

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

DOMAINE : SCIENCES ET
TECHNOLOGIES

FILIERE : GENIE CIVIL

SPECIALITE : GEOTECHNIQUE



FACULTE : TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT : GENIE CIVIL

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE EN VUE DE L'OBTENTION DU
DIPLOME DE MASTER

Présenté par :

OULD NAHI mohamed lemin

THEME

ETABLISSEMENT D'UNE CARTE DE RISQUE

GEOTECHNIQUE DE LA REGION DE

CONSTANTINE

Encadreur **GUERRAICHE Ammar**

ANNEE UNIVERSITAIRE : 2016 / 2017

Remerciement

Je tiens d'abord a remercie Allah le tout puissant de tous ce qu'il ma offert de santé et de patience jusqu'à achever mon mémoire de fin d'étude.

Je remercie encore les membres du jury d'avoir accepté l'examinassions de mon travail.

*Mon remerciement particulier a mon encadreur de tous son temps qui m'a offert et toutes les conseilles qui ma donnés pour réaliser ce mémoire **Mr : GUERRAICHE AMMAR***

Je remercie toutes les membres de la famille de l'université de M'sila en particulier le département de génie civil.

En fin je remercie tout ce qui mon aidé de loin ou de prêt pour faire ce travail.

DÉDICACE

*Je dédie ce modeste travail tout d'abord à la femme qui a sacrifié toute sa vie à m'éduqué, me conseillé et m'encourage pour que je puisse arriver à ce stade la ma mère **Khadjetou mint mohamed khouna** .*

*En suite je dédie aussi ce travail à l'homme qui m'a offert tout ce que j'en ai besoin d'eux pour réussir et pour vivre une vie confortable, mon père **Nahi oul abderahmane**.*

Ce travail est dédie aussi à toutes membres de ma famille que sa soit frères ou sœurs, cousins ou cousines, tentes ou oncles.

En fin je dédie ce travail à toute mes amies que sa soit intimes ou collègues et toute personne qui m'a aidée de loin ou de prêt pour achever ce travail

Résumé :

L'étude présentée dans ce travail vise à établir pour la région de Constantine une carte d'exposition aux risques naturels permettant leur meilleure gestion.

Pour connaître les facteurs locaux influant sur ces risques, on a effectuée une étude de l'historique, de la géomorphologie, de l'hydrogéologie, et de l'hydroclimatologie de la région et qui nous a permis d'établir la carte de glissement enregistrés selon la vitesse des déplacements, la carte de pentes et de dégradations par ruissellement.

Les résultats de l'étude sont récapitulés dans une carte d'exposition aux risques dans laquelle la région de Constantine est divisée en 4 zones selon le degré d'exposition aux risques.

Mots clés : glissement, aléa, pente, caractéristique géotechniques, facteur de dégradation, vulnérabilité, cartographie.

Abstract :

The study presented in this work aims to establishing, for the constantine region, an exposure to natural hazards map, allowing them better management .

To know the local factors influencing these risks, we conducted a study of the history, geomorphology, hydrogeology, and hydroclimatology of the region, and the allowed us to establish the landslide map recorded, depending on the speed of its displacements, the map of slopes and the of runoff degradation .

The results of the study are summarized in a risk exposure map in which the constantine region is divided into 4 zones according to the degree of risk exposure

Keywords : slip risk, slope, geotechnical characteristics, degradation factor, Vulnerability mapping.

SOMMAIRE

CHAPITRE I : Généralités sur les risques naturels

I.1. Définitions	1
I.2. Les phénomènes naturels dangereux	2
I.2.1. Les cycles naturels	2
I.2.2. Les phénomènes naturels dangereux	4
I.3. Les mouvements de terrain.....	6
I.3.1. Les mouvements de pente.....	6
I.3.1.1. Les écroulements	8
I.3.1.2. Mouvements lents et continus	8
I.3.1.3. Les glissements.....	10
I.3.1.4. Les coulées	12
I.3.2. Les mouvements verticaux	13
I.3.2.1. Les affaissements.....	13
I.3.2.2. Les effondrements	13
I.4. Les séismes et le risque sismique.....	15
I.4.1. Définitions	15
I.4.2. Classification des séismes.....	16
I.4.3. Enregistrement des séismes	18

CHAPITRE II : Cadre géographique et géologique

II.1 Cadre Géographique	19
II.1.1 Situation géographique.....	19
II.1.2 Relief de la région d'étude.....	19
II.1.3 Climat et végétation	19
II.1.4 Hydrologie.....	20
II.2 Géologie Régionale	21
II.2.1. Domaine interne.....	21
II.2.2. Domaine des flysches.....	22
II.2.3. Domaine externe	23
I.3 Les Différentes Phases Tectoniques.....	27

II.3.1 Les événements tectoniques durant le Mésozoïque	27
II.3.2 Les événements tectoniques durant le Tertiaire.....	29
II.3.3 La Tectonique récente	31
II.4 Litho-Stratigraphie de la région de Constantine	31
II.4.1 Trias	32
II.4.2 La nappe néritique constantinoise.....	32
II.4.3 Les nappes telliennes.....	34
II.4.4 La nappe numidienne ou flysch numidien.....	35
II.4.5 Les séries post-nappes	35

CHAPITRE III : Cadre géomorphologique

III.1- Particularités Orographiques :.....	38
III.2 -Le milieu physique	41
III.2.1.- Géomorphologie.....	41
III.2.2.- Le Climat	41
III.2.3. Le réseau hydrographique	44
III.3- Etablissement des cartes de facteurs :.....	44
Etude des photographies aériennes:.....	44

CHAPITRE IV: Cartographie des zones instables

IV.1/ Introduction.....	46
IV.2/ Problématique de l'étude	46
IV.3/ Représentation cartographique des risques naturels.....	47
IV.3.1/ Inventaire des indicateurs et des facteurs d'instabilité :	47
IV.3.2/ Etablissement du plan d'exposition aux risques naturels	48
de la commune de Constantine :.....	48
A/ Première étape :	49
A.1 Résumé du premier Axe :	55
A.2/ Deuxième Axe	55
B/ Deuxième étape : Superposition des cartes synthétiques N° II et IV	61
IV.4/ Conclusion.....	63

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I : Généralités sur les risques naturels

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

CHAPITRE II : Cadre géographique et géologique

Figure. II.1 : Localisation de la région d'étude	19
Figure. II.2 : Les principaux cours d'eaux du secteur d'étude	20
Figure. II.3 : Les grands domaines d'origine alpine en méditerranée	

Occidentale	21
Figure. II.4 : Les grands ensembles de l'édifice structural alpin de l'Algérie.....	24

CHAPITRE III : Cadre géomorphologique

Fig III.1 : Carte hypsométrique du secteur étudié.....	37
Fig.III.2 : Carte Toponymique du secteur étudié.....	38
Figure III.3 - Carte géomorphologique de Constantine (1/10000)	40
Figure III.4 : Climagramme d'Emberger de la région de Constantine.....	41
Figure III.6 Carte de réseau hydrographique de la ville Constantine.....	43
Figure III.7 Carte lithologique de la ville de Constantine	44
Figure III.8 Carte de pente de la ville de Constantine.....	45

CHAPITRE IV: Cartographie des zones instables

Figure VI.1 : Organigramme d'établissement du plan d'exposition aux risques naturels.....	50
Figure VI.2: degré d'activité de mouvement de masse dans la ville de Constantine	51
Figure VI.3 : Les matrices A et B représentent la relation pente-mouvements de masses	52
Figure VI.4: Carte de synthèse N° 1 : Mouvement de masses selon la pente	53
Figure.VI.5 : carte synthétique N° II : mouvements de masse selon la pente.	54
Figure IV.6. carte de facteur de dégradation par ruissellement	57
Figure.VI.7 : ville de Constantine : carte synthétique N° III du ruissellement selon la pente.	58
Fig.VI.8: carte synthétique N°IV: ruissellement et pente	59
Fig.VI.9 : les matrices C et D représentent la relation entr Les mouvements de mass ruissellement	60
Figure VI.10: superposition de la carte synthétique II et synthétique IV	61
Figure VI.11: Carte N° VI Plan d'exposition aux risques naturels.....	62

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1 : Echelle M.S.K.....	17
Tableau I.2 : Echelle de Richter	19
Tableau.VI.1 : Valeurs du coefficient de dégradation par ruissellement.....	61

INTRODUCTION GÉNÉRALES

La région de Constantine est sérieusement menacée par des risques naturels qui sont en mesure de mettre en danger la sécurité de ses biens et de la vie de ses habitants.

Le risque naturel majeur le plus important dans cette région est le risque des mouvements de terrain (glissement de terrain) aggravé par la dégradation du sol par le réseaux de ruissellement important et la morphologie de la région caractérisée par l'abondance des pentes allant de faible à très raide en plus de ça Constantine se trouve sur un axe de sismicité active et relativement forte.

But :

L'objectif visé dans ce mémoire est l'établissement d'une carte de risque tenant compte de ces différents facteurs. Ce travail s'avère d'une grande importance, car il permet d'établir la manière d'agir sur ses risques en intervenant soit sur l'aléa lui-même par des mesures qui visent à le réduire au maximum (modification de la pente, drainage, soutènement ...) ou sur les enjeux par les mesures de préventions qui permettent de réduire la vulnérabilité au sien de ces enjeux, par l'information des populations, l'adaptation de mesures d'urbanisme ou des mesures constatives, l'étude et la surveillance de mouvements actifs.

Structure du mémoire:

Le mémoire est composé de quatre chapitres avec une introduction et de conclusion générale

Dans l'introduction générale on a présenté la problématique étudiée.

Le premier chapitre est consacré à des généralités sur les risques naturels, les risques sismiques et mouvements des terrains qui sont l'objet de cette étude;

Le deuxième chapitre s'intéresse au contexte géographique géologique et hydrologique et celle des réseaux de ruissellement de la région d'étude (wilaya de Constantine).

Le troisième chapitre porte sur la morphologie du terrain et l'établissement de la carte des pentes de la wilaya de Constantine.

Le quatrième chapitre est consacré à caractériser le but de l'étude, c'est à dire l'établissement de la carte de risque de la commune de Constantine. Dans le premier temps on a établi une première carte synthétique, en combinant la nature du mouvement de masse (ou glissement) et la morphologie du terrain (degré de pente) puis on a établi une deuxième carte synthétique en combinant le degré de dégradation du sol par ruissellement et la qualité de la pente, et c'est la base de ces deux cartes que la carte de risque est établie.

En fin des conclusions générales sont récapitulées.

I.1. Définitions (BRGM, 2006 ; figure I.1)

Le risque est la possibilité de survenance d'un événement 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.

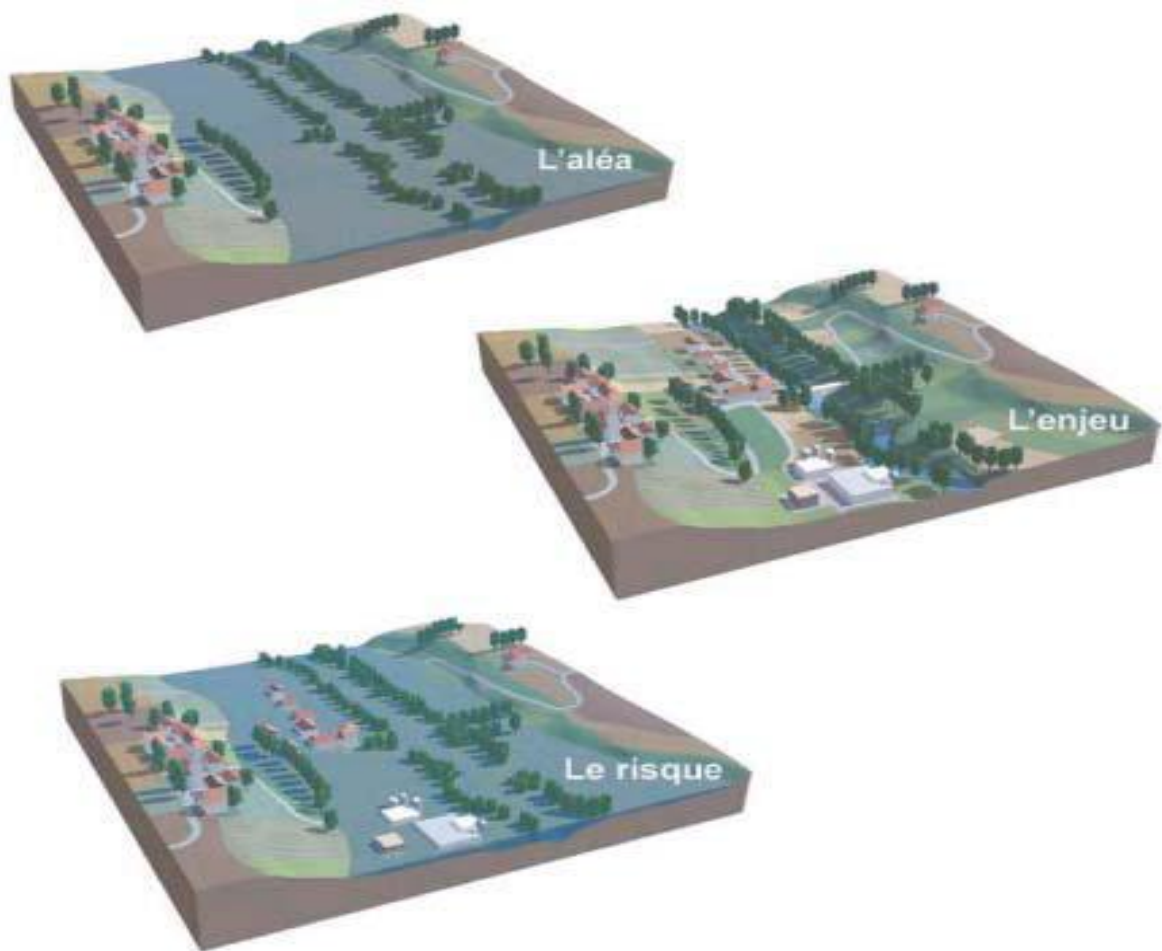


Figure I.1. Schémas explicatifs des notions d'aléa, enjeu et risque (BRGM, 2006)

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 (Martin, 2006)

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.

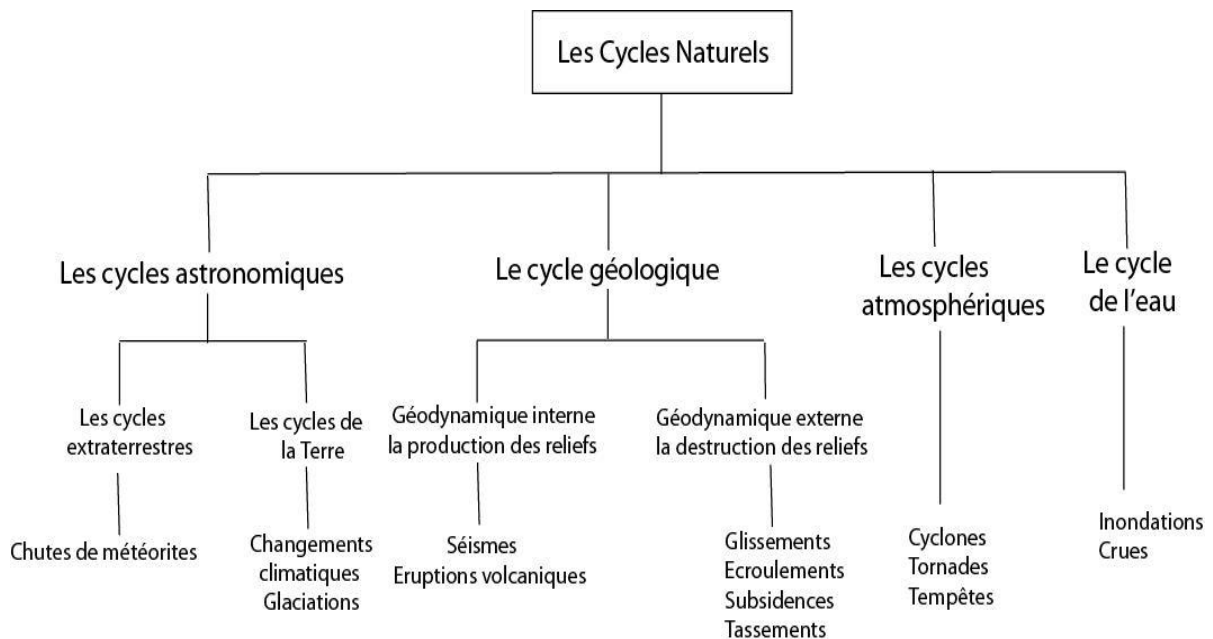


Figure I.2. Classification des cycles naturels (schéma réalisé d'après la classification de Martin, 2006)

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.

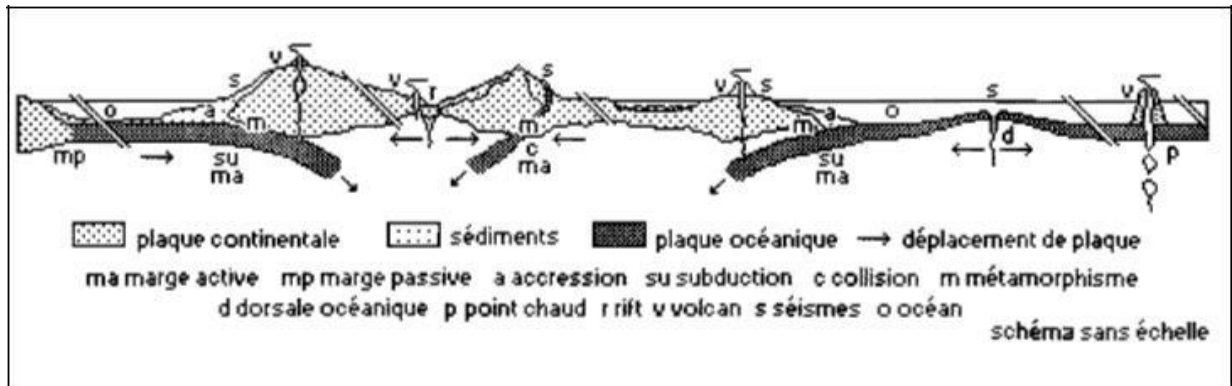


Figure I.3. Schéma récapitulatif des manifestations en surface de la Géodynamique interne (Martin, 2006).

- 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.

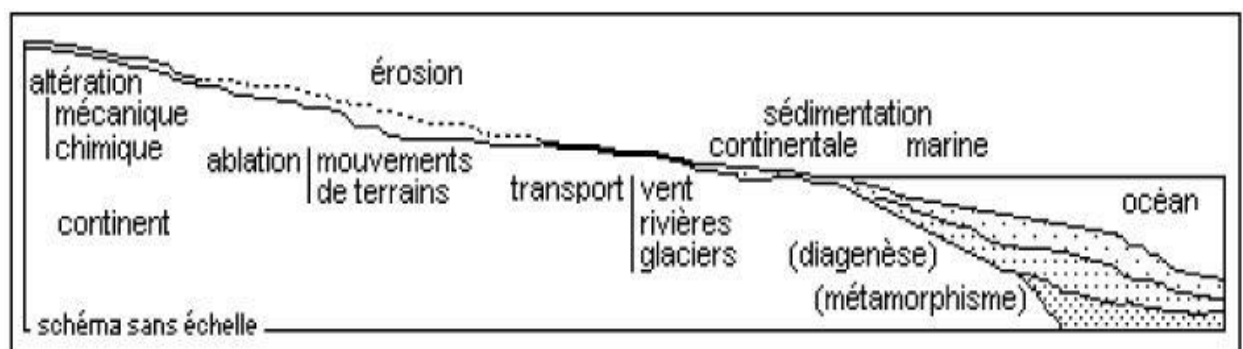


Figure I.4. Schéma récapitulatif des manifestations de la Géodynamique externe (Martin, 2006).

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 reliefs. 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).

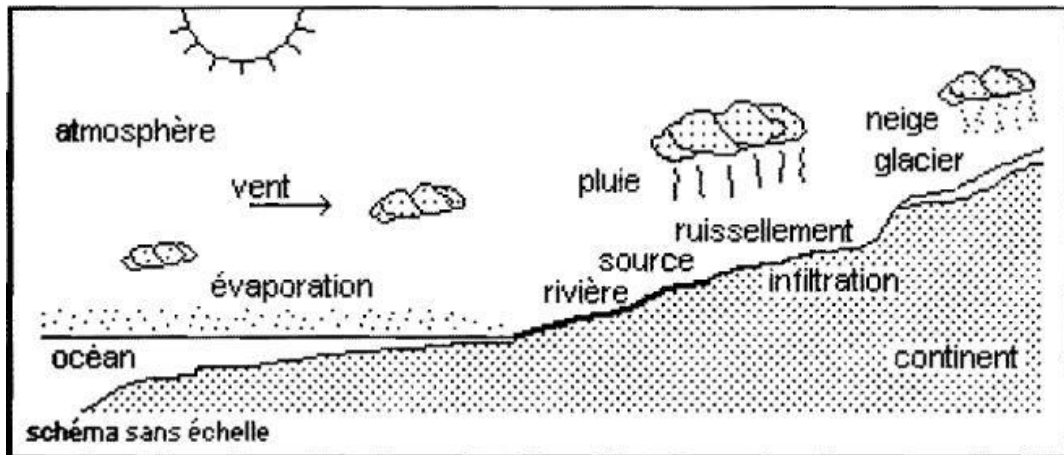


Figure I.5. Le cycle de l'eau (Martin, 2006).

I.2.2. Les phénomènes naturels dangereux

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 Pinatubo 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 saisonniers. Exemple : l'ouragan Katrina qui dévasta le Sud-Est des Etats-Unis en 2005 a fait 1 836 morts.

Les Phénomènes liés aux conditions atmosphériques

- **Inondations, crues, tempêtes littorales** : ces phénomènes 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 divers 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...

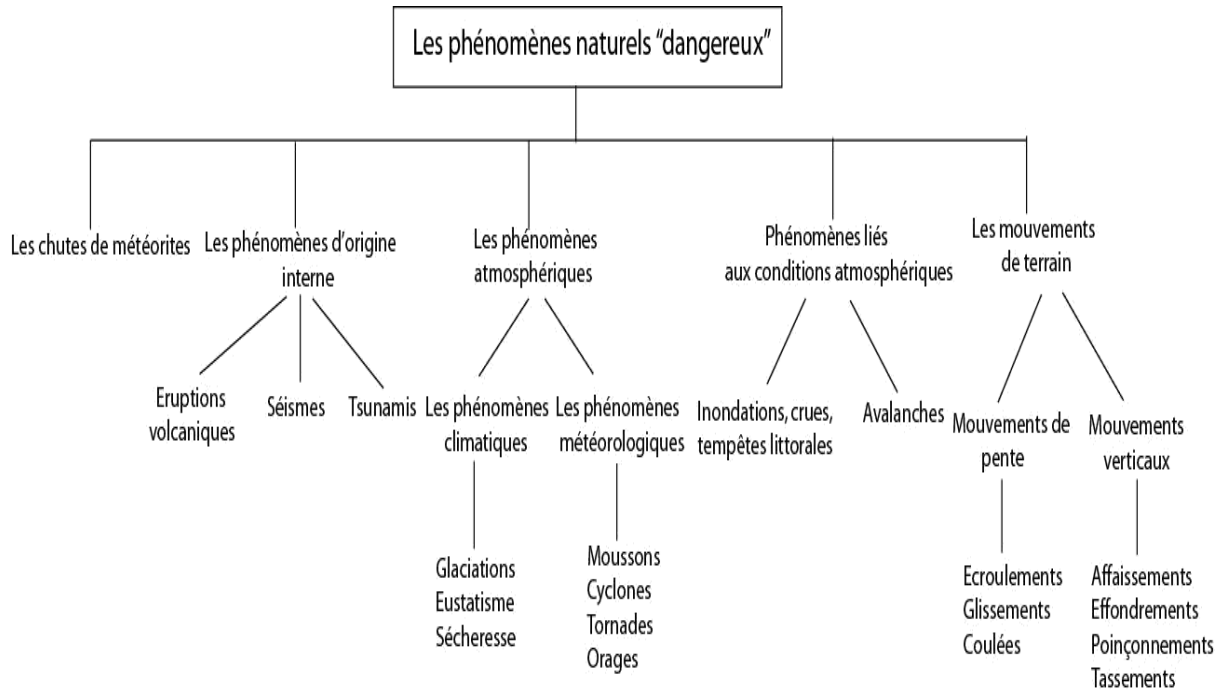


Figure I.6. Classification des phénomènes naturels « dangereux » (schéma réalisé d'après la classification de Martin, 2006)

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

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.

Mouvements de pente les plus fréquents sont classés en :

Ecrolement 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 ...

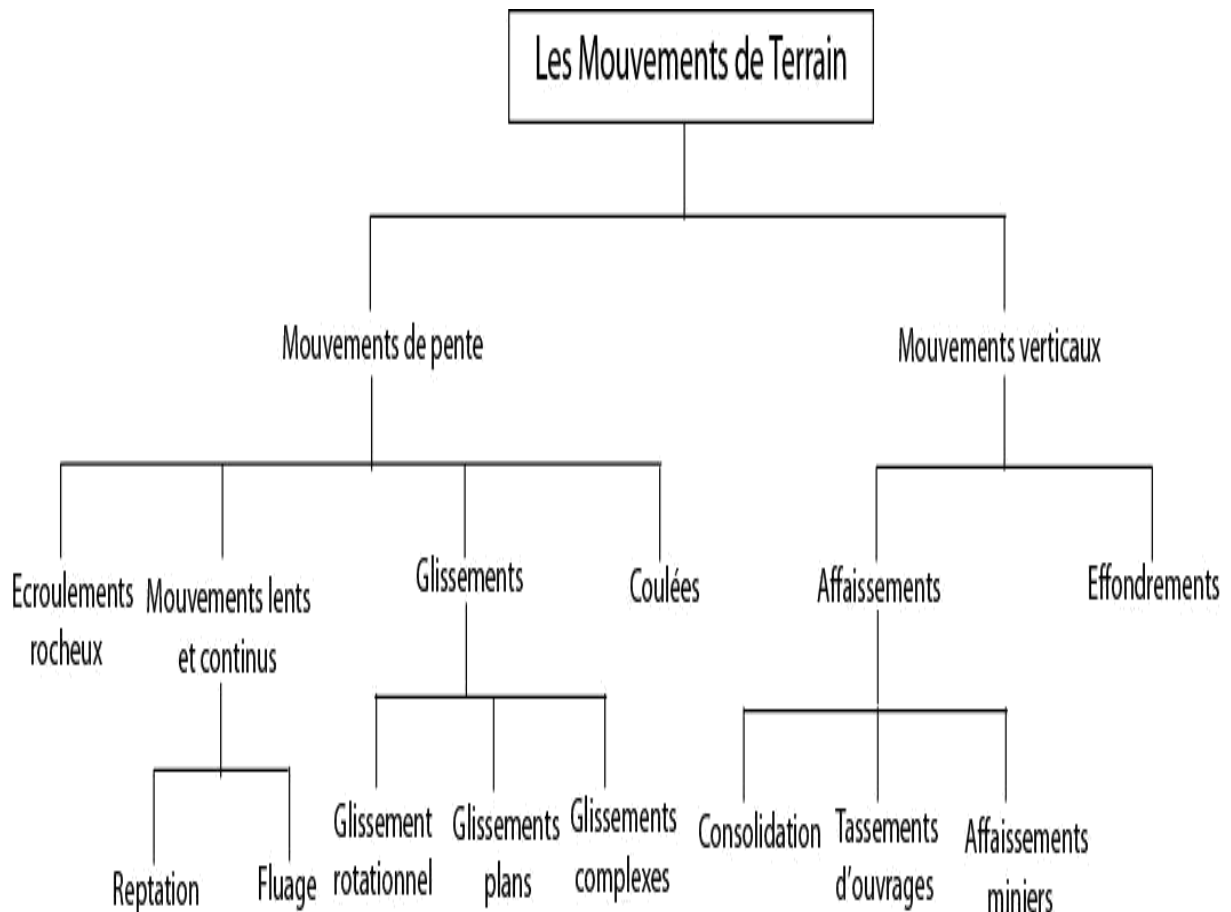


Figure I.7. Classification des mouvements de terrain (schéma réalisé d'après la classification de Martin, 2006)

I.3.1.1. Les écroulements

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

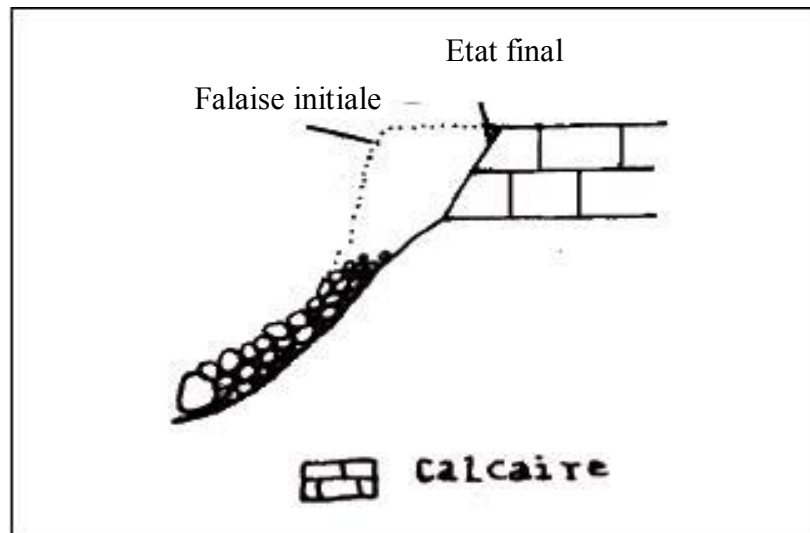


Figure I.8. Ecoulement

I.3.1.2. Mouvements lents et continus

Les mouvements lents et continus affectent soit la couverture meuble de talus, soit l'altérité 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 I.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.

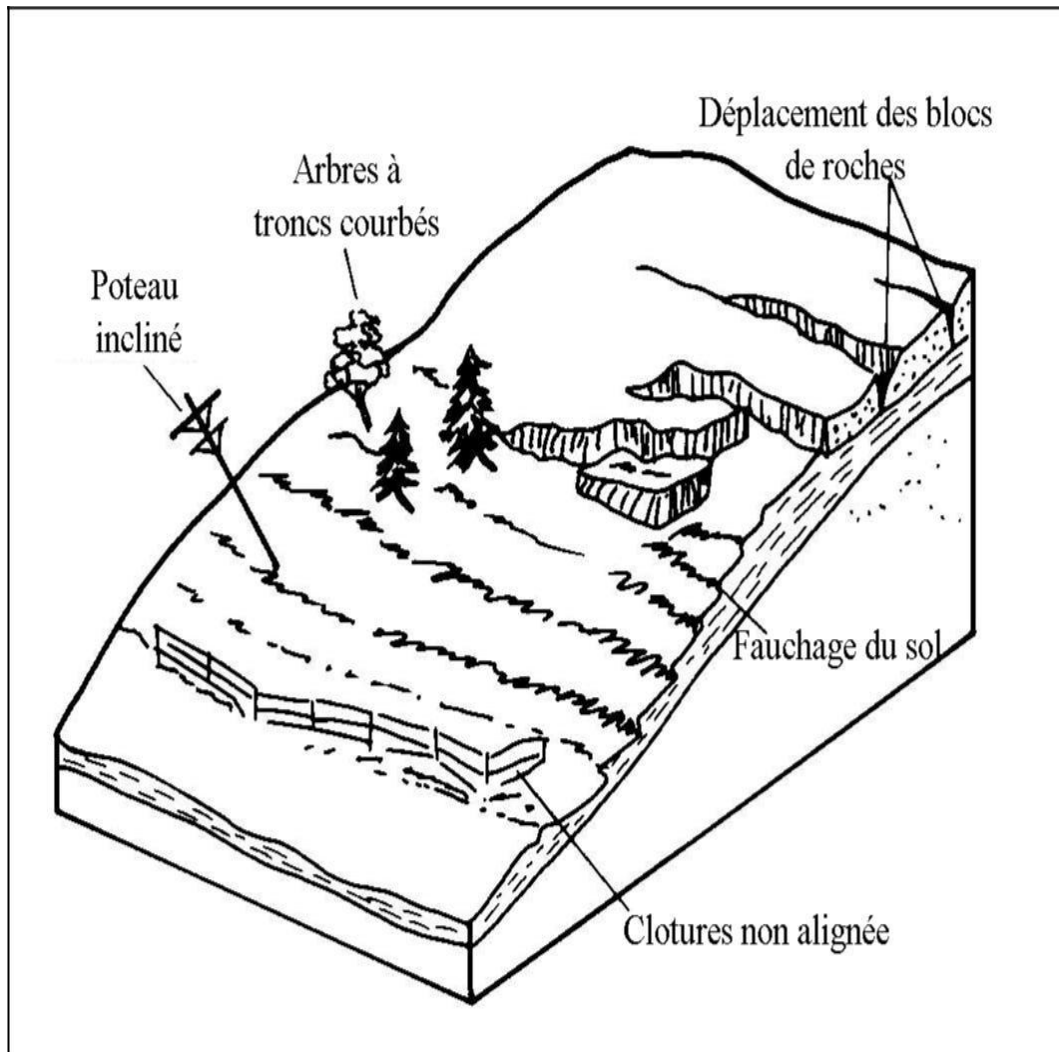


Figure I.9. Exemple de reptation

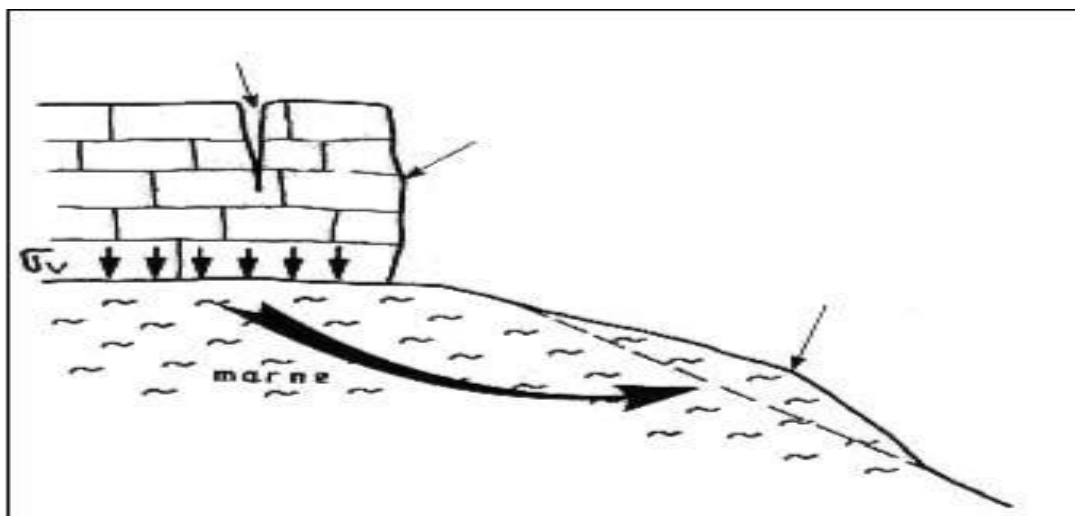


Figure I.10. Exemple de fluage

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.

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

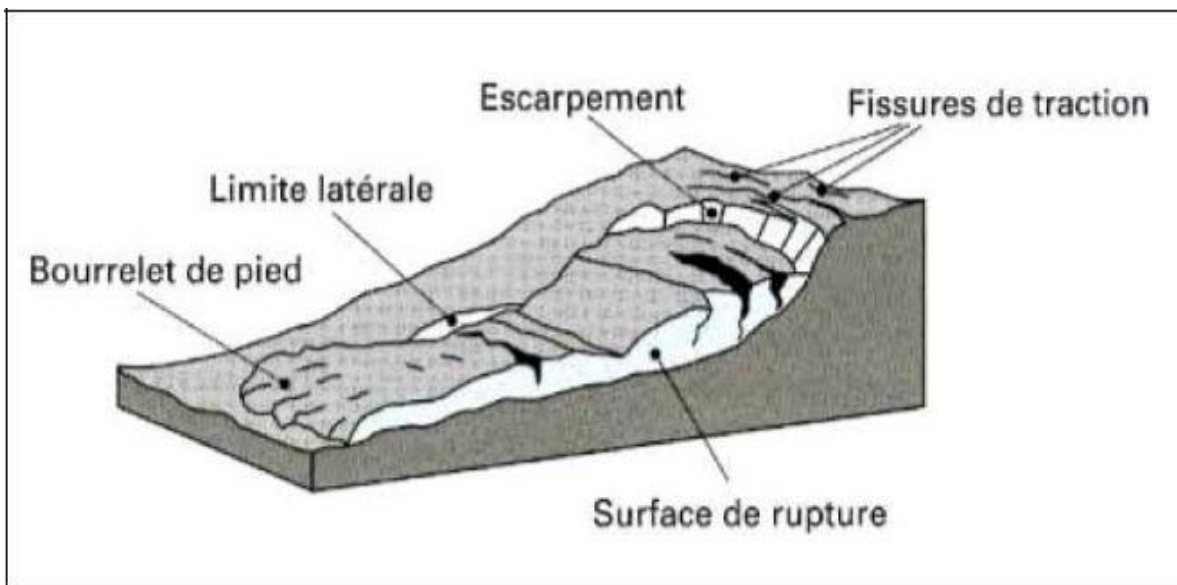


Figure I.11. Principaux éléments de description d'un glissement de terrain (Durville et Sève, 1996)

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

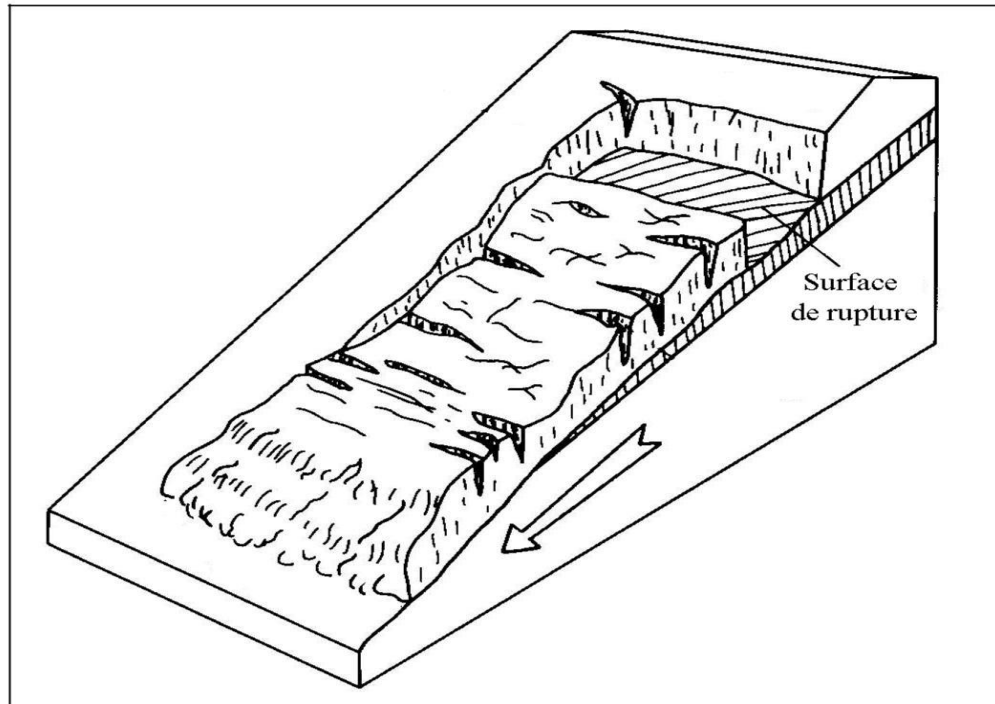
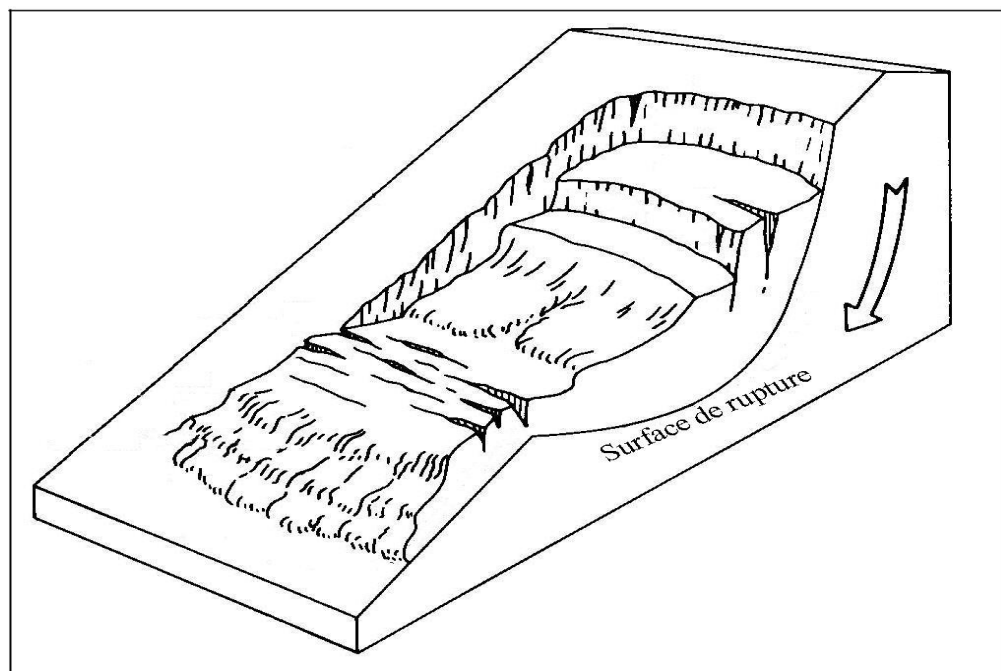
- Glissement plan ;
- Glissement rotationnel simple ;

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****Figure I.13. Glissement rotationnel**

I.3.1.4. Les coulées

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).

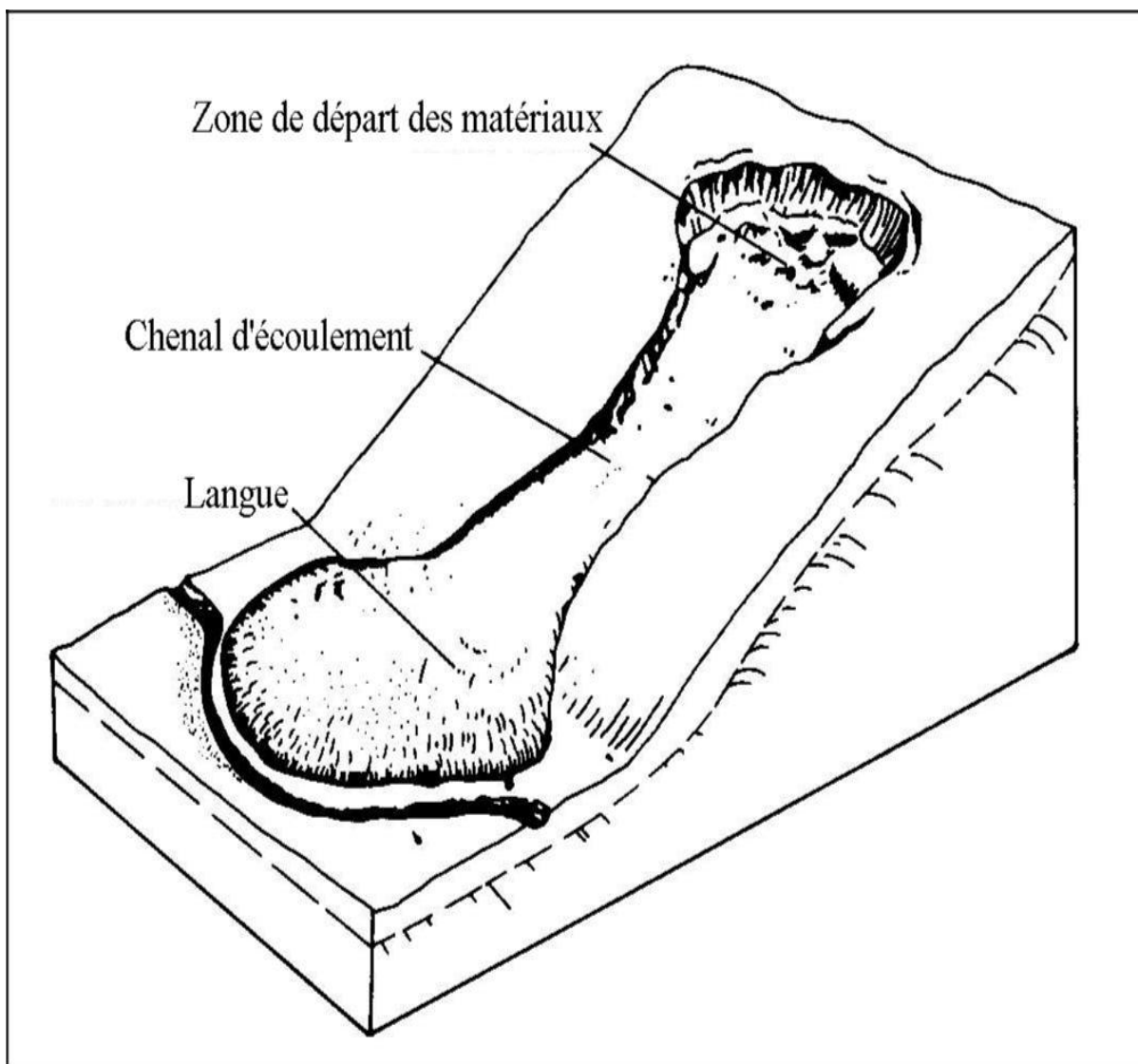


Figure I.14. Coulée de boue

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 combrent 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 subverti aux 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.

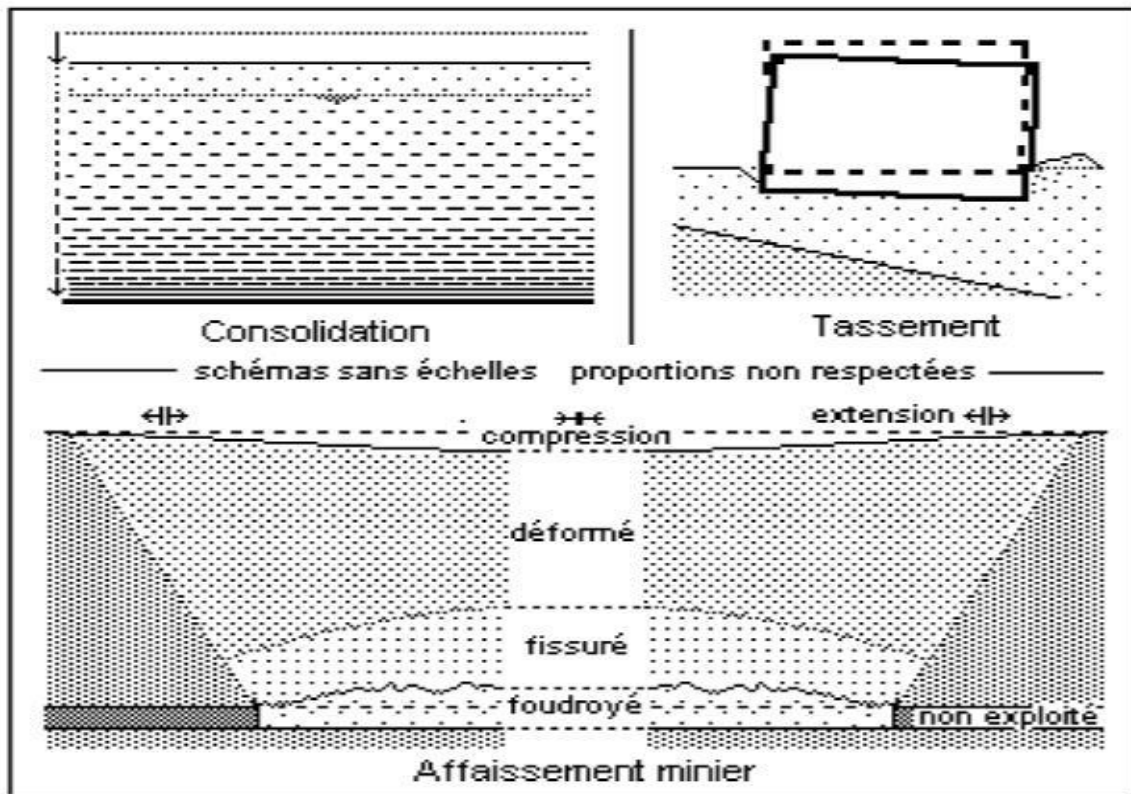


Figure I.15. Les affaissements

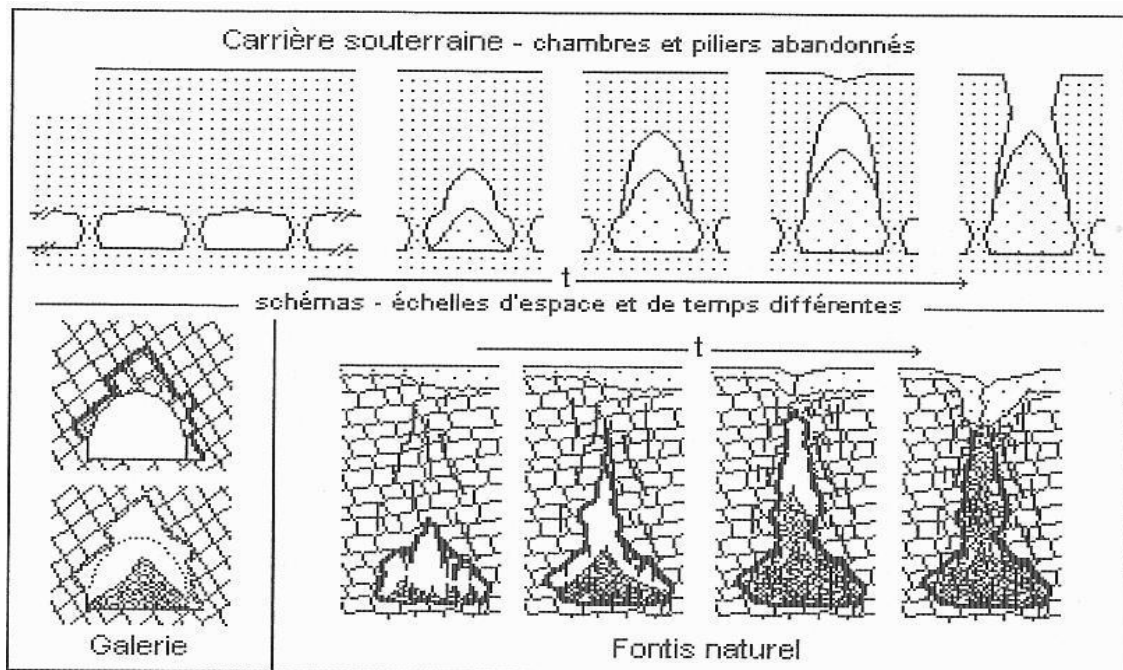


Figure I.16. Les effondrements

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.

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 1).

On appelle **épicentre**, le point de la surface situé à la verticale du foyer (figure 1). 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'égale force (intensité) d'un tremblement de terre s'appellent **isoséistes**

L'instrument utilisé pour enregistrer les séismes s'appelle : **le sismographe**.

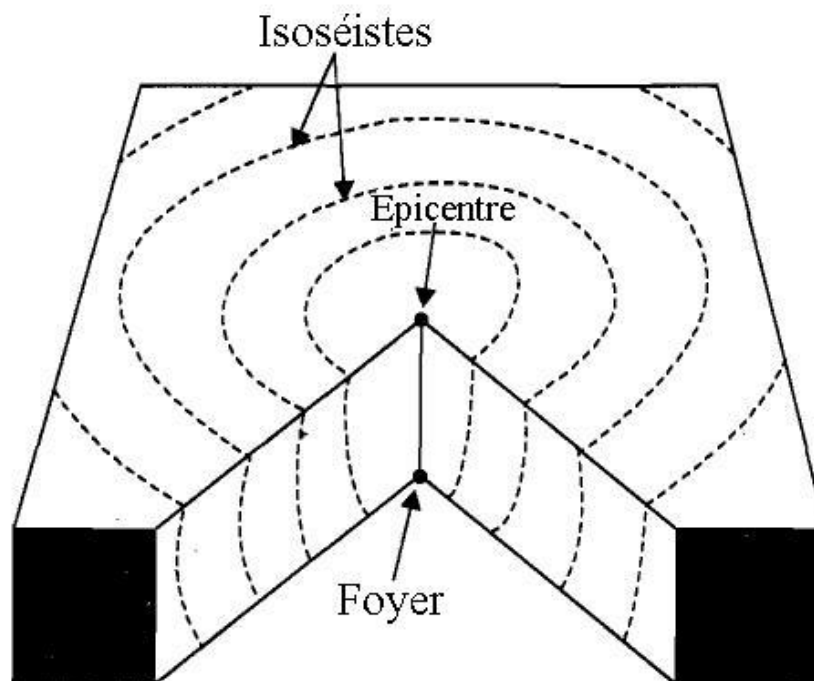


Figure I.17. Foyer, épicentre et lignes isoséistes

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.

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 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 2).

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	Dommmages 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	Dommmages 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.1 : Echelle M.S.K.

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	

Tableau I.2 : Echelle de Richter

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 10⁻⁸ centimètre.

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

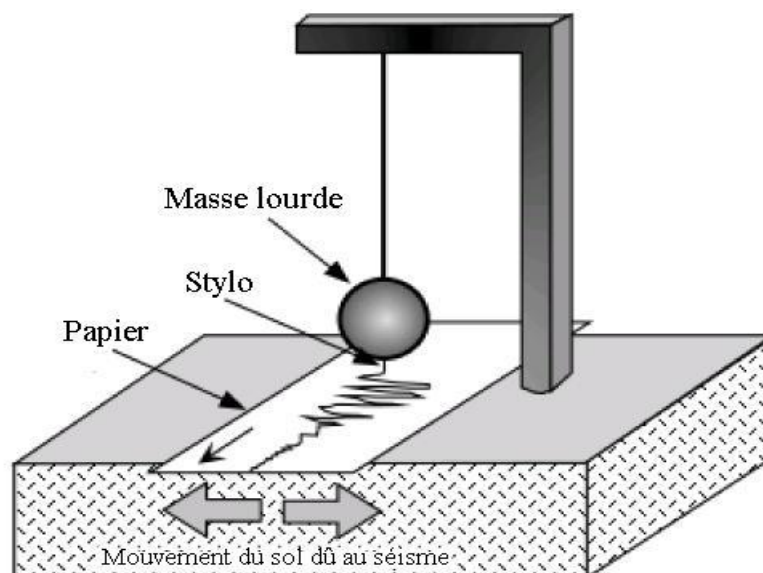


Figure I.18. Schéma simplifié d'un sismographe

II.1 Cadre Géographique

II.1.1 Situation géographique : la région d'étude est située au Nord-est Algérien, elle appartient au Tell. Elle est limitée par les coordonnées géographiques suivantes : latitude : $36^{\circ}00'$ à $36^{\circ}35'N$, longitude : $6^{\circ}00'$ à $7^{\circ}00'E$. Elle s'étend sur une superficie relativement importante (Figure. II.1).

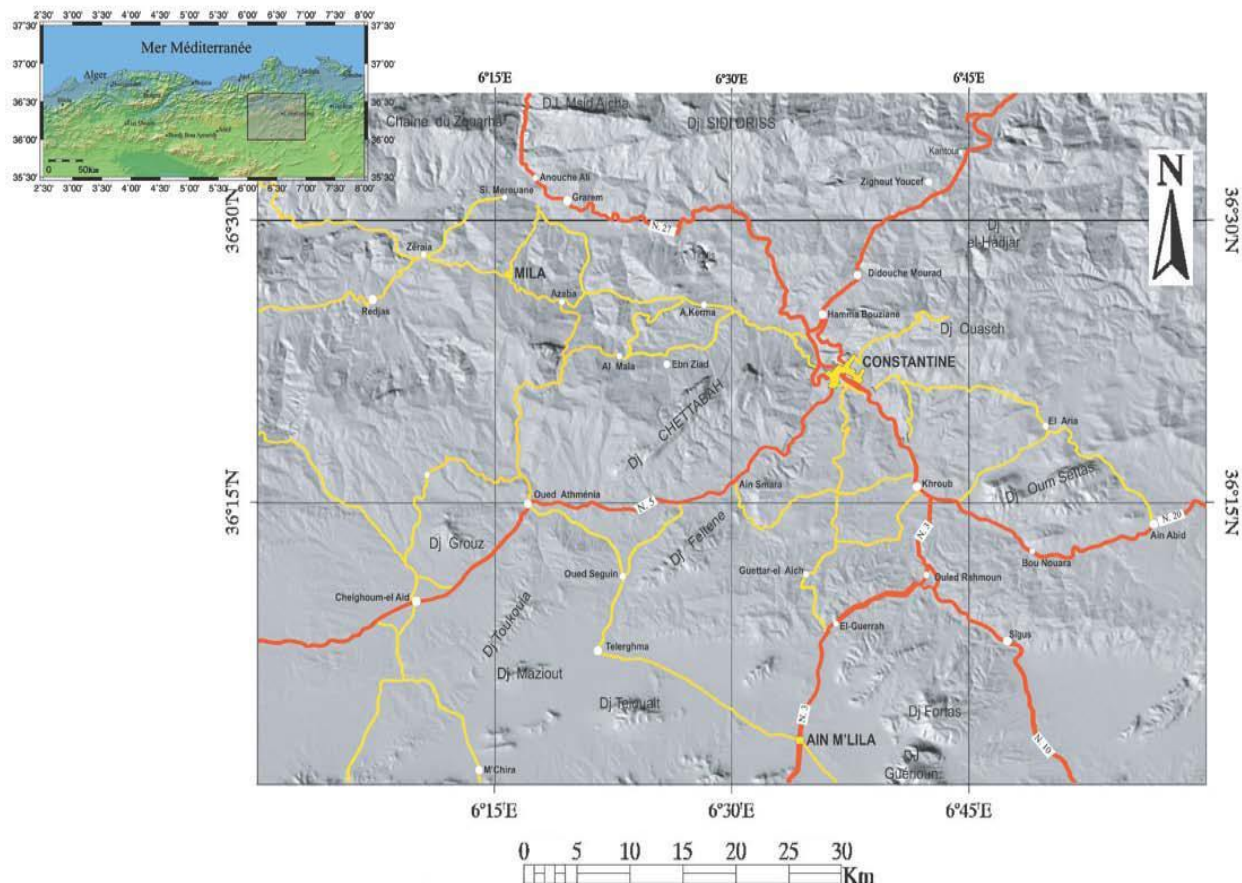


Figure. II.1 : Localisation de la région d'étude

II.1.2 Relief de la région d'étude : Le relief de la région de Constantine est assez compliqué, c'est la conséquence de plusieurs phases tectoniques. La présence de plusieurs nappes de charriage (nappe numidiennes, flysch Massylien, nappe telliennes, nappe néritique) a un rôle assez important dans le façonnement de ce dernier.

II.1.3 Climat et végétation : La région est soumise à un climat semi-aride, caractéristique de l'ensemble néritique, avec deux saisons bien définies. La première froide et humide débutant au mois de Décembre et allant jusqu'au mois de Mai. La deuxième saison chaude et sèche, commence dès la fin du mois de Mai jusqu'à la fin Novembre, La pluviométrie moyenne annuelle est de 500 mm

II.1.4 Hydrologie :

La région de Constantine est caractérisée par un réseau hydrographique relativement dense, dont la ville de Constantine elle-même est le point de confluence de deux principaux cours d'eau. Oued Bou Merzoug (de direction N-S en amont puis devient NW-SE en aval) et Oued Rhumel (direction varie le long de son parcours) et qui traverse les gorges de Constantine.

Le ravinement intense de la région forme les affluents des deux Oueds, parmi ces affluents, on trouve Oueds Athmènia, Seguin, Ziad et Smendou qui convergent tous vers Oued Rhumel, et Oueds El Klab, Melah, Berda et Oued Hamimine qui affluent Oued Bou Merzoug.

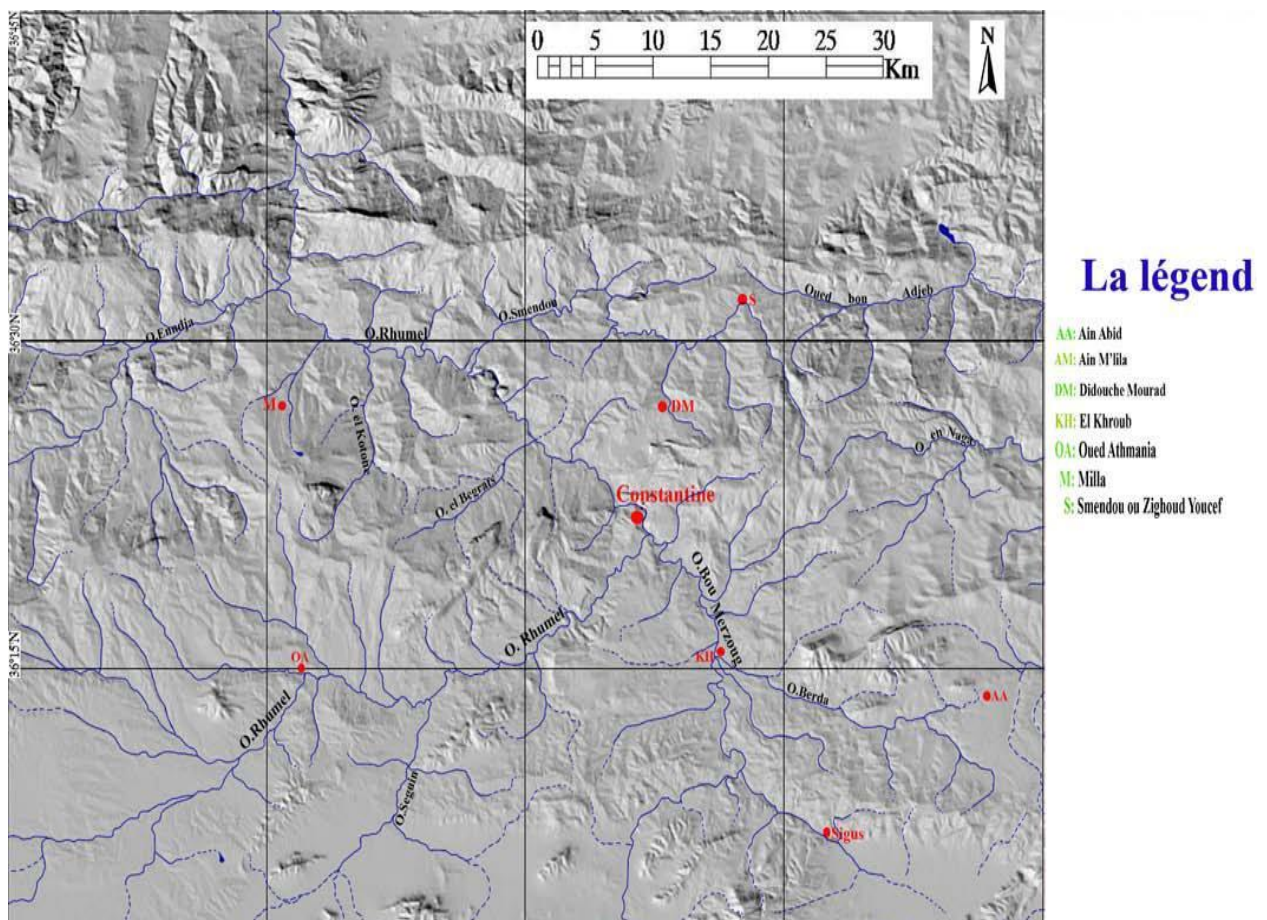


Figure. II.2 : Les principaux cours d'eaux du secteur d'étude

Ce qu'il faut noter c'est la faiblesse de leurs débits, voir l'assèchement en période des grandes chaleurs. Par contre en période pluvieuse ; la violence des pluies fait souvent que le débit des Oueds atteint des pointes record, pour retomber quelques jours plus tard à un niveau assez bas.

II.2 Géologie Régionale

Le secteur d'étude (contient le Mole Constantinois) fait partie de la chaîne Alpine de l'Algérie nord orientale. Cette dernière constitue un tronçon des chaînes plissées d'Afrique du nord, les Maghrébides, qui vont du Rif (Maroc) à la Sicile (Italie) en passant par l'Algérie et la Tunisie (Figure. II.3).

La chaîne des Maghrébines résulte probablement de la convergence et de la collision d'un élément de la marge sud européenne avec la marge nord-africaine d'un bassin Téthysien Maghrébin qui faisait communiquer la Téthys ligurienne avec l'Atlantique central (Wildi W., 1983).

Le bassin Maghrébin s'est différencié en plusieurs domaines paléogéographiques qui sont actuellement en partie superposés (Raoult J.F., 1974).

Du Nord au Sud on peut différencier trois grands domaines distincts :

1. **Domaine interne**
2. **Domaine des flyschs**
3. **Domaine externe**

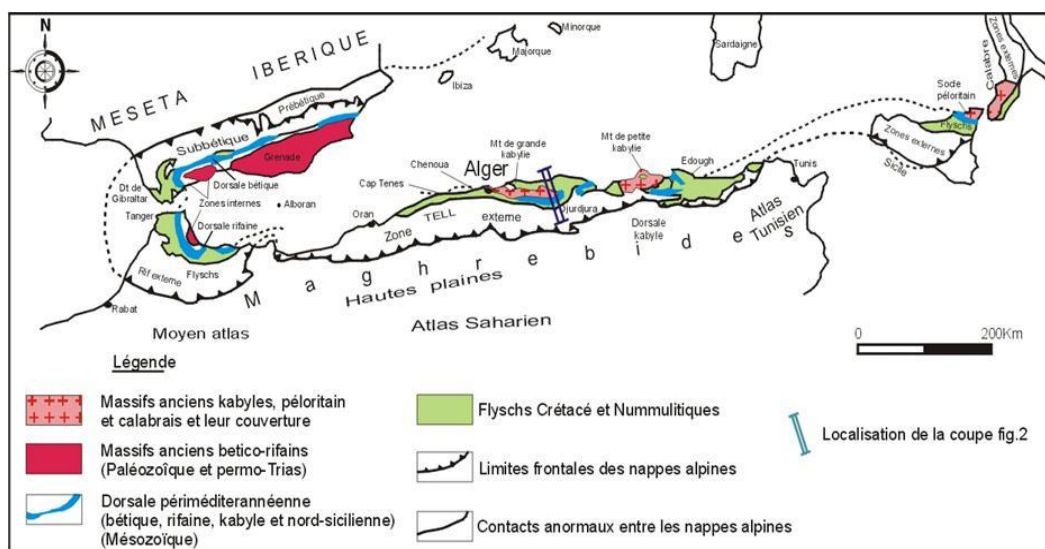


Figure. II.3 : Les grands domaines d'origine alpine en méditerranée Occidentale (Durand-Delga M.,1969)

II.2.1. Domaine interne

Contient un socle continental cristallophyllien (Grande et petite Kabylie) avec leur Couverture sédimentaire écaillée (Dorsale Kabyle ou chaîne calcaire).

Socle Kabyle

On attribue au socle trois ensembles lithologiques (Benabbas C., 2006) :

- Un ensemble cristallophyllien inférieur, formé de gneiss à intercalations, parfois puissantes, de marbres et d'amphibolites.
- Un ensemble cristallophyllien supérieur, comportant « des schistes satinés ou phyllades, des grés et des porphyroïdes oeilés ».
- La couverture sédimentaire paléozoïque du socle cristallin, peu ou pas métamorphique, dont les séries comprennent des termes de l'Ordovicien, du Silurien, du Dévonien, ainsi que du Carbonifère inférieur.

➤ Dorsale Kabyle (chaîne calcaire)

La chaîne calcaire est située au sud du socle et subdivisée selon (Durand-Delga M., 1969 ; Raoult J.F., 1974 ; Vila J.M., 1980) en trois unités qui sont du nord au sud :

- Unité interne : une série conglomératique à sa base et se termine par des formations calcaires d'âge permo-triasique à néocomien suivi par une lacune du crétacé inférieur au crétacé moyen (Vila J.M., 1980) et un Eocène inférieur à moyen formé de calcaire néritique massif.
- Unité médiane: sa base est semblable à celle de l'unité interne sauf que la lacune concerne l'Aptien et l'Albien. Du Crétacé supérieur à l'Eocène la série est marno-calcaire à microfaune pélagique (Vila J.M., 1980)
- Unité externe : caractérisée par une série crétacée à éocène détritique avec un faciès intermédiaire entre le domaine interne et médian du bassin maghrébin (Vila J.M., 1980).

II.2.2. Domaine des flyschs

Ce domaine correspond aux nappes de flyschs dont le matériel crétacé-paléogène est expulsé vers le sud. Ces flyschs sont déposés dans un bassin de nature marine (Bouillin J.P., 1986).

Ces flyschs ont été subdivisé du nord au sud en trois types, de nature distincte :

- **Flysch mauritanien:** il s'agit d'une réunion en une seule série des flyschs de type Guerrouche (Durand-Delga M., 1969), il contient de bas en haut (Vila J.M., 1980) :
 - Des radiolarites rouges du Malm avec un flysch argilo-gréseux d'âge Crétacé inférieur.

- Des calcaires conglomératiques ou micro conglomératiques à bandes silicifiées blanches d'âge Crétacé supérieur.
 - Des formations conglomératiques et micro conglomératiques d'âge Yprésien.
- **Le flysch massylien** : flysch argilo-quartzitique d'âge Crétacé inférieur avec des phanites du Cénomaniens suivi par une alternance d'argiles et de micro-brèches du Crétacé supérieur (Raoult J.F., 1969).
- **Le flysch numidien** : flysch gréseux Oligo-aquitain, qui atteint le Burdigalien inférieur se dépose en discordance sur les premiers contacts tectoniques séparant les unités du domaine interne et la nappe du flysch mauritanien (Benabbas C., 2006).

La nappe numidienne correspond aux formations les moins tourmentées. Elle n'est que peu impliquée dans les accidents qui affectent l'édifice allochtone, sauf au nord de Constantine et d'El Aria, où elle se présente comme un ensemble écaillé (Benabbas C., 2006).

II.2.3. Domaine externe

Ce domaine correspond à la marge de la Téthys du côté de la plaque africaine. En Algérie, ce dernier représente les zones telliennes. Il rassemble plusieurs séries à matériel marneux largement chevauchantes sur la plateforme Africaine.

Ce domaine peut se subdiviser en deux grands types de séries (Benabbas C., 2006) :

- **Les séries telliennes**
 - **Les séries de l'avant pays**
- **Les séries Telliennes**

Ce sont des séries très épaisses à dominante marneuse issue du sillon Tellien (Vila J.M., 1980), ces séries ont été découpées par les phases tectoniques tertiaires en trois grandes entités, dont les limites suivent à peu près les lignes paléogéographiques du Crétacé, du Paléocène et de l'Eocène (Benabbas C., 2006). Selon (Vila J.M., 1980) ces séries sont subdivisées du nord au sud en trois unités :

- Unités ultra telliennes

- Unités telliennes sensu stricto
- Unités péni telliennes et les unités méridionales à nummulites

Les unités ultra-telliennes : la dénomination d'ultra-telliennes a été proposée par (Durand Degla M.1969). Ces unités sont caractérisées par des marnes et quelques bancs de calcaires au Crétacé et par des calcaires à silex et des marnes sombres à l'Eocène (Vila J.M., 1980).

Les unités telliennes sensu stricto : affleurent surtout dans la région de Sétif où elles couvrent l'espace qui va des chaînons côtiers des Babor aux premières pentes des monts du Hodna, caractérisées par des formations marneuses et marno-calcaires Crétacé et Paléogène (Vila J.M., 1980).

Les unités pénitelliennes et les unités méridionales à nummulites : le terme péni-tellien a été créé pour désigner une série allochtone du versant nord du djebel Zouaoui, dans le massif du Chattaba, près de Constantine, caractérisé par une séquence de carbonate et de vase allant du Lias au Maestrichtien (Vila J.M., 1980).

Les unités méridionales à nummulites apparaissent sous forme de lambeaux au sud des unités pénitelliennes. Sont caractérisées par un Sénonien associé à des formations éocènes riches en nummulites, qui sont disposées irrégulièrement au front des unités telliennes (Vila J.M., 1980)

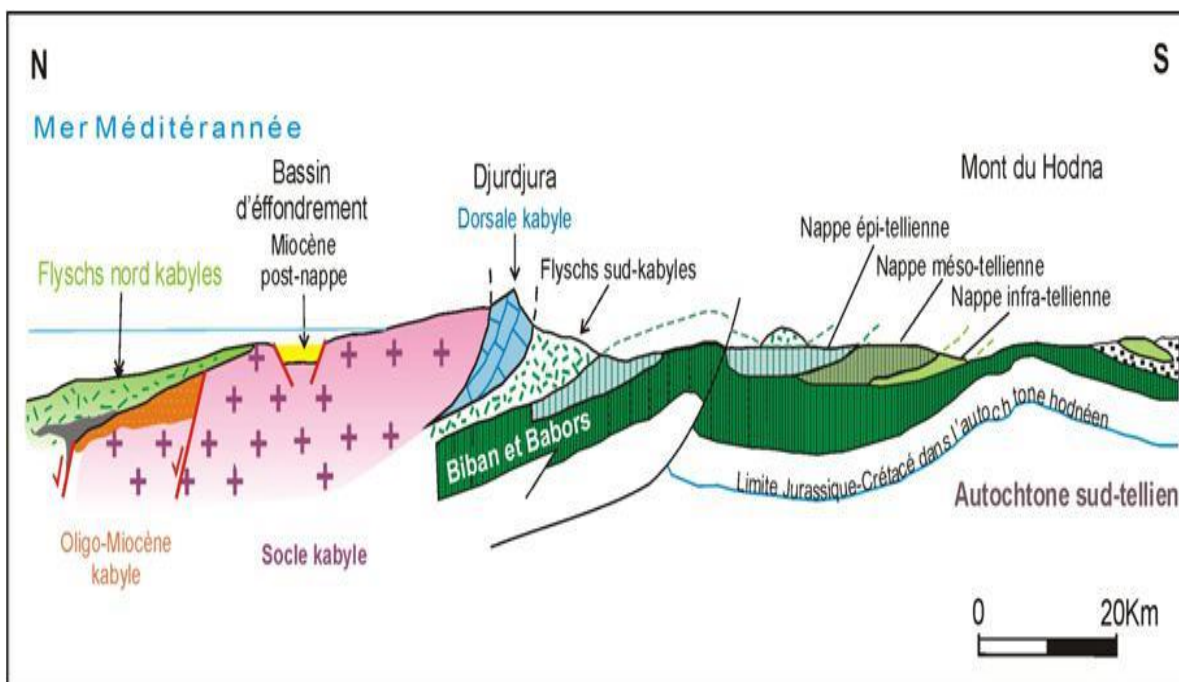


Figure. II.4 : Les grands ensembles de l'édifice structural alpin de l'Algérie du nord orientale

➤ Les séries de l'avant pays

Unité néritique Constantinoise : appelée aussi mole néritique Constantinois, elle forme des massifs isolés de tailles variables.

Cette unité est caractérisée par des séries externes d'allochtonie notable à matériel carbonaté épais et massif du Jurassique- Crétacé, ces séries sont moins structurées au Miocène moyen. Cette unité s'est comportée de façon rigide durant les phases tectoniques alpines (C. Benabbas 2006) et chevauche les écailles des Sellaoua et les unités sud- sétifiennes (Vila J.M., 1980). Pour les auteurs (Durand-Delga M., 1969), (Chadi M., 1991) et (Coiffait P.E., 1992) cette unité est autochtone.

Unités des écailles des Sellaoua : ces unités situées dans la partie la plus externe de la chaîne des Maghrébides, issues d'un large sillon à valeur Océanique.

Elles affleurent au sud-est des massifs composants l'unité néritique constantinoise et comprennent essentiellement des terrains marno-calcaires crétacés avec un léger apport détritique dans le Crétacé supérieur. Le Paléocène et le Lutétien supérieur sont marneux, par contre l'Yprésien est carbonaté et riche en Nummulites (Benabbas C., 2006); l'Oligocène est signalé par Vila J.M. (1980) et par Coiffait P.E. (1992).

Unités sud-sétifiennes : ces unités considérés allochtones pour (Vila J.M., 1980), sont caractérisées par des séries d'âge jurassique Crétacé de base marno-calcaire à Ammonites.

Le para autochtone Nord-aurésien : Il constitue le bord septentrional de l'autochtone atlasique. Ce para-autochtone est défini par l'ensemble des structures formées par les monts d'Aïn Yaghout et par les Djebels (Hanout, Guellif, Sidi Reghis) dans la région d'Aïn Kercha et d'Oum El Bouaghi.

Cet ensemble a été violemment affecté par la tectonique alpine. Le Trias de la région des lacs peut être interprété comme le cœur d'un vaste pli couché (Benabbas C., 2006).

L'autochtone Nord-jaurésien : Il s'agit là du domaine atlasique, caractérisé par un ensemble secondaire, plissé à la fin de l'Eocène selon des directions atlasiques, et par un Trias diasporique d'âge aptien, plus à l'Est, dans la région de l'Ouenza et les monts de Tébessa. (FarahA.S., 1991).

I.3 Les Différentes Phases Tectoniques

L'évolution des Maghrébides au Mésozoïque et au Tertiaire s'intègre plus largement dans l'évolution géodynamique de la Méditerranée occidentale, caractérisée par l'affrontement des grandes plaques européenne et africaine, d'abord par coulissage sénestre, puis en régime de collision, à partir de dates diverses dans le crétacé en fonction des dispositifs locaux, la collision devenant générale au crétacé supérieur.

II.3.1 Les événements tectoniques durant le Mésozoïque

A l'échelle des zones externes de l'Algérie nord orientale, les événements tectoniques durant cette époque sont peu étudiés. Les travaux réalisés jusqu' à présent s'accordent sur les événements suivants :

➤ **Au Trias**

Le Trias correspond à une période d'extension généralisé qui affecte le domaine Atlasique.les bassins Triasique en Algérie ne sont connus que localement et en sub-surface.

Les présences des pélites et des évaporites très épaisses dans l'ensemble des domaines externes du Tell témoignent d'une forte subsidence à partir du Trias moyen et supérieur qui est facilitée sûrement cette période de distension généralisée. Les séries évaporatiques (sédimentation argilo-gypseuse) sont accompagnées de coulées basaltiques et de carbonates du Keuper (Benabbas C., 2006).

➤ **Au Lias :** *Rafting et ouverture, subsidence et installation de la mer ouverte*

La distension provoque une subsidence différentielle. Celle-ci se poursuit jusqu'au Crétacé inférieur, permettant de la sorte la création de bassins marins ouverts dans les hauts atlas sahariens, Wildi W., (1983).

La plateforme constantinoise se distingue dès la fin du Lias comme un haut-fond à sédimentation calcaire dominante, (Guellal S., et al, 1973a).

➤ **Au jurassique moyen et supérieur :** *Ouverture et coulissage.*

A cette période, l'approfondissement et le caractère océanique des milieux sédimentaires se confirment et s'accroissent. Le bloc africain est décalé par un coulissage senestre par rapport à L'Ibérie et au bloc Alboran à partir de 165 Ma, engendrant probablement les premiers plissements dans les Babors vers la fin du Malm, avec des axes de plis d'orientation N-S.

Le Malm représente la fin d'une période de distension et de subsidence caractérisant le Lias et le Dogger.

Dans les zones telliennes, les structures associées à la tectonique du Malm sont attestées par des discordances angulaires marquant la base du Crétacé inférieur.

Plus au Sud, dans l'avant pays, la phase Jurassique supérieure se manifeste par une sédimentation terrigène au cours du Néocomien sans discordance angulaire notable, Wildi W., (1983).

➤ **Au Crétacé inférieur**

Aucune phase tectonique importante n'est connue à cette époque ni en Ibérie ni en Afrique. L'origine du dépôt des sédiments détritiques sur la bordure Nord de l'Afrique et sur le continent ibérique ne serait pas tectonique mais climatique.

D'après l'interprétation des anomalies magnétiques dans l'atlantique Nord, les coulissages senestres E-W entre l'Ibérie et l'Afrique s'arrêtent pratiquement dès l'Aptien supérieur (110 Ma), Wildi W., (1983).

Suivant une transversale régionale, au Crétacé inférieur on peut noter une alternance de régressions et de transgressions individualisant ainsi des zones sédimentaires préfigurant déjà les unités structurales majeures, tel le domaine néritique, qui dès cette période, apparaît comme un entablement massivement carbonaté situé entre deux zones vaseuses, Guellal S., et al, (1973).

➤ **Au Crétacé supérieur**

Au Crétacé supérieur, il semble qu'un épisode tectonique important correspondant au Cénomaniens inférieur a eu lieu. En effet sur la bordure Sud-Ouest de la plate-forme néritique constantinoise et dans le Sud sétifien, la sédimentation devient planctonique. Les marnes pélagiques succèdent aux calcaires. Ce changement peut être relié à un épisode tectonique entraînant un relèvement du niveau eustatique. Cet épisode tectonique est le plus souvent traduit dans la sédimentation par une surface durcie (Hard-ground) observable dans plusieurs massifs (Oum Settas). Cette phase correspond à une phase compressive, qui coïncide avec le Début de la rotation antihoraire de l'Ibérie par rapport à l'Europe. Cette phase compressive a engendré des plis orientés E-W ainsi qu'une forte schistosité de fracture dans les Babors affectant les niveaux anté-vraconiens.

Elle est orientée conformément aux plissements W-E à SW-NE. Des évaporites triasiques se trouvent remaniées et resédimentées dans des formations qui datent de l'Albien supérieur au Sénonien inférieur surtout, Wildi W., (1983).

A cette époque la différenciation paléogéographique, apparue au Crétacé inférieur, se poursuit et s'accroît par le fonctionnement des zones positives et négatives. Dans le domaine néritique, la construction de l'entablement carbonaté s'achève avec l'émersion définitive de la fin du Crétacé supérieur. Cette émergence est confirmée par Guellal S et al, (1973).

- Remaniement conglomératique du Vraconien-Turonien dans le Sénonien dans la partie Nord du domaine néritique (massif de Chettaba).
- Présence de nombreux hard-grounds.
- Turonien localement érodé ou absent.
- Faciès néritique en lentilles (massif de Karkara)

II.3.2 Les événements tectoniques durant le Tertiaire

La chaîne alpine de l'Algérie Nord orientale s'est surtout structurée pendant les phases Tertiaires.

➤ A l'Eocène : Phase priabonnienne

Cette phase compressive se situe vers la fin du Lutétien, appelée phase *fini-lutétienne* ou *phase atlasique* d'après Durand Delga M., (1969) et Raoult J.F., (1974) ou encore phase *priabonnienne* selon Vila J.M., (1980).

Elle marque la fin d'un grand cycle sédimentaire ayant débuté dès le Trias supérieur, et dont l'organisation n'a pas été perturbée malgré des manifestations tectoniques locales enregistrées avant le Cénomaniens, Aris Y., (1994).

Cette phase compressive est expliquée par la fermeture de la Téthys occidentale par la rotation de l'Afrique autour d'un pôle situé à l'Ouest de Tanger, conduisant à la collision entre la partie orientale de l'Alboran et la marge Africaine tellienne. Dans les zones internes La position relative E-W de la Kabylie par rapport au Tell est bloquée dès l'Eocène supérieur.

Elle est associée à un métamorphisme régional, Wildi W., (1983).

Cette phase est associée à des accidents verticaux de direction NE-SW tels que l'accident N45°-50° E d'El Kentour qui se prolonge jusque dans l'avant pays au Sud-Ouest, entre les monts du Bélezma et ceux du Hodna correspondant à la « transversale de Constantine ».

➤ Au Miocène

Phase compressive du Burdigalien

La phase Miocène est caractérisée par une direction de raccourcissement N-S. La partie occidentale de la plaque d'Alboran continue sa migration vers l'Ouest, pour entrer finalement en collision avec la marge rifaine de l'Afrique. Cette migration contribue à l'ouverture du bassin nord algérien.

Cette phase se manifeste par :

- L'avancée de la nappe numidienne vers le Sud et la formation des olistostromes kabyles dans une dépression septentrionale.
- Un bombement à l'aplomb du bord kabyle méridional, où s'étaient antérieurement empilées les unités de flyschs sur les nappes telliennes au Priabonien.
- Des structures plissées, au sud du domaine kabyle.

A la fin du Miocène inférieur et au début du Miocène moyen, des bras de mer envahissent des golfes de la partie septentrionale des chaînes algériennes. Dans les Babors, les premiers sédiments post-nappes marins se déposent.

Cette transgression va de pair avec une phase volcanique calco-alcaline et un plutonisme qui a mis en place les intrusions granitiques en grande Kabylie, dans les Babors et en petite Kabylie. Les datations radiométriques y indiquent souvent des âges entre 12 et 16 Ma.

Phase tangentielle tortonienne -phase alpine

Pour Vila J.M., (1980), c'est la phase tortonienne majeure, à vergence Sud qui est responsable de vastes raccourcissements impliquant les formations postérieures au Burdigalien supérieur dont la nappe numidienne. Toujours selon le même auteur, cette phase serait responsable de la genèse de la nappe néritique constantinoise, des unités allochtones des Sellaoua, de l'ensemble « sud-sétifien » et des « unités méridionales à nummulites ».

Cette phase a engendré dans l'ensemble de l'Algérie Nord orientale des chevauchements vers le Sud des unités méridionales à nummulites, des unités sud-sétifiennes et des écaillés de Sellaoua, ainsi que des plissements à axes E-W des monts du Hodna jusqu'à la transversale de l'Aurès ; genèse des « plis emboutis » qui interfèrent et reprennent les plis éocènes.

Pour revenir à la notion de tectonique tangentielle tortonienne selon Vila J.M., du nord au sud et de haut en bas de l'édifice structural on distingue :

- La zone intermédiaire est fortement plissée (Burdigalien-Langhien).

- La zone nappée méridionale, où se manifestent de vastes mouvements anormaux, impliquant les formations postérieures au Burdigalien supérieur.
- Les nappes telliennes sont reprises en bloc.
- L'ensemble allochtone sud-sétifien constitue un empilement de lames en série normale.
- La nappe néritique constantinoise et les unités allochtones de type Sellaoua relaient en plan l'ensemble allochtone sud-sétifien vers l'Est.

II.3.3 La Tectonique récente : Cette phase tectonique post-nappes est responsable de l'orographie actuelle.

Elle a induit le comblement des bassins mio-pliocènes, alimentés par la destruction des reliefs environnants.

A l'échelle du Constantinois, les structures attribuées à cette tectonique évoquent une tectonique polyphasée. En effet, deux phases successives de distension et de compression ont affecté les formations tortonniennes, entraînant ainsi un resserrement des structures préexistantes, et la formation de plis qui s'alignent en gros sur la direction atlasique. Parmi ces plis on note ceux de Djebel Ouahch, du massif du Chettaba et du Djebel Djaffa. Par ailleurs, des failles inverses parfois décrochantes ou chevauchantes ainsi que des déformations cassantes de direction E-W et NW-SE, tel l'accident de M'cid Aïcha-Debbar d'une centaine de kilomètres, peuvent être observées. Le long de cet accident, des chevauchements Nord-Sud post-miocène sont localement signalés, Guellal S., et al, (1973).

II.4 Litho-Stratigraphie de la région de Constantine

La région de Constantine avec sa morphologie exceptionnellement accidentée caractérisée par des massifs qui appartiennent au domaine externe de la chaîne des Maghrébides.

Les principaux traits stratigraphiques de la région correspondent en fait à des formations calcaires jurassiques crétacées avec une couverture marno-calcaire d'âge sénonien supérieur à éocène avec la présence de lacunes de sédimentation (Aris Y., 1994).

II.4.1 Trias

Le Trias exotique correspond aux plus anciens terrains des zones externes, Il est essentiellement évaporitique et se présente en épaissements diapiriques et en lames injectées le long de certains accidents. Représenté par des masses de gypse et d'argile, de couleur rouge

lie-de-vin bien caractéristique, contenant le plus souvent des blocs calcaro-dolomitiques, des cargneules, des marnes bariolées verdâtres et des blocs de roches volcaniques (Benabbas C., 2006).

Parmi les affleurements connus dans le Constantinois, on peut citer du Nord au Sud :

- Les affleurements des massifs du Kheneg et Djebel Akhal, au Nord-Ouest et à l'Ouest de Constantine.
- Ceux de la dépression du Chettaba-Djebel Ech Chebka Aïn El Kebch, à l'Ouest et au Sud-Ouest de Constantine.
- Et ceux liés aux formations tertiaires situées au Sud des massifs du Felten et de l'Oum Settas.

II.4.2 La nappe néritique constantinoise

Plateforme marine caractérisée par des formations principalement carbonatées du jurassique supérieur au sénonien transgressif.

➤ Jurassique supérieur

Le Jurassique supérieur est essentiellement carbonaté. Il comprend des dolomies noires, largement cristallines, surmontées par une barre de 90 à 100 m de calcaires massifs (Benabbas C., 2006).

➤ Le Néocomien

Il est carbonaté et débute par une série montre une alternance entre les calcaires fins et des marnes rosées ou jaunâtres. Il se prolonge par 150 m de calcaires à silex, sauf au Djebel Guerioum et Fortass. Plus à l'Ouest dans les monts d'Aïn M'lila, le Néocomien est uniquement carbonaté et comporte des alternances calcaro-dolomitiques sur 300 m environs.

➤ Le Barrémien

Le Barrémien est calcaro-dolomitique, représenté par une épaisse série (250 à 300m) de calcaires massifs, clairs dans lesquelles s'intercalent de rares passées de marnes grises, il est riche en microfaune (Benabbas C., 2006; Aris Y., 1994).

➤ **L'Aptien**

Ce dernier débute par 50 m de calcaires massifs en gros bancs, pour se poursuivre sur 100 à 120 m, par des calcaires micritiques noirs, riches en *Milliolidés* et en débris de *Rudistes*. Le terme sommital aptien est constitué d'une corniche de 80 à 100 m de calcaires massifs (Benabbas C., 2006).

L'aptien se termine par une surface d'érosion originale (Aris Y., 1994), il afflue au Djebel karkara et Zouaoui sous forme d'un ensemble de marnes et de calcaires marneux biomicritiques et graveleux. Et selon (Vila J.M., 1980) des formations correspondantes au Clansayésien (Aptien sup) affleurent au Djebel Felten.

➤ **L'Albien et le Vraconien**

Ils sont constitués de bancs calcaires noirs (Benabbas C., 2006).

Dans le massif de Djebel Frikitia au sud-ouest de Chettaba, l'Albien est représenté par une série constituée de marnes et de calcaires noduleux à *Ammonites*, *Mélobisiées* et des *hedbergelles* de types *washitensis*, avec une association à foraminifères benthiques et à *Ostracodes* (Vila J.M., 1980). Il afflue aussi au Djebel Felten (identique à celui de Djebel Frikitia) et au Djebel Zouaoui.

➤ **Le Cénomanién**

Les formations cénomaniennes sont carbonatées et peuvent atteindre 250 à 300 m d'épaisseur (Benabbas C., 2006). Il manque dans la plupart des massifs méridionaux de la Nappe néritique Constantinoise, et il est pélagique dans la série très septentrionale du Kef Hahouner (Vila J.M., 1980).

Le Turonien

Comprend des calcaires rubanés à patine blanche et à cassure grise, et par de grosses barres de calcaires massifs clairs à *Rudistes* et à minces intercalations de calcaires sombres (Benabbas C., 2006). Selon (Vila J.M., 1980) son affleurement au Djebel Oum Settas peut lier au fonctionnement de failles de direction Atlasique.

➤ **Le Sénonien transgressif**

La sénonienne représente une couverture des affleurements septentrionaux de la nappe néritique constantinoise.

Le Sénonien débute par une discordance du ravinement et des niveaux d'allure micro-bréchrrique précédant 20m environ de calcaires noirs, micritiques, à fins débris organogènes et

à silex noir. Ces couches ont fossilisé de petites failles verticales à faible rejet. Au-dessus d'une nouvelle surface de ravinement, on remarque, notamment à l'ancrage Nord du pont suspendu de Constantine quelques décimètres de micrites grises ou jaunâtres à aspect feuilleté et à gros cristaux de pyrite, avec une mince intercalation marneuse crème. (Vila J.M., 1981)

II.4.3 Les nappes telliennes

➤ La nappe ultra-tellienne

L'unité ultra-tellienne est largement développée dans le Constantinois. Elle est représentée par des formations marneuses et marno-calcaires de faciès généralement clairs d'âge Barrémien à Eocène.

➤ Les nappes telliennes sensu-stricto

Localisées dans le triangle Chelghoum El Aïd-Constantine-Sigus à matériels allant du Sénonien inférieur à l'Eocène, ces nappes sont semblables à la série de type Djemila (Vila J.M., 1980).

Elles sont caractérisées par :

- Des marnes grises ou beiges avec de minces intercalations marno-calcaires (250 à 300m d'épaisseur) d'âge Sénonien inférieur.
- Des marno-calcaires d'âge Sénonien supérieur, dont la couche peut atteindre localement 250 à 300 m.
- Un ensemble monotone de marnes ou d'argiles carbonatées noires du Maastrichtien au Paléocène.
- Des calcaires massifs blancs à patine bitumineuse d'âge Yprésien-Lutétien inférieur représenté par une série d'environ 200m.
- Des marnes grises ou noires à boules jaunes Lutétien à Priabonien.

➤ La nappe péni-tellienne et unités méridionales à nummulites

C'est une alternance de carbonate et de vase allant du Lias au Paléocène :

- Lias : calcaires massifs.
- Dogger : calcaires oolithiques, oosparites dont la couche peut atteindre 300m.
- Malm : dolomies noires sableuses, calcaires à silex et micrites en petits bancs.
- Crétacé inférieur : pelitico-marneux, micritique et à rares niveaux gréseux.

- Albo-cénomannien : représenté dans les gorges de Hammam Grouz par une barre calcaire de près de 200m d'épaisseur.
- Crétacé moyen : calcaire, silex noirs en petits bancs.
- Sénonien inférieur : conglomérats avec passages marneux.
- Sénonien supérieur : il débute par une barre conglomératique (50 à 100m), devient marneux au Campanien supérieur et se termine par une barre de calcaire-marneux claire au sommet.
- Maastrichtien au Paléocène: marnes grises ou noires que l'on rencontre uniquement sur le versant Sud-Est du Djebel Chettabah. (In Farah A.S., 1991)

II.4.4 La nappe numidienne ou flysch numidien

Le flysch Numidien est représenté par une série argilo-gréseuse d'âge Oligocène à Burdigalien basal.

La série Numidienne typique est caractérisée, de la base au sommet, par une succession de trois types de faciès : des argiles à *Tubotomaculum*, des grès épais alternant avec des niveaux argileux et des marnes à silexites vers le sommet.

- Les argiles de base à *Tubotomaculum* dites sub-numidiennes, contiennent des passées gréseuses renfermant localement des niveaux à blocs variés d'âge Eocène. Ce terme est daté Oligocène depuis les travaux de Durand-Delga et Magné (1958).
- Les grès numidiens, présentent une épaisse série. Au Djebel Grouma, près d'Oued Zénati à l'Est de Constantine.

On note dans cette série gréseuse trois ensembles :

- Un premier ensemble gréseux, formé de grosses barres, et débutant par des alternances de grès et d'argiles (100 m environ) à *Globigérines* du Stampien supérieur.
- Un deuxième ensemble représenté par des argiles à bancs de grès intercalés d'âge Aquitannien inférieur à Burdigalien, vers le sommet.
- Le troisième est gréseux et moins épais (200 m). Il est rattaché à un âge au moins Burdigalien supérieur par rapport aux derniers termes de l'ensemble argileux sous-jacent.

II.4.5 Les séries post-nappes

➤ Le Mio-Pliocène continental

Des conglomérats rougeâtres marquent la base du Miocène inférieur et constituent une zone limitée le plus souvent par des failles. Le Miocène moyen, Laguno-lacustre, afflue surtout dans la dépression séparant Constantine de la chaîne Numidique et comprend deux termes : un terme inférieur formé de marnes grises à gypse et Gastéropodes, un terme supérieur comprenant des marnes légèrement beiges où apparaissent des chenaux. Alors que le Miocène supérieur continental est sous forme de dépôts détritiques rougeâtres au Pliocène. La sédimentation est composée d'argiles rougeâtres quelquefois sableuses et de calcaires lacustres.

L'ensemble inférieur de la série du bassin de Constantine est assimilé au Miocène.

➤ Le Quaternaire

Des éboulis, des alluvions et des formations de pente constituent le Quaternaire (BeanabbasC., 2006).

- Les éboulis se sont surtout développés en bordure des reliefs numidiens et des massifs calcaires comme le Djebel Oum Settat.
- Les alluvions récentes des oueds correspondent à des limons, des graviers et des galets roulés.
- Les alluvions anciennes des oueds se composent de cailloux roulés, limons et graviers parfois, encroûtés, provenant d'anciennes terrasses. Les alluvions anciennes des plateaux sont composées de cailloux roulés, limons et graviers. Elles sont souvent cimentées par une croûte calcaire.
- Les formations de pente correspondent à des glacis polygéniques qui forment des surfaces très faiblement inclinées, près des plaines recouvertes d'un matériel élastique, avec de vastes placages sur les versants marneux. Les glacis anciens de Constantine, dans la région d'El Aria, sont constitués exclusivement de blocs du Numidien bien roulés.
- Les croûtes calcaires du Villafranchien sont directement installées sur des calcaires et des conglomérats fossilifères dans lesquelles il est difficile de situer la limite entre le Pliocène supérieur et le début du Villafranchien.
- Tufs calcaires ou Travertins du Mansourah. Ils correspondent soit à des zones de sources chaudes, soit à des formes de concrétions plus ou moins vacuolaires gris à jaunâtre

Introduction :

La région de Constantine (**Figure. III.1**) présente un relief contrasté où se côtoient, gorges profondes, plateaux et collines. Cette région s'étend des piémonts sud-telliens jusqu'aux bassins des hauts plateaux constantinois, incluant une dépression formée par de puissants dépôts lacustres mio-pliocènes et comportant quelques reliefs à matériel tellien quelque peu épars et allochtone. L'altitude moyenne varie entre 500 m et 800 m et dépassant des fois les 1400 m.

Le réseau hydrographique comprend à l'amont deux cours d'eau principaux, qui ont leur confluent à Constantine. Il s'agit des Oueds Rhumel et Boumerzoug.

Le Rhumel traverse les hautes plaines constantinoises suivant une orientation NE-SW jusqu'au Boumerzoug. Il parcourt ensuite des gorges à travers le Rocher de Constantine.

Dans le Tell méridional, le Rhumel change de direction et coule vers le Nord-Ouest avant de rejoindre Oued Enndja. Tout au long de son parcours, le Rhumel devient le confluent, de l'amont à l'aval, des Oueds Dekri, Seguin, Boumerzoug, Smendou et enfin El Ktone.

La carte hypsométrique (**Figure III.1**) représente un relief hiérarchisé en classe d'altitudes. L'approche à la fois simple et particulière consiste en fait en une analyse plane du relief. L'étude de cette représentation hypsométrique se fait sur un fond géologique (Benabbas C., 2006).

Elle permet d'identifier la somme des particularités morphologiques affectant la région, de comparer et de conforter ces particularités et anomalies aux données géologiques disponibles.

III.1- Particularités Orographiques :

La carte hypsométrique de la région d'étude (Figure II.1) met en évidence une succession de tranches d'altitudes comprise entre 300m et 1500m. Elle apporte une multitude d'informations sur le modelé et déformations affectant le relief.

On relève sur la carte deux types de zones : les zones hautes, partie montagneuse dont l'altitude varie entre 800m et 1500m, et les zones basses essentiellement occupées par des vallées et des plaines dont l'altitude varie de 150m à 600m au nord et de 600 à 850m au sud De la région d'étude.

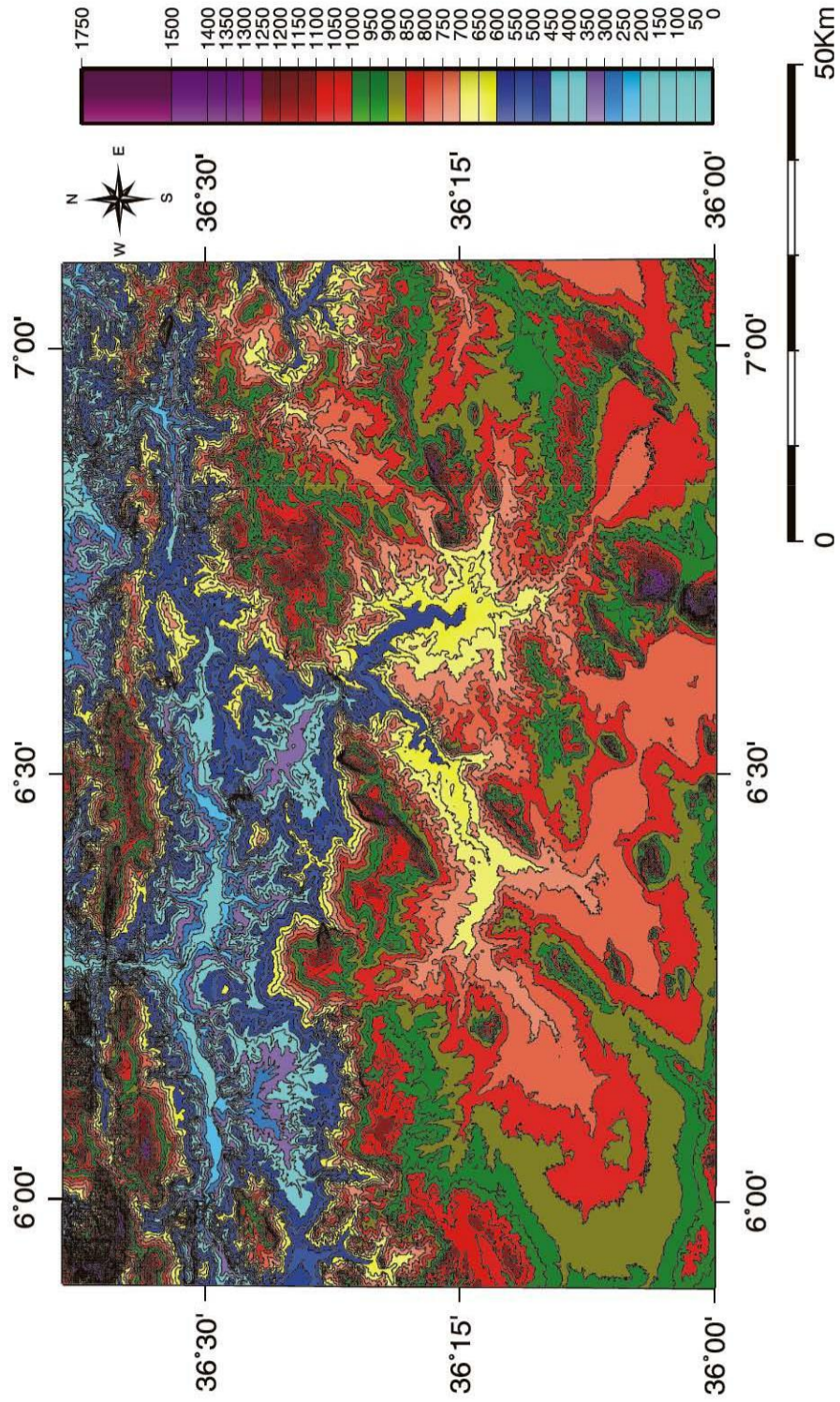


Fig III.1 : Carte hypsométrique du secteur étudié.

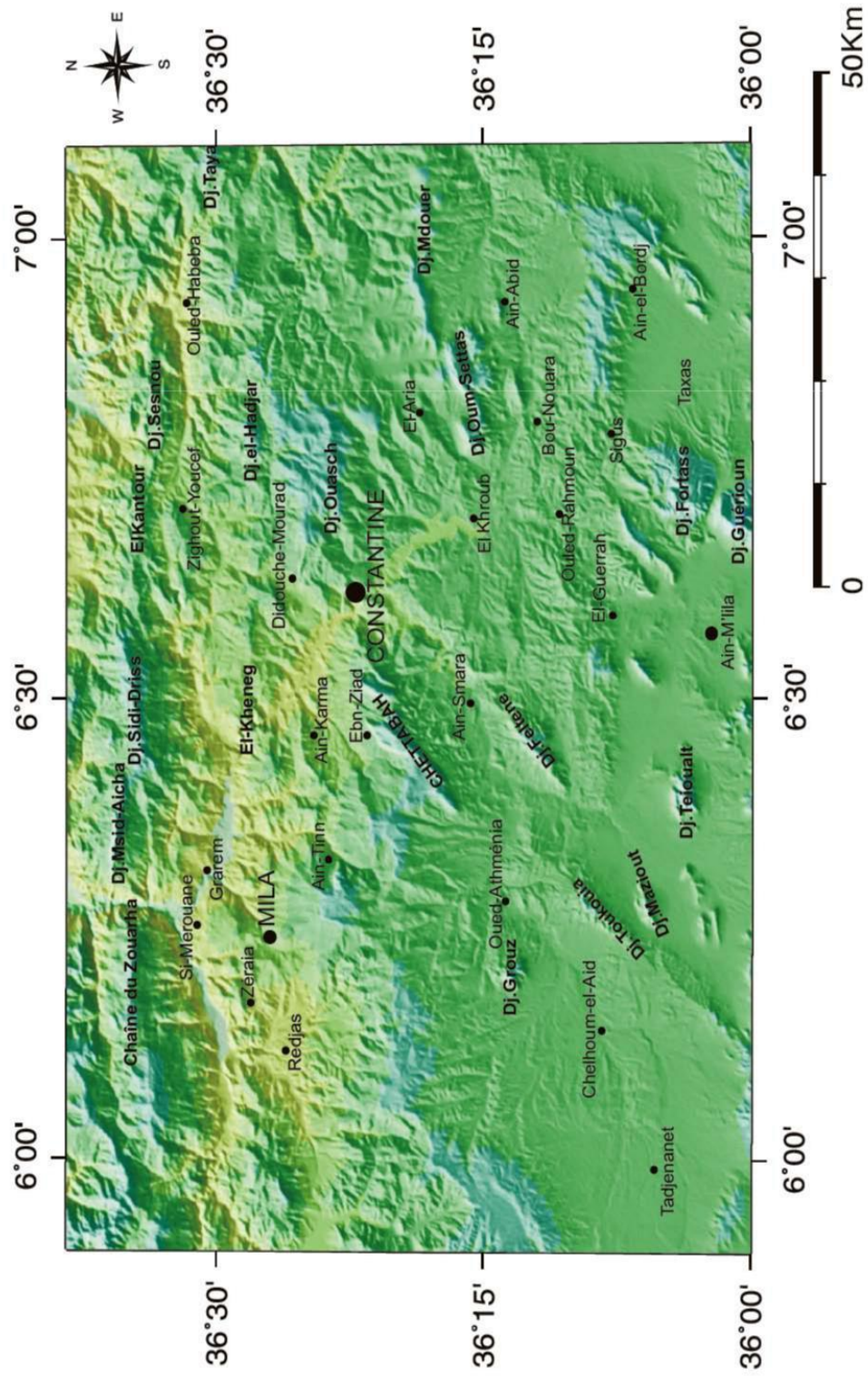


Fig.III.2 : Carte Toponymique du secteur étudié.

III. 2-Le milieu physique

III.2.1.- Géomorphologie

La géomorphologie de la région de Constantine est très complexe, elle est liée d'une part à l'existence de plusieurs nappes de charriage, caractérisé par des faciès variés d'âge mio-pliocène (remblais, argile, marnes, sable conglomérat, grés), et les dépôts quaternaire (alluvions, travertin etc.). Et d'autre part à un façonnement tectonique (figure.2).

III.2.2.- Le Climat

La région de Constantine est soumise à un régime climatique double :

- Au Nord : c'est un régime subhumide avec des précipitations moyennes annuelles dépassant le plus souvent les 650 mm.
- Au Sud : c'est plutôt un régime semi-aride qui l'emporte avec une pluviométrie moyenne annuelle le plus souvent en dessous des 650 mm.

La combinaison des précipitations et des températures permet de définir des domaines bioclimatiques. C'est grâce à un tracé sur un climagramme combinant Q

(Quotient pluviothermique d'Emberger) en ordonnée et m (moyenne des températures minimales du mois le plus froid) en abscisse, on trouve que le climat de la région d'étude est du type semi-aride ($300-350 < P < 550-600$ mm). Ce climat est caractérisé par une alternance de saisons sèches (juin à septembre) et de saisons humides (octobre à avril), avec une chaleur de 25-45° en été et un froid de 0-12° en hiver

(Figure. 3).

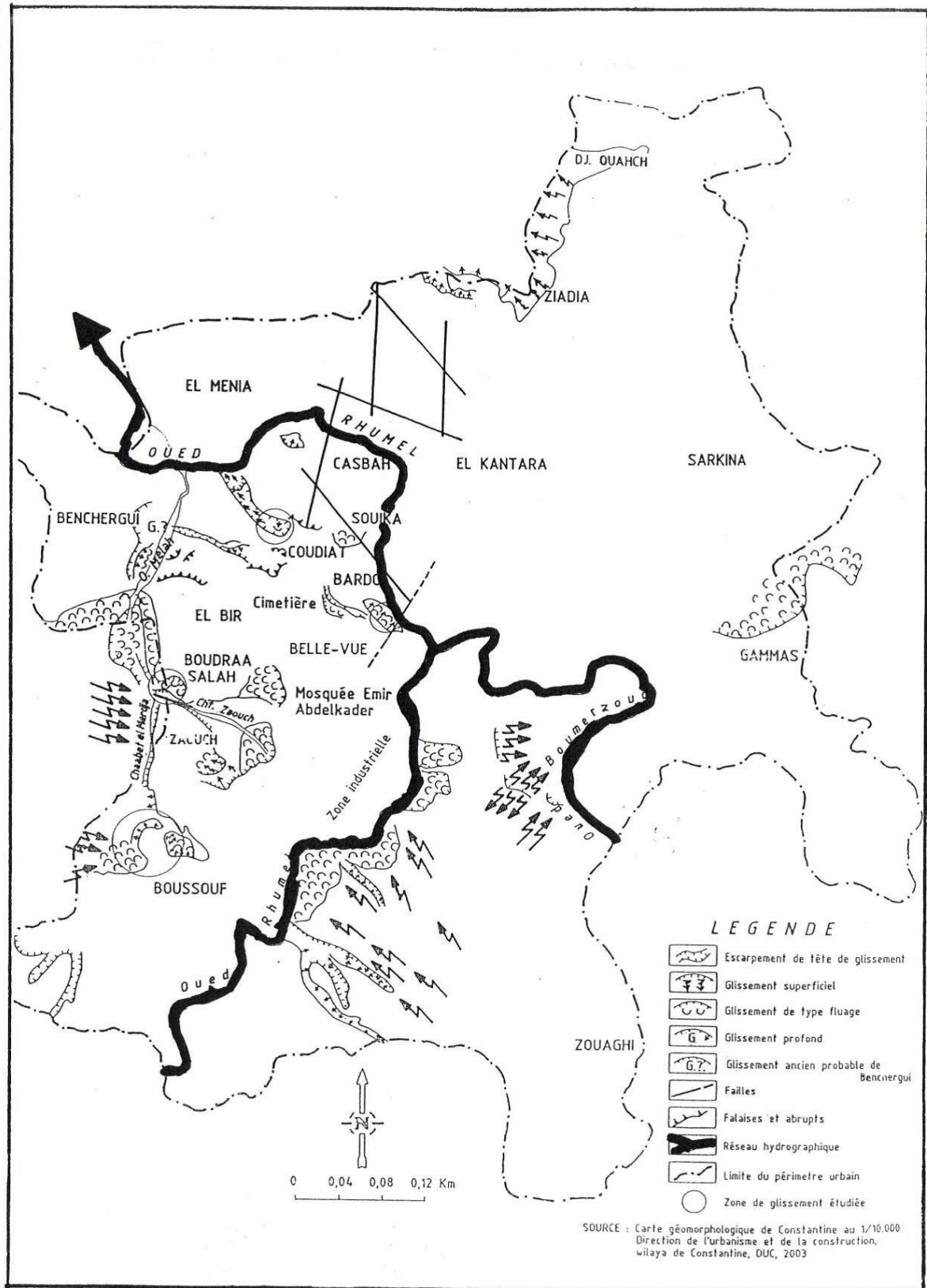


Figure III.3 - Carte géomorphologique de Constantine (1/10000)

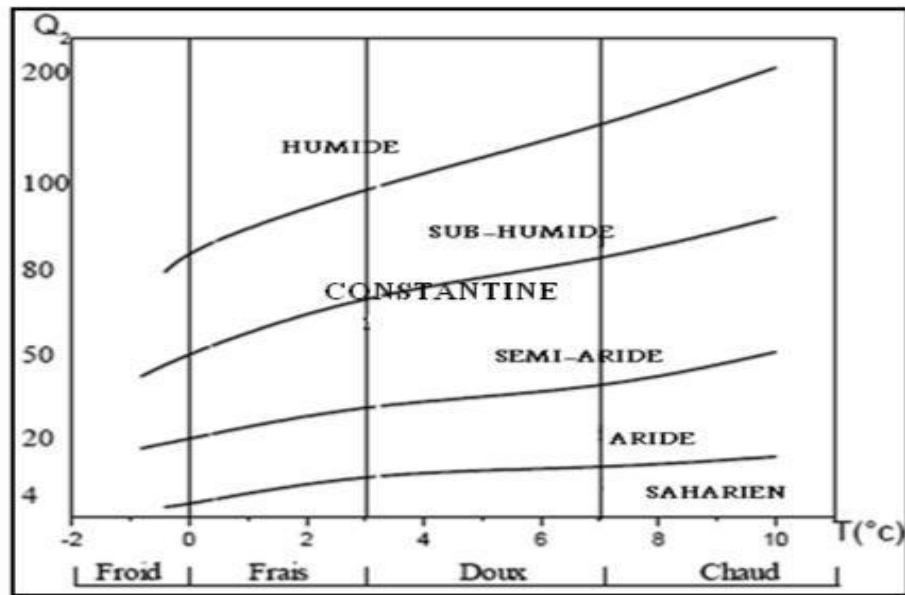
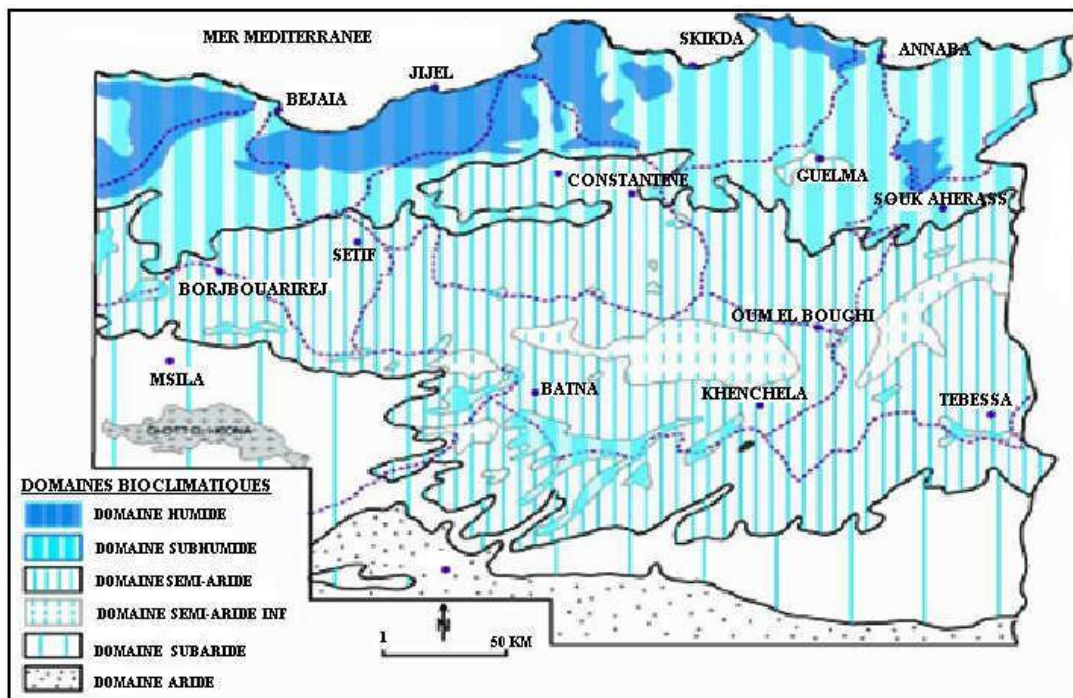


Figure III.4 : Climagramme d'Emberger de la région de Constantine

La variable m (moyenne des températures minimales du mois le plus froid) peut être utilisée une seconde fois pour préciser les sous-étages bioclimatiques à hiver froid, frais, doux et chaud. La carte au 1/ 1000 000 réalisée par Côte. M. (1998a) montre que le climat de la région d'étude est semi-aride (Figure. 4).



III.2.3. Le réseau hydrographique

La région de Constantine est caractérisée par un réseau hydrographique dense, constitué essentiellement d'affluents réunis dans un cours d'eau convergeant vers un collecteur principal appelé L'Oued Rhumel.

L'Oued Rhumel traverse le long de son parcours les plaines de Tadjanet, Oued Athmanie en amont et celle d'Aine-smara en aval. En s'approchant de Constantine, il reçoit sur sa rive droite, L'Oued Bou Merzoug

Dans la région d'étude d'autres petits cours d'eau affluent aux deux principaux Oueds qui coulent temporairement et qui sont : Oued Ziad et Oued Melah.

III.3- Etablissement des cartes de facteurs :

La reconnaissance de terrain et l'utilisation des cartes topographiques et photo-aériennes a comporté le recensement méticuleux :

- Des indices qui mettent en évidence une instabilité déclarée,
- Des indices qui permettent de supposer une instabilité potentielle,
- Des facteurs défavorables à la stabilité (pentes, eau, lithologie, structure...).

Pour ce faire, nous avons dressé des cartes d'observation de terrain à savoir ; la carte lithologique, la carte des indices et des zones d'instabilité sur laquelle figure le réseau hydrographique et les linéaments, et la carte des pentes. Ces cartes, présentées à une échelle au 1/50000^e et au 1/20000^e, vont nous permettre, ultérieurement, de définir les limites des zones exposées à des risques de mouvements de terrains déclarés ou potentiels.

Etude des photographies aériennes:

Si l'étude d'un secteur géographique par photographies aériennes ne peut en aucune façon suffire à l'établissement d'une carte d'instabilité, elle reste néanmoins le point de départ indispensable à toute étude de terrain, et le complément nécessaire à la synthèse des observations ponctuelles recueillies. L'observation stéréoscopique attentive permet souvent de déceler des indices d'instabilité pas toujours évidents au niveau d'un lever de terrain. En outre l'étude des photographies aériennes est une pratique importante pour définir l'extension d'un phénomène et préciser son évolution (si l'on possède plusieurs missions de prise de vue étagées dans le temps) (G. Olivier et J-P. Renet, 1976).

Dans notre secteur d'étude, nous avons établi une carte des formes d'érosion, de mouvements de terrain et de fracturation de la commune de Constantine à partir des photo-aériennes à l'échelle 1/20000^e, mission 1979 et 1996 (boîte de Constantine et de Ferdjoua).

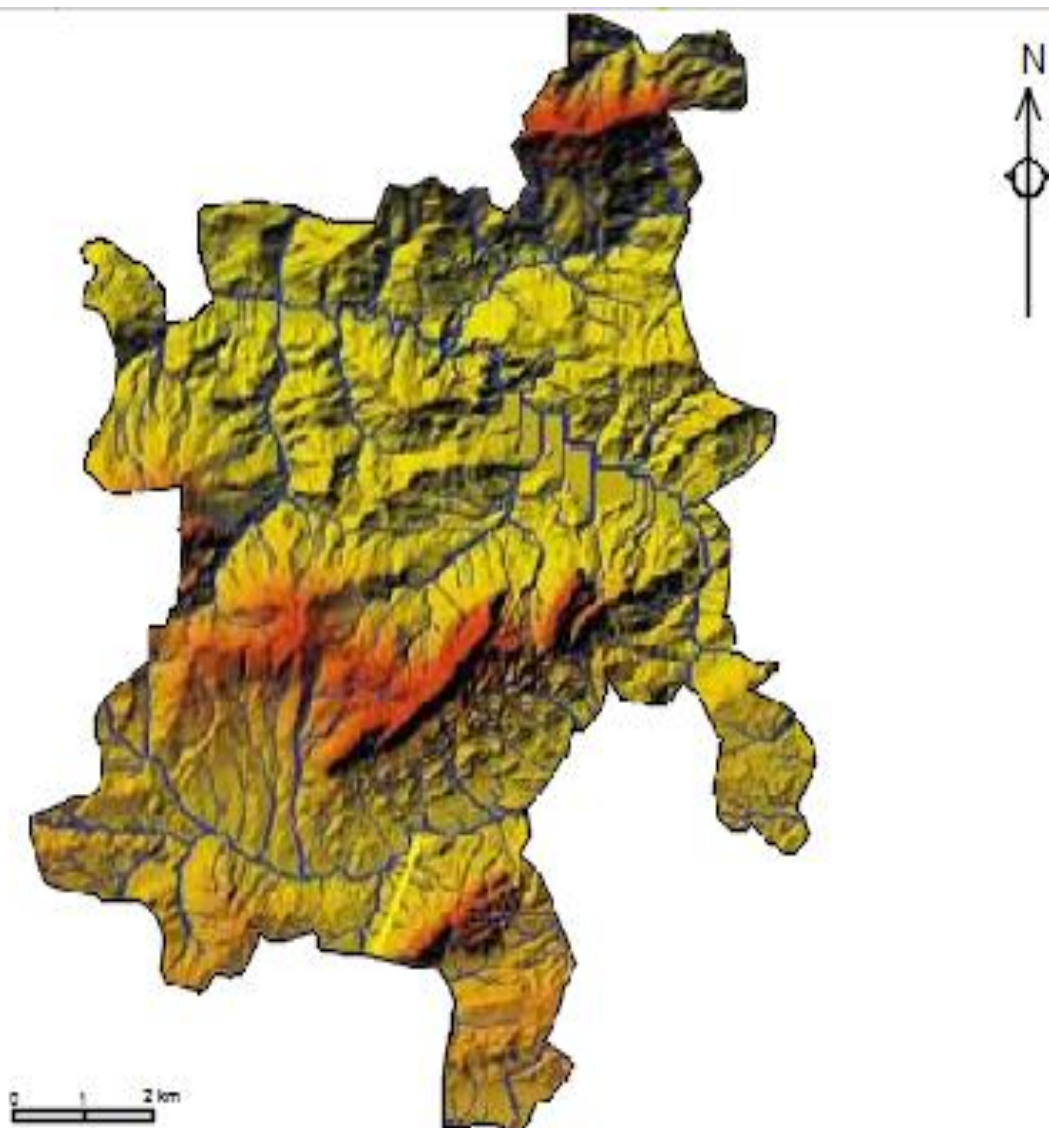


Figure III.6 Carte de réseau hydrographique de la ville Constantine

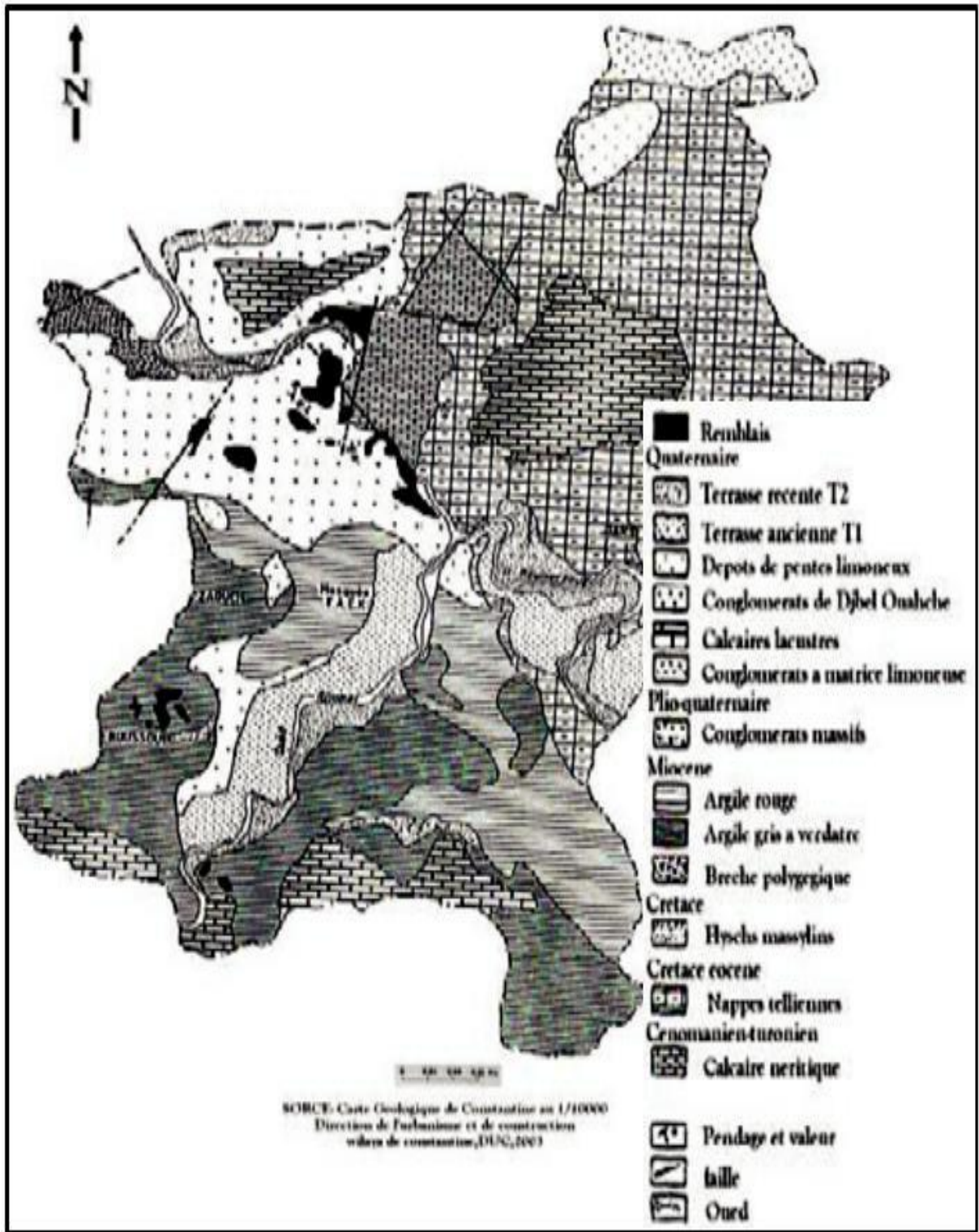


Figure III.7 Carte lithologique de la ville de Constantine

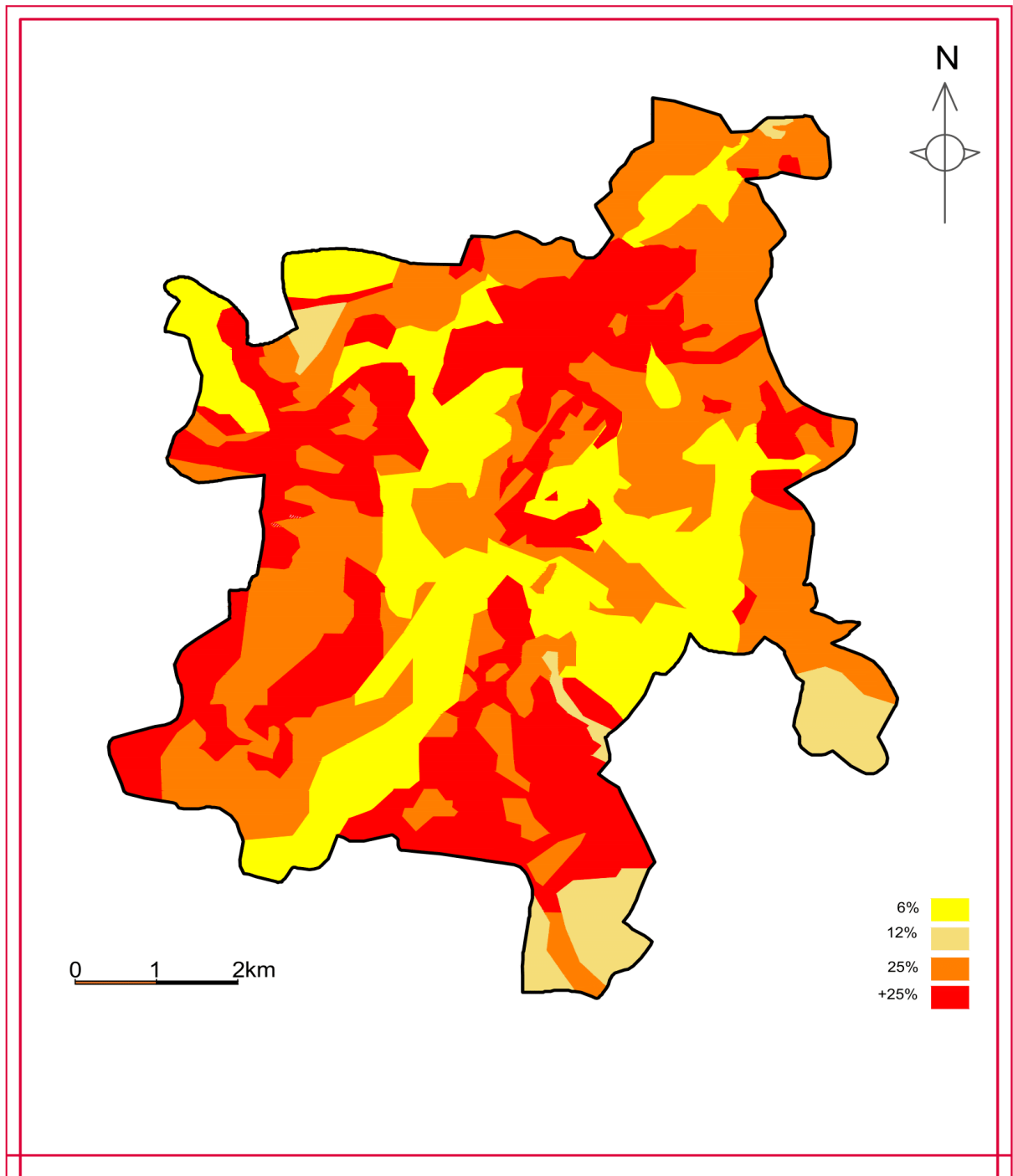


Figure III.8 Carte de pente de la ville de Constantine

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.

Le fait que l'Algérie est parmi les pays qui souffrent de ce type de risques naturels, nous avons décidé d'établir le plan PER de la commune de Constantine en suivant une méthode géomorphologiques qualitative où nous avons choisi la commune de Constantine comme modèle pour l'application de cette méthode et ce, en raison de sa vulnérabilité aux actions géomorphologique intenses qui constituent un obstacle important face à l'extension de l'urbanisation et en plus la dégradation de ses terres agricoles.

IV.2/ Problématique de l'étude

La commune de Constantine est parmi les premières communes touchées par les problèmes d'érosion des sols et d'instabilité des terrains de manière considérable, conduisant à l'endommagement de vastes terres agricoles et quartiers résidentiels.

La commune de Constantine est caractérisée par une lithologie défavorable (roches tendres) et un relief topographique encourageant le mouvement et le déplacement de terres essentiellement dans les collines. En plus, une absence quasi-totale de couverture végétale et la présence de quantités importantes de précipitations (650 à 700mm par an), dont 50% concentrées en trois ou quatre mois consécutifs de la période hivernale. Ces caractéristiques font du territoire de la commune de Constantine une zone de faiblesse qui ne peut résister aux phénomènes d'érosion, et donnent une certaine vulnérabilité vis-à-vis les mouvements de masses. Cette vulnérabilité est une donnée très importante à laquelle les autorités se sont confrontés, c'est-à-dire les plans d'aménagement et de développement de la commune sont complément compromis vu les difficultés de L'élaboration des projets adéquats dont l'extension laisse supposer une menace à l'équilibre naturel des versants qui d'ailleurs ceinturent la ville.

Donc les caractéristiques naturelles de la commune ont forcé les utilisateurs et les exploitants des milieux naturels, à l'impératif d'étudier l'évolution du relief, inventorier les zones endommagées et les quantifier, puis les évaluer selon des plans et cartes montrant les possibilités de l'utilisation des terres pour les exploitations éventuelles. Ces plans sont considérés comme des documents de base dans le processus d'estimation de l'aléa naturel pour l'allègement des risques associés et dans l'identification des zones potentiellement instables et/ou les terrains récupérables.

Les plans d'aménagement qui seront établis à l'avenir permettraient ainsi de mieux cerner, à priori, tous les problèmes affectant considérablement la région. La possibilité de mieux comprendre les mécanismes des phénomènes d'érosion constitue les paramètres essentiels quant à l'élaboration des plans de développement de la commune de Constantine.

IV.3/ Représentation cartographique des risques naturels

Les cartes des risques naturels liés à la dynamique des versants se considèrent d'une importance très particulière dans de nombreux pays où l'établissement de cartes de susceptibilité, de vulnérabilité et de risque est devenu une source qui alimente une grande partie de sujets de recherche.

IV.3.1/ Inventaire des indicateurs et des facteurs d'instabilité :

Selon D.J. Varnes (1978), la détection des facteurs à l'origine des risques naturels se base sur deux principes :

- **Premièrement** : le passé et le présent sont la clé de l'avenir.
- **Deuxièmement** : qui est moins significatif que le premier, c'est que les mêmes causes produisent les mêmes effets. À cet effet, les données du passé et les événements actuels nous conduisent à rechercher les facteurs qui expliquent cela.

La représentation cartographique des aléas naturels et l'estimation des risques associés constituent un but essentiel dans le recensement des principaux événements antérieurs et actuels. Par repérage ou localisation des zones actives ou réactivées (les mouvements déclarés). Ce repérage pourrait aider à mieux identifier les zones à risque, conformément aux deux principes énoncés précédemment, ainsi les zones de mouvements de masse seront jugées par leur faible résistance. De plus la représentation cartographique définit les différents types de mouvements touchant une région. Ces mouvements sont considérés comme des critères d'identification de la nature de la menace ou du risque courant. Elles peuvent éventuellement donner les éléments aidant à comprendre les degrés du risque naturel, soit à partir de son âge et son évolution dans le temps ou par observation ou encore par l'ampleur

Des masses emportées. Cet inventaire est basé sur la constatation des signes et indicateurs de mouvements de matériaux sur terrain, souvent facilement repérables sur les photo-aériennes.

IV.3.2/ Etablissement du plan d'exposition aux risques naturels

De la commune de Constantine :

Le milieu naturel est constitué d'éléments composés et qui se compliment constituant ainsi un dynamisme qui apparaît sous diverses formes d'érosion et à différents degrés ; le tout dépend des caractéristiques du milieu naturel. Dans le territoire de la commune de Constantine, on peut distinguer deux types d'érosion :

Erosion en masse : représentée par les mouvements de masses : les glissements de terrain, les coulées de boue, les solifluxions et les éboulis de pente.

Erosion linéaire : il s'agit du ravinement et creusement qui cause la perte de sol par ruissellement (écoulement des eaux de surface) et sapement de berge, il apparaît sous forme de ravineaux (quelques centimètres), de ravines (quelques mètres) et de ravins (Plus de 2 ou 3m) dans certains cas (F. Rullan-Perchirin, 1985).

L'intensité ou l'acuité de chaque phénomène d'érosion diffère d'une région à l'autre et selon leur composants naturels; pour cela nous avons voulu, dans notre approche de cartographie, séparer ces composants, puis essayer de déterminer l'ampleur de la contribution de chaque facteur dans l'activation ou l'accélération de ces phénomènes, on trouve que les facteurs de pente, de lithologie, de couvert végétal et d'hydrologie, constituent entre eux les principaux facteurs à l'origine de divers processus géomorphologiques.

Pour déterminer le degré d'influence de chaque facteur, ainsi que la localisation des zones endommagées (zones à risque), nous avons adopté la méthode de superposition des cartes de facteurs d'instabilité proposée par P. Gueremy (1978) où nous avons pris la carte des formes actuelles d'érosion, comme document de base pour extraire les divers phénomènes, et ensuite la superposer sur les cartes des facteurs essentiels permettant l'activation des processus géomorphologiques. Mais la difficulté qui s'est posée c'est que ces deux phénomènes sont indissociables (mouvements de masse et érosion linéaire).

P. Gueremy (1978) expose son organigramme de l'élaboration du plan d'exposition aux risques naturels (Figure.VI.1) qui comporte trois étapes :

A/ Première étape :

Dans cette étape, les formes d'érosion sont divisées en deux (mouvement de masses et Ruissellement) et ensuite traitées suivant deux importants axes :

A.1/ Premier axe : On expose les effets des mouvements de masse. Il consiste à faire caler la carte des mouvements de masse avec les cartes des pentes, des linéaments, et la carte de couverture végétale (ou la carte d'occupation des sols dont on n'en dispose pas).

A.1.1/ Relation ou influence du facteur pente sur les des mouvements de masse:

a/ Carte des mouvements de masses :

Dans cette carte, on a divisé les mouvements de masses en trois catégories selon leur degré d'activité (Fig. VI.2) :

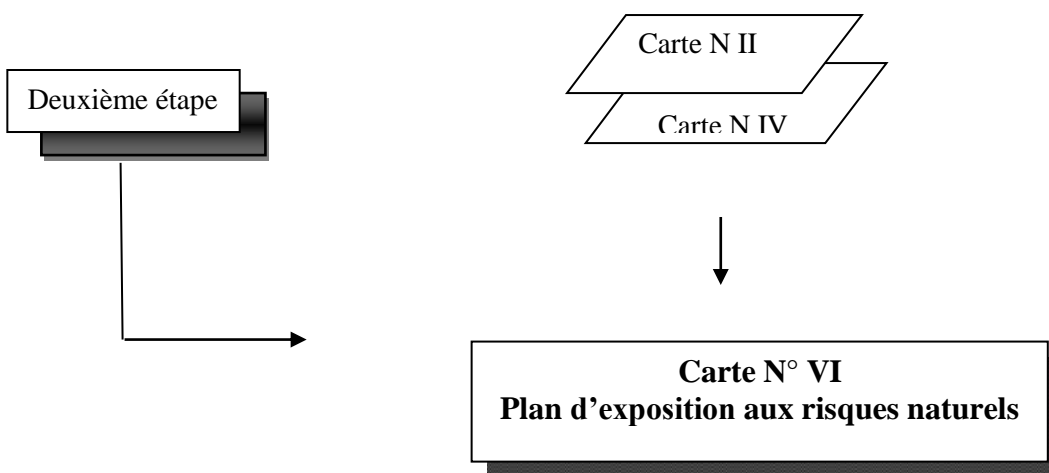
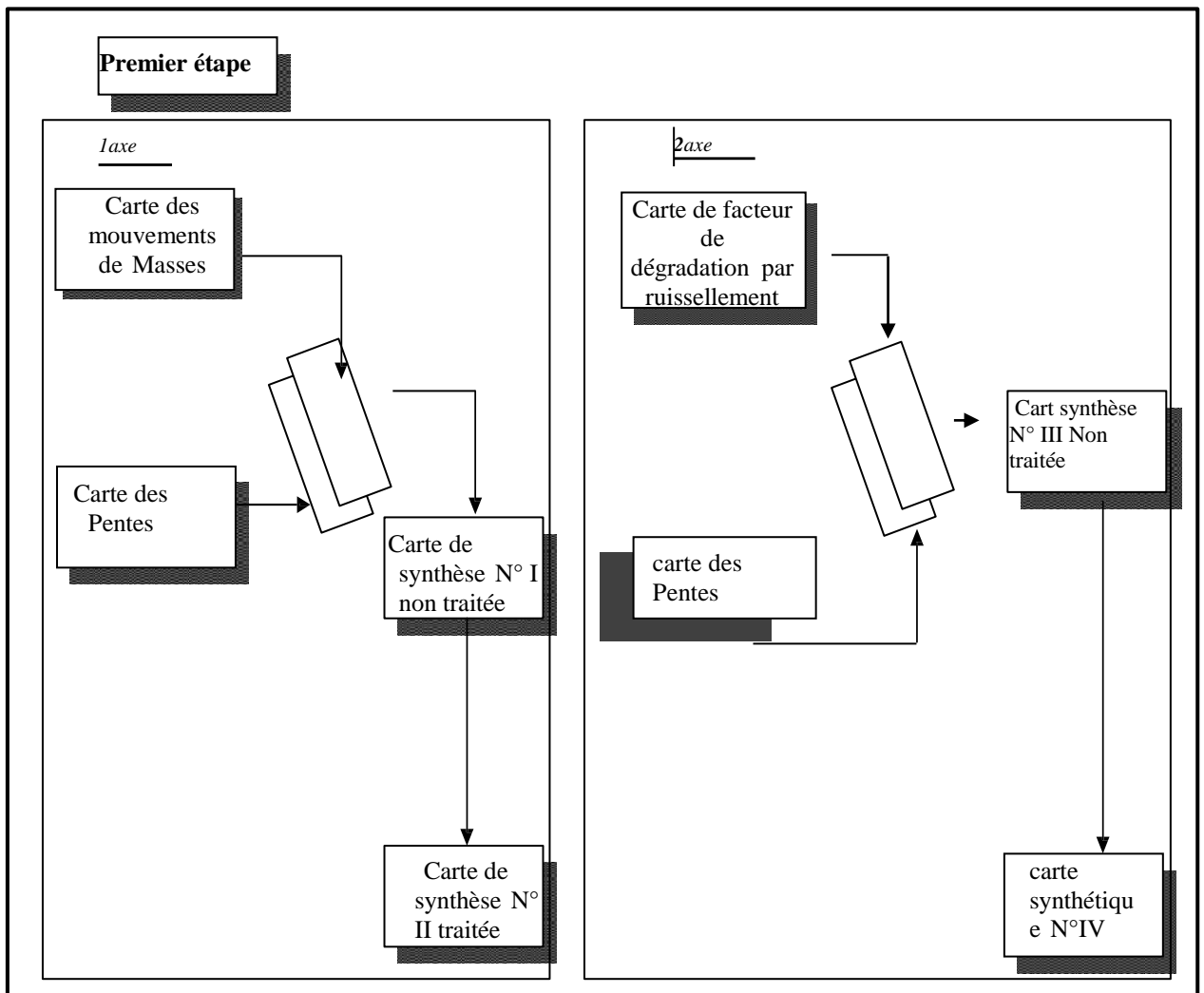
- **Catégorie I :** comporte les mouvements rapides tels que les glissements rotationnels, les glissements en planche, les coulées boueuses et les éboulis.
- **Catégorie II :** comporte les mouvements de masses lents ou à temps espacés (mouvements récurrents) et les solifluxions.
- **Catégorie III :** comporte les mouvements inactifs ou figés c'est-à-dire les mouvements hérités du Quaternaire.

Le degré de vulnérabilité ou d'endommagement s'évalue à partir de l'intersection des catégories des degrés d'activité des mouvements de masses avec les différentes classes de pentes (matrice A et B).

b/ Classes de pants:

- La première classe de 0 à 6%.
- La deuxième classe de 6 à 12%.
- La troisième classe de 12 à 25%.
- La quatrième classe plus de 25%.

Carte des formes d'érosion



FigIV.1 : Organigramme d'établissement du plan d'exposition aux risques naturels.

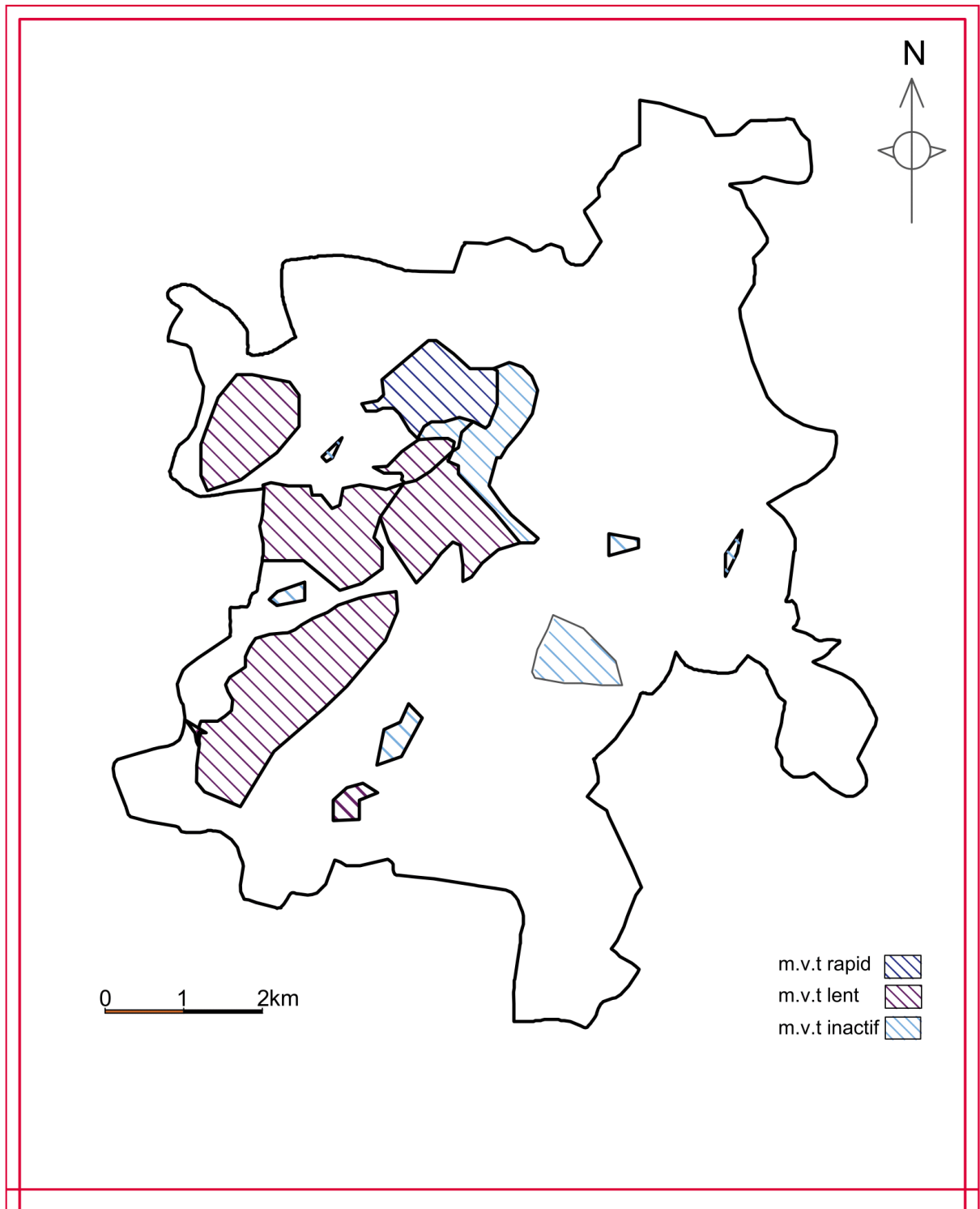


Figure IV.2: degré d'activité de mouvement de masse dans la ville de Constantine

c/ Processus de superposition :

Cette opération se traduit en calant la carte des mouvements de masses avec la carte des pentes, ainsi nous avons abouti aux résultats énoncés dans les deux matrices A et B (Figure.VI.3).

la matrice (A) est une matrice brute composée de quatre lignes et trois colonnes, elle montre les premiers résultats de l'intercalation, où les différentes catégories de mouvement de masses et de pente s'insèrent complètement, ainsi on en tire douze cas représentés sur la carte de synthèse N° I (Fig.VI.4). Toutefois, en cartographie ce nombre de cas est très grand et donc ne permet pas la comparaison, pour cela, on a simplifié ce nombre de groupe de catégorie en trois (3) groupes principaux mentionnés dans la matrice (B) et représentés sur la figure VI.5.


		Mouvement de masses		
		M0	M1	M2
Degré De Pentes	A			
	B			
	C			
	D			

		Mouvement de masses		
		M0	M1	M2
Degré De pentes	A			
	B			
	C			
	D			

Matrice A : Données brutes de la superposition

Matrice B : Résultats du traitement de la matrice A

 : Zones faiblement endommagées

 : Zones moyennement endommagées


 : Zones très endommagées

Figure IV.3 : Les matrices A et B représentent la relation pente-mouvements de masses

Ces trois groupes représentent les degrés de vulnérabilité et de sensibilité aux mouvements de masse selon la pente :

- Degré I : représente les terrains très sensibles et fortement vulnérables.
- Degré II : reflète les terrains moyennement sensibles et peu vulnérables.

Degré III : reflète les terrains stables à stabilité limite.

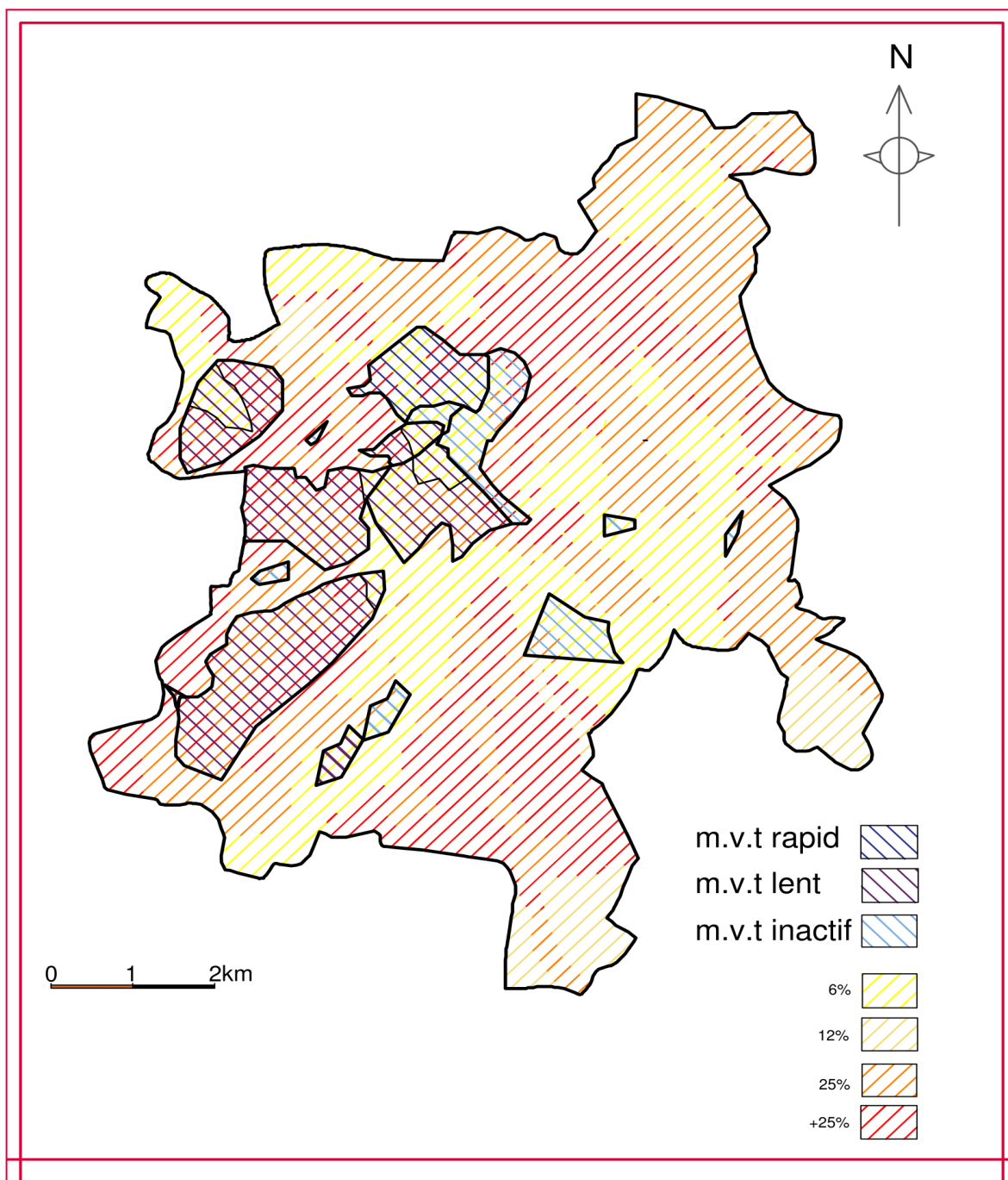
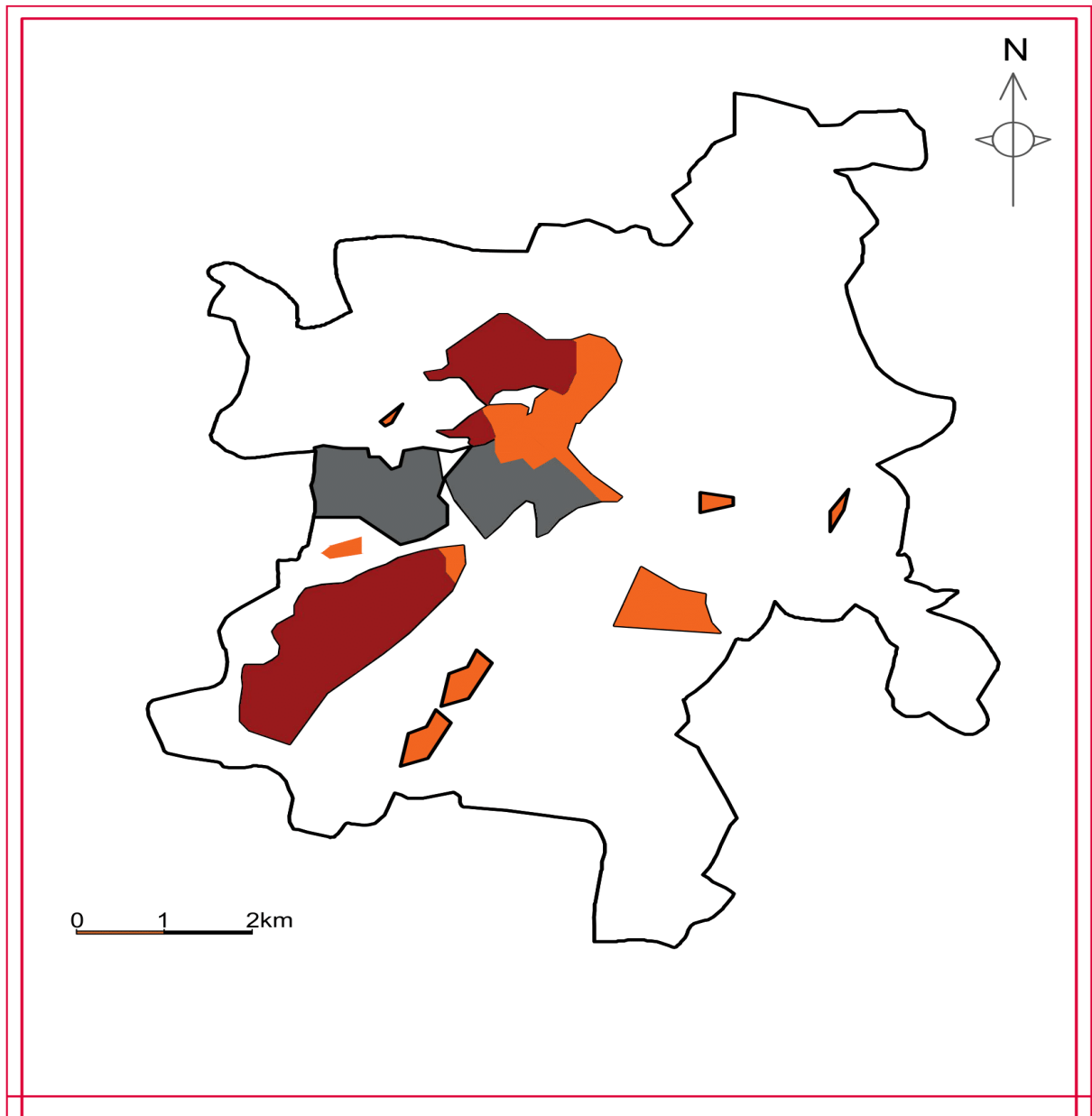




Fig. IV.4: Carte de synthèse N° 1 : Mouvement de masses selon la pente



 : Zones faiblement endommagées

 : Zones moyennement endommagées


 : Zones très endommagées

Figure.IV.5 : carte synthétique N° II : mouvements de masse selon la pente.

A.1.2 Résumé du premier Axe :

A partir de la carte synthétique N°2 (Fig.VI.5), on conclut que le territoire la commune de Constantine peut être classé en trois unités :

- **La première unité** : s'occupe une zone faiblement endommagée.
- **La deuxième unité** : elle représente une zone moyennement endommagée.
- **La troisième unité** : elle représente une zone très endommagée

A.2/ Deuxième Axe :

A.2.1/ détermination du coefficient de dégradation par ruissellements :

Dans cet axe, on va s'intéresser aux effets qui peuvent être causés par le ruissellement (écoulement de surface), il engendre la dégradation et la perte des terres et sols sous forme de ravinement et surcreusement.

Mais quand nous avons essayé d'analyser ce phénomène et sa relation avec d'autres facteurs comme la pente, nous avons constaté que le processus de superposition de ces facteurs ne donne pas des résultats fiables parce que le facteur pente influe d'une manière surfacique et le creusement influe sous forme linéaire.

Pour cela nous avons essayé de déterminer l'impact spatial de l'érosion linéaire par la manière suivante (*In P. Gueremy, 1978*) :

A - diviser le domaine communal en petits bassins hydrographiques ou sous bassins versants.

B - calculer la surface de chaque sous bassin pour estimer sur la quantité d'eau reçue.

C - calculer la longueur du réseau hydrographique dans chaque sous bassin, ce chevelu reflète l'étendue ou l'ampleur de l'activité du creusement linéaire.

D - calculer le coefficient de dégradation par ruissellement et ce par division de la longueur du réseau hydrographique sur la surface du sous bassin, ce facteur reflète la relation entre la quantité d'eau reçue par chaque sous bassin et l'intensité des cours d'eau.

Nous avons obtenu les résultats présentés dans le tableau (VI.1) et sur la figure VI.6 :

Categories	1	2	3
Surface (km ²)	12.64	20.32	27.67
Coefficient de dégradation	< 1	> 1 et < 2	> 2

Tableau.VI.1 : Valeurs du coefficient de dégradation par ruissellement.

Les résultats de ce tableau sont issus de l'équation $R = L_i / S_i$ où :

R: Coefficient de dégradation par ruissellement (écoulement).

L_i : Longueur du réseau hydrographique à l'intérieur de chaque bassin en km. S_i : La surface de chaque bassin versant en km².

Le but de cette opération est d'essayer de déterminer la sensibilité des sous bassins au ruissellement selon la surface de réception de chaque sous bassin, plus la surface de réception est grande plus augmente le débit dans les cours d'eau, cela constitue une énergie érosive des eaux surtout si elles sont soutenues par le gradient de pente, qui est le principal moteur de l'énergie cinématique des eaux.

En fin, nous avons procédé à la superposition de la carte des pentes avec la carte du coefficient dégradation par ruissellement (voir carte synthétique N° III, figure VI.7) et par conséquent nous pouvons identifier les zones vulnérables. Les résultats du calage sont présentés dans les matrices C et D (figure.VI.8) : la matrice (C) composée de trois (3) Colonnes et quatre (4) lignes constitue les premiers résultats (résultats bruts) du calage, elle contient douze (12) cas. La matrice (D) présente le résultat du traitement de la matrice (C) et exprime les degrés de vulnérabilité ou d'endommagement dû au ruissellement selon la pente où il a été en mesure d'identifier trois catégories :

- **Catégorie I** : comporte les zones peu ou faiblement vulnérables à quasi-stables.
- **Catégorie II** : représente les zones endommagées.
- **Catégorie III** : comporte les zones fortement vulnérables (gravement endommagées).

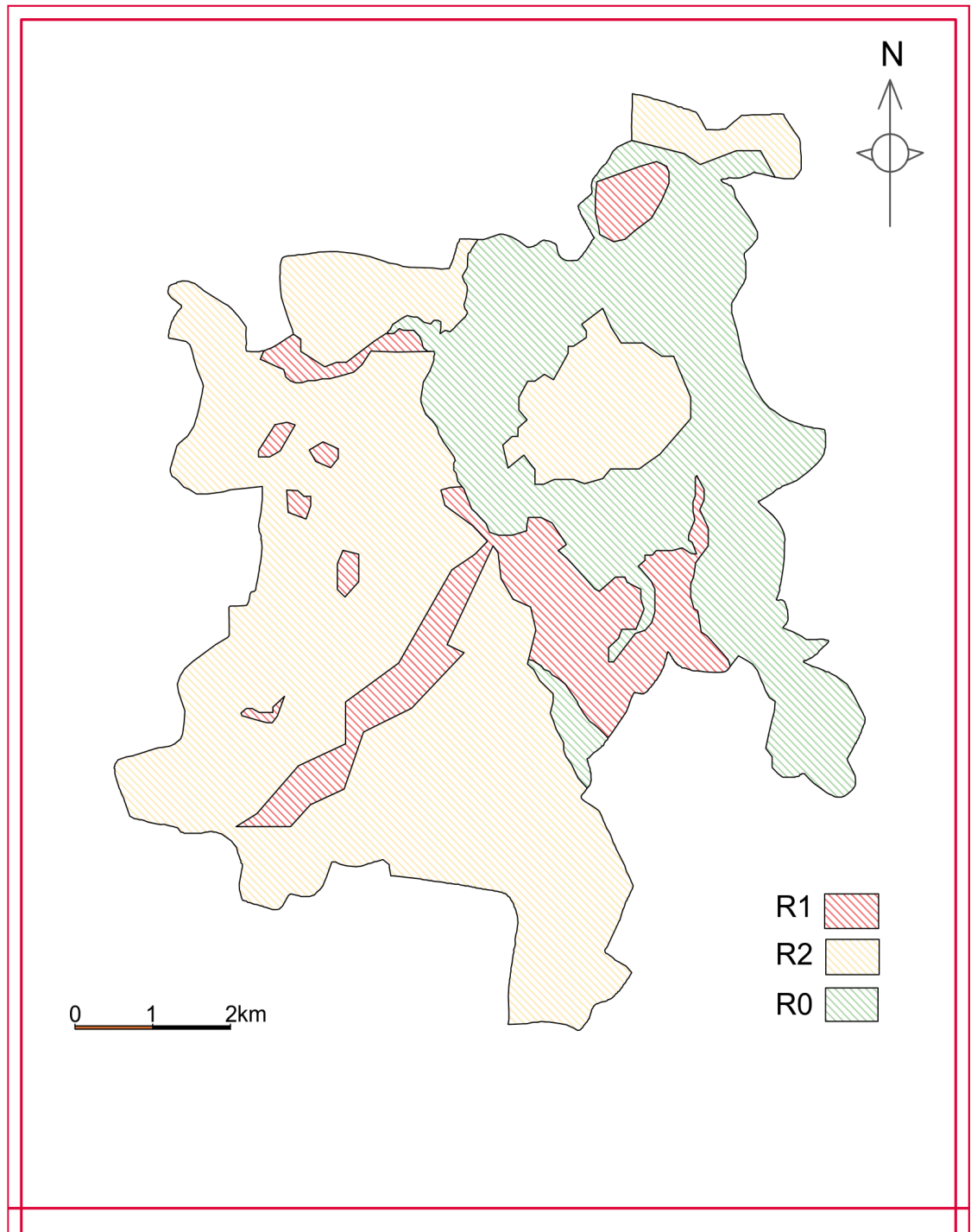
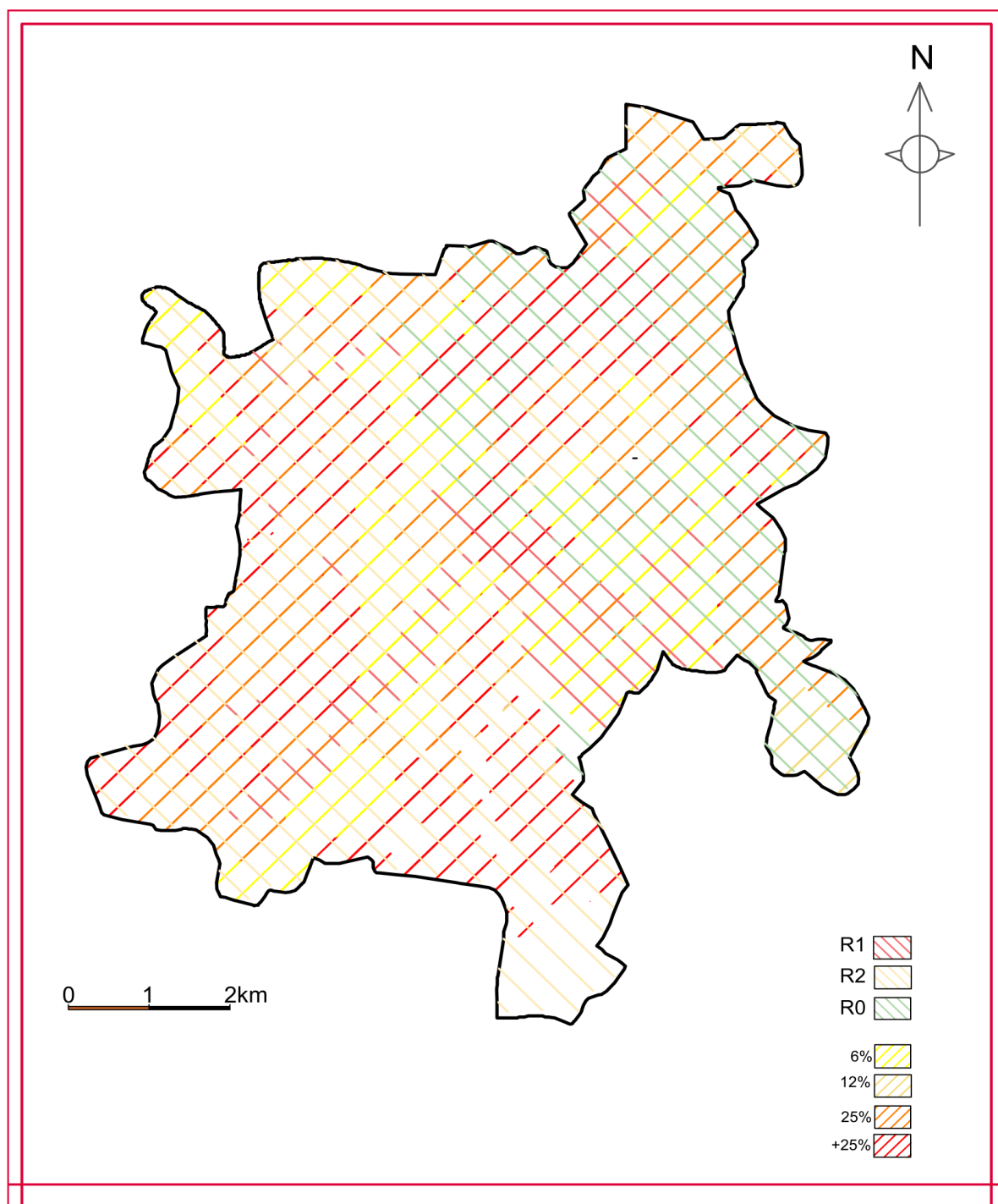
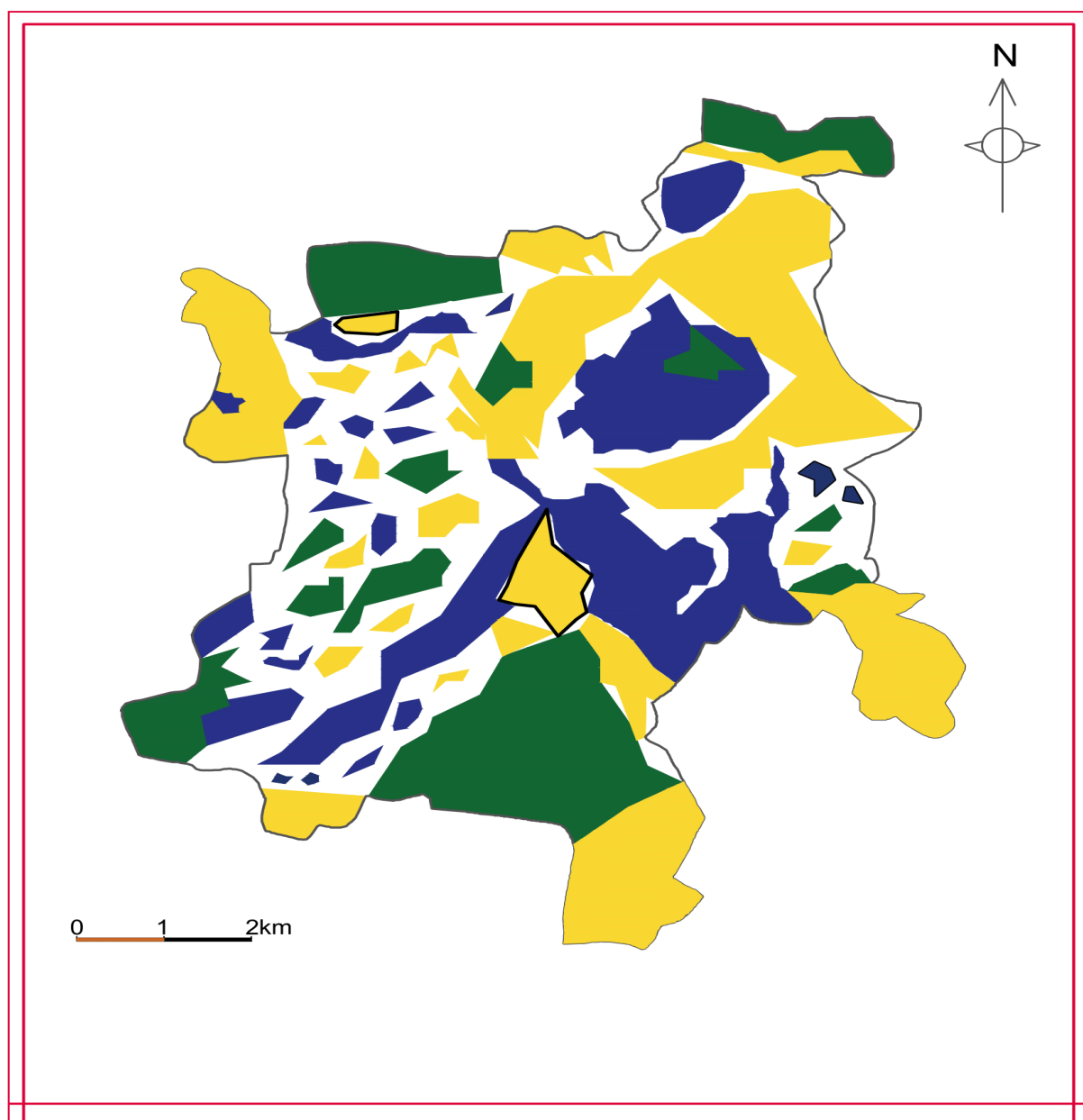



Figure IV.6. carte de facteur de dégradation par ruissellement



FigureIV.7 : ville de Constantine : carte synthétique N° III du ruissellement selon la pente.



 : Zones faiblement endommagées

 : Zones moyennement endommagées


 : Zones très endommagées

Fig.IV.9: carte synthétique N°IV: ruissellement et pente

	Coefficient de dégradation		
	R0	R1	R2
Degré De pentes			
A			
B			
C			
D			

	Coefficient de dégradation		
	R0	R1	R2
Degré De pentes			
A			
B			
C			
D			

Matrice C : Résultats préliminaires du calage

Matrice D : Résultats de traitement de la matrice



: Zones faiblement endommagées



: Zones moyennement endommagées



: Zones endommagées

Fig.IV.9 : les matrices C et D représentent la relation entre Les mouvements de mass ruissellement.

Les résultats de ce processus de calage sont représentés par la carte de synthèse N° IV (figure VI.9) par laquelle nous avons pu identifier les zones vulnérables (endommagées) à cause du ruissellement, autrement dit, les zones à forte concentration du chevelu hydrographique.

A.2.3/ Résumé du deuxième axe:

A partir de la carte de synthèse N° IV (figure VI.9), nous avons pu diviser le domaine de la commune de Constantine en trois unités de base :

- **La première unité** : c'est une zone endommagée à cause du ruissellement intense.
- **La deuxième unité** : est située dans la commune, elle est faiblement endommagée.
- **La troisième unité** : C'est une unité endommagée par le ruissellement.

B/ Deuxième étape : Superposition des cartes synthétiques N° II et IV :

		Ruissellent			
		0	1	2	3
Mvt De Masse	0				
	1				
	2				
	3				

	Haut risque
	Moyen risque
	Zone stable
	Risque d'inondation

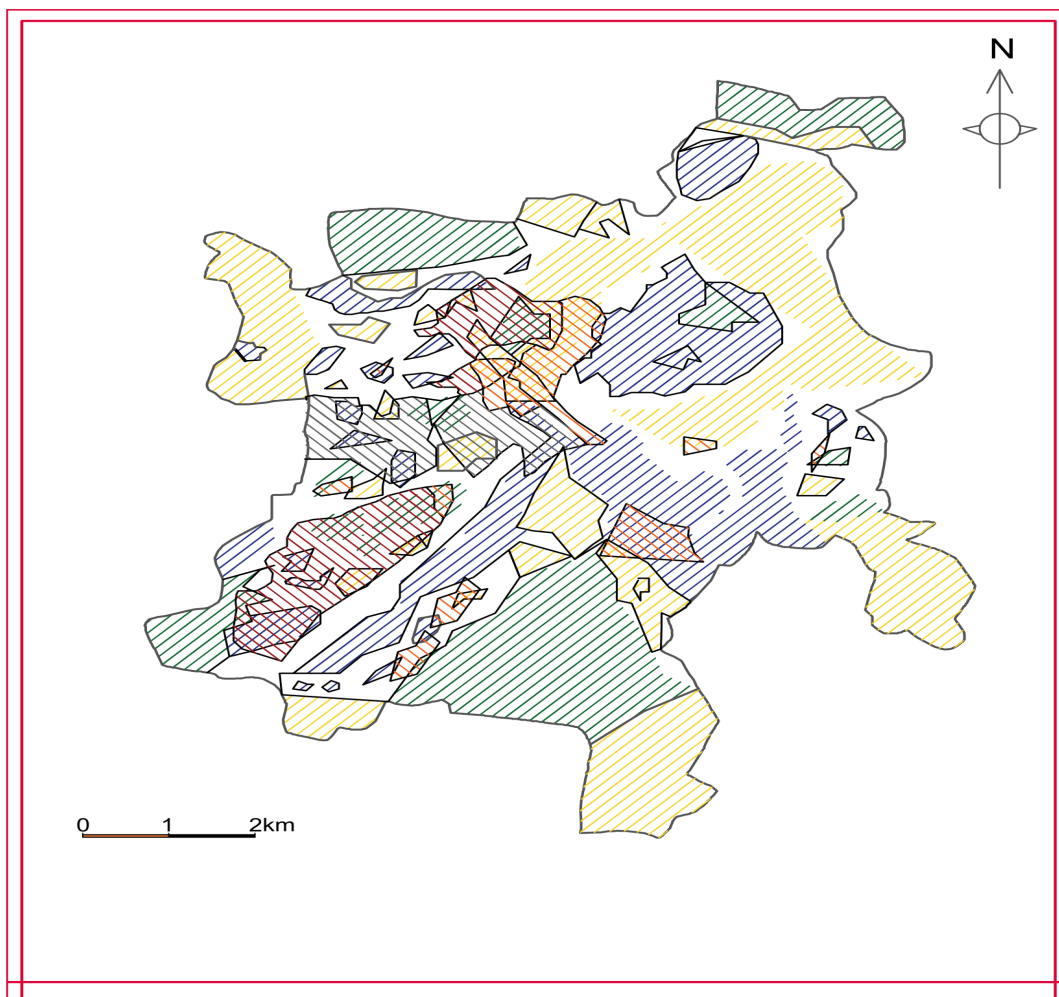


Figure IV.10: superposition de la carte synthétique II et synthétique IV

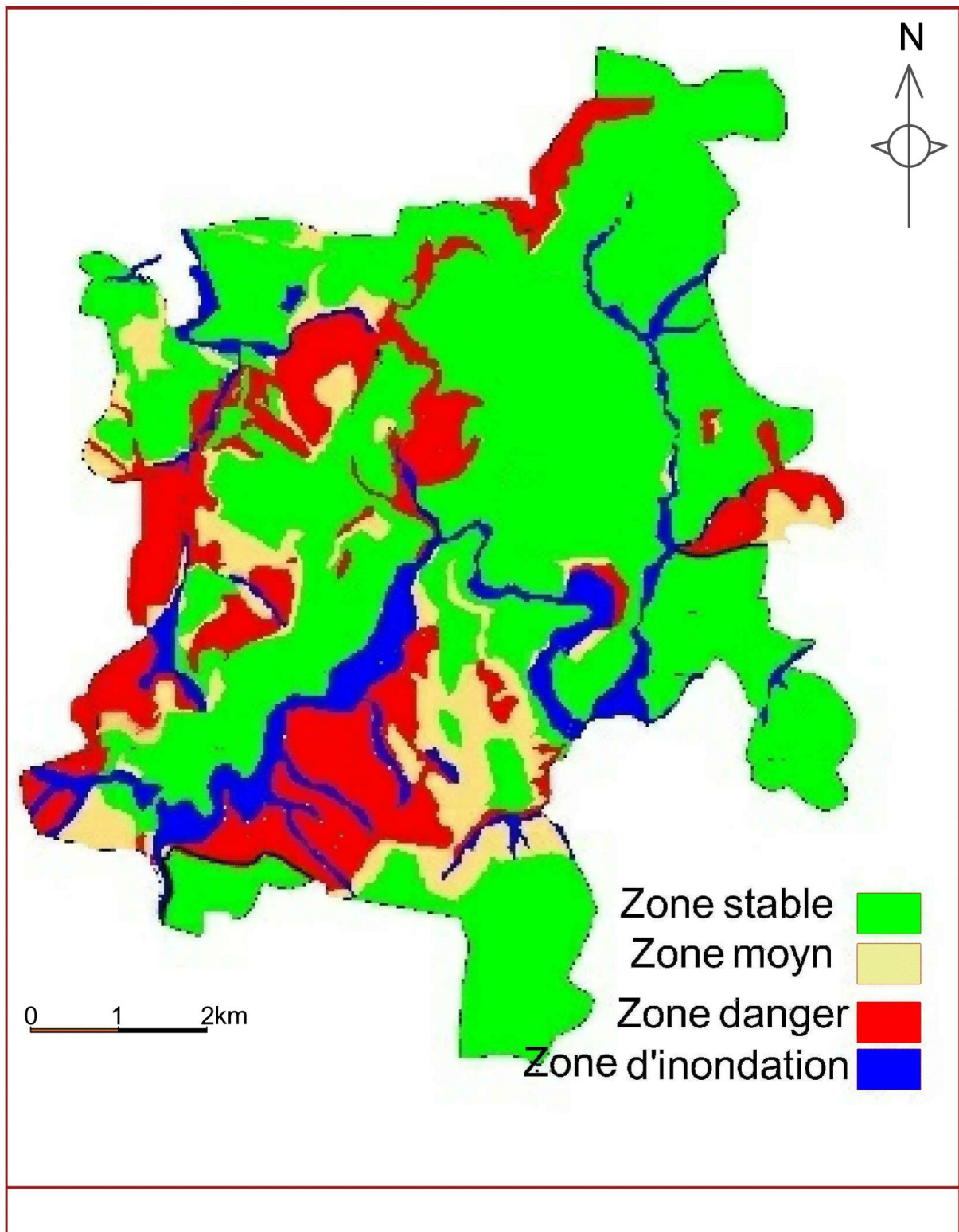


Figure IV.11: Carte N° IV
Plan d'exposition aux risques naturels

IV.4/ Conclusion :

A partir de la carte N° VI (figure VI.11) qui esquisse le Plan d'Exposition aux Risques naturels (PER) de la commune de Constantine, on remarque que ce domaine connaît de graves dégradations dans la commune à cause d'une intense activité de l'érosion, ce qui a reflété sur les terres agricoles dans les zones rurales où la diminution continue de ces terres.

Nous avons classé dans ce plan le territoire de la commune de Constantine en quatre catégories selon leur degré de risque :

Catégorie I : colorée en vert reflète les terrains stables avec une superficie de la superficie totale de la commune.

Catégorie II : présentée en beige et reflète les terrains ou les zones potentiellement instables (moyennement dangereuses) avec une superficie faible par rapport à la superficie totale de la commune de Constantine.

Catégorie III : figurée en rouge qui reflète les zones instables ou à risque élevé, occupant une superficie importante de la superficie totale de la commune de Constantine.

Catégorie VI : figurée en bleu foncé présente les zones d'inondation avec une superficie non négligeable par rapport à la superficie totale de la commune de Constantine.

Le phénomène des mouvements de masse constitue une barrière naturelle ceinturant la ville de Constantine contre l'urbanisation, rendant son extension limitée, et c'est pourquoi nous prévoyons d'établir le Plan d'Exposition aux Risques naturels qui met en lumière les degrés de gravité des risques et par lequel nous pouvons identifier les domaines réversibles, récupérables ou non récupérables, ainsi que des projections futures pour un usage utile des zones urbaines et rurales.

CONCLUSIONS GÉNÉRALES

L'étude effectuée dans ce mémoire nous a permis de tirer les conclusions suivantes :

1. la gestion des risques naturels par les mesure de protection et de prévention relatives soit a l'aléa soit a l'enjeu pour réduire au maximum leur effets désastreux est une nécessité primordiale , donc l'établissement d'une carte de risque qui donne consignes pour ces mesure est d'une grande importance .
2. la région de Constantine est marquée par une forte instabilité de ces terrains causes par des glissements.
3. la région présente une morphologie dont les pentes très raides représentent 40% de ses terrains, les pentes moyennement raides 36 et les pentes faible 24 des terrains.
4. le sol dans la région est touché par une dégradation du au ruissellement des eaux, un facteur de dégradation élevé (R supérieure 2) caractérise 40% des terrains et un facteur moyen (1 R 2) Touche 60%
5. le traitement de ces données nous a permis de :

I. Etablir une carte synthétique (Mouvement de masse -pente) dans la quelle on a combiné le degré de risque.

Adition avec l'état de la morphologie et suite a cela on divise la région en 3 zone :

- Zone fortement endommagée par le glissement.
- Zone moyennement endommagée par les glissements.
- Zone faiblement endommagée par les glissements.

II. Etablir une carte synthétique (Ruissèlement -Pente) dans la quelle on a

combinée la nature du mouvement constable (lent ou rapide) avec la morphologie de la région et on a divise la région en 3 zones

- Zone fortement endommagé par ruissellement
- Zone moyennement endommagé par ruissellement
- Et une zone faiblement endommagé ruissellement

III. Etablir une carte d'exposition aux risques en combinant les deux cartes synthétiques précédentes et selon cette combinaison on a divisé la région en 4 zones:

- haut risque
- Risque moyen
- Zone à risque d'inondation seule
- Zone stable

BIBLIOGRAPHIE

Ambraseys N.N. (1988). Engineering seismology. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 17, 1-105.

Bouhadad Y., Nour A., Laouami N., Belhai D., (2003). The Beni-Ourlilane-Tachaouaft fault and Seismotectonic aspects of the Babors region (NE of Algeria). *Journal of Seismology*, 7 (1) 79-88.

Cheddad S., (2009). Apport de l'étude hydrogéologique dans l'étude et le traitement des glissements de terrains. Cas du site de Bougaa, Algérie Nord orientale. *Mémoire de Magister en Géologie, Université de Constantine*, 112 p.

Durville J.L., Sève G., (1996). Stabilité des pentes, glissements en terrain meuble. *Techniques de l'Ingénieur*, 17 p.

Harbi A., Maouche S. (2009). Les principaux séismes du Nord-Est de l'Algérie. *Mémoires du Service Géologique National, Alger*, 81 p.

BOUILLIN J P., 1986: *Le bassin maghrébin une ancienne limite entre l'Europe et l'Afrique à l'Ouest des Alpes.* Bull. Soc. Géol. Fr., (8), t. II, n° 4, pp. 547-558.

CHADI M., 1991: *Etude géologique de monts de Ain Mlila (Algérie orientale).* Thèse de Doctorat de l'Université de Nancy1, 191p

CHEBANCE M., 2001: "Les méthodologies d'évaluation de l'aléa sismique, période 1995-2001". Ecole Nationale Supérieure Université Des Sciences de l'Information Claude Bernard et des Bibliothèques & Université Claude Bernard. Lyon 1.

COIFFAIT P E., 1992: *Un bassin post-nappe dans son cadre structural l'exemple du bassin de Constantine (Algérie Nord Orientale).* Thèse Sciences. Nancy I.P.502.

DeMETS, C., GORDON, R.G., ARGUS, D.F., et STEIN, S., 1994: Effect of recent revisions to the geomagnetic reversal time scale on estimates of current plate motions: *Geophysical Research Letters*, v. 21, p. 2191-2194.

DURAND DELGA M., 1955 : Etude géologique de l'Ouest de la chaîne Numidique. Publ. serv. Carte géol. Algérie, Bull. n° 24, 533 p., 143 fig., 16 pl., 10 pl.h.t.

DURAND DELGA M., 1969 : Mise au point sur la structure du Nord-Est de la Berbérie. Publ. Serv. Carte géol. Algérie, N. S., Bull. n°39, pp 89-131, 9 fig.

DURAND-DELGA M., 1980 : La Méditerranée occidentale: étapes de sa genèse et problèmes structuraux liés à celle-ci. *Mém. h. s. Soc. Géol. Fr.*, n°10, pp 203-224, 7 fig.

FARAH A S., 1991 : Etude du comportement hydro chimique d'un Oued en zone méditerranéenne semi-aride d'Afrique du Nord et de ses causes naturelles et anthropiques: l'Oued Rhumel, Constantinois Algérie. Thèse de Doctorat. Université d'Orléans. France.

GARDNER, J.K., KNOPOFF, L., 1974: Is the sequence of earthquake in Southern California, with aftershocks removed, poissonian?. Bull. Seismol. Soc. Am. 64, 1363-1367.

Rullan-Perchirin, F., (1985) : *Recherches sur l'érosion dans quelques bassins du Constantinois (Algérie)*. Thèse 3ème cycle, Univ. Paris I, 356 p.

Slosson, J.E., (1992) : *Landslides / landslide mitigation, Colorado*. The Geological Society of America, 120 p.

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DE L'EST (LTPE) : Archives d'étudesols de la ville de Constantine (Période 1970-2009).**LABORATOIRE NATIONAL**

DE L'HABITAT ET DE LA CONSTRUCTION (LNHC) : Archives des études de sols de la ville de Constantine (Période 1970-2009).

MC KENZIE, D., 1972 : Active tectonics of the Mediterranean region : Geophysical journal of the royal astronomical society, V., 30, P 109-185.

ROUSSEL, J. 1974 : Note sur le séisme de Mansoura (Biban) du 24 novembre 1973. Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. Nord. Alger, t. 65, fasc. 1 et 2.

RAOULT J F., 1969 : Nouvelles données sur les flyschs du Nord du Kef Sidi Dris et dans la zone du Col des Oliviers (Nord du Constantinois, Algérie) Bull. Soc. Géol. Fr., (7), t, XI, pp 516-543.

VILA J M., 1974 : Le Rocher de Constantine, stratigraphie, microfaunes et position structurale Bull. Soc. Hist. Nat. Afr-nord, 65.fasc 1-2. Ppp385-392.Alger.

VILA J M., 1977 : Carte de l'Algerie au 1/200 000, feuille de Constantine (P-Q 34),. Publ. Comm. Serv. Carte Geol, Algérie/SONATRACH.

VILA J M., 1980 : La chaine alpine d'Algerie orientale et des confins algéro-tunisiens. Thèse

sci. Univ. Paris VI.665p.**VOUTE C., 1967** : Essai de synthèse de l'histoire géologique des environs d'Ain Fakroun.