 20%	P < 10%
	1	2	3	4	5
Degré 1	11	12	13	14	15
Degré 2	21	22	23	24	25
Degré 3	31	32	33	34	35
Degré 4	41	42	43	44	45

### IV.3.1.2 La carte de l'aménagement du bassin supérieur de l'oued Djemaa (fig. 9)

#### -Secteur 1 :

Il correspond aux zones constructibles : p13, p15, p14 et p24 à risque nul à priori.

#### -Secteur 2 :

Il correspond aux zones constructibles moyennant certaines précautions et protections en raison du risque d'instabilité : p12, p13, p32 et p45 ; risque existant

#### -Secteur 3 :

Il correspond aux zones où toute construction est déconseillée : p43, p33, p23 et p21; parce que les risques de mouvement de masse sont très élevés.

### IV.3.2 Les moyens utilisés contre l'instabilité des versants (fig.10)

L'ensemble des causes du déclenchement des glissements, suggère les aménagements suivants :

#### IV.3.2.1 Modification des conditions hydrauliques

-Il est important d'éviter toute saturation du substrat et de la formation superficielle par le système de drainage. Bien que la maîtrise des eaux ne constitue pas à elle seule un moyen de stabilisation efficace, elle peut permettre de limiter l'amplitude des mouvements de terrain. Pour cela il conviendrait de réaliser un système de tranchées drainantes sous forme d'un fossé en amont et en aval des zones d'instabilité déclarée.

Ce système a comme fonction de réduire le régime des pressions neutres interstitielles dans les couches les plus superficielles du terrain, ce qui permet d'accroître rapidement la résistance au cisaillement en augmentant les contraintes effectives au sein du massif en mouvement : l'aménagement du régime des eaux d'écoulement superficiel en empêche l'infiltration en profondeur, donc élimine leur effet sur les formations sensibles. Il permettrait aussi de collecter et drainer les écoulements des eaux de surface, ce qui réduirait au maximum les phénomènes d'érosion et éviterait toute saturation des sols. Pour éliminer les infiltrations superficielles issues des précipitations au niveau des fissures, il suffirait de colmater les fissures existantes.

-Les murs de soutènement en gabions emplis de pierres sèches en vrac servent à retenir la masse de matériaux lors de construction de route. Mais l'absence de la connaissance des points d'émergence et de suintements d'eaux les avait amenés à ne pas réaliser un système de drainage pour acheminer les eaux vers les ruisseaux d'où de forts risques d'effondrement des murs de soutènement. Les sols argileux, ont une vulnérabilité très élevée à l'érosion hydrique et sont aussi très sensibles à l'érosion en griffes et en rigole, et par endroits aux glissements de terrain.

-On peut réduire la dénivellation de la pente : la dénivellation crée des effets de domination et les phénomènes morphodynamiques débordent du haut vers le bas.

-Enfin les moyens de protection varient suivant le type de mouvement :

- 1- Pour les glissements de terrain, le drainage consiste à évacuer l'eau du sol.
- 2- Pour les chutes de blocs, c'est la mise en place d'ouvrage d'art.
- 3- Pour les coulées boueuses, en plus de drainage des sols, il faut agir sur la végétation des zones exposées au ravinement et faire des corrections torrentielles.
- 4- Pour les tassements et gonflement du sol, il faut lutter contre la dessiccation des sols.

### IV.3.2.2 L'effet du boisement contre les mouvements de terrain, les ravinements et les fissures des versants

-Le service forestier de Bouira a entrepris depuis longtemps des reboisements dans les endroits défrichés. Il est très important de généraliser le reboisement dans les zones affectées par des glissements de terrain. L'absence de végétation est rendue responsable de l'aggravation des phénomènes de mouvement et d'érosion hydrique. Le rôle mécanique joué par les racines sur la stabilité du sol a été évoqué par les chercheurs : d'une part, la croissance des racines augmente la résistance du sol au cisaillement, du moins quand la densité, la taille et l'ancrage dans la roche altérée, mais structurée, se sont faits et d'autre part, la végétation influe sur le bilan hydrique du versant. En outre, le sol y est maintenu presque constamment à la même température et à la même humidité, ce qui lui épargne le jeu des dilatations et des contractions [30].

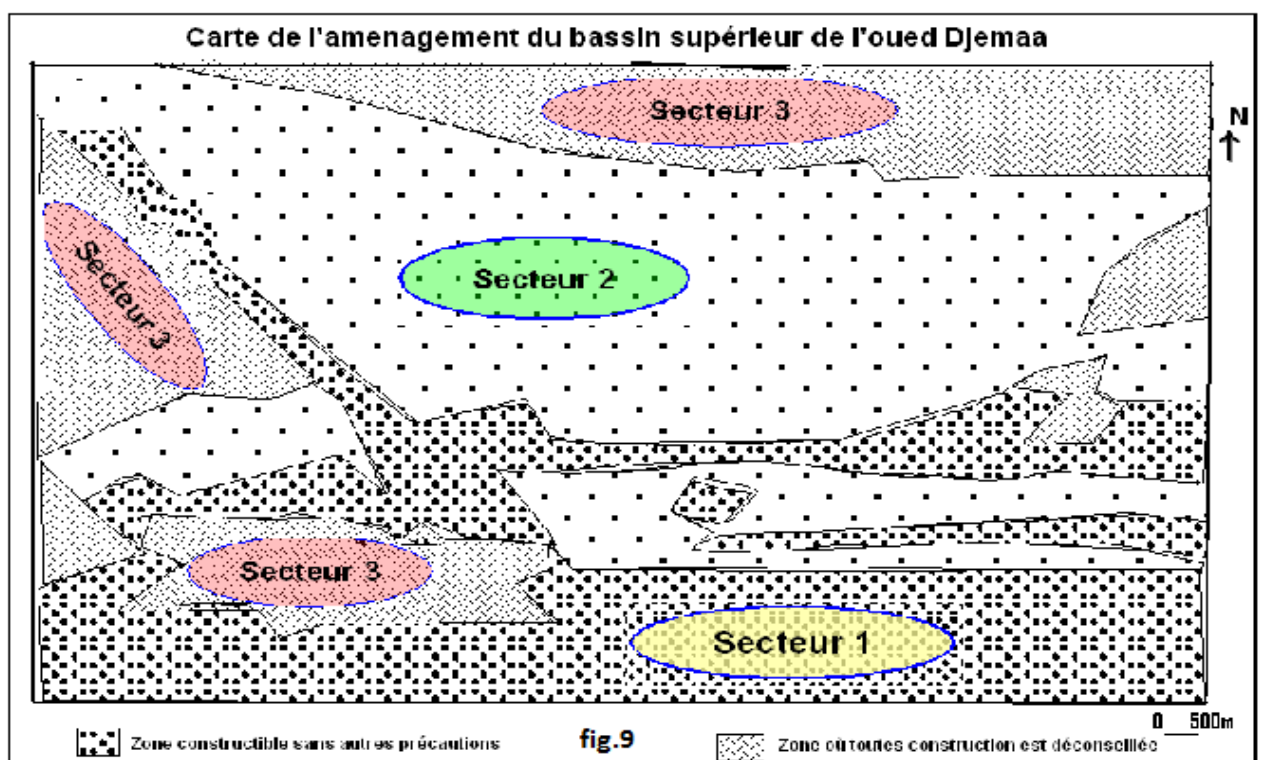
Sur le terrain, on propose par exemple à long terme des plantations d'arbustes (notamment d'eucalyptus) pour encadrer la route communale Ait Laaziz –Bezzit et la route d'Ain Melala. Cet arbre a un énorme pouvoir d'évapotranspiration donc d'assèchement et de fixation de la masse instable servant d'assise à la route.

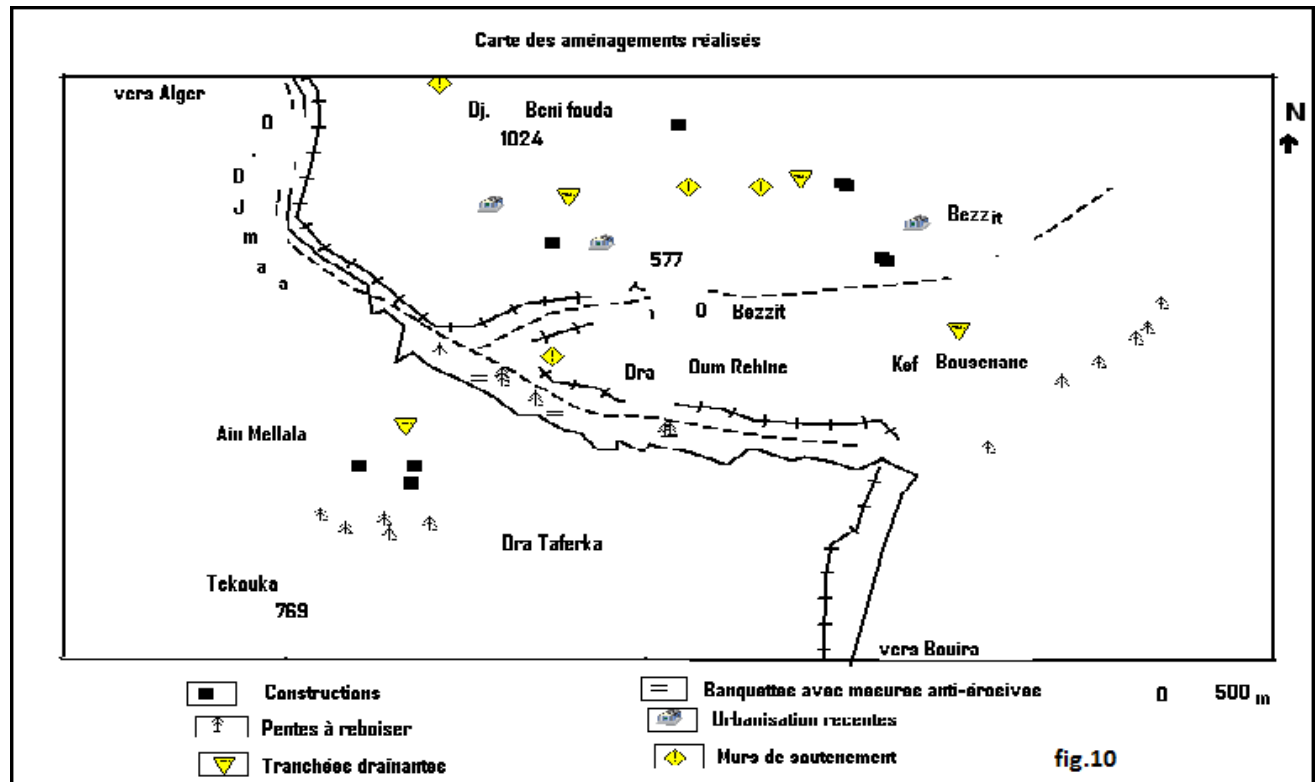
-En montagne il conviendrait de reboiser pour lutter l'érosion et les débordements torrentiels et d'interdire des défrichements sur les versants.

-Sur les hauteurs de Djebel Beni Fouada du versant sud, la plantation d'une essence forestière est le meilleur moyen pour se protéger contre les divagations d'animaux et contre les chutes de pierres. Les xérophiles épineux capable d'utiliser l'eau des couches profondes supporte mieux la sécheresse de la couche supérieure du sol.

-L'entretien régulier de la végétation en bordure des cours d'eau est une habitude encore peu répandue mais qui devra être considérée de plus en plus si nous voulons améliorer la stabilité des berges et en permettre l'accès [31].

-Le colmatage de toutes les fissures des versants éviterait les infiltrations des eaux de ruissellement au sein des fissures. Il faut modifier suffisamment le réseau d'écoulement pour abaisser les pressions interstitielles dans le volume de terrain.





## Conclusion

L'aspect méthodologique, ici évoqué, concerne l'utilisation de la cartographie comme outil d'évaluation spatiale du risque mais aussi pour exprimer la vulnérabilité. C'est en déterminant les zonages que les aménageurs intégreront dans leur démarche globale des gestions de contrôle de terrain. Cette cartographie pourrait servir de support au schéma directeur d'aménagement de la région d'étude.

Parmi les techniques utilisées pour aboutir à une connaissance de l'espace étudié, l'élaboration et la superposition des cartes thématiques de divers facteurs d'instabilité constituent un outil puissant qui conduit à un zonage hiérarchisé des degrés des risques.

L'approche cartographique des secteurs à risque a été appliquée au bassin supérieur de l'Oued Djemaa (Djurdjura). En utilisant la conception de la cartographie de ZERMOS qui s'appuie sur la superposition des cartes de facteurs. Grâce à cette méthodologie de cartographie, on dégage schématiquement la localisation probable des zones exposées à des risques de mouvements de terrain sous la forme de plages de couleurs différentes. Ces couleurs correspondent chacune à un niveau de risque.

Cette cartographie des degrés de risque du terrain est basée sur l'analyse des facteurs déterminant l'instabilité. Ces facteurs nous permettent d'évaluer le degré de risque potentiel. Le degré de risque probable a été subdivisé en quatre niveaux d'intensité croissante notée de 1 à 4 : risque faible, risque moyen, risque élevé et enfin risque très élevé.

Enfin, on rappelle que cette carte de risque n'a de valeur que durant une période donnée ; étant donné que les informations concernant l'évolution géomorphologique des versants évoluent très rapidement. En effet, il est nécessaire de prévoir une révision de la carte de risque et de suivre l'évolution de l'instabilité au cours du temps. Les systèmes d'informations géographiques (SIG) calculé par ordinateur peut produire ce type de carte pour une meilleure localisation et compréhension de risque.

### Conclusion générale

Le bassin supérieur de l'Oued Djemaa présente un relief vigoureux et une morphologie irrégulière, caractérisée par des pentes raides taillées dans un matériel argileux imperméable. Il enregistre une morphogénèse active amplifiée par l'agressivité du climat méditerranéen. Les flancs méridionaux et septentrionaux du bassin présentent des reliefs exposés aux processus d'érosion et d'évolution des versants de la région de Bouira. Ces processus prennent trois formes :

- Des mouvements en masse actuellement très actifs (allant de la solifluxion généralisée à la coulée boueuse et au glissement de terrain). Il s'agit de déplacements rapides d'importants volumes de matériaux sur les versants modelés dans des roches meubles. Ces mouvements peuvent être déclenchés par la pluie, mais les aménagements humains les favorisent.
- Le ruissellement se concentre sur les versants et peut aller jusqu'au ravinement. On parle de paysage de bad-lands comme sur le versant sud. Ce type d'érosion se développe dans des roches meubles avec un couvert végétal faible ou nul.
- L'érosion des cours d'eau dans leur lit, par endroits, provoque de nombreuses déstabilisations des berges. Il est dû aux crues exceptionnelles surtout en hiver.

Le bassin constitue un milieu relativement instable, fragile du fait des contraintes climatiques et topographiques qui lui sont propres. Les mouvements de terrain présentent une grande variété et jouent par conséquent un rôle prépondérant dans l'évolution des versants du bassin. Ces mouvements sont des processus qu'on peut qualifier d'azonaux, car on les trouve sur toutes les pentes ; leur moteur principal est la gravité. C'est dans ces versants où ces mouvements ont été répertoriés et localisés très précisément. Leur typologie et leur cartographie sont effectuées dans tout le bassin.

Nous avons distingué deux générations de mouvements de terrain : mouvements actuels actifs et mouvements anciens ou récents, susceptibles d'être réactivés une fois les matériaux saturés. Ces mouvements de masse se trouvent sur les versants nord et sud et ils sont actuellement dans une phase très active de leur évolution. De nouvelles ruptures sont à prévoir dans le futur jusqu'à ce qu'un nouvel équilibre soit atteint.

Le bassin constitue un milieu relativement instable, fragile du fait des contraintes climatiques et topographiques qui lui sont propres. Les mouvements de terrain présentent une grande variété et jouent par conséquent un rôle prépondérant dans l'évolution des versants du bassin. Ces mouvements sont des processus qu'on peut qualifier d'azonaux, car on les trouve sur toutes les pentes ; leur moteur principal est la gravité. C'est dans ces versants où ces mouvements ont été répertoriés et localisés très précisément. Leur typologie et leur cartographie sont effectuées dans tout le bassin.

## CONCLUSION GENERAL

---

Nous avons distingué deux générations de mouvements de terrain : mouvements actuels actifs et mouvements anciens ou récents, susceptibles d'être réactivés une fois les matériaux saturés. Ces mouvements de masse se trouvent sur les versants nord et sud et ils sont actuellement dans une phase très active de leur évolution. De nouvelles ruptures sont à prévoir dans le futur jusqu'à ce qu'un nouvel équilibre soit atteint.

Parallèlement, on note l'importance du phénomène de ruissellement. Celui-ci tronque les horizons superficiels des sols et atteint la roche en place. On observe toutes les formes d'érosion hydriques dont celles liées aux rigoles, aux ravinements en forme de V et aux badlands. Ces derniers représentent le dernier stade de l'évolution des ravins dans le secteur de Beni-Fouda. D'après les valeurs des densités trouvées dans le bassin supérieur de l'oued Djemaa, on peut conclure que l'érosion par ravinement a beaucoup évolué. En fait, nous avons établi par le biais du SIG une superposition des cartes de pente, de la lithologie et de l'occupation des sols avec celles des formes d'érosion. L'étude a fait le point sur l'état actuel de dégradation des terres dans le bassin et a produit une carte d'érodabilité des sols. Celle-ci montre que 40 % de la surface du bassin est fortement érodable. Nos résultats s'accordent avec ceux obtenus sur l'érosion des sols au Maroc par Maurer (1984) et Gauché (2005 et 2006) et sur la dynamique des badlands en Italie du sud.

Si les conditions physiques du milieu créent un contexte très favorable au ravinement et aux mouvements de terrain, les rythmes d'évolution diffèrent en fonction des sols et de l'utilisation du sol, les formes sont également très étroitement liées à l'utilisation du sol. Dans une bonne partie de notre secteur, la nature du sol explique la répartition et l'extension inégales des formes d'érosion et leur dynamique. Les formes apparaissent localisées sur toutes les classes de pente et concernent les terres en friches. Les superficies les plus importantes et les plus affectées par les mouvements de terrain concernant les terres en friches. Ces formes d'érosion témoignent de la forte dégradation du bassin. Au Maroc, la distribution des formes se développe sur toutes les classes de pente ; les glissements de terrain et les éboulements sont répandus sur les flysch et localement sur les marnes à pente comprise entre 10 et 50 %, tandis que les sapements de berge se situent sur les alluvions tendres à pente faible. Cette répartition des formes est semblable sur le secteur d'étude du bassin supérieur de l'oued Djemaa.

Plusieurs facteurs interviennent dans la genèse des mouvements de terrain et de ravinements dans le bassin : un relief accidenté, sensibilité des matériaux aux mouvements de terrain et de ravinement et une forte abondance des eaux imprégnations... Le croisement des différents facteurs d'instabilité nous permet de donner les poids respectifs des différents facteurs. À l'issue de cette étude, nous avons élaboré une carte des risques naturels sur laquelle sont établis les phénomènes des mouvements de terrain et ravinements. L'estimation de ces phénomènes peut être définie par deux méthodes distinctes : la méthode numérique et la méthode probabiliste. L'évaluation arithmétique ou probabiliste par superposition des cartes permet de visualiser les zones dangereuses. La carte des risques naturels qui en résulte exprime des probabilités d'apparition spatiale classées suivant des degrés de risque croissant : nul à faible, moyen, élevé et très élevé.

## **CONCLUSION GENERAL**

---

Pour représenter ce type de carte des risques, l'opération consiste à transcrire sur un fond topographique les graduations des risques induits par les mouvements de terrain et ravinements qui constituent le thème fondamental de notre étude. Cette carte des risques offre divers intérêts à l'aménagement et à l'urbanisme et constitue l'un des éléments de base du zonage proposé en conclusion de cette étude.

Il a été possible à partir de bonnes observations du terrain et d'une cartographie de risques de comprendre l'évolution des versants. La cartographie réalisée constitue un état des lieux précis et détaillé, utilisable dans de nombreux domaines.

## *Références bibliographiques :*

- [1] **Antoine, P., Fabre, D., (1980)** : Géologie appliquée au génie civil. Ed. Masson. Paris.
- [2] **Dilmi A,** Aléas géotechnique et sismique de la région de Mila, mémoire master structures département de génie civil Faculté de Technologie Université Mohamed Boudiaf- M'sila, 2014-2015.
- [3] **Martin P., (2006).** Ces risques que l'on dit naturels. Editions Eyrolles, Paris.
- [4] **Durville, J.L., Sève, G., (1996):** Stabilité des pentes, glissement en terrain meuble. Techniques de l'Ingénieur.
- [5] **CHETTAH WAHID,** Investigation des propriétés minéralogiques et géomécaniques des terrains en mouvement dans la ville de Mila « Nord-Est d'Algérie ».
- [6] **Rezig, S., (1998)** : Modélisation probabiliste de l'aléa "mouvement de terrain". Développement d'une méthode quantitative pour l'aide à l'expertise. Thèse, Ecole Centrale Paris.
- [7] **RPA 2003**
- [8] Aléas sismique et microzonage cas de l'Algérie, Rapport national de l'Atelier sur Aléas sismique et Microdosage (CGS), Alger, 7 au 12 mai 1990
- [9] **Harbi A., Maouche S. Benhallou H., (2003).** Re-appraisal of seismicity and seismotectonics in the north-eastern Algeria Part II: 20th century seismicity and seismotectonics analysis.
- [10] **Ambraseys N.N. (1988).** Engineering seismology. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 17, 1-105.
- [11] **Chesneau, (1982).** Note sur les tremblements de terre en Algérie, Ann des Mines ,9ème s, 1.1, pp : 9-13.
- [12] <https://sites.google.com/site/svtlagrangeleclerc/activite-4eme/quelques-seismes-dans-le-monde-depuis-1999/sumatra>, (consulté le 01-09-2020) 12h 42 mn).
- [13] **Rapport LCTP DE BOUIRA.....**
- [14] **La carte géologique de l'Algérie du Nord feuille N°66 Bouira, e = 1/50 000ème.**
- [15] **Slimi Ahmed, (2008).** Thèse de Doctorat Mouvements de terrain et ravinements dans le bassin supérieur de l'Oued Djemaa (versant sud du Djurdjura, Algérie) Université paris xii Val-de-Marne
- [16] **Flandrin, J., (1952).** Monographie régionale. La chaîne de Djurdjura, 1ème série, Algérie, N°19 35p
- [17] **Boudiaf. À, (1996).** Etude sismotectonique de la région d'Alger et de la kabylie (Algérie) : utilisation des modèles numériques de terrain (MNT) et de la télédétection pour la reconnaissance des structures tectonique actives : contribution à l'évolution de l'aléa sismique. Thèse, Univ, Montpellier II, 272 p.
- [18] **Cooke.R-U, Doornkamp, J-C., (1990).** Geomorphology in environmental management. Oxford University Press, 2nd édition. Coque, R1998 : Géomorphologie, Armand Colin, Paris. 502p
- [19] **Allée, P.,(1988).** Cité in : processus géodynamique et cartographie des mouvements de terrain dans la région de Chaouene (zone Bouhalla – Amtrasse). Application à la confortation de la route principale n°39. Rif occidental, Maroc.

[20] **Beven.K-J., Woode.F., Siivapolier.Me.,(1986).** Hydrological heterogeneity. Catchment  
reporte.journal oh hydrology. Vol 100, n°1-3, pp 353-375.

[21] **Joly, F, (1997).** Glossaire de géomorphologie. Base de données sémiologiques pour la cartographie.  
Édition Masson/Armand Colin, 325 p.

[22] **Deffontaines, B., (1990).** Développement d'une méthodologie mornéotectonique. Analyse des surfaces  
enveloppes du réseau hydrographique et des MNT. Thèse de doctorat, université de ParisVI, 225 p.

[23] **Thorne C.R et Lewin J., (1979).** Bank processes, bed material movement and plan form form  
development in a meandering river. In adjustments of the fluvial system, Rhodes DD, Williams GP (eds).  
Kendall(Hunt: Dubuque, Iowa, 117 – 137.

[24]**Derruau.M., (1979).** Les formes du relief terrestre. 3° édition, Masson.

[25] **Steinberg, J, (1992).** La cartographie synthétique des risques naturels et technologiques en milieu  
urbain. Bulletin de l'association des géographes Français, 69°, 5.

[26] **Veyret, Y, (2004).** Géo environnement. Édition Armand Colin, 186 P.

[27] **Carrega, P, (2003).** Les risques naturels liés à la pluie et à la sécheresse : Évolution de cartes des pluies  
extrêmes et des risques d'incendies de forêt dans une région méditerranéenne : la Toscane (Italie). In  
« Riscuri si catastrophe» vol II, Edition Sorocovschi, université de Cly-Napoca (Romanie), pp271-286.

[28] **Porcher, M, Guillope, P., (1979).** Cartographie des risques Zermos appliquée à des plans d'occupation  
des sols en Normandie. Bulletin de liaison des laboratoires des Ponts et chaussées, n° 99, pp 43-54.

[29] **D.A.F.U : (1971).**''Recommandation pour la cartographie géotechnique appliquée aux problèmes  
d'aménagement et urbanisme ''. Min. de l'Eq.et du Log., Dir.am. fonc.Urb., avril 1971, 16p.

[30] **Flageollet, J.C., (1989).** Les mouvements de terrain et leur prévention. Masson, 224 p.

[31] **Delayage. V, (2002).** La végétation en bordure des cours d'eau-Rôle et méthodes de gestion. Conseil de  
gestion du bassin versant de la yamaska (COGEBY), saint –Hyacinth, 28p.