

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE UNIVERSITE FRÈRES MENTOURI - CONSTANTINE 1 -
FACULTÉ DES SCIENCES DE LA TERRE, DE LA GÉOGRAPHIE
ET DE L'AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE
DEPARTEMENT DE L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE

N° d'Ordre :

N° de Série :



THÈSE DE DOCTORAT EN SCIENCES
SPÉCIALITÉ : AMENAGEMENT DU TERRITOIRE
OPTION : AMENAGEMENT DES MILIEUX PHYSIQUES

THÈME
LA VULNERABILITÉ FACE AUX RISQUES NATURELS
ETUDE DE CAS LA VILLE DE CONSTANTINE

Présentée par :

MEZHOUD Lamia

Soutenue le : 10 Juillet 2021

Devant le jury composé de :

| | | |
|----------------------------------|--------------------|--|
| Mr LAYEB Hafid | Président | Professeur, Université Frères Mentouri, Constantine 1 |
| Mr BENZAOUZ Mohamed Tahar | Directeur | Professeur, Université Frères Mentouri, Constantine 1 |
| Mr BOURFIS Ahcene | Examinateur | Professeur, Université Frères Mentouri, Constantine 1 |
| Mr BENABBAS Chaouki | Examinateur | Professeur, Université Salah Boubnider, Constantine 3 |
| Mr KHIARI Abdelkader | Examinateur | Professeur, Université Larbi Ben M'hidi, Oum El Bouaghi |
| Mr DJABRI Larbi | Examinateur | Professeur, Université Badji Mokhtar, Annaba |

Année universitaire
2020-2021

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE UNIVERSITE FRÈRES MENTOURI - CONSTANTINE 1 -
FACULTÉ DES SCIENCES DE LA TERRE, DE LA GÉOGRAPHIE
ET DE L'AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE
DEPARTEMENT DE L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE

N° d'Ordre :

N° de Série :



THÈSE DE DOCTORAT EN SCIENCES
SPÉCIALITÉ : AMENAGEMENT DU TERRITOIRE
OPTION : AMENAGEMENT DES MILIEUX PHYSIQUES

THÈME

LA VULNERABILITÉ FACE AUX RISQUES NATURELS ETUDE DE CAS LA VILLE DE CONSTANTINE

Présentée par :

MEZHOUD Lamia

Soutenue le : 10 Juillet 2021

Devant le jury composé de :

| | | |
|---------------------------|-----------|---|
| Mr LAYEB Hafid | Président | Professeur, Université Frères Mentouri, Constantine 1 |
| Mr BENZAOUZ Mohamed Tahar | Directeur | Professeur, Université Frères Mentouri, Constantine 1 |
| Mr BOURFIS Ahcene | Examineur | Professeur, Université Frères Mentouri, Constantine 1 |
| Mr BENABBAS Chaouki | Examineur | Professeur, Université Salah Boubnider, Constantine 3 |
| Mr KHIARI Abdelkader | Examineur | Professeur, Université Larbi Ben M'hidi, Oum El Bouaghi |
| Mr DJABRI Larbi | Examineur | Professeur, Université Badji Mokhtar, Annaba |

Année universitaire
2020-2021

DÉDICACES

A LA MÉMOIRE DE MON PÈRE

MEZHOUD BADREDDINE

ET

A MA MÈRE

REMERCIEMENTS

À mon directeur de thèse, le Professeur BENAZZOUZ Mohamed Tahar pour avoir accepté de diriger mon travail de recherche pour ses conseils.

Je remercie sincèrement les professeurs LAYEB Hafid et BOURFIS Ahcene de l'université Frères Mentouri de Constantine1, DJABRI Larbi de l'université Badji Mokhtar d'Annaba, KHIARI Abdelkader de l'université Larbi Ben M'hidi d'Oum El Bouaghi, BENABBAS Chaouki de l'Université Salah Bounider Constantine 3, pour avoir consenti à faire partie du jury de cette thèse.

Je suis reconnaissante envers toutes les personnes avec lesquelles, j'ai étroitement collaboré et qui m'ont fait part de toutes les études dont ils disposaient au niveau du DUC,CTC, l'URBACO, la protection civile et de l'ONS.

À toutes les personnes que j'ai eu la chance de rencontrer grâce à cette expérience professionnelle mais avant tout humaine, et qui même sans avoir contribué directement à la réalisation de ce travail, ont été très importantes pour moi.

Qu'elles reçoivent maintenant, tous remerciements les plus sincères et qu'elles retrouvent ici l'expression de ma reconnaissance.

Sommaire

| | |
|-----------------------------|-----|
| DÉDICACES..... | i |
| REMERCIEMENTS..... | ii |
| SOMMAIRE..... | iii |
| INTRODUCTION GENERALE | 1 |

PREMIERE PARTIE : LES ALEAS NATURELS A CONSTANTINE FACE A UN MILIEU PHYSIQUE DIFFICILE

| | |
|--|------------|
| Introduction de la première partie..... | 14 |
| Chapitre 1 : Les caractéristiques physiques de la ville de Constantine | 16 |
| Chapitre 2 : Constantine face à l'occurrence des glissements de terrain | 44 |
| Conclusion de la première partie..... | 131 |

DEUXIEME PARTIE:IDENTIFICATION DES ELEMENTS DU RISQUE GLISSEMENTS DE TERRAIN DANS LA VILLE DE CONSTANTINE

| | |
|--|------------|
| Introduction de la deuxième partie..... | 132 |
| Chapitre 3 : La difficulté de l'urbanisation, l'attractivité de la ville et l'évolution de la population..... | 133 |
| Chapitre 4 : Analyse de la vulnérabilité structurelle à travers les sites exposés aux glissements de terrain | 153 |
| Chapitre 5 : Essais de cartographie appliquée aux risques glissements de terrain | 182 |
| Conclusion de la deuxième partie..... | 235 |

TROISIEME PARTIE : LA GESTION DES RISQUES DES GLISSEMENTS DE TERRAIN A CONSTANTINE

| | |
|--|------------|
| Introduction de la troisième partie..... | 236 |
| Chapitre 6 : Les techniques de confortement des sites instables appliquées à la ville de Constantine | 237 |
| Chapitre 7 : Acteurs et politiques de gestion des risques naturels en Algérie..... | 262 |
| Chapitre 8 : Quelle perception des risques naturels à Constantine ?..... | 275 |
| Conclusion de la troisième partie | 288 |

| | |
|-----------------------------------|-----|
| CONCLUSION GENERALE..... | 290 |
| REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES | 293 |
| ANNEXES..... | 301 |
| TABLE DES MATIERES | 324 |
| LISTE DES ABREVIATIONS | 330 |
| LISTE DES CARTES | 331 |
| LISTE DES FIGURES..... | 332 |
| LISTE DES TABLEAUX..... | 335 |
| LISTE DES PHOTOS..... | 338 |
| LISTE DES ANNEXES | 339 |
| RESUMÉ | |
| ملخص | |
| ABSTRACT | |

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Depuis des décennies la question des risques naturels, interpellent les problématiques urbaines l'évaluation et la gestion de ces risques sont devenues un enjeu mondial, dépasse largement les limites des pays.

Par leur soudaineté et leur imprévisibilité les risques apparaissent comme des événements étrangers à la volonté de l'homme avec des effets induits très spectaculaires, cette situation a convaincu les hommes de la nécessité d'une véritable solidarité internationale matière de lutte contre les risques naturels, c'est dans cette optique que la décennie (1991-2000) a été proclamée « *la décennie internationale des catastrophes naturelles* ».

Le rapport de l'Organisation Météorologique Mondiale publié en 1997, de tous les risques qui menacent l'humanité, les plus graves sont les risques naturels dont environ 70% sont provoqués par des phénomènes géologiques et les facteurs anthropiques.

Malgré les différents sommets sur les catastrophes et les risques, incitant les différentes nations plus particulièrement leurs autorités à prendre conscience des phénomènes naturels créateurs de dommages, l'exposition des populations urbaines aux catastrophes et risques prend de l'ampleur en raison de la croissance démographique et d'une urbanisation mal planifiée.

L'Algérie est exposée à plusieurs risques naturels importants, quoi que leurs violences et leurs conséquences ne soient heureusement pas toujours catastrophiques, de nombreux séismes se sont produits, ces événements sismiques touchent en particulier la partie nord du pays où résident du pays où résident près de 90 % de la population total.

Depuis l'indépendance les villes algériennes ont connues une profonde mutation socio-territoriale, qui s'exprime par une urbanisation massive et un accroissement corollaire de la mobilité quotidienne des personnes, une telle croissance urbaine issue d'une forte croissance démographique et d'un important exode rural, se traduit par une consommation d'espace sans précédent. Cette extension urbaine s'est traduite par l'occupation des zones dangereuses : les lits majeurs des cours d'eaux, les versants instables ...etc.

La vulnérabilité de nos villes face aux différents aléas, s'est accentuée en raison notamment de la concentration urbaine qui s'est développée de manière souvent anarchique et à proximité des terrains vulnérables, ce qui nécessite une gestion de crise adéquate.

Les villes Algériennes ont été interpellées par l'ampleur des dégâts humains, économiques et environnementaux provoqués par les catastrophes naturelles.

Les événements les plus médiatisés : les séismes d'El Asnam en 1980 de Boumerdès en 2003, les inondations de Bab El Oued en 2001, de Ghardia en 2008 et de Béchar d'août en 2015 montrent la vulnérabilité de nos villes face aux événements de catastrophes.

Le rapport du Conseil National Economique et Social et du Ministère de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement en 2003 confirme que les glissements de terrains menacent et affectent plusieurs villes Algériennes. A ce propos dès la décennie (1970-1980), plusieurs cas de glissements de terrain étaient recensés de manière régulière à travers plusieurs villes algériennes tels que : Bejaia, Skikda, Constantine, Oran, Tizi Ouzou, Bougaa, Azazga et Mila...etc.

Constantine est caractérisée par la fréquence des zones instables, qui affectent dangereusement plusieurs quartiers exposés aux glissements de terrain, le caractère imprévisible et violent de ces mouvements représentait un danger pour la vie humaine et les biens.

Ce travail porte sur l'apport de l'aléa et de la vulnérabilité dans l'estimation et la cartographie des risques liés aux aléas de glissements de terrain à Constantine, ce thème de recherche été l'un des axes de recherche dans le programme national de recherche PNR (2010-2013)¹.

CONCEPTS ET NOTIONS

a-Risque

Un risque peut être défini comme la probabilité d'occurrence de dommage compte tenu des interactions entre facteurs d'endommagement aléas et facteurs de vulnérabilité. Cette vision tente d'établir une liaison entre les aspects physiques et humains du risque, ainsi de faire un pont entre les méthodes quantitatives et qualitatives.

A Dauphiné (2001), souligne « *qu'il s'agit d'une notion complexe et composite, en reprenant la formule classique, il définit le risque comme fonction d'aléa et d'une vulnérabilité, deux composantes difficiles à cerner. Il précise que si le risque mathématique est un concept parfaitement défini, il n'en va de même si ce dernier est inégalement perçu, influencé, par les médias ce qui suscite un débat sur son seuil d'acceptabilité* ».

Quand à Robert d'Ercole (1994), définit quant à lui le risque de la manière suivante :

« Le risque constitue une probabilité : la possibilité de survenue d'un événement à l'origine de conséquences. Dans certains cas, cette possibilité ou potentialité peut être traduite en probabilités, le risque réunit donc deux acceptions : une probabilité et des conséquences négatives qui sont le plus souvent considérées dans les analyses de risque transposé à l'espace, le risque est la probabilité pour un élément donné d'être affecté par un phénomène donnée et d'en subir des conséquences, ces données dépendent à la fois de la nature, de l'intensité et de l'extension du phénomène, des valeurs que l'on attribue à l'élément exposé, de ses vulnérabilités de la capacité du groupe humain concerné à affronter le phénomène »

¹ PNR : Programme National de Recherche n°5 : « La vulnérabilité de la ville de Constantine face aux risques naturels » sous la direction du professeur Benazzouz Mohamed Tahar, Laboratoire d'aménagement du territoire LAT, Université Constantine 1, CRAAG.

Il ajoute que : « le risque est le produit d'un aléa donné évalué par sa probabilité d'occurrence et sa capacité destructrice efficacité et des dommages que cet aléa susceptible d'occasionner en un lieu donné ».

Le risque est le produit de l'aléa par la vulnérabilité (Fig.1), cette équation montre qu'un même risque peut correspondre à un aléa fort et une vulnérabilité faible, un aléa moyen et une vulnérabilité moyenne, ou un aléa faible et une vulnérabilité forte.

En effet, un séisme de magnitude 7,7 n'est qu'un risque mineur dans le désert alors qu'il devient un des cataclysmes majeurs de ces 100 dernières années lorsqu'il se produit dans une région densément peuplée. Un risque se caractérise selon deux composantes la probabilité d'occurrence d'un événement donné et la gravité des effets ou conséquences de l'événement supposé pouvoir se produire.

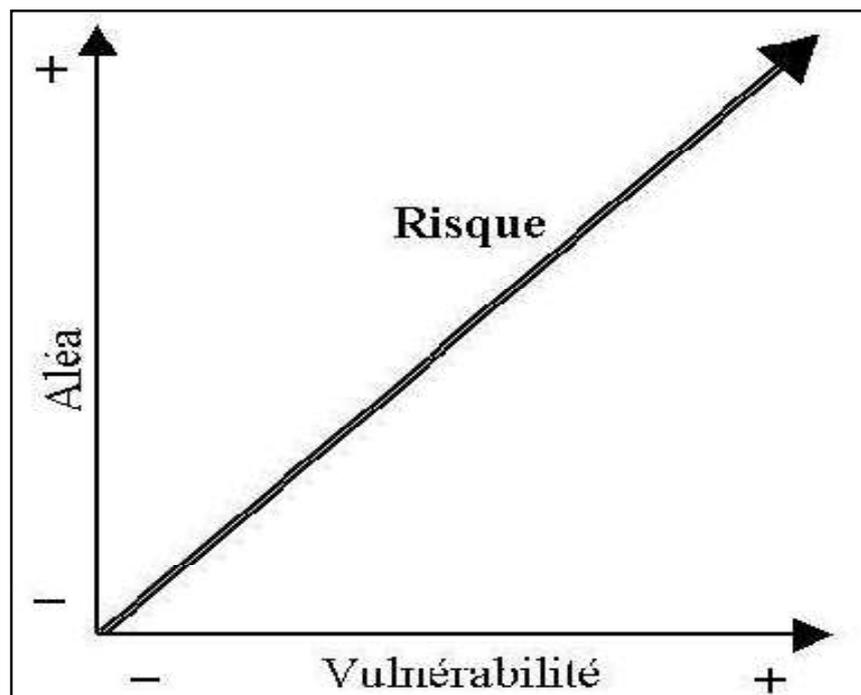


Figure n°1 : Représentation du risque en fonction de l'aléa et de la vulnérabilité
(Thouret, 1994)

En d'autre terme le risque est la conjonction d'une menace potentielle, l'aléa, et de l'exposition d'enjeux vulnérables.

Pour P.Pigeon (2002), considère pour sa part que le risque est la : « *probabilité d'occurrence de dommage compte tenu des interactions entre processus physiques d'endommagement (aléas) et facteurs de peuplement (vulnérabilité), les interactions conditionnent l'endommagement, comme les mesures préventives ou correctives qui cherchent à le gérer, et qui sont spatialement observables* ». Dans ce sens, l'institut des risques majeurs IRMA², définit le risque comme le résultat d'une combinaison entre un aléa et une vulnérabilité.

$$R=F (A\times V)$$

d'où F une fonction considérée comme une production par Dauphiné (2001), et une combinaison par IRMA ou un croisement MEDD³ et Metltman (1991) est une relation qui dépend du problème analysé. Ces différences de définition de la fonction reliant aléa et vulnérabilité sont dues à des approches disciplinaires à des outils d'analyses des risques variés.

Le risque, un composé d'aléa et de vulnérabilité, il est le produit d'un aléa complexe par une vulnérabilité analytique synthétique, il est une notion en général mal définie, la plupart des experts proposent l'équation suivante :

$$R=A\times V$$

Cette équation montre qu'un même risque peut correspondre à un aléa fort et une vulnérabilité faible, un aléa moyen et une vulnérabilité élevée, donc il est préférable de définir le risque d'une façon plus générale.

D'autres facteurs entrent en jeu Mischin et Richement (2003), souligne que le risque possède également une dimension temporelle il est également et nécessairement caractérisé par une dimension spatiale qu'il faut prendre en compte :

$$R= F (A (t .s).V (t.s))$$

R : risque

A : aléa

V : vulnérabilité

t : temps

s : l'espace

²: IRMA : L'institut des Risques Majeurs

³: MEDD : Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable Français

D'autres définitions mettent en exergue les interactions entre l'homme et l'environnement physique, à titre d'exemple, dans le dictionnaire de la géographie humaine (Charvet 2003), *« le risque est lié à des phénomènes physiques subis par les Sociétés humaines »*.

Dans cette optique la notion de l'aléa est associée à l'événement naturel (séisme, inondation ...etc) et celle de la vulnérabilité de la société humaine, alors que, pour Y Veyret (2004) : *« le risque est perçue comme un objet social complexe construit par des interactions multiples entre nature et société »*.

En guise des résultats, une définition univoque et officielle du risque n'existe pas, le mot risque est accompagné d'une multitude de termes plus au moins techniques : danger, aléas, vulnérabilités, catastrophes,...etc.

On constate, ainsi que la définition d'un vocabulaire du risque ne peut pas être figée, puisque le risque est par sa nature même, est un phénomène évolutif, soumis à une forte variabilité dans le temps et dans l'espace.

Le risque naturel est ainsi le fruit véreux du hasard et de la nécessité sa part hasardeuse, l'aléa résulte de l'éventualité incertaine aléatoire, mais plus ou moins probable, plus ou moins prévisible et plus au moins imminente dans un certain site, d'un événement intempestif voire paroxystique lors d'une phase néanmoins normale du cours d'un phénomène naturel, sa part nécessaire, la vulnérabilité, résulte de la présence dans le site exposé d'aménagements et d'ouvrages humains, auxquels l'événement peut causer des dommages plus au moins graves.

Le risque naturel c'est le risque que ressent, perçoit et subit un groupe social ou un individu soumis à l'action possible d'un processus physique d'un aléa.

Il est donc toujours lié à la présence humaine dans un site exposé, et une présence entraîne toujours l'existence d'un tel risque, car aucun site n'est inerte, il est le théâtre de phénomènes naturels nombreux dont certains produisent des événements dangereux.

Les risques naturels résultent d'un croisement des causalités naturelles et sociales, elles sont l'expression de la complexité des territoires et des sociétés, de leur évolution, de leur rapport au milieu naturel, ce qui entraîne à une accumulation des causes, dont les phénomènes s'amplifient ou s'atténuent conduit à une production du risque.

D'autres risques peuvent résulter d'aléas dont l'efficacité est accrue par les activités humaines et les aménagements : les incendies, les pollutions, la désertification.

Les risques naturels se traduisent par la combinaison entre l'aléa qui est le phénomène naturel potentiel et la vulnérabilité des éléments exposés à ce phénomène, liée à la présence anthropique (Alexander,2005).

Le risque « glissement de terrain » est lié à la fois à la présence d'un événement ou aléa qui est la manifestation d'un phénomène naturel hydro géomorphologique et également à l'existence d'enjeux multiples. (Maquaire et al, 2006).

Les évaluations de risque « glissement de terrain », sont très souvent qualitatives ou semi qualitatives n'intégrant pas les changements d'échelles ni les variations temporelles, ceci est principalement dû au manque d'études sur la vulnérabilité (Glade , 2003), il précise que ce manque d'études est notamment lié à la diversité des processus et à l'absence d'informations historiques sur les dommages.

b-Aléa naturel

Un aléa naturel est un phénomène qui se produit dans la biosphère susceptible de faire différent dégâts pour un aléa naturel, on peut estimer la probabilité d'occurrence, ou la fréquence statistique sur la base de son intensité potentielle.

L'aléa est un processus physique facteur de dommage, il représente la probabilité d'occurrence d'un phénomène» (Dauphine2001)

C'est le phénomène naturel qui est susceptible de se produire sur n'importe quel site (plateau montagne,...etc.) par exemple les glissements de terrain, séisme, l'inondation, l'érosion... etc.

On définit par aléa naturel tout phénomène d'origine naturelle potentiellement dommageable les principaux aléas naturels se partagent entre deux grandes catégories, elles sont soit hydroclimatiques tels que les inondations et les cyclones, soit morphodynamiques liées à la géodynamique interne et externe de la terre, tels que les aléas géologiques (séismes) et les glissements de terrain.

Les aléas géologiques se définissent comme étant, processus ou phénomène naturel terrestre susceptible de provoquer des pertes en vies humaines,des dommages matériels, des perturbations sociales et économiques,ou une dégradation de l'environnement.

Ces aléas géologiques peuvent se produire de manière isolée ou se succéder, ou encore plusieurs aléas d'origine commune peuvent conjuguer leurs effets.

c-La vulnérabilité

L'étude des risques à longtermis mis l'accent sur l'aléa, mais depuis quelques décennies, les bilans humains et économiques des catastrophes rappellent combien la dimension humaine du risque est fondamentale.

Jusqu'à 1980, les causes des risques sont basées sur une vision classique qui place l'aléa au centre du système explicatif du risque, dont les causes s'expliquent par une relation de cause à effet entre des phénomènes naturels (causes déterminants des catastrophes),et les hommes (sociétés) qui subissent l'aléa.

Dans la décennie (1980 -1990), la vulnérabilité est devenue au cœur de toute étude des risques, les sociétés ne subissent pas les aléas, elles participent plus au moins consciemment à la construction des vulnérabilités, s'ils déterminent le déclenchement d'une catastrophe, les événements naturels ne constituent que très partiellement à l'ampleur des dommages, ces derniers sont dus d'une part à l'importance des biens exposés (personnes, logements, activités économiques situés en zone à risque) et d'autre part à la vulnérabilité organisationnelles ou fonctionnelle de ces enjeux.

L'émergence du concept est récente, la notion de vulnérabilité a été l'objet de très nombreuses définitions que nous l'est regroupons en plusieurs catégories.

Le guide général des plans de prévention des risques naturels prévisibles PPR édité par le ministère de l'aménagement et de l'environnement française indique que : « la vulnérabilité au sens plus large, exprime le niveau de conséquences prévisibles d'un phénomène naturel sur les enjeux », mais depuis une dizaine d'années, cette définition de la vulnérabilité est considérée comme restrictive.

La vulnérabilité d'un enjeu est l'ensemble des faiblesses ou défaillances susceptibles de dégrader ou d'interrompre son fonctionnement voir de le détruire quelles qu'en soient les causes. La complexité de la vulnérabilité provenant à la fois de son caractère multidimensionnel et de l'hétérogénéité des objets qu'elle affecte.

Les différentes définitions de la vulnérabilité, et l'ambiguïté originelle du terme a donné lieu à deux approches, distinctes et complémentaires. Cela nous a permis de distinguer deux ensembles bien définies, le premier ensemble relève des sciences physiques et ingénieriales dans lequel le risque est pensé en termes d'occurrence et d'impacts.

La vulnérabilité renvoie alors au degré d'endommagement potentiel des enjeux suite à la réalisation d'un aléa dont les paramètres sont plus au moins connus (Nicholls, Hoozemans et Marchand, 1999).

Un second ensemble regroupe les définitions employées en sciences sociales, la vulnérabilité désigne alors la capacité des individus à faire face à une crise ou un changement (Allen 2003).

Le concept a été placé au centre des recherches sur les risques naturels et les catastrophes naturelles, et dans la conférence de Yokohama, qui s'est tenue dans le cadre de l'IDNR en 1994.

Ce concept est caractérisé par une pluralité de définitions, cela a donné lieu à de nombreuses publications : Blaikie et al,(1994),D'Ercole,(1994),Cutter,(1996),Adger,(1999),Brooks, (2003) et Léone et Vinet (2006) ont répertorié près de 250 références qui ne traitent exclusivement que de la vulnérabilité liée à des phénomènes naturels.

La vulnérabilité propre d'un individu traduit sa capacité personnelle à résister à un aléa donné et à réagir face à la catastrophe, la situation dans laquelle une personne se trouve au moment d'un événement procure une vulnérabilité plus au moins forte

-La vulnérabilité de dépendance au croisement des approches territoriales et sociétales

La vulnérabilité de dépendance est au cœur de la vulnérabilité urbaine, elle résulte des proximités des interactions et des interfaces qui se développent entre les occupations de l'espace, les usages et les activités en interne au système urbain ou en relation avec lui.

La ville doit connaître sa vulnérabilité dans ses différentes facettes et expressions pour intégrer le risque dans ses modes de fonctionnement et ou pour entreprendre des actions visant à le réduire, l'évaluation de cette vulnérabilité doit être menée sans craindre a priori d'affronter la complexité du sujet.

La vulnérabilité se mesure par l'estimation des dommages potentiels pouvant affecter un enjeu, elle concerne donc les pertes possibles.

La vulnérabilité analytique conduit à décomposer les enjeux existants et à établir pour chacun une évaluation précise des dommages et cela pour différents niveaux d'aléas.

Des approches quantitatives plus complexes permettent maintenant de chiffrer le coût immédiat et à long terme des dégâts cout de la reconstruction à l'identique ou intégrant des mesures de réduction de la vulnérabilité.

Être vulnérable, c'est être physiquement exposé à un aléa naturel ou autre, c'est présenter une certaine fragilité face au sinistre en raison d'une mauvaise qualité des constructions d'unemé connaissance de l'aléade fortes densités humaines de l'engorgement des réseaux.

Ainsi que, ce n'est pas le manque des moyens disponibles pour faire face à la crise qui peut survenir or l'absence de préparation de la population est la règle l'accessibilité de certains quartiers par les moyens de secours demeure insuffisante.

Réduire la vulnérabilité ne consiste pas à tenter de réduire la fréquence de l'aléa, ce qui dans certains cas tout à fait impossible : séismes, inondations mais à diminuer les effets possibles de la crise par la connaissance des processus et la mise en place d'aménagements adaptés.

d-La gestion des risques naturels

La gestion des risques regroupe l'ensemble de moyens techniques juridiques et financiers mis en œuvre pour revenir et réduire les conséquences potentielles des catastrophes cela inclut ainsi les moyens de limiter au mieux nos incertitudes sur ces menaces en particulier l'acquisition de connaissance cela englobe une grande diversité de doctrines, de procédures d'outils et de méthodes dont la mise en œuvre est assurée par un multitude d'acteurs scientifiques administratifs techniques et surtout politiques.

La gestion est décomposée en plusieurs phases d'analyse et d'action, celles-ci succèdent dans le temps en s'organisant de façon cyclique.

PROBLEMATIQUE

La ville de Constantine s'étale sur un terrain hétérogène, responsable d'une urbanisation discontinue et différenciée.

Les premières manifestations avaient été observées au début du 20^{ème} siècle par le glissement du pont de Sidi Rached et l'avalanche qui a emporté 200000 m³ de terre au bas versant nord face au moulin Carbonnel, ensuite le phénomène a pris de l'ampleur au niveau de plusieurs sites durant les années 1972,1988,1993,1994 et 2003.

Cependant le plan d'urbanisme directeur de 1960 avait déjà procédé à l'identification des zones déclarées non constructibles, dont toutes ces zones considérées à l'époque non constructibles ont été absorbées, par l'extension de la ville.

Un bilan établi en 1999 par la direction de l'urbanisme et de la construction de la wilaya de Constantine DUC faisait état des désordres qui affectent plusieurs quartiers de la ville d'une superficie du tissu urbain estimée à 120h et menacent près de 15000 habitations abritant une population estimée à 100000 habitants répartis à travers une quinzaine de sites.

Ces mouvements sont dus à plusieurs facteurs endogènes et exogènes, les premiers regroupent la topographique (relief accidenté, forte pente), géologique et lithologique (nature des couches) les conditions climatiques et le contexte sismotectonique (sismique) de la région, tandis que, les facteurs exogènes regroupent: les fuites des canalisations des réseaux d'assainissement et d'A.E.P l'intervention de l'Homme par la déforestation et les travaux de terrassement en grande masse ,les études déjà effectuées sur ce phénomène à Constantine renvoient à plusieurs facteurs inhérents essentiellement à :

- 1-L'action de l'homme à travers une urbanisation non conforme ;
- 2-Une démographie sans cesse croissante à l'origine d'une sur urbanisation effrénée, en effet, la population de Constantine qui était de 114.000 habitants en 1954 s'élève aujourd'hui à 580.000 âmes, alors que logiquement elle ne devait pas dépasser 250.000 habitants ;
- 3-Une sur occupation de constructions vétustes ;
- 4-La réalisation d'importants programmes de construction ou d'équipements lourds sur des remblais
- 5-Un déboisement important suite à l'urbanisation des sites ;
- 6-Des évacuations d'eaux usées ou pluviales effectuées dans des conditions non conformes ;
- 7-La vétusté et la dégradation des réseaux entraînent des écoulements souterrains dont l'ampleur n'est pas identifiée.

Dans le but de stabiliser le mouvement des sites et d'atténuer les dégradations sur le cadre bâti, la wilaya de Constantine a entrepris en 1992, par le biais des services des Ministères de l'Equipeement et de l'Habitat (D.H.W-D.T.P-D.U), la mise en œuvre d'un programme d'études et de confortement.

Les aspects pris en charge, se rapportant à la géotechnique des sites et aux glissements, ont donné lieu à des formules de confortement concrétisées pour certains sites par : le clouage des sols au moyen de pieux de 20 à 30 mètres de profondeur, la réalisation de tables de consolidation en béton armé, l'exécution de systèmes de drainage de collecte des eaux et l'aménagement de zones boisées, ces confortements ont vite prouvé leurs limites.

En revanche, l'effondrement d'une soixantaine de logements à la fin du mois de décembre 1993 sur le site Kitouni, rue des Maquisards, s'explique par l'approche partielle et ponctuelle retenue, ce cas met en évidence l'absence d'une démarche globale au double plan technique et institutionnel.

Les expertises lancées en 1998 ont conclues à la nécessité d'une étude globale et approfondie de l'ensemble des sites touchés par le phénomène.

En 1999 une autre tentative de relance engagée par le Ministère de l'Habitat-Secrétariat d'Etat à l'urbanisme est demeurée sans suite appréciable pour les populations concernées.

Sur recommandations des experts, le problème de glissement de terrain sera pris en charge en matière d'études spécifiques la ville de Constantine à bénéficie d'une enveloppe d'un montant de 182000 000 DA, ce qui a permis le lancement en l'an 2000 de l'étude des glissements de terrain de la ville, l'élaboration de cette étude fut confiée au groupement des bureaux d'études spécialisés ARCADIS-EEG-SIMECSOL (France).

Elle a été lancée au mois d'Avril 2001, pour un délai d'exécution de 25 mois, fin du délai prévisionnel mois d'Août 2004, elle inclut l'ensemble des délégations communales de la ville dont ces objectifs :

- Diagnostic de l'ensemble des sites affectés ;
- Evaluation du glissement de terrain et expertise des constructions endommagées;
- Etude de confortement ;
- Mise en œuvre d'un dispositif de surveillance des glissements de terrain par GPS nivellement et en profondeur par inclinomètre surveillance par piézométrie.

Suite à ces glissements de terrain, plusieurs interventions ponctuelles des services techniques de l'urbanisme ont permis d'évacuer des bâtiments voire des quartiers entiers.

Le dispositif développé à travers les actions concrétisées par les différents acteurs n'a pas atteint les objectifs escomptés.

Les glissements de terrains de la ville de Constantine est une question fondamentale qui préoccupe l'ensemble des scientifiques, les citoyens ainsi que les pouvoirs publics.

CHOIX DE LA ZONE D'ETUDE

La ville de Constantine est touchée également par le phénomène du glissement de terrain, ce dernier est remarquable par la complexité de son mécanisme ainsi que de l'ampleur du phénomène observé aux plans sociaux-économiques à travers les effets sur l'immobilier urbain et son impact sur les populations.

HYPOTHESES DE TRAVAIL

A travers ce travail on peut adapter ces hypothèses :

- Les appels des scientifiques en matière de gestion des risques liés aux glissements de terrain ont-ils été entendus ?
- A-t-on pris en considération leurs recommandations lors de l'élaboration des plans d'aménagement et d'urbanisme ?
- La croissance urbaine de la ville de Constantine a-t-elle accéléré les risques naturels tels que les mouvements de terrain.
- L'occupation irrationnelle et anarchique des sites soumettent les populations à des risques naturels tels que : les mouvements de terrain, dont les manifestations sont une menace pour les habitants, leur habitat et cadre de vie ainsi que leurs activités
- Les mesures structurelles adoptées par les autorités locales contre les aléas naturels favorisent-elles la réduction des risques naturels à Constantine.
- Dans quelle mesure est-il possible d'améliorer l'analyse de la vulnérabilité aux glissements de terrain ?
- Est-il possible d'établir une méthodologie d'évaluation semi empirique (semi-quantitative) du risque ?

OBJECTIFS DE LA RECHERCHE

Ils sont de deux types : l'objectif général et les objectifs spécifiques appelés aussi objectifs opérationnels.

a-Objectif général

Cette étude contribue à la connaissance des différents risques naturels en particulier liés aux mouvements de terrain et leurs conséquences sur la population, son habitat et son environnement

L'objectif général et principal de ce travail consiste à créer une carte de risque naturel de glissement de terrain qui est un outil de base dans le but de développer une gestion intégrée aux risques naturels.

b-Objectifs opérationnels

- Analyser les caractéristiques du site et la façon dont les populations l'occupent.
- Etudier les risques naturels (glissements de terrain) auxquels les populations et leur cadre de vie sont exposés.
- Apprécier les actions qu'entreprennent les autorités locales pour faire face aux risques naturels (glissements de terrain) à Constantine.

Au-delà des objectifs, quelles méthodes mises en place pour une meilleure structuration du travail ?

METHODOLOGIE

Plusieurs moyens méthodologiques de la recherche scientifique ont été développés à travers cette étude, en premier lieu un travail de recherche bibliographique dont nous avons eu l'opportunité de consulter des documents en particulier les rapports établis par DUC et CTC dans le cadre de l'étude sur les glissements de terrain à Constantine en collaboration avec le bureau d'étude ARCADIS-EEG-SIMECSOL.

Cette phase été suivie par le travail de terrain, cela nous a permis d'appréhender une réalité vécue de la menace des enjeux face aux glissements de terrain. Cela nous a permis d'utiliser un questionnaire qui demeure l'outil le plus efficace parce qu'il vise la population touchée par le glissement de terrain afin d'apprécier son impact sur elle et son niveau de connaissances en cas de catastrophe.

L'approche de cette étude consiste à mettre des cartes sur les pertes probables par l'utilisation du logiciel Arc-Gis d'où l'utilisation de cet outil dans le cadre de la préparation et le dépouillement des données et la réalisation de la cartographie s'impose.

Nous proposerons une tentative d'application d'évaluation des conséquences potentielles intégrant des données issues du plan d'aménagement et d'urbanisme PDAU (2008) et du recensement général de la population et de l'habitat RGPH (2008).

STRUCTURE DE LA THESE

Afin de répondre à la démarche de recherche choisie, la thèse est articulée en trois parties subdivisées en huit chapitres.

La première partie, elle est divisée en deux chapitres, le premier chapitre présente les particularités physiques du site, afin de déterminer les différentes caractéristiques physiques de la ville, tandis que, le deuxième chapitre décrit les caractéristiques géomorphologiques et géotechniques des glissements de terrain à travers les quartiers exposés aux glissements de terrain.

La deuxième partie est orientée vers l'étude de l'interaction de l'aléa glissement de terrain et les enjeux exposés aux risques liés aux glissements de terrain « *Identification des enjeux et de la vulnérabilité à la ville de Constantine* », elle comprend le troisième chapitre, qui décrit les caractéristiques urbaines et démographiques de la ville afin de déterminer les éléments exposés aux risques, alors que le quatrième chapitre vise à déterminer les résultats d'expertise sur l'état des différents ouvrages exposés aux glissements de terrain à travers les principaux sites et le cinquième chapitre propose une approche qui vise à cartographier les zones exposées aux risques glissements de terrain, cela consiste à déterminer la susceptibilité d'aléa aux glissements de terrain, ensuite on propose une évaluation des conséquences potentielles cela sera traduit par les cartes de vulnérabilité, ce qui permettra d'effectuer la carte de risque.

La troisième partie est consacrée à la gestion du risque elle est intitulée « *La gestion aux risques naturels des glissements de terrain à Constantine* », comprend trois chapitres, le sixième chapitre présente les différentes mesures de confortement proposées aux glissements de terrain à travers les sites exposés aux glissements.

Le septième chapitre détermine les politiques mises en œuvre, c'est-à-dire les réponses apportées par les différents acteurs pour minimiser les pertes probables liées aux glissements de terrain.

Le huitième chapitre sera consacré à évaluer la perception des habitants de la ville de Constantine face aux glissements de terrain par le biais d'un questionnaire qui sera distribué à travers les principaux sites exposés aux glissements de terrain et la conclusion générale regroupe les principaux résultats de ce travail.

PREMIERE PARTIE : LES ALEAS NATURELS A CONSTANTINE
FACE A UN MILIEU PHYSIQUE DIFFICILE

Chapitre 1 : Les caractéristiques physiques de la ville de Constantine

Chapitre 2 : Constantine face à l'occurrence des glissements de terrain

Introduction de la première partie

Les aléas naturels sont traditionnellement définis par la combinaison d'une magnitude (composante énergétique ou puissance), d'une probabilité d'occurrence (composante temporelle), d'une aire d'impact (composante spatiale) et d'une durée d'action.

Les aléas naturels sont de deux types : ceux d'origine météorologiques et d'autres d'origine géologiques qui comprennent des processus terrestres internes d'origine tectonique, comme les séismes viennent à la tête des désastres d'origine strictement naturelle susceptible de provoquer la plus forte mortalité humaine), les raz-de-marée, l'activité et les émissions volcaniques, ainsi que des processus externes tels que : les mouvements de masse, chutes de pierres, glissements de terrain, éboulements, chutes de pierres, affaissements de terrain, coulées de débris . . . etc.

Les aléas géologiques peuvent se produire de manière isolée ou se succéder, ou encore plusieurs aléas d'origine commune peuvent conjuguer leurs effets, ils se définissent comme étant, processus ou phénomène naturel terrestre susceptible de provoquer des pertes en vies humaines, des dommages matériels, des perturbations sociales et économiques ou une dégradation de l'environnement.

Le terme « glissement de terrains » désigne le déplacement ou la déformation d'un sol à topographie en pente et dont les causes sont multiples. Cet aléa naturel présente aussi la caractéristique d'être souvent provoqué ou amplifié par l'activité humaine inhérente à l'urbanisation.

Les aléas naturels sont des ennemis redoutables dans la mesure où leur caractère imprévisible et violent représente un danger pour la vie humaine et les biens.

Une étude mondiale effectuée entre (1971-1974), par l'association internationale de la géologie appliquée pour l'UNESCO a prouvé que 14% de l'ensemble des accidents provoqués par les catastrophes naturelles étaient liés aux glissements de terrain.

Dans la même période, en moyenne 600 personnes par an ont été tuées par les glissements de terrain¹.

¹Petley, D.N. 2013. Global losses from landslides associated with dams and reservoirs. In: Genevois, R. and Prestininzi, A. (eds) *International Conference on Vajont – 1963-2013. Thoughts and analyses after 50 since the catastrophic landslide*. Italian Journal of Engineering and Environment – Book Series N. 6, pp 63-72.

Ce chiffre ne donne qu'une idée partielle de l'impact des glissements de terrain sur la sécurité publique, car les événements individuels principaux qui se sont produits au cours du siècle dernier, ont provoqué dans certains cas plus de dix mille victimes².

Les glissements de terrain ont fait plus de 32000 morts entre (2004-2010), dans le monde soit dix fois plus que ce qui était estimé, ainsi que, le nombre des victimes était élevé entre 3000 et 7000 sans compter les victimes des glissements de terrain survenus lors de séismes³.

De nombreux paramètres, naturels et/ou anthropiques conditionnent l'apparition et le développement des mouvements des glissements de terrain : topographie, géologie, hydrologie hydrogéologie, érosion rapide du pied de certaines pentes et l'urbanisation . . . etc.

Le problème des glissements de terrain est couramment rencontré à Constantine et ce depuis fort longtemps d'où le caractère imprévisible et violent de ces mouvements, représente un danger pour la vie humaine et les biens.

Historiquement les glissements de terrain à Constantine date du début du 20^{ème} siècle, les manifestations les plus graves étaient développées régulièrement à partir des années 1970.

Actuellement ces instabilités se manifestent par de nombreux glissements de terrains, évoluant de façon progressive et affectent plusieurs quartiers de la ville.

Cette partie est répartie en deux chapitres : le premier chapitre sera consacré aux caractéristiques physiques du site, et le second chapitre portera sur l'étude des différentes conditions géologiques, géomorphologiques et hydrologiques, qui ont conduit à l'apparition des glissements de Constantine les différentes caractéristiques de ces mouvements feront l'objet de ce chapitre.

² : Varnes, D.J. (1984) *Landslide Hazard Zonation: A Review of Principles and Practice*, Natural Hazards. UNESCO, Paris.

³ : S Petley, D.N. 2013. Global losses from landslides associated with dams and reservoirs. In: Genevois, R. and Prestininzi, A. (eds) *International Conference on Vajont – 1963-2013. Thoughts and analyses after 50 since the catastrophic landslide*. Italian Journal of Engineering and Environment – Book Series N. 6, pp 63-72.

Chapitre I : Les caractéristiques physiques de la ville de Constantine

Introduction

Ce premier chapitre sera consacré aux caractéristiques physiques du site, il présente la ville de Constantine dans ses conditions physiques, notamment son relief et son climat.

L'analyse de ces différents éléments permet de faire l'état des lieux et de déterminer les différents aléas naturels dans le deuxième chapitre.

1-1-Les caractéristiques topographiques

La ville de Constantine se dresse au contact des montagnes telliennes au Nord et les hauts plateaux au Sud. Elle s'est édifiée sur un Rocher, situé à la confluence de deux oueds : le Boumerzoug au Sud et le Rhumel à l'Ouest.

Cette situation de confluence a favorisé le creusement d'un cañon de 200 m de profondeur, le site de la ville est fait de pentes, d'escarpement de gorges et de collines coupés des oueds : le plateau du Mansourah à l'Est les collines de Boufrika au Sud, les collines de Belle vue au Sud-ouest.

La ville est caractérisée par une topographie accidentée dont les zones de replats est bordée par de fortes pentes aux dénivellations importantes⁴. (Figure n°1-1)

1-1-1-Les éléments du relief

1-Le Rocher

Site exceptionnel par sa forme et sa position en nid d'aigle, il possède une surface en grande partie plane, ces caractéristiques font qu'il se détache de l'ensemble urbain comme un site clairement défini de forme approximativement trapézoïdale.

Il se trouve séparé des sites voisins au Sud-est et au Nord-est par des gorges qui s'évasent du Sud au Nord, la profondeur de ces gorges varie de 75 m à l'entrée de l'oued Rhumel à Sidi Rached à 175 m à la sortie à l'aplomb du Kef Chekara, il constitue le premier noyau de la ville et celle de son environnement.

2-Les plateaux

○ Le plateau du Mansourah

Avec sa forme tabulaire et de 875 m d'altitude, limité par un réseau de cours d'eau comme celle d'oued El Kelb à l'Est et le Rhumel à l'Ouest et au Sud-ouest et oued Boumerzoug au Sud-est et au Sud, ce site été urbanisé pendant l'époque coloniale, il est occupé surtout par l'emprise militaire.

⁴: Côte M (2006) : Constantine, cité antique et ville nouvelle, Média Plus-122p

- **Le plateau de Sidi M'cid**

Situé au Sud-ouest du Rocher le point culminant est de 725 m séparé du Rocher par les gorges d'oued Rhumel.

- **Le plateau d'Ain El Bey**

Situé au Sud de la ville culminant à 732 m, il est en cours d'urbanisation, l'une des caractéristiques de ce site est sa stabilité par rapport aux autres sites⁵.

3-Les collines Aty

Comme Belle vue ,Sidi Mabrouk et Boufrika les deux premières collines ont été urbanisées pendant la période coloniale, en revanche, Boufrika elle fut urbanisée après l'indépendance. Belle vue et Boufrika ont caractérisées par l'instabilité liée aux glissements de terrain⁶.

4-Les vallées

Les vallées du Rhumel et du Boumerzoug s'ouvrent en large versant à pentes fortes constituées de formation d'âge quaternaire généralement, ce sont les terrains inondables. Cette vaste zone est encadrée par des ensembles montagneux, au Nord-est Djebel Ouhach une masse gréseuse d'altitude moyenne (900 m), qui se termine au Nord par les massifs calcaires du Djebel Kellal et du Djebel Salah qui s'achèvent à leur tour par une dépression et Djebel Oum Settas, un ensemble calcaireux (montagne noire), qui culmine à 1326 m. Au Sud-ouest, se dresse le massif de Chettabah avec deux crêtes (Djebel Zouaoui avec 1316 m et Djebel Karkara avec 1186 m), des vallées qui ceinturent le rocher qui constitue en fait le carrefour de quatre vallées : vallée du Rhumel supérieur (Ain Smara) au Sud Ouest, vallée du Boumerzoug au Sud-est (El Khroub), vallée du Rhumel inférieur au Nord-ouest (Ibn Ziad) et la dépression de Hamma Bouziane et Didouche Mourad au Nord-est.

Ces vallées sont traversées par deux oueds, Boumerzoug qui prend naissance au Djebel Fortas pour se diriger vers Constantine où il rejoint au niveau des Arcades Romaines, et le Rhumel qui prend source dans la région d'El Eulma.

Au Sud-est le plateau d'Ain El Bey est constitué d'un ensemble de calcaires lacustres du pliocène avec des couches subhorizontales, ce qui lui donne un aspect tabulaire, mais dont les rebords sont par endroit assez ravinés (Bad lands), cette unité surplombe la colline allongée de Drâa Boufrika, site de l'université Mentouri.

⁵: Mezhoud.L (2007) : La vulnérabilité aux glissements de terrain et les enjeux dans la partie ouest et sud ouest de la ville de Constantine, Mémoire de Magistère, Université Mentouri Constantine ,149p

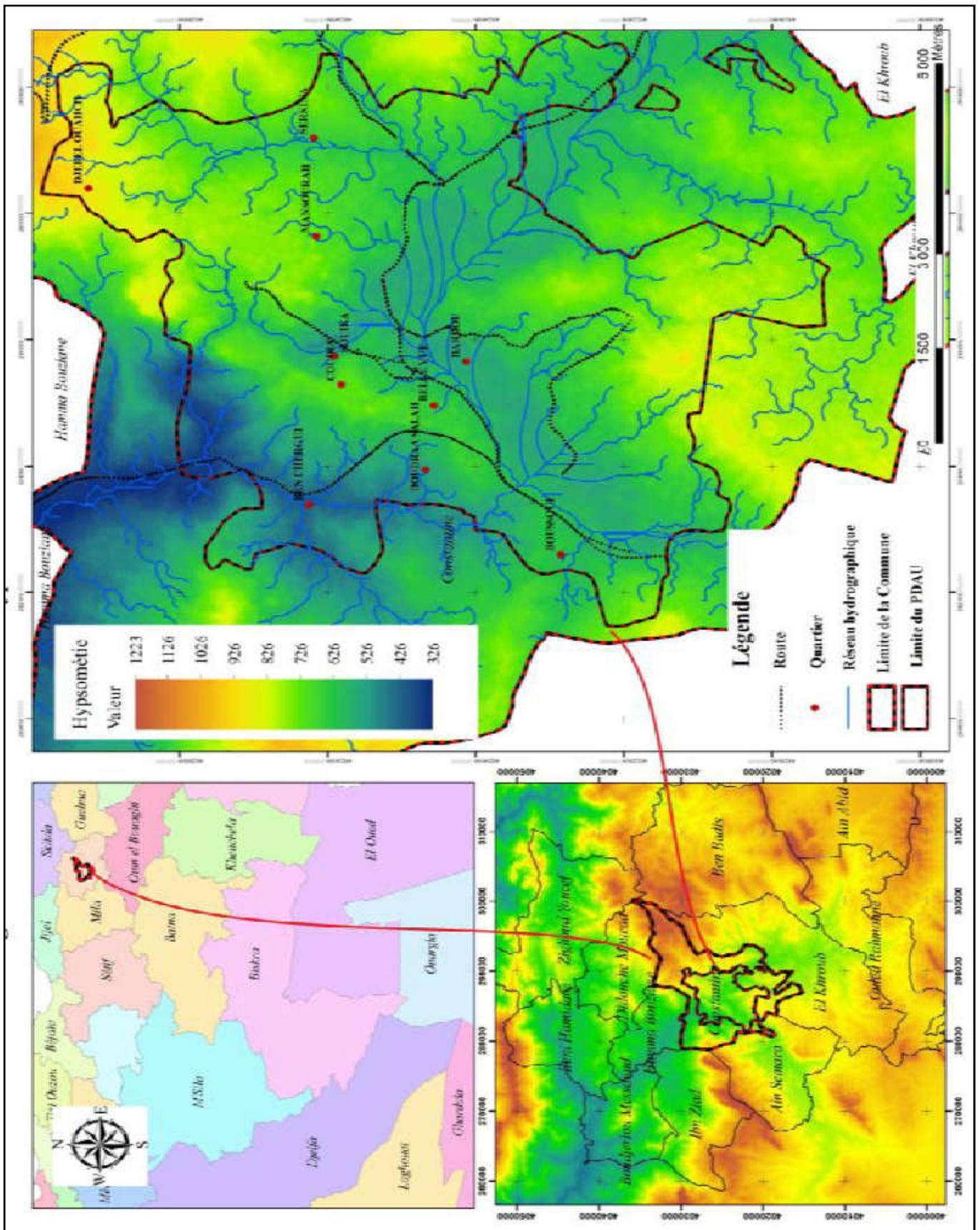
⁶: Idem

Au Nord-ouest de cet ensemble, et après le passage étroit d'oued Rhumel apparaît une série de plans qui correspondent à des niveaux quaternaires.

Ces terrasses en escaliers sont visibles dans la zone de Boussouf, au-delà de la butte du Coudiat Aty, cette série de plans s'abaisse brutalement en direction Nord-ouest (au bas versant du Chettabah), par contre, la descente vers le Sud-ouest, relativement allongée est assez douce.

La vallée du Boumerzoug située entre le plateau d'El Mansourah et celui d'Ain El Bey forme deux versants dissymétriques : au Nord, un versant à pente relativement faible, à l'opposé celui du Sud est fortement abrupt ⁷.

⁷: ARCADIS-EEG-SIMECSOL-DUC(2003) : Etude des glissements de terrain de la ville de Constantine, géomorphologie de la ville de Constantine et de ses Alentours, Ministère de l'habitat et de la construction. Direction de l'urbanisme et de la construction - wilaya de Constantine



Source : MNT + MEZHOUD.L(2016)

Carte n°1-1: Situation de la ville de Constantine

1-1-2-Orographie

La ville de Constantine est située dans les hautes plaines orientales de l'Atlas tellien montagneux, son altitude moyenne varie entre 500 et 800 m, elle est caractérisée par un relief contrasté où se côtoient gorges profondes, plateaux et collines.

Le réseau hydrographique qui la draine, est représenté par les cours d'eau principaux du Rhumel et du Boumerzoug à écoulement permanent, auxquels sont associés des affluents à écoulement temporaire, tels que, le Mellah à l'Ouest, Châabet Ersas et Châabet El Klab à l'Est.

En aval de la confluence Rhumel-Boumerzoug, la vallée est entaillée dans un relief surélevé, calcaire formant des gorges de plus de 150 m de hauteur, la distribution des pentes représentée sur la carte des pentes (Carte n°1-2), permet distingué que ⁸ :

1-Plus de la moitié de l'espace circonscrit par le périmètre étudié (PDAU) est caractérisé par des pentes variant de 10 à 30 %,

2-Les pentes les plus élevées (supérieures à 30%), sont essentiellement distribuées à proximité des cours d'eau dont elles forment les berges.

3-Les falaises circonscrivent en particulier les calcaires néritiques (le Rocher), et résultent de la tectonique cassante, ces falaises existent néanmoins, bien que de moindre hauteur, dans les conglomérats des quartiers de Kitouni et du Bardo, et ne correspondent pas nécessairement à des escarpements de failles.

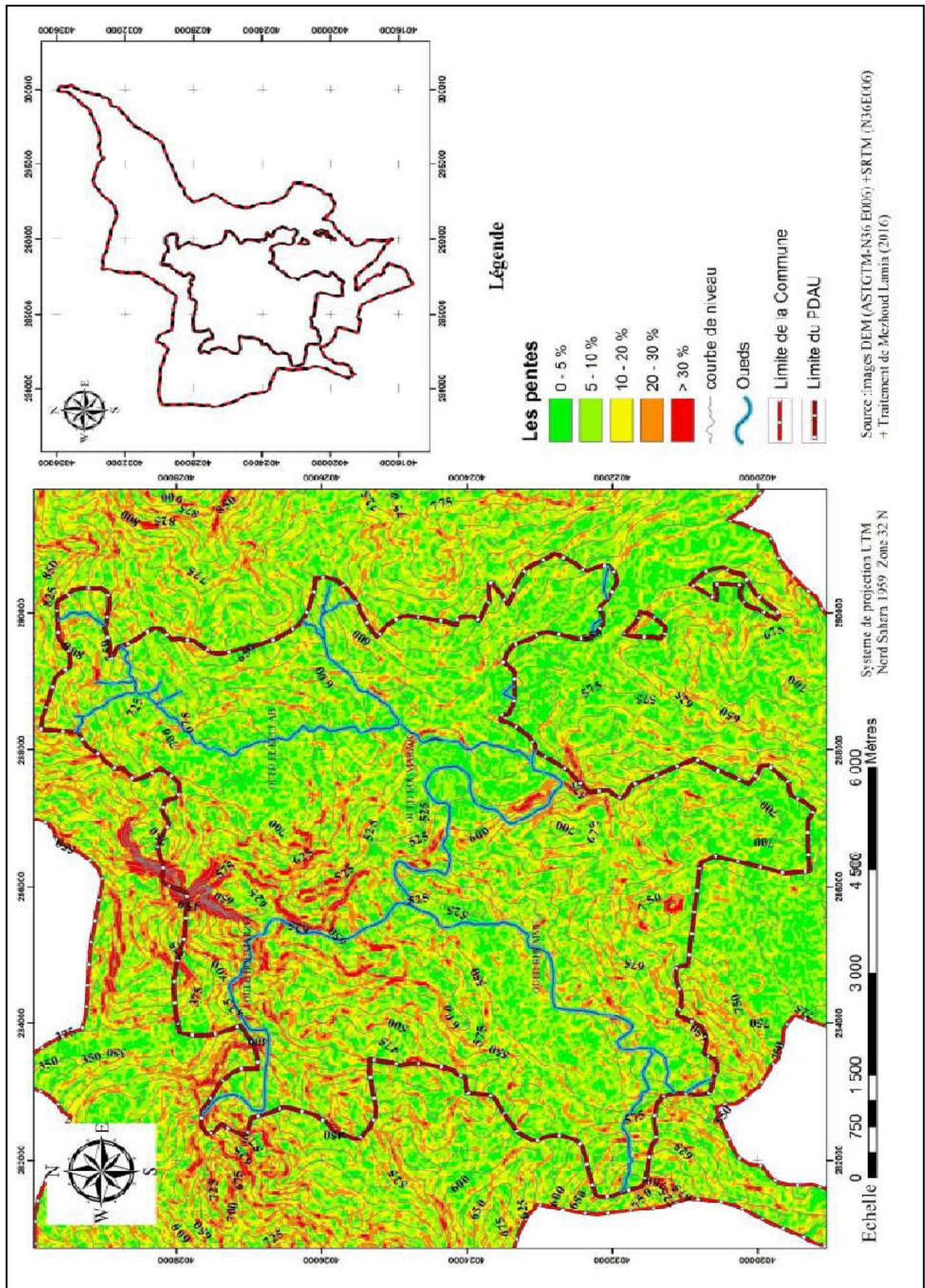
4-Les pentes les plus faibles (0 à 10%), qui représentent une proportion notable du PDAU correspondent aux terrasses alluviales du Rhumel et du Boumerzoug, aux plateaux du Rocher, de Mansourah, de la Coudiat et de Salah Bey plus au Nord-ouest.

1-1-3-Hypsométrie

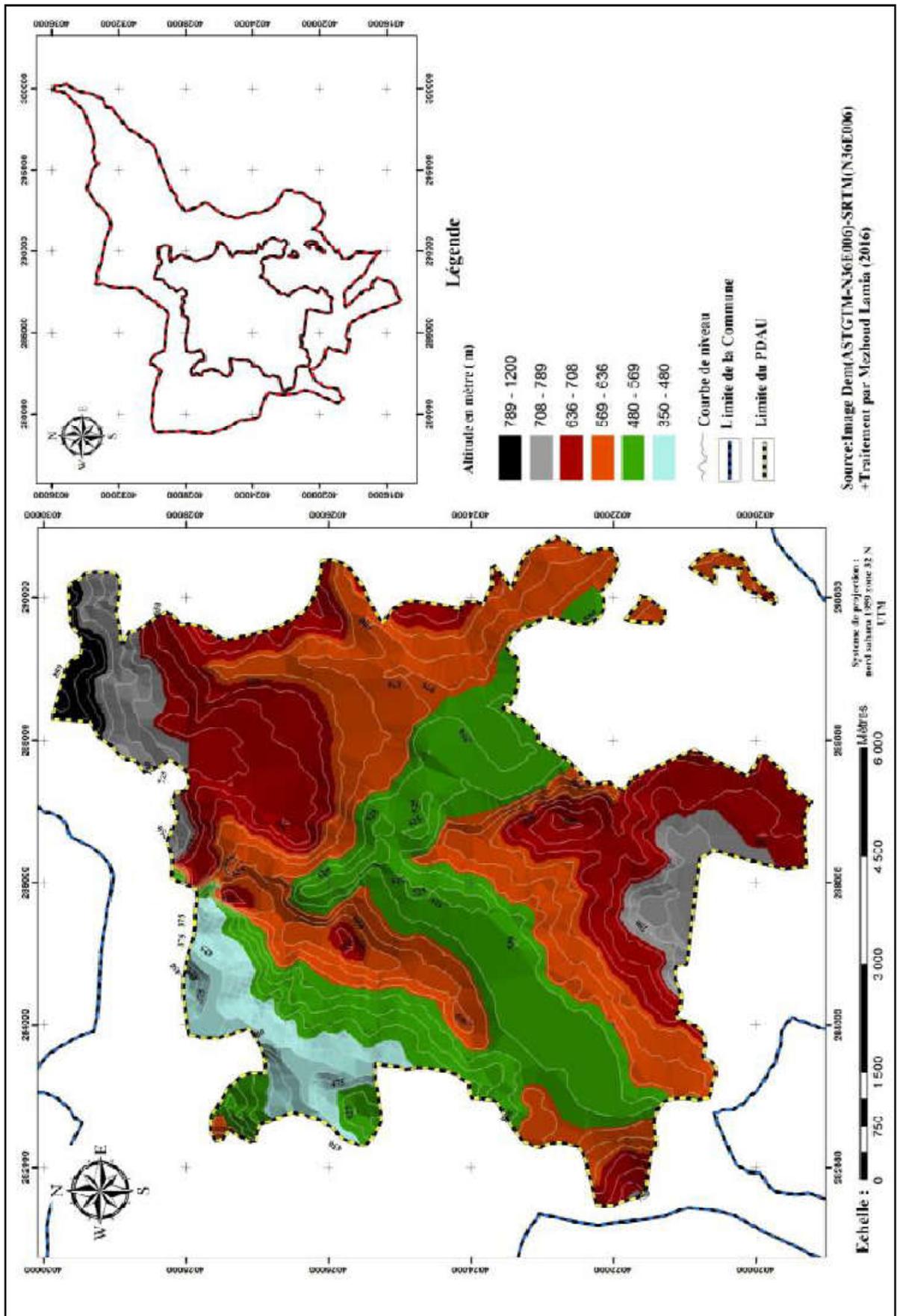
La ville de Constantine est située dans les hautes plaines orientales de l'Atlas tellien montagneux et s'élève sur une altitude moyenne de 675 m par rapport au niveau de la mer. Elle varie d'un point à un autre elle est de 493 m à El Menia le point le plus bas, elle peut arriver à 820 m du côté de Djebel Ouhach et elle est à 602 m en plein centre de la ville.

Son site est caractérisé par un relief contrasté où se côtoient gorges profondes, plateaux et collines coupés d'oueds, le plateau du Mansourah à l'Est, les collines de Boufrika au Sud, les collines de Belle vue au Sud-ouest.

⁸: Idem



Carte n°1-2: Les classes de pente de la ville de Constantine



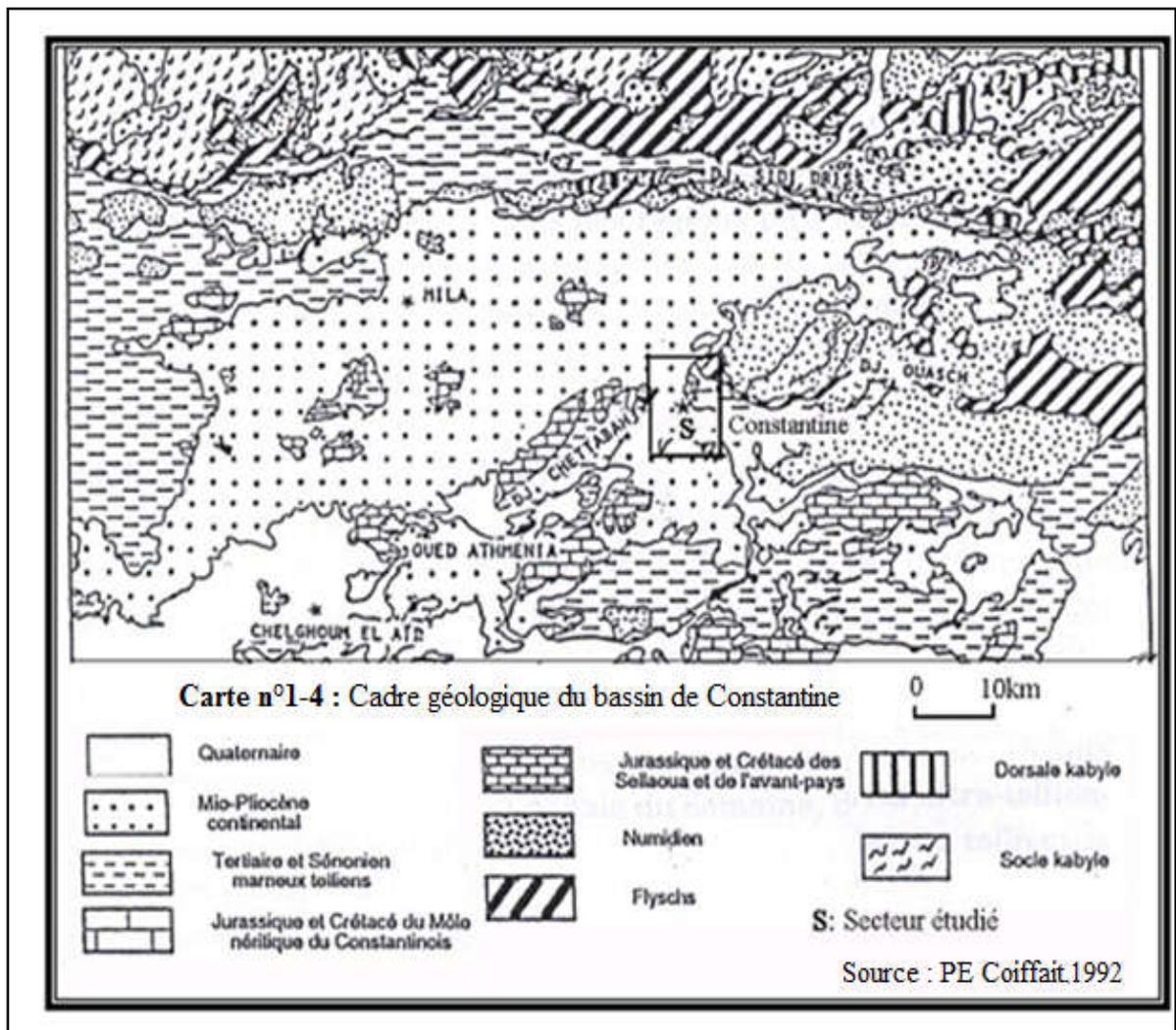
Carte n°1-3: Les classes d'altitude de la ville de Constantine

1-2-Des ensembles géologiques complexes

La région de Constantine appartient au domaine tellien de l'Algérie du nord les nappes telliennes représentées par les unités ultra telliennes à faciès marneux et marno-calcaire d'âge Néocomien à Lutétien supérieur.

La nappe néritique constitué par des formations à dominante carbonatée, elle forme le rocher de Constantine, les calcaires de djebel Felten et ceux de djebel Chettaba.

Le mio-pliocène affleure sur de vastes étendues, il présente un faciès très varié constitué par des calcaires lacustres, des évaporites et des dépôts détritiques plus ou moins grossiers: sables grès, conglomérats (J-M Vila,1980), les formations quaternaires sont des formations peu tectonisées, il s'agit essentiellement d'alluvions récentes qui sont constituées par des limons, des graviers et des galets roulés constituant les lits majeurs des oueds Rhumel et Boumerzoug et de terrasses alluviales anciennes qui sont très disséquées par l'érosion et sont constituées par des cailloux et des graviers roulés parfois encroûtés



1-2-2-La géologie locale

A Constantine l'analyse plus globale vis à vis des risques des glissements de terrain potentiels, sont menées sur la base d'une connaissance détaillée de la géologie locale dont les facteurs lithologiques et structuraux en sont les premiers guides.

La carte géologique repose outre les observations de terrain, sur l'interprétation d'une série de photos aériennes datant de 1975 et 1995, l'âge des formations géologiques cartographiées est repris à partir de la synthèse bibliographique et notamment des travaux de P.E. Coiffait, pour ce qui concerne le néogène post-nappes.

Les terrains pliocènes n'affleurent pas dans le secteur étudié, les calcaires lacustres d'Ain El Bey et de Mansourah, longtemps rangés dans le plio-quadernaire, sont datés du quadernaire ancien par P.E.Coiffait.

Ils se distinguent des calcaires lacustres pliocènes qui affleurent massivement sur la route d'Aïn Smara (au-delà de la limite Sud-ouest du secteur étudié), par leur base sablo-conglomératique et par leur épaisseur plus réduite, cette précision stratigraphique est importante à souligner sur le plan de la tectonique récente du bassin.

Les terrains quadernaires sont représentés essentiellement par les calcaires lacustres des plateaux de Mansourah, Aïn El Bey et Salah Bey et les terrasses alluviales des oueds Rhumel et Boumerzoug. Les autres formations correspondent à des dépôts de pentes hétérogènes, peu épais, et à dominante argileuse.

Les calcaires lacustres se distinguent des autres formations quadernaires par des dalles robustes qui coiffent la série et favorisent la morphologie de plateaux.

La série la plus complète est observée vers la limite méridionale de la ville : plateau d'Aïn El Bey et son prolongement occidental, on distingue, de bas en haut :

- Des conglomérats à matrice argileuse et des sables, épais (30 à 40m) ;
- Des couches calcaires alternant avec des lits d'argiles rouges ou roses, il s'agit de calcaires lacustres micritiques, dont la patine générale est rousse à rose bien visible dans le paysage (10m) ;
- Des calcaires plus grumeleux et crayeux (5 à 10m), donnant l'aspect de travertin «calcaires travertineux», cette série est scellée, sur le plateau d'Aïn El Bey proprement dit, par des limons roux encroûtés et des paléosols, du quadernaire plus récent.

Plus au nord, le plateau de Salah Bey montre des sables plus ou moins grésifiés à la base (5 à 7m), surmontés par des calcaires poreux (6 à 8m), en bancs métriques⁹.

⁹: ARCADIS-EEG-SIMECSOL-DUC(2003):Etude des glissements de terrain de la ville de Constantine, géologie de la ville de Constantine et de ses Alentours, Ministère de l'habitat et de la construction. Direction de l'urbanisme et de la construction - wilaya de Constantine

Le plateau de Mansourah offre la série la plus réduite avec un conglomérat grossier de quelques mètres d'épaisseur et une dalle calcaire très dure de 2 à 4m.

Hormis les alluvions actuelles, graveleuses, qui jonchent les lits mineurs, trois terrasses alluviales étagées, sont identifiées de part et d'autre des rives du Rhumel et du Boumerzoug :

La terrasse récente située entre 3 et 5 m d'altitude par rapport aux lits mineurs, elle occupe les rives immédiates de ces cours d'eau, dont elle forme les lits majeurs. Elle est de nature limoneuse finement sableuse, cette terrasse est exposée au risque d'inondation.

La terrasse intermédiaire, elle est située plus en retrait de ces cours d'eau, à une plus haute altitude : 3 à 6 m, elle est plus sableuse et renferme des galets hétérogènes roulés.

Cette terrasse, est de plus en plus sollicitée par des constructions diverses, c'est le cas de la zone industrielle (oued Rhumel) et du nouveau complexe sportif (oued Boumerzoug).

Cette terrasse n'est pas à l'abri du risque d'inondation, par suite de crues exceptionnelles des oueds Boumerzoug et Rhumel.

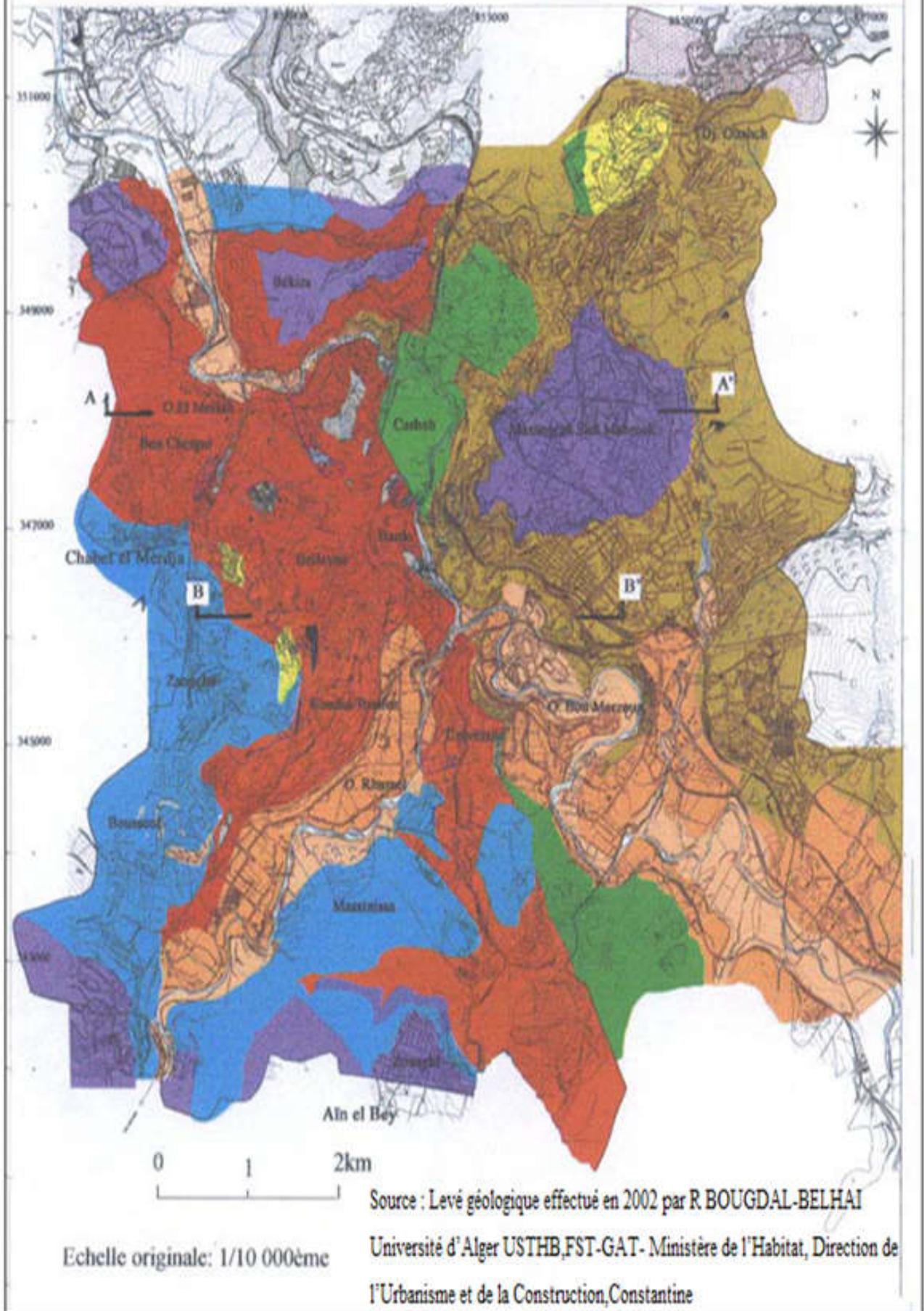
La terrasse ancienne est dans sa grande partie, recouverte par des constructions relativement anciennes, c'est le cas de Sidi Mabrouk inférieur et celui de la cité située en contrebas de Belle vue.

A l'affleurement, elle ne subsiste qu'en quelques lambeaux (non cartographiables), au-dessus de la terrasse intermédiaire. Elle correspond à la terrasse la plus élevée dont les altitudes, très variables, peuvent atteindre 25 m, P.E. Coiffait l'a observée à plus de 40m, sur les versants du Rhumel, plus au nord du secteur étudié. Elle se distingue des autres terrasses (à matériel fin), par sa nature franchement conglomératique, cette terrasse est suffisamment élevée pour être épargnée du risque d'inondation.

Cette disposition étagée des terrasses, dont les plus anciennes sont particulièrement élevées par rapport à la côte des cours d'eau voisins, est connue dans les bassins néogènes tectoniquement actifs.

Elle est souvent interprétée comme la conséquence d'un simple abaissement du niveau de base des cours d'eau et elle résulte, en réalité de la déformation tectonique, souvent discrète ayant pour effet la surélévation irrégulière de ces terrasses (dont les plus anciennes sont les plus déformées) et pour conséquence la surimposition des cours d'eau.

Carte n°1-5 :Géologie de Constantine





1-3-Des variétés lithologiques

La ville de Constantine et sa périphérie offre, sur un espace relativement réduit, une grande variété de terrains sédimentaires d'âge crétacé à quaternaire, leur structure géométrique est difficile à maîtriser par suite d'une tectonique alpine et néogène complexe et de fréquentes variations latérales de faciès dans les formations miocènes.

A cette complexité naturelle s'ajoute le handicap d'une cartographie en milieu urbain, cependant, les grands ensembles lithologiques et leur distribution géographique, peuvent être synthétisés comme suit :

1-3-1-Les Terrains les plus anciens

Sont des calcaires massifs très épais, du crétacé moyen, ils forment en particulier (le Rocher) sur lequel est construite l'ancienne ville.

Ces calcaires sont délimités par de grands accidents nord10°, nord100° et nord130° qui les mettent en contact avec des formations plus récentes.

1-3-2-Les Terrains Allochtones

Sont deux types les marnocalcaires et pélites du complexe tellien et les flychs grésopélitiques massyliens, ce complexe affleure largement le long des limites orientales de la ville aux quartiers de : Djebel Ouahch, Berda, Sarkina, Riad et Gammas et correspond essentiellement au faciès marneux à boules jaunes des auteurs.

Il forme également tout le talus Rive droite du Rhumel entre El Kantara, les quartiers de la gare ferroviaire et Daksi, où le faciès pélitique est prédominant.

Le flysch massylien occupe des espaces plus réduits, il affleure en supra-structure, sur le tellien, vers la limite Nord-est de la carte (route de Dj.Ouahch) et sur la rive gauche du Boumerzoug au Sud-est de l'université.

1-3-3-Les Terrains Conglomératiques, Argileux et Marneux, Miocènes

Sont les plus développés dans la ville de Constantine et sa banlieue, la répartition de ces différents faciès sur le terrain n'est pas aisée dans la mesure où de fréquents passages latéraux les caractérisent, cependant, nous pouvons avancer les observations suivantes :

1-3-3-1-Le Faciès franchement Conglomératique, rouge, très épais (plus de 100m)

Est reconnu dans les quartiers de Belouizdad, Kitouni, El-Menia et Bardo, ce conglomérat aquifère, renferme des inter stratifications argileuses qui jouent un rôle déterminant dans le comportement hydrodynamique d'ensemble.

Ce conglomérat passe vers le sud (latitude de Ciloc, la mosquée E. Abdelkader, Belle vue) à un faciès progressivement argileux, rouge.

Les premières coupes de sondages effectués par la DUC en collaboration avec SIMCASOL, dans les sites de Belouizdad d'une part et Belle vue d'autre part, montrent que les conglomérats

aussi bien que les argiles, passent en profondeur à une formation bréchique plus ou moins consolidée (éléments hétérogènes, anguleux, dans une matrice limoneuse).

1-3-3-2-Le Faciès franchement Marneux à Gypse

Occupe la zone centrale du synclinal d'oued El-Mellah (quartiers de Boudraa, Zaouche et Boussouf), et plus au sud le versant rive gauche du Rhumel.

Ces marnes à gypse sont stratigraphiquement plus récentes, que les conglomérats du Bardo bien que leurs termes de base conglomératiques, puissent correspondre à un passage latéral de ces derniers.

1-3-4-Le Quaternaire Ancien

Est représenté par deux types de formations, les conglomérats grossiers du djebel Ouahch et les calcaires lacustres à base sablo-conglomératique.

1-3-4-1-Les Conglomérats grossiers

Affleurent à l'extrémité Nord-est du secteur étudié, ils sont très épais (plus de 100 m) et recouvrent vers le nord la nappe numidienne. Ils sont formés de blocs et galets gréseux anguleux, parfois sub-arrondis dans une matrice argileuse rousse.

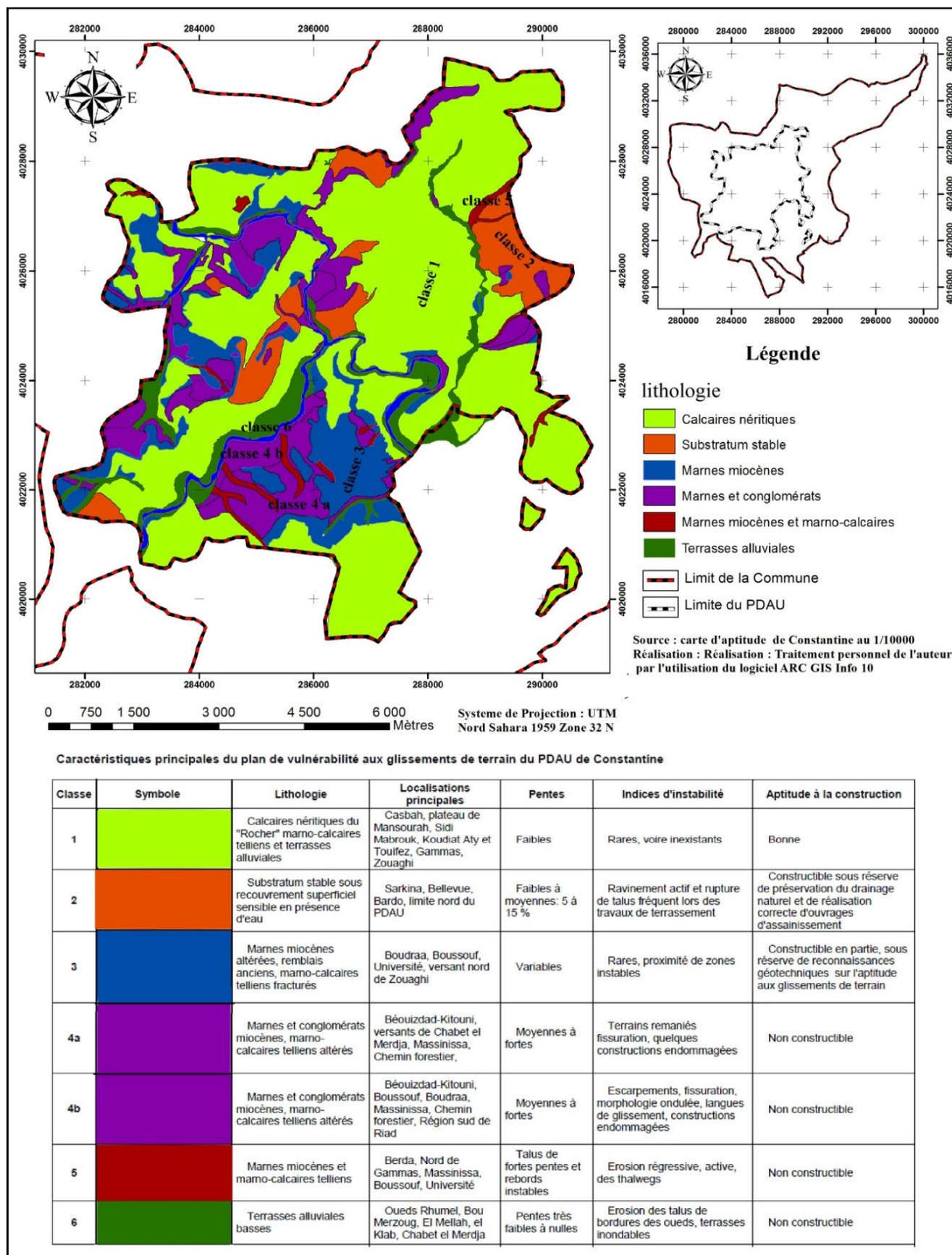
Les éléments grossiers sont prédominants, ils proviennent de la nappe numidienne et sont souvent enveloppés dans une gangue ferrugineuse, qui donne à la formation une coloration rouge caractéristique.

1-3-4-2-Le Calcaire Lacustre

Est largement distribué sur les plateaux de Mansourah-Sidi Mabrouk, au centre, Salah Bey, plus au Nord-ouest et les crêtes surélevées d'Aïn El Bey au Sud. Cette formation bien que d'épaisseur et de contenu variables, est lithologiquement bien distincte des calcaires lacustres pliocènes massifs situés plus au Sud-ouest (Route d'Aïn Smara).

1-3-5-Les Terrasses Alluviales

Sont distribuées essentiellement sur les rives des oueds Rhumel et Boumerzoug, elles sont étagées et la plus ancienne est surélevée sur près de 20 à 25m par rapport à la côte du lit mineur voisin. (Benazzouz MT, 1992)



Carte n°1-6 : Les caractéristiques lithologiques de la ville de Constantine

1-4-Les effets d'une tectonique récente

La région de Constantine a subi une déformation polyphasée caractérisée par des schistosités des plis et des fractures : failles et fentes d'extension qui se manifestent surtout dans les terrains carbonatés du néritique.

Les marqueurs de la déformation sont nombreux et les différentes discordances permettent de caler l'âge approximatif des grandes phases tectoniques.

On peut distinguer deux tectoniques majeures : la première une tectonique Anté-nappes c'est à dire produite avant et pendant le déplacement des nappes, alors que, la deuxième et une tectonique post-nappes, caractéristique de la la région de Constantine comme du reste de la chaîne tellienne¹⁰

1-4-1-La tectonique Anté-Nappes

La région de Constantine a subi plusieurs déformations depuis le crétacé supérieur l'existence d'une surface durcie dans les termes sommitaux du calcaire néritique, est un élément significatif d'une émergence au cours du turono sénonien, compatible avec une phase décrite dans le Nord de l'Algérie et dans l'Atlas Saharien.

1-4-2-La tectonique Post-Nappes

La tectonique néogène post-nappes est bien exprimée sur le terrain, elle se distingue par une évolution de la déformation qui est intense dans les formations du miocène au quaternaire ancien plus discrète dans les formations plus récentes.

Les structures tectoniques les plus apparentes affectent les conglomérats et argiles rouges, miocènes, il s'agit :

- Des plis nord 10° à nord 20° d'échelle kilométrique, qui sont, d'ouest en est ;
- Le synclinal dissymétrique d'oued El Mellah, à flanc Ouest très redressé (60° à 65°) ;
- La structure à valeur anticlinale de Coudiat Touifez-Belouizdad ;
- La structure à valeur synclinale d'oued Rhumel, en amont de sa confluence avec oued

Boumerzoug des failles nord 10°, nord 110° et nord 130° à rejet vertical important (pluri-décamétrique).

Ces structures plissées sont très déformées par les rejets importants des failles plus tardives, elles sont discordantes sur les formations telliennes qui affleurent, à l'ouest sur le massif de Chettabah, et à l'Est, dans les quartiers urbains limitrophes (Gammass, Riad, Sarkina).

Les failles Nord 10° et Nord 130° subverticales, qui délimitent le massif néritique met en contact ce dernier avec l'assise conglomératique miocène.

¹⁰: ARCADIS-EEG-SIMECSOL-DUC(2003): Etude des glissements de terrain de la ville de Constantine, hydrogéologie des glissements de terrain, Ministère de l'habitat et de la construction .Direction de l'urbanisme et de la construction - wilaya de Constantine

Ces accidents sont donc soit néogènes, soit plus anciens mais réactivés postérieurement aux dépôts conglomératiques.

Le synclinal d'oued El-Mellah est traversé par une faille nord 20° qui met en contact la structure horizontale de la zone axiale du pli avec un compartiment basculé du pli.

Le talus conglomératique du Bardo est traversé par des failles verticales, méridiennes de rejet métrique. Le pliocène affleurant plus au Sud-ouest du secteur étudié, est discordant sur les conglomérats miocènes (P.E.Coiffait, 1992).

Le quaternaire ancien, disposé en superstructure sur le néogène et le substratum plus ancien est très peu plissé, les dalles calcaires sommitales, soulignent bien la structure tectonique à Mansourah, il forme un plateau surélevé (680m) légèrement incliné vers l'Est à Salah Bey le plateau calacrénitique peu élevé (450m), présente un faible pendage nord et à Ain El Bey et son prolongement occidental, les structures sont subhorizontales et surélevées (650-750 m). Les structures géologiques observées sont l'héritage d'une tectonique Alpine et Néo Alpine évolutive, les grands accidents nord 20° et nord 130° , qui délimitent le Rocher néritique sont probablement anciens mais certainement réactivés au néogène post nappes et au quaternaire moyen.

-Au miocène supérieur, les formations conglomératiques sont plissées à échelle kilométrique, suivant une direction nord 10° à nord 20° ;

-Au pliocène et au quaternaire ancien, des accidents subméridiens affectent les formations suivant des rejets verticaux d'échelle pluri-décamétrique ;

-Au quaternaire moyen, les terrasses alluviales les plus anciennes, sont probablement surélevées par les déformations les plus récentes.

Une observation minutieuse de ses terrasses reste à faire, afin d'apprécier l'activité des failles néogènes vis à vis de l'aléa sismique, les grands traits orographiques sont conformes à la tectonique néogène :

-Les structures synclinales occupent les zones les plus basses (Oued El-Mellah) ;

-Les structures à valeur anticlinale sont surélevées (axe : Coudiat Touifez-Bellevue Belouizdad

-Les failles majeures délimitent les grandes dénivelées du relief (le Rocher par exemple).

-Le relief est aussi la conséquence de la nature lithologique : les formations dures (calcaire néritique et dalles pliocènes) forment relief tandis que les formations argilo-marneuses sont érodées¹¹.

¹¹ : Idem

1-5-La ville et la confluence importante

La configuration spatiale du réseau hydrographique est étroitement liée à la structure tectonique : à l'ouest, le Mellah et son affluent : Châabet El Merdja, coulent dans la zone axiale d'une structure synclinale faillée, orientée nord10° à nord 20°.

Au sud le Rhumel et le Boumerzoug s'écoulent suivant les directions respectives : nord 20°et nord 130°, à la faveur des grandes directions de failles bien visibles dans les terrains compétents situés plus au nord (le Rocher)¹².

Au Centre et en aval de la confluence de ces deux cours d'eau, le franchissement du Rocher en question, n'est rendu possible que par l'existence des accidents nord 130° et nord10°, qui ont permis l'ouverture d'une brèche pour l'écoulement des eaux vers la région plus basse de Hamma Bouziane.

En admettant une ancienneté relative de ces cours d'eau, leur drainage reste assuré par surimposition compte tenu de la tectonique récente qui a tendance à maintenir le relief en surrection. Le réseau hydrographique imprimé notamment par le Rhumel et le Boumerzoug, est lui-même étroitement lié aux directions d'accidents nord 20°et nord 130°.

Les facteurs structuraux maintiennent ainsi, un relief escarpé malgré la sensibilité des terrains aux agents de l'érosion qui tendent à l'aplanir. Il en résulte alors, des conditions favorables aux glissements de terrain.

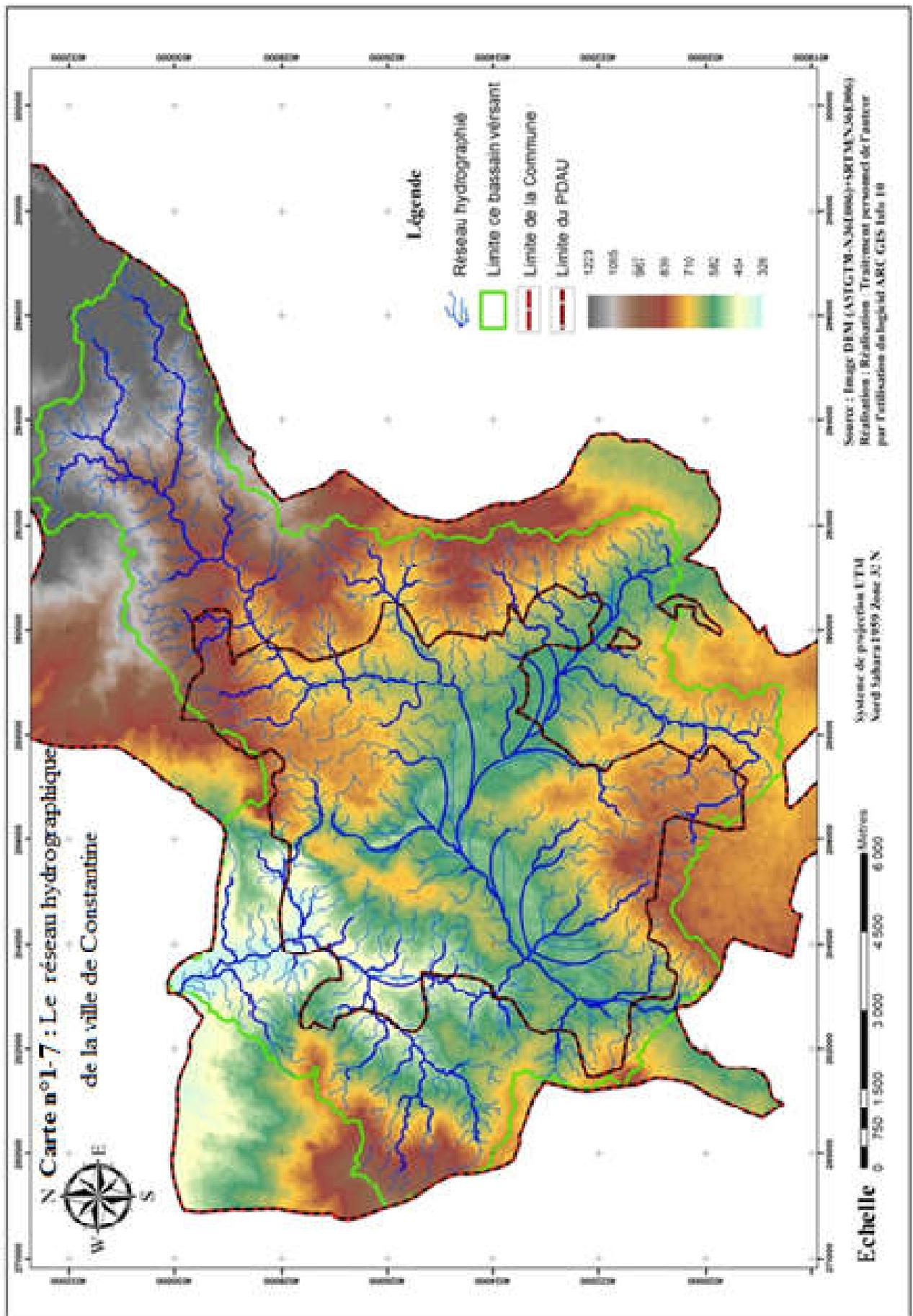
La terrasse alluviale surélevée sur plus de 20m, pour une raison vraisemblablement tectonique témoigne de cette surimposition.

Sur le plan hydraulique les écoulements superficiels sont perturbés par cette configuration structurale à 100 m en amont du pont de Sidi Rached, l'entrée des gorges profondes et étroites entaillées dans le massif calcaire, n'offre pas suffisamment de largeur pour l'écoulement des grands débits.

Cette section véritable cluse naturelle enregistre alors des hauteurs de crues exceptionnelles (pouvant dépasser 10 m), propices aux inondations des zones situées vers l'amont de la confluence terrasses alluviales récentes et intermédiaires).

Ce régime hydraulique semble être à l'origine des larges terrasses alluviales situées en amont de cette confluence et à la formation précoce des méandres accentués du Boumerzoug et du Rhumel.

¹²: ARCADIS-EEG-SIMECSOL- DUC(2003):Etude des glissements de terrain de la ville de Constantine, géomorphologie de la ville de Constantine et de ses Alentours, Ministère de l'habitat et de la construction. Direction de l'urbanisme et de la construction - wilaya de Constantine -19 p.



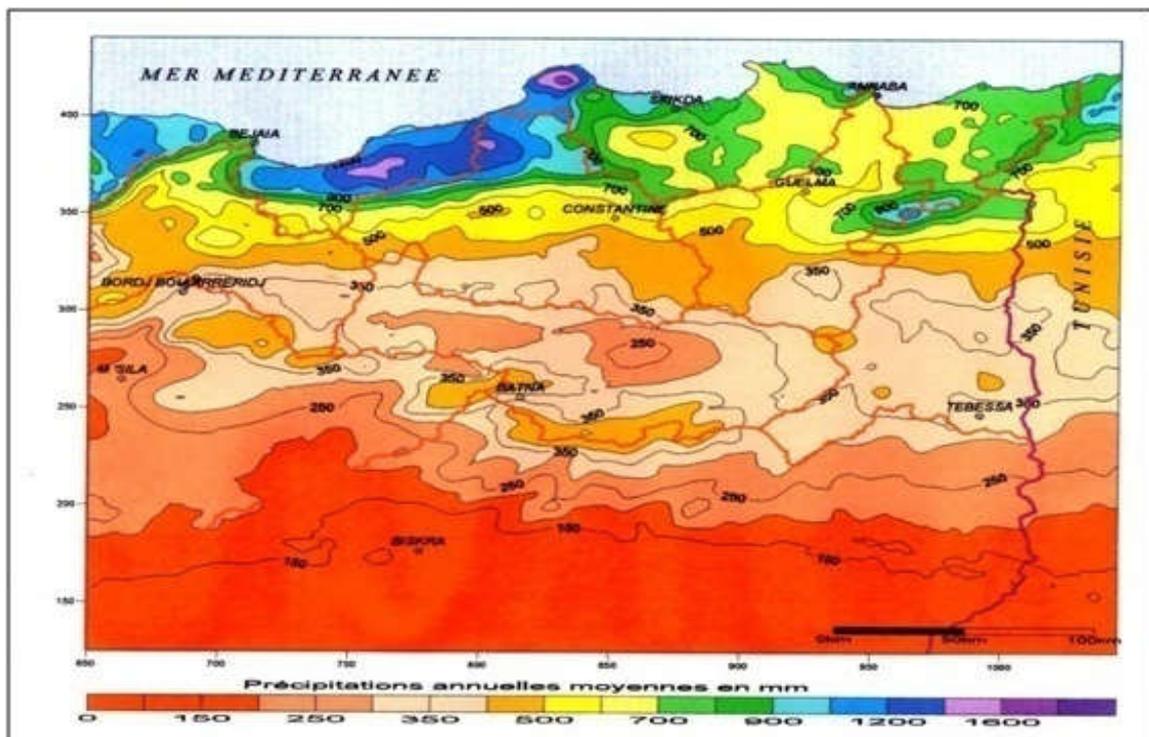
1-6-Les Caractéristiques et les éléments climatiques

Le climat demeure l'un des paramètres essentiels dans le déclenchement des phénomènes d'instabilité du milieu urbain.

La région est caractérisée généralement par un climat semi-aride avec un hiver pluvieux et froid et un été sec et chaud.

Au nord les précipitations sont plus élevées atteignant en moyenne les 600 mm par an sur les reliefs par contre au Sud elles chutent à environ de 300 à 330 mm par an.

La ville se caractérise par un climat qui est à la limite entre le climat subhumide et semi aride dominé par la pluie d'hiver et de printemps. (Figure n°1-1)



Source : ANRH, (2003)

Figure n°1-1 : Les précipitations annuelles moyennes de l'Est Algérien

1-6-1-Les éléments du climat

1-6-1-1-Les précipitations

La pluie est un élément de départ du phénomène du ruissellement et constitue la première phase du cycle urbain de l'eau.

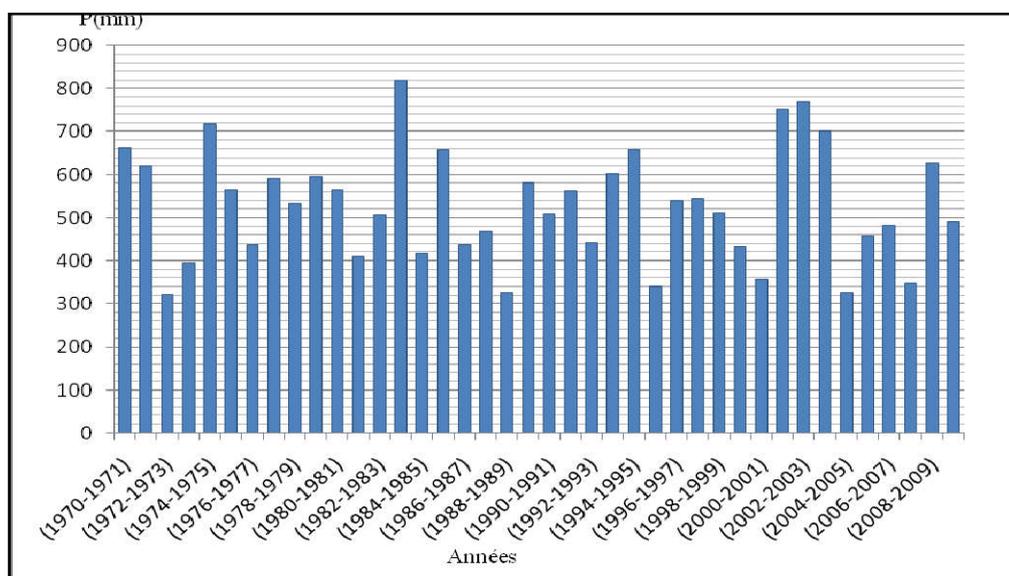
Il constitue l'entrée du système et la donnée fondamentale nécessaire à la compréhension de son fonctionnement, c'est un phénomène à forte composante aléatoire, son aspect et sa forme varient dans le temps et dans l'espace à l'échelle de l'hydrologie urbaine.

Nous sommes référés à une période d'observation qui s'étale du premier septembre 1970 au 31 Août 2010 (40ans) de la station Ain El Bey.

1-La variabilité interannuelle des précipitations

L'analyse des données annuelles des précipitations pour la station d'Ain El Bey démontre une irrégularité interannuelle des précipitations (Figure n°1-2).

Nous remarquons que l'année (1983-84), est la plus pluvieuse avec 819,8 mm, tandis que la pluviométrie minimale est enregistrée durant l'année (1972-73) avec 312,2 mm.



Source : ONM + MEZHOU.D.L, (2010)

Figure n°1-2: Les variations des précipitations moyennes annuelles durant (1970-2010) à la station Ain El Bey

2-La variabilité saisonnière des précipitations

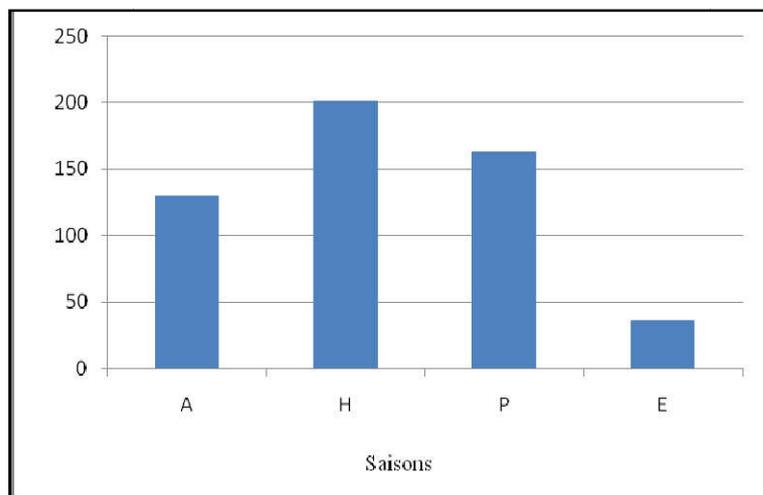
D'après le tableau n°1-1, on constate que la moyenne pluviométrique de la saison hivernale est la plus importante 200,88 mm, elle constitue 38,02% de la moyenne pluviométrique saisonnière.

En revanche, les moyennes saisonnières baissent en automne et en printemps mais elle baisse nettement en été avec 35,99 mm seulement, d'où elle ne constitue que 6,81 % de la moyenne pluviométrique saisonnière.

| Saisons | A | H | P | E |
|---------|--------|--------|--------|-------|
| P (mm) | 129,38 | 200,88 | 161,99 | 35,99 |

Source : ONM+MEZHOU.D.L,(2010)

Tableau n°1-1: La précipitation moyenne saisonnière à Constantine (1970-2010)



Source : ONM+MEZHOUUD.L,(2010)

Figure n°1-3:Les variations des précipitations moyennes saisonnières durant la période (1970-2010) à la station Ain El Bey.

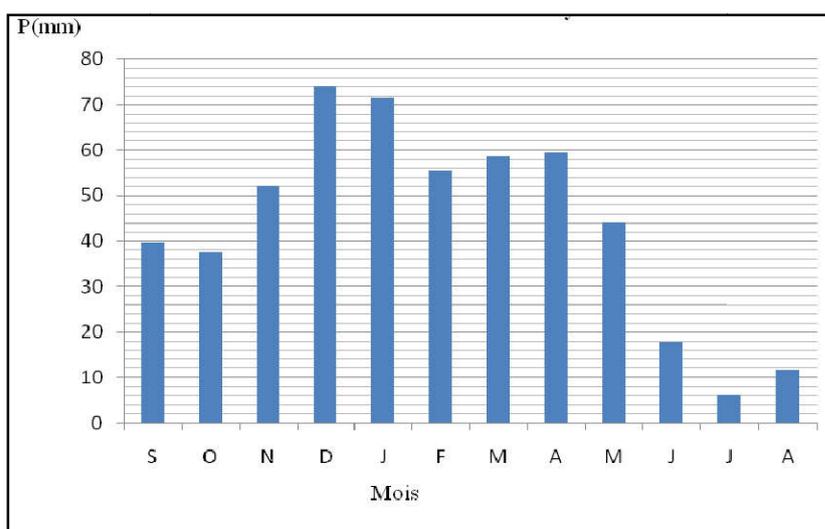
3-La variabilité mensuelle des précipitations

La traduction graphique des données moyennes mensuelles et leurs études visuelles (Fig.n°1-4), nous à permis de distinguer une forte moyenne pluviométrique enregistrée durant le mois de décembre avec 73,98 mm ce qui constitue 14 % de la moyenne annuelle, alors que le mois de juillet est le mois le plus sec avec 6,21 mm soit 1,17% de la moyenne.

| Mois | S | O | N | D | J | F | M | A | M | J | J | A |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|
| P(mm) | 39,76 | 37,65 | 51,97 | 73,98 | 71,52 | 55,38 | 58,55 | 59,35 | 44,09 | 17,93 | 6,21 | 11,85 |

Source : ONM, (2010)

Tableau n°1-2:La précipitation moyenne mensuelle à Constantine pour la période (1970-1971/2009-2010)



Source : ONM+MEZHOUUD.L, (2010)

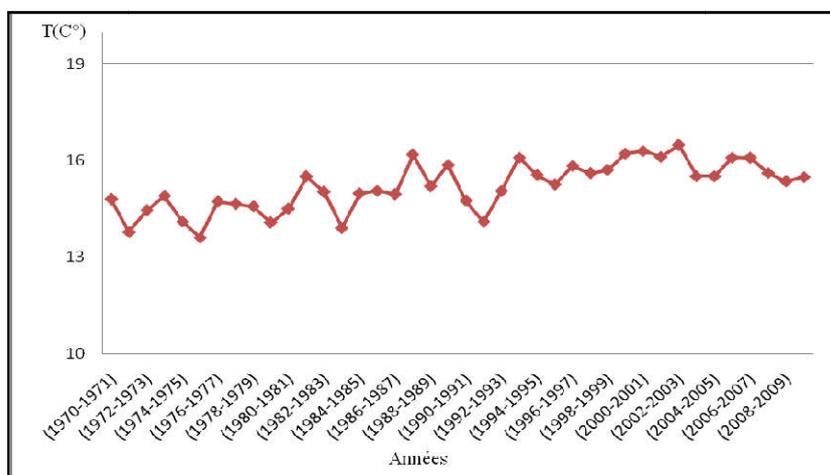
Figure n°1-4:Les variations des précipitations moyennes mensuelles durant la période (1970-2010) à la Station Ain El Bey

1-6-1-2-Les températures

La température est un important facteur dans l'évolution et l'estimation du bilan hydrologique. Nous avons utilisé les données disponibles à la station de l'Organisme National de la Météorologie ONM d'Ain El Bey (Constantine), pour une période qui s'étale de (1970-2010).

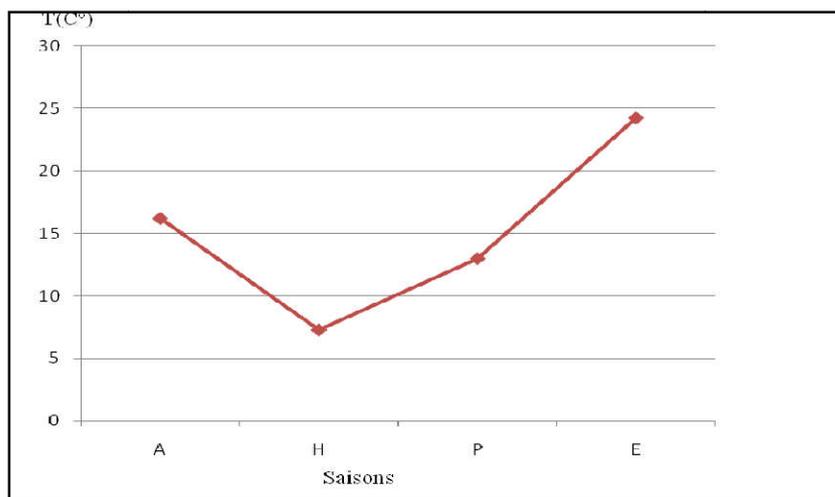
Les températures moyennes mensuelles de la période, ont montré que le mois de janvier marque la plus basse température avec 6,64°C et les mois de juillet et d'août présentent le maximum de température avec une valeur de 25,36°C et 25,33°C.

La température moyenne annuelle est de 16°C, par ailleurs, l'été est la saison la plus chaude par 24,24°C Figures n°(1-5,1-6,1-7).



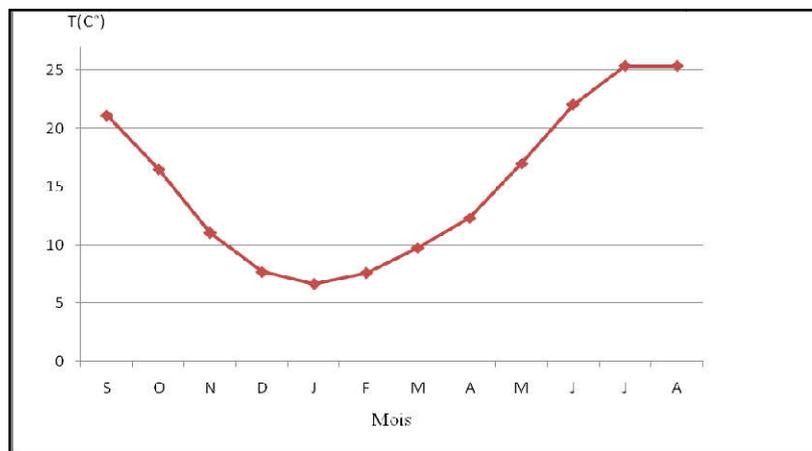
Source : ONM +MEZHOU.D.,(2010)

Figure n°1-5:Les variations des températures moyennes annuelles durant la période (1970-2010) à la Station Ain El Bey



Source : ONM+MEZHOU.D.,(2010)

Figure n°1-6:Les variations des températures moyennes saisonnières durant la période (1970-2010) à la Station Ain El Bey



Source : ONM+MEZHOU.D.,(2010)

Figure n°1-7:Les variations des températures moyennes mensuelles durant la période (1970-2010) à la Station Ain El Bey

1-6-1-3-Les vents

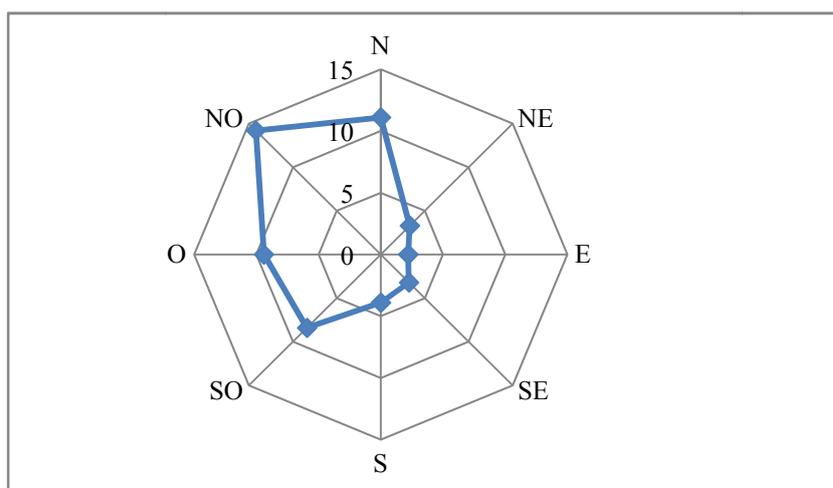
Les vents qui prédominent à Constantine sont de direction Nord et Nord-Ouest avec des vitesses qui varient entre 11,1m/s et 14,2m/s.

Ces vents sont froids et humides pendant la période hivernale, les vents de sable (Sirocco) soufflent au moins une fois par an en été particulièrement. Figures n°(1-8-1-9)

| Direction du vent | N | NE | E | SE | S | SO | O | NO |
|-----------------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| Vitesse du vent (m/s) | 11,1 | 3,3 | 2,2 | 3,2 | 3,9 | 8,4 | 9,4 | 14,2 |

Source : ONM, (2010)

Tableau n°1-3:La vitesse moyenne mensuelle du vent à Constantine pour la période (1970-1971/2009-2010)



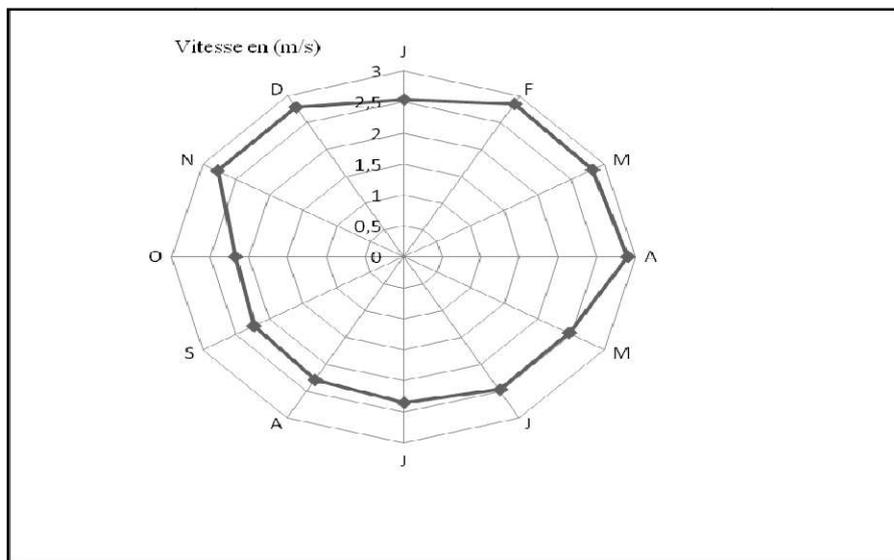
Source : ONM+MEZHOU.D.,(2010)

Figure n°1-8:La direction et la vitesse du vent pour la période (1983-2003) à la Station Ain El Bey

| Mois | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|
| Moy | 2,54 | 2,85 | 2,81 | 2,89 | 2,46 | 2,48 | 2,36 | 2,3 | 2,24 | 2,18 | 2,78 | 2,79 |

Source : ONM,(2010)

Tableau n°1-4:La vitesse moyenne et la direction du vent durant la période (1983-2003) Station Ain El Bey



Source : ONM+MEZHOUD.L,(2010)

Figure n°1-9-Les variations des vitesses moyennes mensuelles du vent durant la période (1983-2003) à la Station Ain El Bey

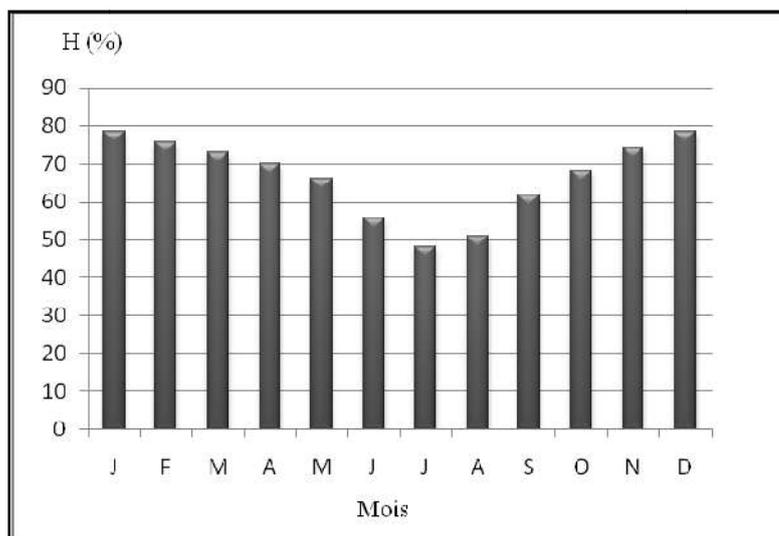
1-6-1-4-L’humidité

Les valeurs de l’humidité mensuelles sont mentionnées dans le tableau suivant, pour la station de Constantine, dont l’humidité moyenne attient sont maximum en janvier et sont minimum en juillet. Figure n°(1-10).

| Mois | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
|------|------|------|----|----|----|------|------|------|------|----|------|------|
| Moy | 78,5 | 75,8 | 73 | 70 | 66 | 55,7 | 48,2 | 50,9 | 61,8 | 68 | 74,3 | 78,5 |

Source : ONM,(2010)

Tableau n°1-5: Humidité moyenne mensuelle pour la période (1983-2003)



Source : ONM +MEZHOUD.L,(2010)

Figure n°1-10-L'humidité moyenne mensuelle durant la période (1983-2003) à la Station Ain El Bey

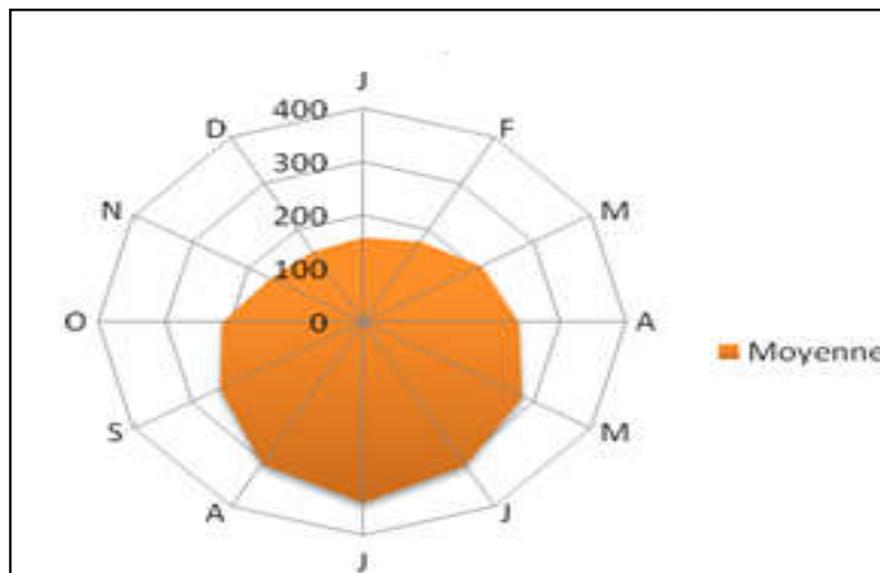
1-6-1-5-Insolation

L'enseillement atteint sont maximum en juillet 338,19h et sont minimum en décembre 153,33h.

| Mois | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-------|-------|-------|-------|
| Moy | 159,4 | 175,2 | 209,8 | 237,8 | 280,7 | 310,5 | 338,1 | 307 | 250,9 | 214,8 | 163,5 | 153,3 |

Source : ONM,(2010)

Tableau n°1-6: Insolation moyenne mensuelle à la station Ain El Bey (1983-2003)



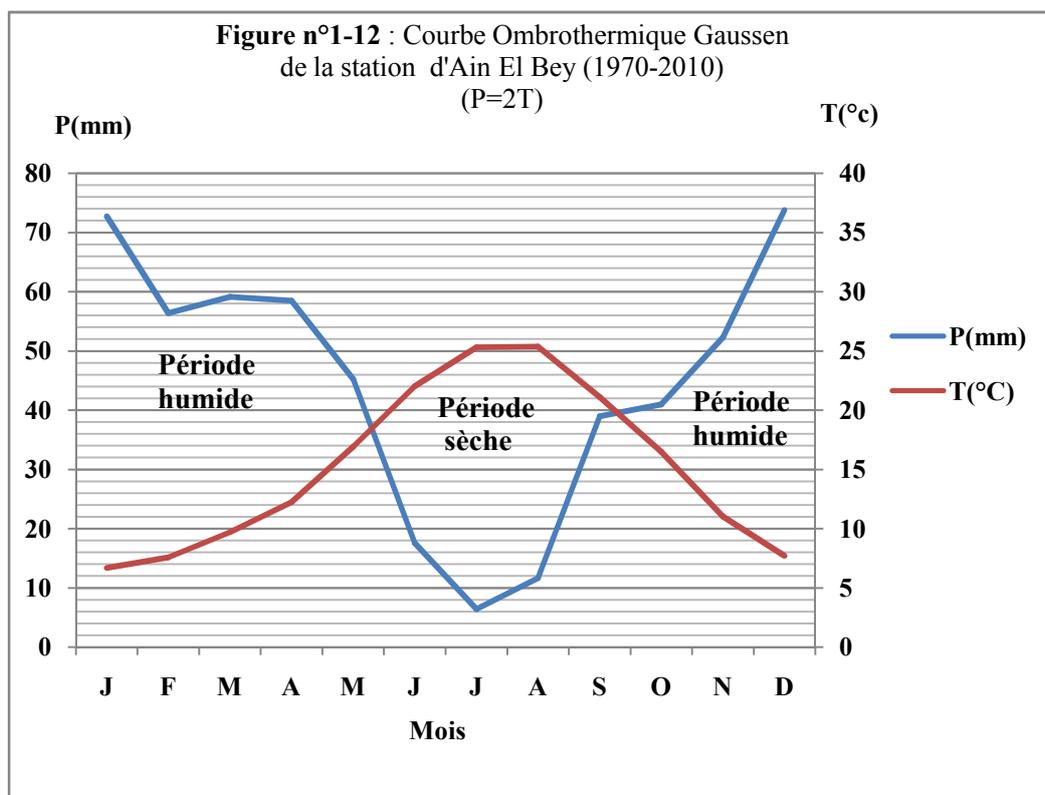
Source : ONM + MEZHOUD.L,(2010)

Figure n°1-11 : L'insolation moyenne mensuelle durant la période (1983-2003) à la Station d'Ain El Bey

1-6-1-6-Relation précipitation et température mensuelle

Selon la définition de Bagnouls et Gausse, une période sèche est une période pendant laquelle les précipitations totales du mois sont inférieures ou égales au double de la température du même mois.

A partir des valeurs majeurs mensuelles des températures et des précipitations de la période (1970-2010) de la station Ain El Bey, le diagramme ombrothermique a été établi selon cette figure, on peut remarquer qu'il existe deux saisons l'une sèche s'étend de Mai à Septembre et une autre saison humide s'étend de septembre à mai (Figure n°1-12).



Source : ONM+MEZHOU.D.L,(2010)

Conclusion

La ville de Constantine est caractérisée par un relief escarpé qui résulte en premier lieu, de l'action conjuguée de la tectonique récente post-pliocène et de la surimposition du réseau hydrographique, il en résulte une bonne conformité des structures géologiques et de la morphologie.

Les grandes lignes du relief sont orientées nord 20° et nord 130°, conformément aux structures plissées et aux accidents majeurs qui déterminent, par ailleurs, les grands axes d'écoulement des eaux superficielles : Rhumel, Boumerzoug, Mellah.

Les formations quaternaires les plus rigides sont peu plissées mais décalées par le jeu vertical des failles, elles correspondent alors aux plateaux surélevés de Mansourah, Salah Bey et Aïn El Bey.

Cependant la géodynamique externe, soutenue par un climat favorable (précipitations sous forme d'averses, grands écarts thermiques saisonniers participe activement dans le modelé du relief, dans la mesure où certaines formations géologiques telles que les marnes, argiles et conglomérats, sont particulièrement sensibles à l'érosion et aux mouvements de versants.

En effet Constantine est parmi les premières villes touchées par les problèmes d'érosion des sols et d'instabilité des terrains de manière considérable, conduisant à l'endommagement des quartiers résidentiels, la ville est caractérisée par une lithologie défavorable (formations 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 important quasi-totale de couverture végétale et la présence de quantités importantes de précipitations et des eaux souterraines

Ces caractéristiques font du territoire de la ville 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 terrain.

En effet les contextes orographiques, climatiques et géologiques, aggravent les effets des risques liés aux glissements de terrain dans la ville de Constantine.

Le chapitre suivant sera consacré à présenter les caractéristiques des glissements de terrain à travers les quartiers de la ville, cela permet de faire l'état des lieux et de déterminer les caractéristiques : (géologiques, géomorphologiques, hydrogéologiques et géotechniques), des glissements de terrain qui affectent le tissu urbain de Constantine.

Chapitre 2 : Constantine face à l'occurrence des glissements de terrain

Introduction

A Constantine le phénomène de glissement de terrain s'est manifesté au début du siècle dernier, le glissement du pont Sidi Rached rend compte de cette situation. Cela constitue un obstacle considérable pour poursuivre une extension des tissus urbains existants ou prévoir une urbanisation des zones libres.

A travers ce chapitre nous exposons les caractéristiques géomorphologiques, géologiques et géotechniques des principaux glissements de terrain à travers les quartiers exposés aux risques

2-1-Généralité sur les glissements de terrain

2-1-1-Définition des glissements de terrain

Les glissements sont des phénomènes complexes, mouvements obliques qui affectent des pentes limitant des massifs plus ou moins structurés, constitués de matériaux meubles, plus ou moins argileux et sensibles à l'eau, dont la stabilité n'est qu'apparente.

Ils sont généralement qualifiés de rapides, effectivement ils peuvent se produire brusquement sans prévenir, généralement dans les régions au sous sol argileux ou marneux.

La surface accidentée, correspond toujours à une pluviosité exceptionnelle du moins très forte et continue. Ces mouvements se produisent 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. Selon la surface de rupture rencontrée dans les glissements, Varnes (1978) et par la suite Flageollet (1989) ont subdivisé les glissements en deux catégories :

2-1-1-2-1-Le glissement plan

Il se produit généralement sur une surface structurale préexistante, plus au moins plane, séparent une formation supérieure meuble, prédisposée à être instable, généralement plus au moins aquifère, d'une formation inférieure compacte stable, le plus souvent imperméable.

Quand l'eau est peu abondante et la formation supérieure assez perméable pour favoriser un drainage naturel ce glissement peut passer pour de reptation un peu rapide, il peut être éventuellement accéléré par des événements extérieurs tels que des terrassements sur la pente.

En revanche, quand l'eau devient abondante la pression hydrostatique et ou hydrodynamique peut rompre la couche superficielle et provoque une coulée de boue souvent très dangereuse théoriquement pour ce type de glissement la surface est définie mais la vraie position est rarement connue. (Figure n°2-1)

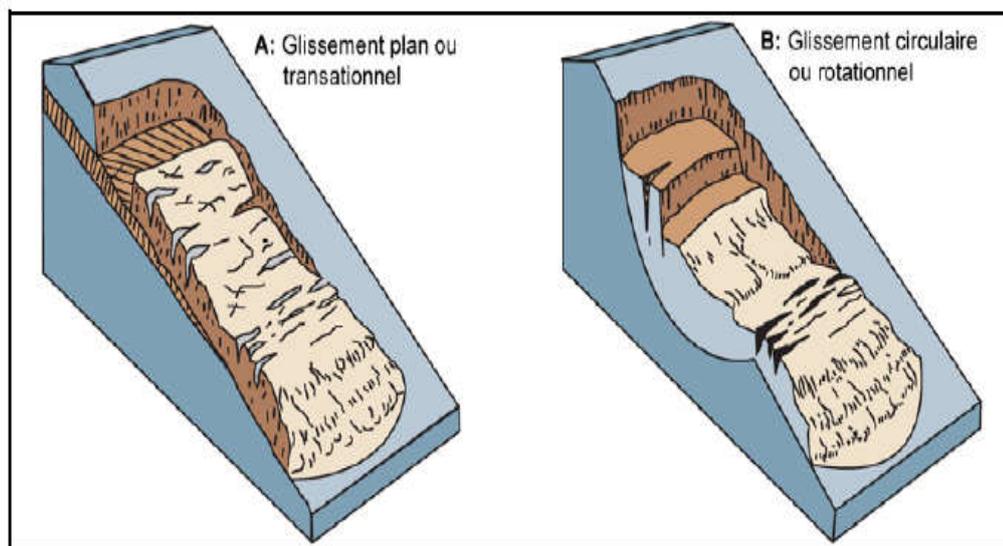
2-1-1-2-Le glissement circulaire ou rotationnel

C'est un modèle déterministe le massif dont la pente est la face libre directement soumise à la gravité doit être constitué d'un matériau homogène, isotrope et invariant ou au moins présenter une structure très simple dans laquelle ne se trouve que de tels matériaux.

Ce glissement est limité latéralement par des bords cisailés subverticaux ou bien, il présente la forme approximative d'une cuiller.

En revanche les massifs constitués de matériaux homogènes, isotropes et invariants ne sont pas très courants dans la nature, c'est la raison pour laquelle le glissement d'un massif de remblai, qui peut l'être plus au moins est l'exemple type des glissements rotationnels.

(Figure n°2-1)



Source : USGS

Figure n°2-1 : Principaux types de glissements

On distingue dans cette catégorie le glissement circulaire complexe, qui groupe sous cette appellation tous les glissements qui se produisent dans la nature, elles résultent de la superposition d'écroulements, de fluages et de glissements simples.

Les matériaux meubles plus au moins épais, plus au moins argileux de certaines zones plus au moins aquifères glissent plus facilement que d'autres, ils sont souvent rassemblés dans des gouttières et vallons fossiles, surcreusements locaux du substratum des versants parallèles à la pente générale.

Les sources de pied de versants correspondent souvent à de tels vallons, elles révèlent des cheminements préférentiels d'eau souterraine, susceptibles de favoriser les glissements et même les coulées de boues, leurs abords sont donc généralement assez dangereux.

Les glissements peuvent être classés selon la profondeur estimée de la surface de glissement et selon la vitesse moyenne à long terme des mouvements (comme mesure de leur activité).

Lors de l'évaluation du danger potentiel que représente un glissement, on ne doit pas seulement considérer le volume ou la vitesse du glissement

a) Profondeur de glissement

Le tableau suivant présente les différentes valeurs de classification selon la profondeur de la surface de glissement

| Glissement | Surface de glissement |
|---------------|-----------------------|
| Superficiel | 0-2 m |
| Semi profonde | 2-10 m |
| Profonde | 10-30 m |
| Très profonde | >30 m |

Source : Office Fédéral de l'environnement division prévention des dangers,(2009)

Tableau n° 2-1:Classification d'après la profondeur de la surface de glissement

b. Vitesse moyenne de glissement de terrain

Le tableau suivant présente les classifications selon l'activité en fonction de l'évaluation de la vitesse moyenne de glissement à long terme.

| Glissements | Vitesse de glissement |
|-------------------------------------|-----------------------|
| Sub-stabilité, très lent | 0-2 cm/an |
| Peu actif, lent | 2-10 cm/an |
| Actif (ou lent avec phases rapides) | >10 cm/an |

Source : Office Fédéral de l'environnement division prévention des dangers,(2009)

Tableau n° 2-2:Classification selon l'activité en fonction de la vitesse moyenne de glissement

2-1-2-Les causes d'instabilité

Très souvent, les glissements de terrain sont déclenchés par un ensemble de facteurs divers, certaines conditions doivent être réunies pour menacer la stabilité d'un versant, a celles-ci viennent s'ajouter un ou plusieurs mécanismes déclencheurs.

Les glissements de terrain se définissent comme le mouvement lent ou rapide du matériel superficiel de l'écorce terrestre, vers le bas de la pente, dû à une augmentation de poids, perte de la consistance des matériels ou autre facteur qui génère un déséquilibre dans le versant, le matériel déplacé peut bouger de façon lente (millimètres par an), rapide et extrêmement rapide (mètres/jour) selon la topographie, le volume de la masse du sol ou de la roche, le mécanisme de rupture et l'action de l'eau, parmi d'autres facteurs.

En plus, ils peuvent s'activer ou s'accélérer à cause des tremblements de terre, éruptions volcaniques, précipitations, l'augmentation du niveau des eaux souterraines, de l'érosion le débordement des rivières et de l'activité humaine.

Dans ce sens, le passage de l'état de stabilité à l'état d'instabilité d'un versant relève de causes nombreuses et variées on distingue les prédispositions (facteurs passifs) et les facteurs préparatoires et déclenchant (facteurs actifs)

2-1-2-1- Les facteurs passifs ou invariables

L'analyse d'une série de paramètres fondamentaux permet de définir, dans une large mesure, la probabilité d'occurrence d'un glissement ainsi que sa localisation:

2-1-2-1-1-Géologiques

Représentent des facteurs d'instabilité permanente, la lithologie, la stratigraphie de la roche (orientation et angle d'inclinaison), les discontinuités stratigraphiques et structurelles, et l'altération des roches (altération hydrothermale et/ou météorisation).

Un glissement peut concerner le substratum rocheux (roches fissurées, les roches marneuses roches schisteuses...etc) ou les couches de sol superficielles (couverture d'altération, les marnes, les argiles, les calcaires...etc).

a-La structure du matériau

C'est l'étude des différentes roches et sols rencontrés, elle doit faire apparaître des informations essentielles tels les types de couches rencontrées, la présence de niveaux altérés, alternance de roches dures compactes et tendres, l'alternance de couches altérés et résistantes la nature des joints de stratification, le pendage des couches, la présence de failles et de plissements... etc.

b- La lithologie du site

Elle étudie les caractéristiques des sols et roches existants sur le terrain, telle la composition, la texture, les caractéristiques mécaniques, la perméabilité, la susceptibilité d'altération.

2-1-2-1-2-La morphologie du site

Définition de toutes les formes pouvant révéler l'existence de mouvements de terrain (telle la pente topographique du terrain) et leurs mécanismes (bourrelets ,fissures ,arbres inclinés...etc) l'âge des formations topographiques du site car le potentiel du risque de glissement de terrain peut être calculé aussi en évaluant l'âge de formation des pentes (pour une ancienne topographie le risque d'instabilité est inférieur par rapport à une topographie plus récente car l'ancienne a déjà résisté aux actions (sismiques, climatiques...etc.), qui ont affecté le versant de plus, l'emplacement et le type d'instabilité pouvant affecté le versant peuvent être déterminé en analysant la topographie du terrain : l'inclinaison de la pente, son aspect, sa direction et sa courbure.

2-1-2-2-Les facteurs actifs ou variables

Ce sont ceux qui provoquent l'instabilité sur le versant, une petite cause peut être suffisante pour provoquer l'instabilité, ces facteurs peuvent être :

2-1-2-2-1-Les facteurs climatiques

La pluie,la neige,le gel,le vent sont des facteurs variables et incontrôlables pouvant déclencher ou accélérer le processus glissement de terrain par l'effet de l'érosion,altération du sol ou de la roche,circulation d'eau en surface, augmentation de la pression interstitielle,arrachement des arbres...etc).

2-1-2-2-2-Végétation

La couverture végétale joue un rôle très important dans la stabilité des talus qui peut être favorable (les racines augmentent la cohésion du sol), ou défavorable (l'effet du vent sur les arbres qui constitue un effort moteur, l'effet de levier qui peut arracher les arbres et laisser des vides dans le sol, l'érosion de la roche...etc), de plus elle peut nous renseigner sur la position de la nappe.

2-1-2-2-3-Les facteurs accidentels (séismes, vibrations, tremblements de terre...)

Les vibrations créées dans le sol par ces actions accidentelles et la modification des conditions aux limites (augmentation des efforts) peuvent être à l'origine du déclanchement ou de la réactivation d'un glissement de terrain.

Elles sont à l'origine de nombreuses instabilités et mouvements de versants, l'origine des instabilités est la structure géologique du sol, mais peuvent aussi prévenir d'une sollicitation sismique (dynamique),qui induit l'apparition des forces d'inertie (d'origine sismique) la

génération de surpressions interstitielles, la réduction des caractéristiques mécaniques du sol, une désorganisation de l'hydrologie et de la structure du versant.

Il faut aussi prendre en considération les effets de site qui sont liés à la structure géologique du versant et la topographie qui provoquent une amplification importante de l'effort sismique cette amplification est due aux phénomènes de réflexion, de réfraction, et de diffractions des ondes de volume et de surface. Elles apportent des modifications sur les caractéristiques du signal (durée de vibration, et l'amplitude de l'effort) et son spectre de réponse.

Ces effets peuvent entraîner une amplification très importante de l'effort, les rapports d'amplitude crête/base varies de 3 à 5 m et peuvent atteindre 10 m dans certains cas particuliers.

Ce rapport dépend de la morphologie et de la pente du terrain, ainsi que des propriétés mécaniques du sol, donc une prise en compte de l'amplification de l'accélération sismique dans la modélisation et l'analyse des glissements de terrain s'avèrent nécessaire pour permettre une meilleure compréhension du phénomène, les mécanismes de rupture des pentes sous séisme sont souvent très difficiles à évaluer en raison de la complexité de la géologie de la complexité de la géologie locale et du manque d'informations sur le comportement rhéologique et hydrologique des matériaux.

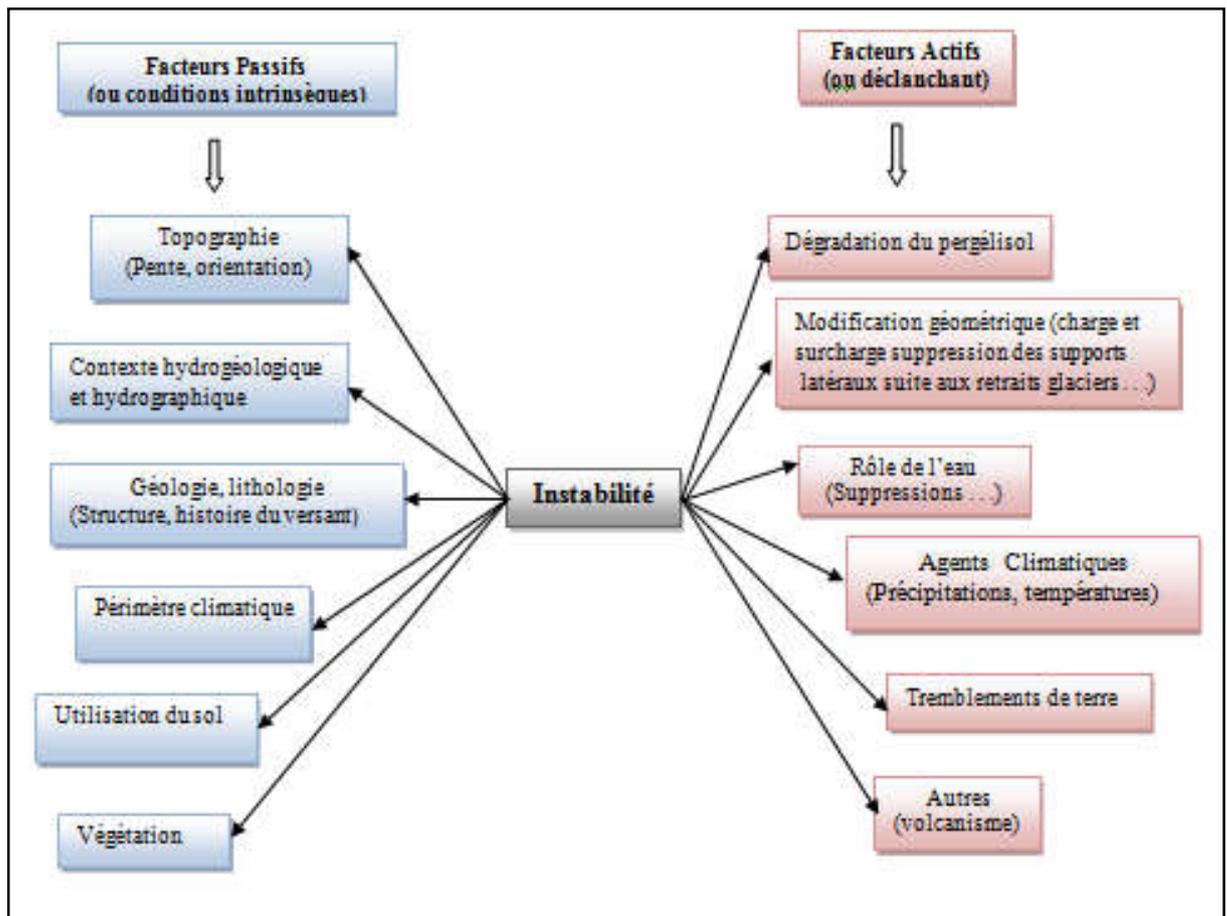
Les séismes peuvent provoquer des glissements dans des pentes initialement stables ou instables ces glissements sont semblables à ceux dus aux causes habituelles (statiques).

Il s'agit des mécanismes de rupture par cisaillement des talus et pentes naturelles, ces derniers dépendent de la forme de la surface de rupture.

2-1-2-2-4-Les facteurs anthropiques

Modification de l'hydrologie : les pertes des réseaux hydrauliques, toute modification de l'hydrologie par une activité humaine.

Modification du relief : terrassement (suppression d'une butée, augmentation de la pente surcharge du versant par un remblai), les surcharges dues aux structures qui constituent un moment moteur, la déforestation, les feux et incendies forestiers, l'activité minière l'utilisation inadéquate du sol et autres .



Source : Auteur(2017)

Figure n°2-2 : Les facteurs déclenchant de glissement

2-2-Les villes algériennes face aux glissements de terrain

Le glissement de terrain présente aussi la caractéristique d'être souvent provoqué ou amplifié par l'activité humaine inhérente à l'urbanisation. Le problème des glissements de terrain est couramment rencontré en Algérie et ce depuis fort longtemps d'où le caractère imprévisible et violent de ces mouvements représente un danger pour la vie humaine et les biens, les glissements de terrains sont certainement les plus répandus à travers le territoire national.

A ce propos, plusieurs cas de glissements de terrains sont recensés de manière régulière à travers nos villes, portant essentiellement atteinte à l'économie et nécessitant la reconstruction de bâtiments et le relogement des familles.

A travers les différents exemples, nous essayons de mettre en relief les acteurs naturels qui régissent ces mouvements gravitaires à travers plusieurs sites.

2-2-1-La ville d'Alger

A Alger, les zones de glissements de terrain les plus fréquents, affectent les formations marneuses plaisanciennes du Sahel d'Alger et les argiles sableuses formant le faciès de transition entre le plaisancien marneux et l'astien molassique.

Il s'agit des glissements d'El Achour, Ouled Fayet et Dély Brahim, d'El Biar et du club CET à Tipaza¹².

2-2-1-1-La région instable d'El Achour-Ouled Fayet-Dély Brahim

Cette zone est située dans la banlieue sud ouest d'Alger, sur des terrains marneux plaisanciens épais à couverture grés-sableuse astienne, très érodée, formant en particulier les plateaux d'El Achour et d'Ouled Fayet.

Elle est caractérisée par une urbanisation intense, les glissements de terrain se manifestent le long des bordures du plateau molassique et dans les niveaux marneux plaisanciens.

Dans le plateau molassique perméable, l'instabilité des terrains est liée à la conjonction de plusieurs facteurs : la valeur des pentes assez raides (50-100%), et la sensibilité des argiles sableuses de base de l'Astien et des marnes plaisanciennes sous jacentes, vis-à-vis des eaux souterraines, dont l'infiltration est rendue possible à partir du plateau molassique perméable.

L'urbanisation sur les bordures, par la réalisation des terrassements, a accentué la situation ce qui a déclenché des glissements de terrain et exposé les constructions à leur dégradation.

Dans les versants instables marneux d'El Achour, les formations sont altérées et elles présentent un aspect terreux à la cassure, caractérisé par une grande porosité liée à leur remaniement et perdent toute cohésion en présence d'eau. Ainsi que, sur le plan de la stabilité des versants, la région marneuse comprise entre Dély Brahim, El Achour et Ouled Fayet, menacé et affecté par plusieurs mouvements de terrain, en particulier par fluage.

Notons que l'urbanisation au niveau de cette région a ignoré cette contrainte réelle, en effet, la route d'Ouled Fayet Chéraga, est menacée sur ses deux côtés et sur presque toute sa longueur, par de nombreuses constructions collectives (R+5) et individuelles.

Il en est de même pour le versant marneux qui limite à l'ouest, le plateau molassique urbanisé d'El Achour, les nouvelles constructions, qui ont en partie, déstabilisé la bordure du plateau se poursuivent par des terrassements nouveaux et commencent à occuper les zones inondables proches du réseau naturel de drainage (oued Ben Brahim).

¹² : Rachid BOUGDAL(2007):Urbanisation et mouvements de versants dans le contexte géologique et géotechnique des bassins néogènes d'Algérie du Nord-Thèse Docteur d'Etat en Sciences de la Terre Spécialité : Géologie appliquée Université des sciences et de la technologie Houari Boumediene ,186p

2-2-1-2-Le glissement du Télémy

Le glissement du Télémy est situé entre le plateau d'El Biar (225 m) et le boulevard Krim Belkacem (100m), occupe une superficie de 10 à 12 ha suivant une déclivité moyenne de 25 à 30%, une longueur de 550m et une largeur maximale de 280 m.

Les terrains mobilisés par ce glissement sont les marnes plaisancienne, sous forme de fluage et l'éroulement de pans de la falaise molassique qui la surmonte sur une trentaine de mètres d'épaisseur en amont du glissement (balcon St Raphaël).

Ce glissement de terrain actif qui évolue par une vitesse lente, est localisé dans le tissu urbain d'Alger constitue depuis longtemps, une véritable contrainte vis-à-vis des aménagements existants endommagés, malgré les nombreuses tentatives de stabilisation¹³.

2-2-2-La ville de Tipaza

A trois kilomètres environ à l'Est de la ville de Tipaza, le talus aval de la route nationale n°11 est entraîné dans un glissement de terrain qui s'étend jusqu'au rivage marin.

Dans les années 1970, sa progression a fissuré cette route de même que son talus amont formé par une falaise rocheuse d'une dizaine de mètres de hauteur.

Ils délimitent une zone boisée ,chaotique à crevasses profondes et arbres déracinés témoignant de l'instabilité de l'ensemble de ce talus.

En tête du glissement, la falaise sicilienne découpée par des fractures ,dont l'ouverture en traction d'échelle métrique, témoigne de sa déstabilisation par le glissement, le pied de la falaise cote de la route nationale n°11 correspond sensiblement au contact entre la marne plaisancienne et les grès siciliens le long duquel se manifestent des émergences et suintement d'eau¹⁴.

2-2-3-La ville de Médéa et de ses alentours

La ville de Médéa est construite sur un plateau de (900-950) m d'altitude délimité par des rebords abrupts, dominants des versants de pente moyen (10-20)%.

Le plateau est formé par des grès, épais de plusieurs dizaines de mètres, appartenant au Miocène terminal (Roman,1974), tandis que les versants situés en contrebas, sont formés par des marnes grises du miocène moyen (Langhien Serravalien).

Les versants sont incisés par un réseau hydrographique dense qui draine aussi bien les eaux de surface que de nombreuses sources provenant du plateau gréseux aquifères à la base.

¹³ : Rachid BOUGDAL(2007):Urbanisation et mouvements de versants dans le contexte géologique et géotechnique des bassins néogènes d'Algérie du Nord-Thèse Docteur d'Etat en Sciences de la Terre Spécialité : Géologie appliquée Université des sciences et de la technologie Houari Boumediene ,186p

¹⁴ : Idem

L'extension urbaine du tissu urbain sur les versants marneux, dont la faible stabilité se manifeste par de nombreuses dégradations du bâti, de nombreuses constructions individuelles et ouvrages sont endommagés et fissurés.

Le tissu urbain de la ville est gravement affectée par les glissements de terrain, dont les zones essentiellement touchées, comportent des projets urbains : la zone 400 logements de l'OPGI, la route nationale n°1 et la cité universitaire « 2000 lits»¹⁵.

2-2-4-La wilaya de Mila

Les principaux sites affectés par les glissements de terrain se trouvent dans la wilaya de Mila, les glissements de terrain prennent de plus en plus de l'ampleur avec le temps, en fonction de la vitesse des mouvements durant les phases d'instabilité majeure, de la désorganisation des terrains et les surfaces de ruptures.

Les facteurs générateurs des mouvements des masses sont divers, la lithologie, l'eau et l'action anthropique jouent un rôle fondamental dans l'instabilité des terrains.

Ces mouvements menacent plusieurs sites (site de Sibari), ainsi qu'il existe un risque sismique probable avec des effets dommageables graves sur les infrastructures existantes : (le barrage d'oued Kaïm, le barrage de Beni Haroun), et sur les habitations, certains glissements ont causés des dommages importants aux infrastructures (routes, habitations...etc) dans la région¹⁶.

Le vendredi 7 Aout 2020, deux séismes de magnitude 4,9 et 4,5 sur l'échelle ouverte de Richter ont secoué, cette ville faisant des dégâts matériels dont l'effondrement de plusieurs habitations mais aucun dégât humain.

Ces dégâts sont localisés précisément au niveau de la région d'El Khorba, supérieur et inférieur, où les dégâts furent, avec ceux relevés au niveau du vieux Mila, considérables.

Une centaine de bâtisses situées au niveau des deux cités ont été, en effet, sérieusement secouées par le séisme.

Ali Yacoub relève que les raisons ayant concouru à alourdir le bilan matériel sont d'une part, liées à la nature du sol qui a été ébranlée par un très important glissement de terrain, en raison notamment d'une pente et qui a été aggravé par les ondulations causées par le séisme et d'autre part à l'urbanisation anarchique.¹⁷

¹⁵ : Rachid BOUGDAL(2007):Urbanisation et mouvements de versants dans le contexte géologique et géotechnique des bassins néogènes d'Algérie du Nord-Thèse Docteur d'Etat en Sciences de la Terre Spécialité : Géologie appliquée Université des sciences et de la technologie Houari Boumediene ,186p

¹⁶ :Idem

¹⁷:Ali Yacoub, chercheur à l'université Ferhat Abbas de Sétif.

2-2-5-La ville de Bougaa

La ville de Bougaa est située dans la partie nord -ouest de la wilaya de Setif, à 45Km environ du chef lieu de la wilaya. Cette ville se trouve à la limite septentrionale d'une fenêtre de terrains jurassique et crétacé autochtone.

Après la mise en place des nappes au Miocène inférieur, les bombements tectoniques ont fait ressortir le massif de Guergour, composé de terrains calcaires dolomitiques et marneux du jurassique et du crétacé, forment les reliefs au nord de la ville. Par ailleurs, l'assise de cette dernière est formée par les argiles et les calcaires de l'éocène de la nappe de Djemila.

Selon les dommages causés aux constructions, a permis de constater que la majorité des zones affectés par les glissements de terrain, sont localisées dans la partie ouest de la ville de Bougaa, elles forment deux couloirs de glissement qui s'organisent au tour de la direction Nord-ouest-Sud-est qui coïncide avec la direction de la faille Nord-ouest et Sud-est¹⁸.

2-2-6-La ville Ain El Hammam

A Ain el Hammam les glissements de terrain affectent en particulier la zone du marché d'Ain El Hammam et une superficie moyenne et de l'ordre de 10 h, la grande partie des terrains instables sont caractérisés par des rejets de remblai, qui peuvent atteindre une épaisseur de 15 m à l'endroit connu sous le nom (l'esplanade du marché) (LCTP 2004) et les rares affleurements existants montrent que les terrains en place sont généralement constitués de schistes satinés grisâtres, elles sont surmontés d'une épaisse couverture argilo-limoneuse, qui renferment des bancs de quartzite très fracturé avec des pendages sub-verticaux¹⁹

2-2-7-La ville d'Azzazga

Le site d'Azzazga est considéré comme zone instable d'où la majeure partie de la commune est affectée par le glissement de terrain, elle a connu plusieurs glissements à travers son histoire 1953, 1973 et 1985.

La campagne de sondages carottés réalisée (LCTP, 2006), a montré que les sites affectés sont composés des éboulis numidiens, des argiles et les grès sous numidiens, et des argiles en plaquette (Flysch).

Le glissement est réapparu en 2012, il s'étale sur une zone d'environ 250 ha, endommageant des habitations et des infrastructures et coupant des routes. Selon les pouvoirs publics le coût des dommages atteint 47 Millions d'Euros (4,7 Milliards de dinars 2012)²⁰.

¹⁸ : Rachid BOUGDAL(2007):Urbanisation et mouvements de versants dans le contexte géologique et géotechnique des bassins néogènes d'Algérie du Nord-Thèse Docteur d'Etat en Sciences de la Terre Spécialité : Géologie appliquée Université des sciences et de la technologie Houari Boumediene ,186p

¹⁹ : Idem

²⁰ : Idem

2-3-Constantine est une ville exposée aux risques naturels

2-3-1-Des inondations qui menacent d'une façon inquiétante

Les inondations sont un des principaux risques naturels auxquels sont soumises les berges de l'oued, ces risques résultent de la conjonction d'un aléa naturel et de la vulnérabilité des activités humaines face à cet aléa. Ce phénomène naturel d'ampleur variable selon les conditions climatiques, les caractéristiques de crues varient en fonction de plusieurs facteurs parmi lesquels on note la végétation et le relief.

Depuis des décennies, les villes algériennes connaissent une profonde mutation socio territoriale, qui s'est exprimé par une urbanisation massive, issue d'une forte croissance démographique et d'un important exode rural, se traduit par une consommation d'espace sans précédent. Cette extension urbaine s'est traduite par l'occupation des zones dangereuses : lits majeurs des oueds.

Constantine est l'une des villes du pays confrontée aux phénomènes de crues et d'inondation qui se manifestent de façon catastrophique constituent ainsi une contrainte majeure pour le développement économique et social.

Plusieurs zones sont régulièrement menacées par ces aléas hydrologiques, dont les effets sont souvent intensifiés par une urbanisation anarchique, située sur des terrains inondables et mêmes sur les rives des oueds.

2-3-1-1-Les inondations historiques

Depuis le 19^è siècles plusieurs quartiers de la ville ont été exposés et affectés par les inondations du 21 au 24 février 1852, du 6 novembre 1854 (Archives D'outre Mer 1854-1858), du 23 novembre 1957 (Caroff-Sinthe 1958), du 19 janvier 1958, de novembre-décembre 1967, de septembre 1973, du 16 avril 1979, de fin décembre 1984, début janvier 1985, du 3 Octobre 1994. (Benazzouz, MT 1991)

2-3-1-1-1-Cas des inondations de décembre 1984

A la fin Décembre 1984, la ville de Constantine a vécu des inondations catastrophiques suite à l'arrivée d'importantes chutes de pluie abondantes et exceptionnelles.

La pluviométrie enregistrée lors de cet évènement, plus de 250 mm répartis en trois (03) jours, représente un record jamais atteint à l'échelle journalière et mensuelle.

La journée du 29 Décembre 1984 a été marquée par une forte pluviosité qui atteint 111 mm, l'épisode pluvieux du 29 au 31 décembre provoquant la saturation totale du sol.

L'analyse statistique de ces précipitations, montre qu'il s'agit d'un évènement hydrologique très rare et qui représente une période de retour de 100 ans.

De très fortes crues ont été observées sur la totalité des oueds et notamment le Rhumel après la confluence d'oued Boumerzoug où ont transité pas moins de 95 millions de m³ en 66 h, avec un débit de pointe maximal de 840 m³/s.

2-2-1-2-Identification des zones exposés aux inondations

Le compte tenu du recensement effectué sur les inondations dans la ville et d'après les enquêtes de terrains les zones à hauts risques se présente comme suit :

- A l'entrée des gorges de Constantine après la confluence avec l'oued Boumerzoug,
- Zone industrielle Palma,
- Section amont de l'oued Rhumel : cité Boussouf , Benchergui et Boudraa Salah, Sissaoui et Djedour.

L'extension urbaine anarchique et la densification des zones urbanisées, dans les lits des oueds ont augmenté la quantité de ruissellement, ainsi que l'urbanisation à un impact sur la montée de la crue dans chaque sous bassins.

Les caractéristiques hydrologiques de ces oueds ,nous montrent qu'elles sont caractérisées par une très forte pente globale du bassin versant un abondant ruissellement.

La vitesse de concentration pendant les crues exceptionnelles peut atteindre 14 km/h, l'intensité maximale instantanée centennale est d'environ 10 mm/mn et un débit de pointe maximale centennial considérable et plus grand par rapport à la section découlement à l'état actuel.

Généralement les caractéristiques topographique de ville, ont fait que les inondations sont localiser dans l'espace²¹.

-Les principales causes d'inondation dans certaines zones

-Bab el Kantara

- Défaillance du réseau d'assainissement et de collecte des eaux pluviales ;
- Gonflement du Châabet par les décombres et les détrituts ;

-Sissaoui et Djedour

- Zone urbaine en basse côte située au pied d'une montagne ;
- Environnement topographique défavorable, traversée par les Châabet Bougergar et Boudemagh;
- Manque et absence de curage sous le pont d'oued Yaakoub et sous le pont de chemin de fer.

²¹Le ministère de l'intérieur et des collectivités locales et les services de la protection civile locale (2003),

-Cité Boussouf septième Km

- Zone urbaine en basse côte, située au pied d'une montagne ;
- Urbanisation anarchique, occupation des terres inondées et le lit mineur de l'oued ;
- Manque de curage de pour oued Megherouel, les décombres et les détritrus forment un obstacle au passage de l'eau et qui déborde dans la plaine.

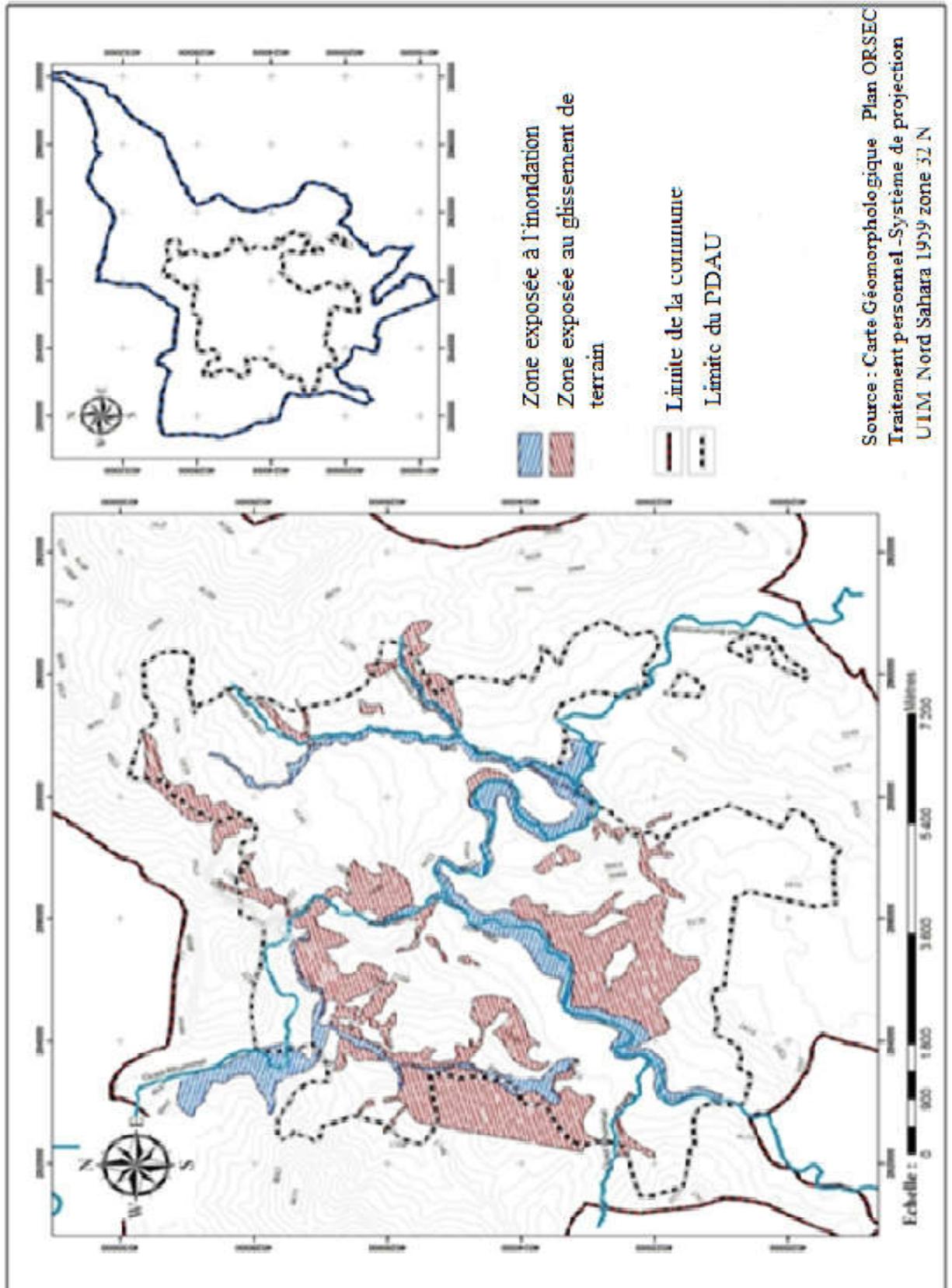
-Benchergui et Boudraa Salah

- Urbanisation anarchique et l'occupation du lit mineur de l'oued ;
- Le manque du curage sous le pont d'oued Mellah.

| Dates | Dégâts |
|-----------------------------------|--|
| 19 Janvier 1958 | -La destruction du pont d'Arcole -7 morts -1 disparu -1500 familles déplacées. |
| 29 Novembre 1967 | -Des dégâts ont affecté des dépôts de sociétés nationales et de petites unités industrielles au niveau de la zone industrielle Palma. |
| 13 au 16 Avril 1979 | -La destruction de quelques constructions sur la section de Chaabet Erssas et le quartier du Bardo à l'entrée des gorges. |
| 28 Décembre 1984 -Janvier 1985 | -L'endommagement des installations de la zone industrielle Palma. -250 familles sinistrées (Bardo). |
| 3 Octobre 1994 | -57 familles évacuées avec la destruction de quelques constructions très récentes (été 1994). |
| 20 et 30 Septembre 2001 | -2 familles sinistrées. |
| Novembre 2002 | -1 mort -22 familles sinistrées. - 30 constructions détruites. - 2 routes endommagées. |
| 29-30 Décembre 2007 | -12 familles sinistrées (Rues : les frères Arafat et A Benbadis Felahi Tahar et la cité El Bir). -Plusieurs constructions à usage habitation ont été envahies par les eaux pluviales. -24 familles sinistrées à Benchergui, Boudraa Salah et Boumerzoug -Des constructions ont été envahies par les eaux pluviales. |
| Septembre 2009 Octobre 2009 | - 199 familles sinistrées. - 59 familles sinistrées. |
| 6 Novembre 2010 19 Avril 2010 | -Des dégâts à l'institut INATAA et le 7 ^{ème} KM. -5 familles sinistrées (la cité des frères Abbes). |
| 24 Aout 2015 | -1 mort et plusieurs dégâts matériels (Ali Mendjli et El Khroub) |
| 19 Septembre 2018 | -2 morts et 11 blessées -Dégâts matériels |

Source : D'après : M .T . Benazzouz (1991) A .Zebiri (1994) et la direction de la protection civile de la wilaya de Constantine (2011), Plan ORSEC inondation (2015), Médias

Tableau n°2-3-Les inondations et les événements historiques



Carte n°2-1 : Les zones exposées aux inondations et aux glissements de terrain à la ville de Constantine



Source : DUC, (2004)

Photo n°2-1-A Boussouf : l’urbanisation récente en fond de vallée inondable perturbe le drainage naturel des eaux météoriques

| Sous bassins versants | Quartiers exposés |
|-----------------------|--|
| Oued Magharouel | Bencherghi ,El Bir, Zaouch,El Manchar,la cité sud de Boussouf. |
| Oued El Mellah | La partie Nord Ouest de la ville : Bencherghi et Boudraa Salah. |
| Oued Yaakoub | La partie Sud Est de la ville : Zouaghi ,Djdour, frères Ferad et 1100 logements. |
| Oued Châab Ersas | La partie Sud Est : Châab Ersas, DNC. |

Source : Les services de la protection civile de la wilaya de Constantine (2012)

Tableau n°2-4-Les zones exposées aux inondations

| Commune | Site | Dégâts pouvant être occasionnés |
|-------------|---|--|
| Constantine | Bardo et Bentellis | Montée des eaux du Rhumel et du Boumerzoug lors des crues (calibrage en cours), respect des servitudes s’impose. |
| | Cité des frères Abbas,Sarkina, 4 ^{ème} km ,Route de Batna. | Habitations édifiées dans l’emprise d’oued El Had d’où risque d’inondation. (trançon oued calibré). |
| | Cité Châab Ersas | Habitations édifiées sur les berges de l’oued Boumerzoug. |
| | Cité Boussouf | Oued M’herouel calibré risque d’inondation, si les servitudes ne sont pas respectées. |
| | Zone industrielle Palma. | Inondation des unités industrielle et des constructions illicites. |
| | Sissaoui et Châab Ersas. | Montée des eaux de Châabat Boudmagh et Bougargar causant l’inondation des habitations illicites (protection en cours). |

Source : Plan ORSEC, (2016)

Tableau n°2-5-Les quartiers exposés aux inondations

2-3-2- Une activité sismique modérée

La ville de Constantine est appartient au domaine Tellien, elle est située à l'est du pays caractérisée par une déformation lente et une sismicité faible à modéré, elle est classée en zone II selon la réglementation parasismique algérien 99/version 2003 (Annexe n°4).

Elle a connu plusieurs événements sismiques marquants, notamment en 1908,1947 et en 1985. Nous présentons les données issues du rapport du CGS (2003), qui a été effectué dans le cadre d'une étude sur les glissements de terrains à Constantine pour ARCADIS-EEG SIMECSOL.

2-3-2-1-Les séismes destructeurs décrits depuis 1900

On ne connaît pas durant la période précédant l'année 1900, un séisme fort dans la région de Constantine. Ce qui n'est pas le cas de la période instrumentale où au moins 3 séismes d'intensité maximale VIII (MSK) ont touché la région : le premier est celui du 4 août 1908 de magnitude $M_s=5.2$, le deuxième celui du 6 août 1947 de magnitude $M_s = 5.0$ et enfin le troisième de mémoire assez récente le 27 octobre 1985 de magnitude $M_s = 5.7$.

On signalera aussi la crise sismique (33 séismes) de janvier à avril 1925 qui aurait selon Mme Hée frappé la ville de Constantine.

- **Le séisme du 4 Août 1908**

Le séisme a touché la ville de Constantine et ses alentours, il est reporté par Rothé (1951), le choc a duré 10s, suivi par 12 répliques de moindre importance.

Le choc principal n'a pas eu de signes prémonitoires mais a été suivi par des répliques l'une d'elles est comparable à la secousse principale qui a été enregistrée par plusieurs stations sismologiques de Tiflu (URSS) et de Hilwan (Égypte).

Ce séisme a été ressenti à 175 Km à l'Est de la ville, l'intensité maximale est évaluée à $I_0= VIII$ à Constantine et a couvert un rayon de 14 Km. (Rapport interne CGS 2003).

Sur le terrain, ce tremblement de terre est associé à une fissure de 200m de long et 50 cm de largeur observée dans le plateau de Mansourah, parmi les perturbations qu'a causées ce séisme. On citera les eaux des sources thermales initialement froides devenues chaudes avec un changement de couleur des eaux qui a viré vers le rouge sang, ce qui a causé la panique au sein de la population.

D'importants dégâts sont recensés en particulier dans les faubourgs et les régions avoisinant la ville de Constantine : Mansourah, Sidi Mabrouk, El Kantara, Ksar El Kellel.

Les dommages sont estimés à 30.000 FF, regroupant la destruction de vieilles bâtisses de particuliers, des édifices publics tels que les hôpitaux, les lycées et les prisons qui ont subi de sérieux dommages.

| Date et Heure | Longitude | Latitude | Intensité (I0) | Magnitude (Ms) |
|-----------------------|-----------|----------|----------------|----------------|
| 16-09-1907 | 6°36' | 36°24' | VIII | -- |
| 04-08-1908 02 :11 | 6°36' | 36°24' | VIII | 5.2 |
| 22-01-1925 11 :00 | 6°35' | 36°10' | V | -- |
| 23-10-1928 05 :23 :29 | 6°35' | 36°18' | VI | -- |
| 10-02-1937 08 :14 :41 | 7°20' | 36°40' | VIII | 5.2 |
| 06-08-1947 09 :45 :38 | 6°40' | 36°18' | VIII-IX | 5.3 |
| 06-08-1947 12 :29 :28 | 6°42' | 36°18' | -- | 5 |
| 25-08-1959 22 :31 :30 | 6°40' | 36°20' | V | -- |
| 27-10-1985 19 :34 :59 | 6°39' | 36°24' | VIII-IX | 6.0 |

Source : CGS , (2003)

Tableau n°2-6-Les événements sismique importants pour la période post (1900-2002)

| Séisme du 04 Août 1908 | | | | | | | | | | |
|------------------------|----|----|------------------------|-------|-------------------------|----------------|--------------------------------|----------------|--|--|
| Heure (GMT) | | | Epicentre instrumental | | Intensité maximale (Io) | Magnitude (Ms) | Rayant moyen de perception (R) | Profondeur (h) | | |
| H | Mn | S | Lng N | Lat E | | | | | | |
| 02 | 11 | 00 | 36°40' | 6°65' | Io =VIII (Constantine) | Ms= 5,25 | R=175Km | h=10Km | | |

Source : CGS, (2003)

Tableau n°2-7:Principales caractéristiques du séisme de 1908.

| Quartiers faubourgs et région | Dommages et dégâts |
|---|---|
| Mansourah: le quartier des chasseurs d'Afrique | La destruction des murs et des toits, entraînant la blessure de cinq (5) personnes. |
| Sidi Mabrouk | Une école a été complétement détruite enterrant des enfants de cinq ans retirés des ruines par la population in extremis. |
| El Kantara | Des murs,des plafonds et des façades de maisons se sont effondrés (presse, 1908). |
| Ksar El Kellel, (A 12Km au nord-ouest de la ville) | Cinq personnes d'une même famille ont trouvé la mort et deux autres sérieusement blessées. |

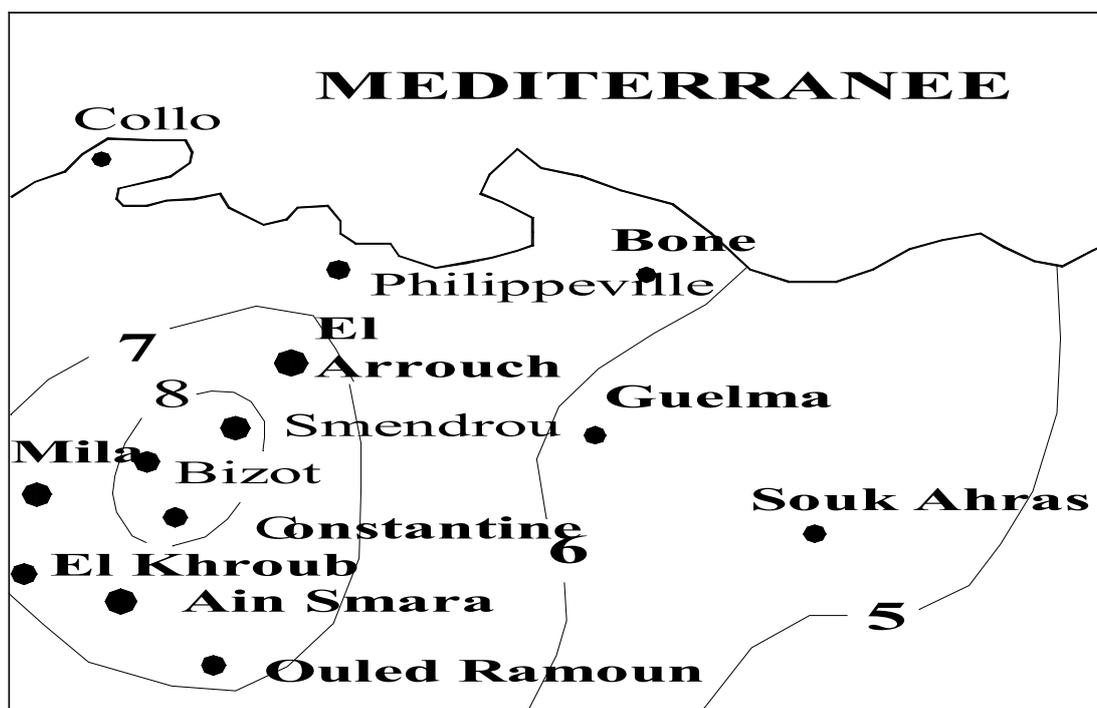
Source : CGS,(2003)

Tableau n°2-8 : Les dommages et les dégâts du séisme 4 Août 1908

| L'intensité maximale | VIII (MSK) Dommages sont importants et le nombre de victimes est élevé | VII (MSK) Les dommages sont de moindre importance. | VI (MSK) Les dommages sont de moindre importance. | V (MSK) On n'a pas enregistré de dégâts mais une panique générale au sein de la population |
|----------------------|---|--|--|---|
| | -Constantine, -Sidi Mabrouk -Rouffah -El Kantara | -El Arrouch -Ain Smara -El Khroub -Ouled Rahmoun -Mila | -Skikda, -Collo -Guelma | -Annaba -Souk Ahras |

Source : CGS, (2003)

Tableau n°2-9 : L'intensité maximale du séisme 4 Août 1908



Source : redessinée à partir de Benouar, (1994).

Carte n°2-2 : Les isoséistes du séisme du 04 Août 1908

- **Le séisme du 6 août 1947**

Le Mercredi 6 août 1947, un séisme d'une magnitude de 5 a touché la région de Constantine et a causé d'importants dégâts dans la ville et les régions voisines, l'épicentre est localisé à 330 Km à l'Est d'Alger, ce tremblement de terre constitue l'évènement le plus important dans toute la région depuis 1908.

Il a été ressenti dans un rayon de 70 Km, soit à l'Est de Medjez Amar, à l'Ouest de Fedj M'zala, au Sud de Aïn Fakroun et au Nord sur la jusqu'à la côte où l'intensité est évaluée à $I_0 = III$.

Le choc principal a causé beaucoup de blessés et a endommagé un nombre important de structures surtout dans la région épacentrale en particulier dans la zone d'oued Hamimine (district d'El Khroub).

Dans la région de Constantine beaucoup de vieilles constructions ont subi des dommages moindres (lézardées), alors que les nouvelles bâtisses n'ont pas été affectées.

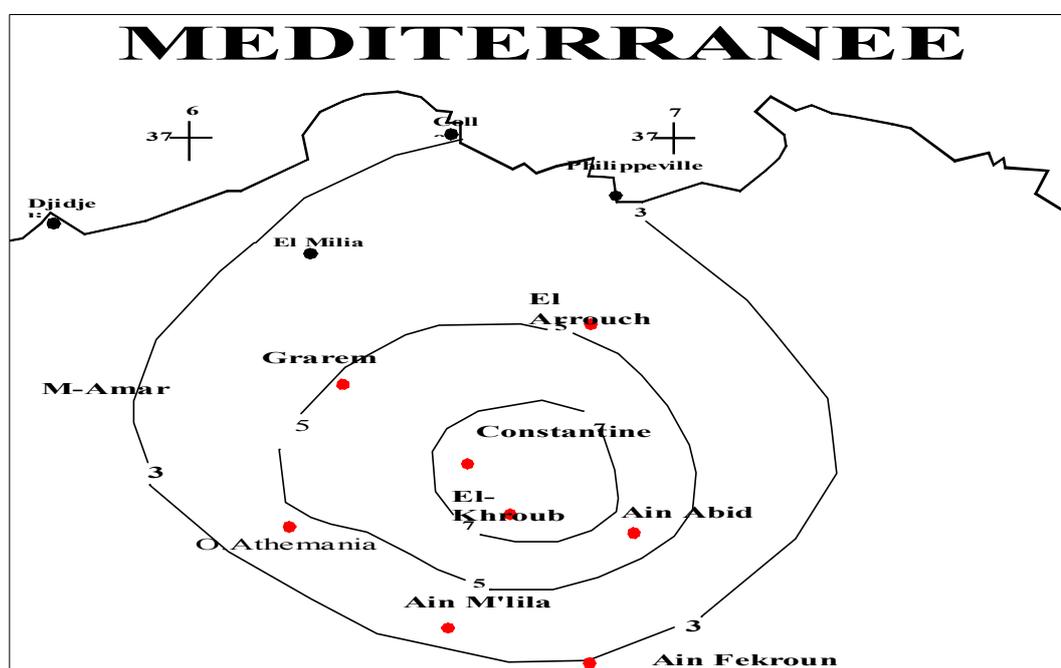
Ce séisme a duré 24s rapporté comme record par le IMPGA (Alger), il a été ressenti à Constantine où l'intensité est de $I_0 = V$.

Le choc principal a été précédé par deux petites secousses et suivi par plusieurs autres qui ont causé une panique générale au sein de la population, dans la ville de Constantine 10.000 habitants ont quitté leur maison pour camper dans des tentes.

| Séisme du 6 Aout 1947 | | | | | | | | | |
|-----------------------|----|----|------------------------|-------|-------------------------|-------|-------------------------|----------------|--------------------------------|
| Heure (GMT) | | | Epicentre instrumental | | Epicentre macrosismique | | Intensité maximale (I0) | Magnitude (Ms) | Rayant moyen de perception (R) |
| H | mn | S | Lng N | Lat E | Lng N | Lat E | | | |
| 09 | 46 | 38 | 36°31' | 6°68' | 36° 30' | 6°68' | I0 =VIII-IX (El Khroub) | Ms= 5 | R=70Km |

Source : CGS, (2003)

Tableau n°2-10-Principales caractéristiques du séisme de 1947



Source: redessinée à partir de Benhallou, (1985).

Carte n°2-3:Les isoséistes du séisme du 06 Août 1947

- **Le séisme du 27 octobre 1985**

Le 17 Octobre 1985, la ville de Constantine a été ébranlée par un séisme de magnitude Ms 6.0, les pertes humaines ont été évaluées à une dizaine de victimes essentiellement dans les régions d'El Aria, Beni Yacoub et Kef-Tassenga.

Cet événement est le plus important ressenti dans l'Atlas Tellien depuis le séisme de Chlef (Ms=7.3, CSEM).

Le choc principal a été enregistré par toutes les stations sismologiques (474 stations, ISC), il a été ressenti à 120 Km de rayon à l'Est d'El Kala, à l'Ouest de Setif, au Sud de Batna et au Nord de la côte où l'intensité est évaluée à I0= III sur l'échelle de MSK.

| Séisme du 27 Octobre 1985 | | | | | | | | | | |
|---------------------------|----|----|------------------------|-------|-------------------------|-------|-------------------------|----------------|----------------------------|----------------|
| Heure (GMT) | | | Epicentre instrumental | | Epicentre macrosismique | | Intensité maximale (Io) | Magnitude (Ms) | Rayant moyen de perception | Profondeur (h) |
| H | mn | s | Lng N | Lat E | Lng N | Lat E | | | | |
| 19 | 34 | 59 | 36°40' | 6°65' | 36°39' | 6°85' | Io=VIII (El Aria) | Ms = 5.7 | R=130Km | h=10Km |

Source : CGS, (2003)

Tableau n°2-11-Principales caractéristiques du séisme de 1985

Le tremblement de terre a causé la mort de cinq personnes et 300 blessés et endommagé plusieurs vieilles constructions, les plus importants dégâts ont été enregistrés dans la région d'El Aria située entre El Khroub, Constantine et Beni Yacoub, l'intensité Io a été évaluée à Io=VIII dans cette région

Des dégâts de moindre importance ont été observés entre Ain Fakroun, Skikda, Chelghoum Laid et Guelma avec une intensité Io= V.

Le choc principal a été précédé par deux petites secousses et suivi par des répliques qui ont persisté jusqu'à la fin novembre 1985, les plus importantes sources de données ont été publiées par Bounif (1990), Bounif et al (1987).

Ils ont étudié la surface de rupture et l'activité des répliques, ils évaluent l'intensité à Io= VIII-IX (MSK) dans la zone située entre El Khroub et Beni Yacoub, cependant Bounif dans sa thèse (1990), réévalue les intensités et attribue Io= VIII(MSK) dans la région d'El Aria et publie la carte isoséiste.

Sur le plan géologique les traces de surface n'ont été observées que sur quelques kilomètres seulement (4.5Km), la distribution des répliques permet l'évaluation plus précise de la partie active de la faille 36Km) (Bounif, 1990) qui peut être associée à la partie Nord de la faille de Ain Smara qui peut être divisée en trois segments de même longueur.

L'alignement de ces ruptures de direction Nord 55° et la distribution des répliques observées sont des indices d'une faille active de pur coulissage. Ainsi que, la plus longue des ruptures de surface observée comme branche active de la faille (3.8km) et les structures géologiques récentes indiquent que le zone affectée est active durant le quaternaire. Les dégâts ont été décrits dans la ville de Constantine et dans plusieurs régions de l'Est :

A Souika, la majorité des constructions ont été sérieusement touchées, surtout les vieilles bâtisses de particuliers.

A 25 Km au Sud-Est de Constantine dans le village d'El Aria des constructions et des fermes ont subi le maximum de dommage, cinq personnes ont trouvé la mort par les effondrements de leurs maisons et d'autres sont blessées au moment de leur fuite hors des domiciles. Les dégâts les plus importants ont été observés dans la région située entre El Khroub, Constantine et Beni Yacoub, à 9 km au Nord Est d'El Aria.

Ce séisme a causé la perte de 10 personnes et 300 blessés et détruisant un nombre important de constructions anciennes et récentes et une fissure de 700 m de long a été observée la largeur varie de 2 à 20 cm, le déplacement horizontal est estimé à 18 m et que le déplacement vertical à 28 cm.

Dans la région d'Ain Abid à 14 Km au Sud-Est d'El Aria, plusieurs maisons ont été sérieusement touchées, des fissures d'un cm d'ouverture ont été observées.

A Chelghoum Laid, à 60 Km à l'Ouest d'El Aria, le choc a duré 5 secondes et a semé la panique au sein de la population. Des dommages de moindre importance ont été observés dans les régions de Skikda, Ain Fakroun et Guelma.

Le même choc est ressenti dans les régions de Souk Ahras, Batna, Sétif, et Jijel (presse, 1985, CRAAG et CTC, 1885, Bounif et al, 1987 et 1990).

L'intensité maximale I_0 est réévaluée à VIII (MSK) et est attribuée à la région située entre El Aria et Beni Yacoub sur un rayon de 8 km.

I_0 =VII dans les régions de Constantine, El Khroub et El Meridj.

I_0 =VI dans les régions d'Ibn Ziad, Hamma Bouziane, Ain El Abid, El Harrouch et Azzaba.

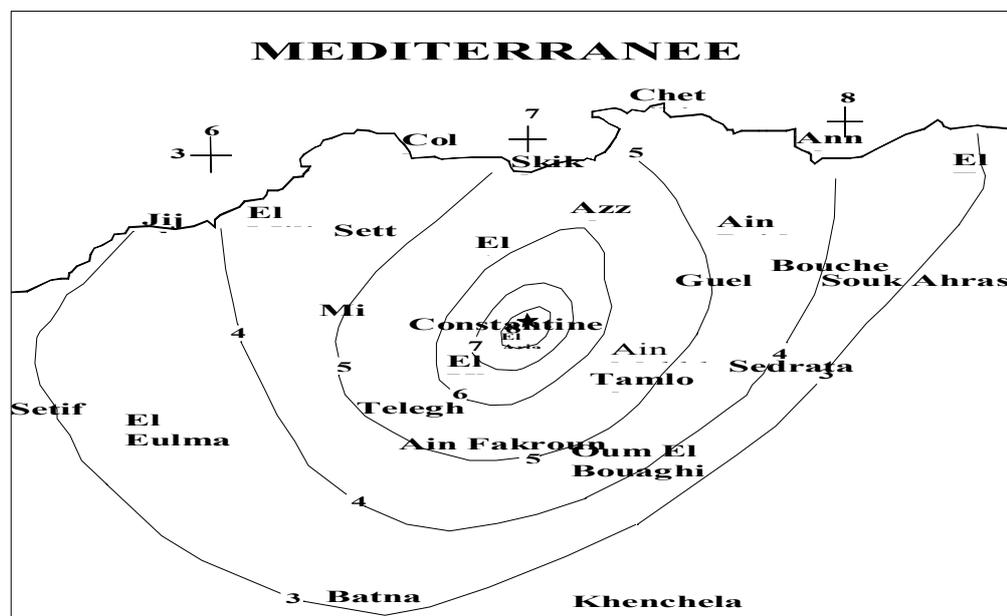
I_0 =V dans les régions de Skikda, Mila, Chelghoum Laid, Ain Fakroun et Guelma.

I_0 =IV dans les régions de Chekfa, Djamilia, El Eulma, Oum El Bouaghi et Sedrata.

I_0 = III dans les régions de Souk Ahras, Batna, El Taraf, El Kala, Sétif et Jijel.

L'intensité I_0 = VII-VIII est évaluée dans des sites où nous avons observé des dommages importants, des pertes humaines et des blessés.

L'intensité I_0 = III-IV est évaluée dans des sites où nous avons observé la destruction de vieilles constructions.



Source : redessinée à partir de Benhallou, (1985).

Carte n°2-4 : Les isoséistes du séisme du 27 Octobre 1985

2-3-3-Des instabilités de versants fréquentes par glissements de terrain

A Constantine les premiers mouvements avaient été observés au début du 20^{ème} siècle par le glissement du pont de Sidi Rached et l'avalanche qui a emporté 200 000 m³ de terre au bas versant nord face au moulin Carbonnel. Ensuite le phénomène a pris de l'ampleur au niveau de plusieurs sites durant les années 1972, 1988, 1993, 1994 et 2003. (Benazzouz MT)

Un bilan établi en 1999 par la direction de l'urbanisme et de la construction de la wilaya de Constantine DUC, faisait état des désordres qui affectent plusieurs quartiers de la ville d'une superficie du tissu urbain estimée à 120 ha et menacent près de 15 000 habitations abritant une population estimée à 100 000 habitants répartis à travers une quinzaine de sites.

Ces mouvements sont dus à plusieurs facteurs endogènes et exogènes, les premiers regroupent la topographique (relief accidenté, forte pente), géologique et lithologique (nature des couches), les conditions climatiques et le contexte sismotectonique (sismique) de la région, tandis que, les seconds regroupent les facteurs exogènes : les fuites des canalisations des réseaux d'assainissement et d'A.E.P l'intervention de l'Homme par la déforestation et les travaux de terrassement en grande masse.

Les analyses déjà effectuées sur ce phénomène à Constantine renvoient à plusieurs facteurs inhérents essentiellement à :

- 1-L'action de l'homme à travers une urbanisation non conforme ;
- 2-Une démographie sans cesse croissante à l'origine d'une sur urbanisation effrénée, en effet,

la population de Constantine qui était de 114.000 habitants en 1954 s'élève aujourd'hui à 580.000 âmes, alors que logiquement elle ne devait pas dépasser 250.000 habitants ;

3- Une sur occupation de constructions vétustes ;

4- La réalisation d'importants programmes de construction ou d'équipements lourds sur des remblais ;

5- Un déboisement important suite à l'urbanisation des sites ;

6- Des évacuations d'eaux usées ou pluviales effectuées dans des conditions non conformes ;

7- La vétusté et la dégradation des réseaux entraînent des écoulements souterrains dont l'ampleur n'est pas identifiée.

Dans le but de stabiliser le mouvement des sites et d'atténuer les dégradations sur le cadre bâti, la wilaya de Constantine a entrepris en 1992, par le biais des services des Ministères de l'Équipement et de l'Habitat (D.H.W - D.T.P - D.U), la mise en œuvre d'un programme d'études et de confortement.

Les aspects pris en charge, se rapportant à la géotechnique des sites et aux glissements, ont donné lieu à des formules de confortement concrétisées pour certains sites, nous signalons que les solutions de confortements ont vite prouvé leurs limites.

L'effondrement d'une soixantaine de logements à la fin du mois de décembre 1993 sur le site Kitouni, rue des Maquisards, s'explique par l'absence d'une démarche globale au double plan technique et institutionnel. Par ailleurs, les expertises lancées en 1998, ont conclu à la nécessité d'une étude globale et approfondie de l'ensemble des sites touchés par le phénomène.

En 1999 une autre tentative de relance, engagée par le Ministère de l'Habitat-Secrétariat d'Etat à l'Urbanisme, est demeurée malheureusement sans suite appréciable pour les populations concernées.

Aujourd'hui, la ville compte dix huit sites touchés par ce phénomène et qui sont répartis selon 5 zones comme suit :

-Zone A : Elle comprend Belouizdad, Kitouni Abdelmalek, Kaidi Abdellah

-Zone B : Elle comprend Belle vue, terrain de la mosquée et l'université Emir Abdelkder Cité 20Aout 1955

-Zone C : Elle comprend Ciloc, Boussouf, Zaouch, Boudraa Salah, Benchergui et El Menia (route nationale n°27).

-Zone D : Elle comprend Bardo, Place Krikri, Chemin Forestier, Culée nord du pont Sidi Rached

-Zone E: Elle comprend le terrain de l'université Frères Mentouri Constantine 1

Sur recommandations des experts, le problème de glissement de terrain été pris en charge en matière d'études spécifiques, cela a permis le lancement en l'an 2000 de l'étude des glissements de terrains de la ville l'élaboration de cette étude fut confiée au groupement des bureaux d'études spécialisés²². (Annexe n°8)

L'étude réaliser par ARCADIS-EEG-SIMECSOL,été lancée au mois d'Avril 2001 pour un délai d'exécution de 25 mois, fin du délai prévisionnel, mois d'août 2004, dont parmi ces objectifs été d'établir un diagnostic sur l'ensemble des sites affectés par les glissements de terrains sera présenter par cette section.

2-4-Les caractéristiques des glissements de terrain à travers la ville de Constantine

2-4-1-Les glissements complexes actifs à Belouizdad

Parmi les nombreux sites de glissements de terrai situés à l'intérieur du plan directeur d'aménagement et d'urbanisme de Constantine PDAU(2008), les glissements de terrain de Belouizdad-Kitouni, sont les plus préoccupants par leur localisation en milieu urbain, leur grande extension plus de 30ha et l'ampleur des désordres qui touchent le bâti.

Ces mouvements se manifestent le long d'un versant de pente moyenne 25%, comprenant d'amont en aval les quartiers : Belouizdad-Kitouni, Kaïdi Abdellah, Les Maquisards et Aouinet El Foul.

Historiquement les manifestations les plus graves étaient enregistrées au début de Janvier 1972 à Kaidi, un vaste glissement de terrain entraînant l'évacuation de près de 1543 familles. Ce glissement est réactivé à la suite de forte précipitations en hiver (1984-1985), il a entraîné une modification morphologique intense, par suite des travaux de terrassement et d'ouverture de routes d'accès aux différents quartiers.

2-4-1-1-Les caractéristiques géologiques

Le versant de Belouizdad est représenté par des formations argilo-conglomératiques (Miocène) épaisses recouvertes par des colluvions.

Les talus conglomératiques, taillés à la verticale le long de boulevards Belouizdad et Kitouni sont les indices des actions anthropiques.

Les zones instables sont sous forme d'une gouttière allongée de 1200 m et de (200-300m) de large, cette morphologie favorise la convergence d'eau d'origine diverse.

²²: Rapport étude glissement de terrain à Constantine, direction d'urbanisme et de construction DUC (2004)

La série stratigraphique, illustrée par une coupe géologique passant dans l'axe du glissement et établis à partir des sondages carottés dans le cadre de la dernière étude, elle montre les formations suivantes (figure n°2-3) :

1-Des marnes grises et marno-calcaires, Crétacés

A la base elle n'affleure pas sur le site de glissement ni à sa périphérie, elle a reconnue en profondeur (90 -100m), par d'anciens forages réalisés dans la partie haute du glissement. Les coupes de sondages révèlent une roche dure finement litée, très fracturée, appartenant au complexe allochtone crétacé (Villa,1977; Lahondère,1987) qui affleure largement plus à l'Est du glissement de Belouizdad.

2-Un conglomérat de base, de la série Miocène post-Nappes

Représenté par une brèche de pente épaisse, bien cimentée, à éléments hétérogènes de taille décimétrique dont on reconnaît, le faciès tellien et les calcaires néritiques cénomanoturaniens, cette brèche de plus de 60 m d'épaisseur est recoupée par des forages récents d'une profondeur de (20-40 m).

Ces formations affleurent localement dans le quartier de Kaïdi, et à l'extrémité est du versant instable (la Poudrière), où elle renferme de gros blocs calcaires, par ailleurs, elle est largement développée plus à l'ouest du site ou elle forme les piedmonts du massif crétacé du Chettabah (Coiffait 1992).

3-Une alternance d'argiles rouges et de conglomérats Miocènes

L'épaisseur des conglomérats est entre (10-15m), affleurent sous forme de deux falaises, alors que, les argiles sont assez denses, localement d'une couleur verdâtre et renferment quelques graviers centimétriques, elles admettent quelques niveaux franchement sableux parfois grésifiés. Les conglomérats sont constitués de blocs et galets roulés, calcaires et gréseux, provenant des formations cénomano-turoniennes et numidiennes et d'une matrice limoneuse en faible proportion.

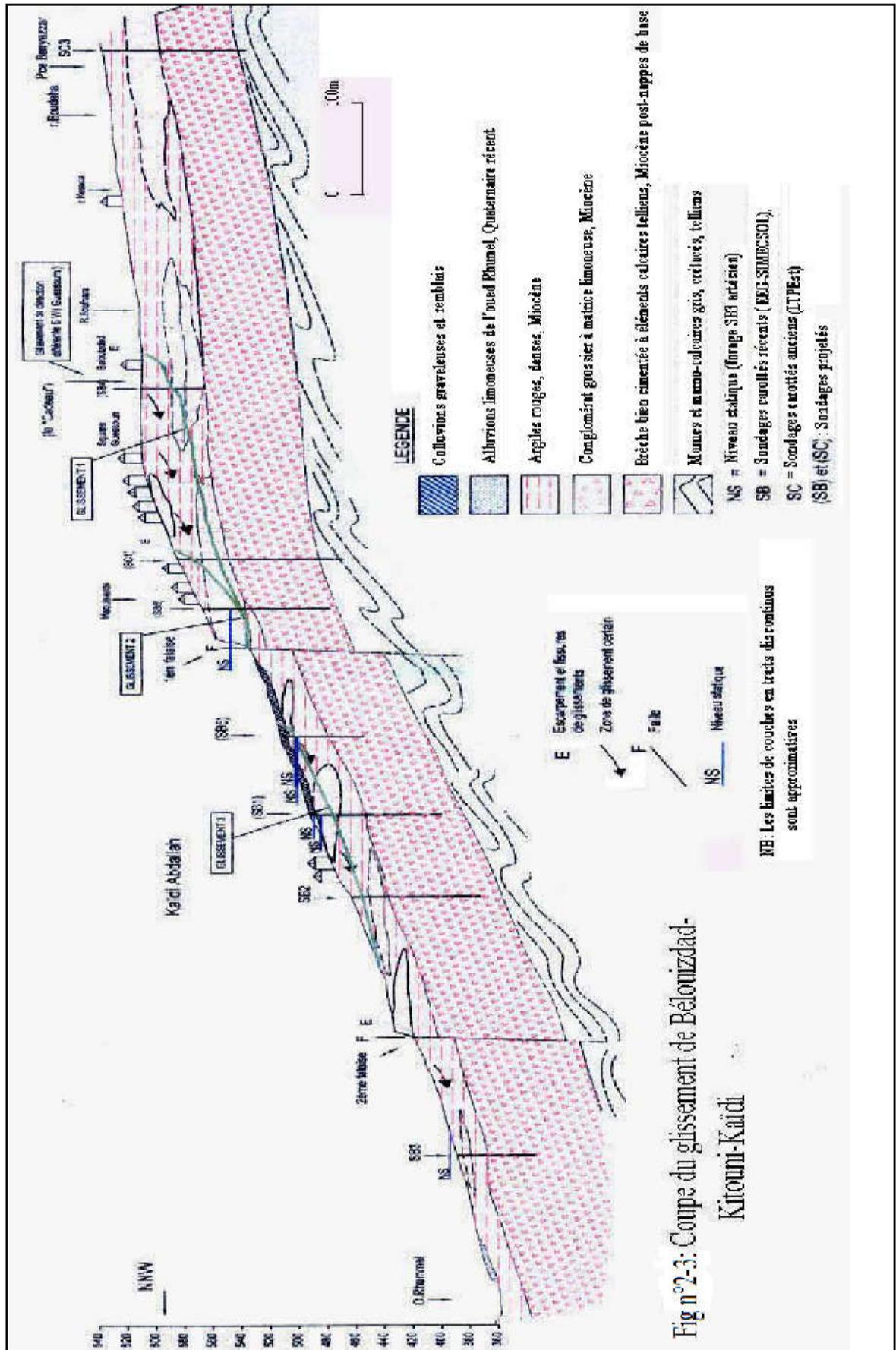
Leur structure lenticulaire à l'intérieure des argiles, correspond à des chenaux fluviaux vers les sommets de la formation, les éléments grésocalcaires sont généralement prédominants et de grande taille, le ciment est généralement carbonaté et confère aux conglomérats une consistance rocheuses.

Cette formation argilo-conglomératique est moins résistante que la brèche miocène sur laquelle elle est discordante, elle montre d'après les coupes de sondages, une épaisseur moyenne de 30 m dans la partie aval des glissements et (40 à 50 m) dans la partie amont.

4-Des colluvions argilo graveleuses quaternaires, qui recourent sous quelques mètres d'épaisseur les formations plus anciennes. Elles résultent de l'altération des conglomérats miocènes, elles se distinguent par un aspect moins dense et moins bien structuré.

5-Des alluvions limoneuses, formant la terrasse alluviale récente d'oued Rhumel.

6-Des remblais hétérogènes d'épaisseur variable, distribués sur l'ensemble du site du glissement et ses bordures, ces remblais sont particulièrement épais en aval de Kitouni. Le talus abrupt qui délimite le quartier des Maquisards, montre plus de 5 m d'un mélange argilo-conglomératique à débris hétéroclites.



Source : SIMECSOL-ACRADIS(2016)

2-4-1-2-La tectonique

Les glissements de terrain sont localisés sur le flan est du synclinal de l'oued El Mellah, cette direction structurale affleure à l'Est du glissement dans les rares affleurements de la brèche Miocène avec des pendages de 20° à 30° Ouest, et des directions Nord150° à Nord180°.

Une discordance sur la brèche est marquée dans les argiles et conglomérats supérieurs, elle est angulaire entre les conglomérats (brèche et poudingue), cela traduit l'évolution progressive de la déformation miocène post nappes.

Dans les terrains fragiles les indices et les marqueurs de la tectonique cassante sont peu conservés, par ailleurs, dans le versant instable les deux falaises conglomératiques, qui résultent de fractures verticales orientées Est-ouest, cela favorisent leurs fréquentes ruptures en période humide.

2-4-1-3-Hydrogéologie du site

2-4-1-3-1-Eaux d'origine naturelle

Les eaux souterraines sont localisées en sub surface où elles constituent des zones d'émergence certain de ces zones sont alimentées par les eaux d'origine anthropique.

Une vingtaine de sources sont localiser à l'intérieur de la zone de glissement et à sa périphérie les plus importantes sont situées immédiatement à l'aval des deux falaises conglomératiques.

Ceci traduit le fait que, ces formations reposent sur des terrains argilo-limoneux, peu perméables qui limitent la percolation verticale.

L'analyse de la coupe hydrogéologique synthétique, qui a été levées sur la base des coupes de sondages et des relevés piézométriques, la figure n°2-4 permet les observations suivantes :

Les eaux souterraines sont contenues dans les niveaux conglomératiques et sableux Miocènes dont la matrice argileuse est soit absente soit en faible proportion et en partie dans la brèche Miocène sous-jacente.

La présence de niveaux argilo-limoneux très peu perméables, intercalés dans les conglomérats individualise créaient des aquifères superposés et la base des deux falaises conglomératiques est jalonnée par des suintements diffus indiquant la proximité de niveaux argileux sous les falaises.

Au niveau de ce site la présence de plusieurs aquifères lenticulaires formés essentiellement par les niveaux conglomératiques, les niveaux argileux jouant le rôle d'écrans imperméables.

2-4-1-3-2-Eaux d'origine anthropique

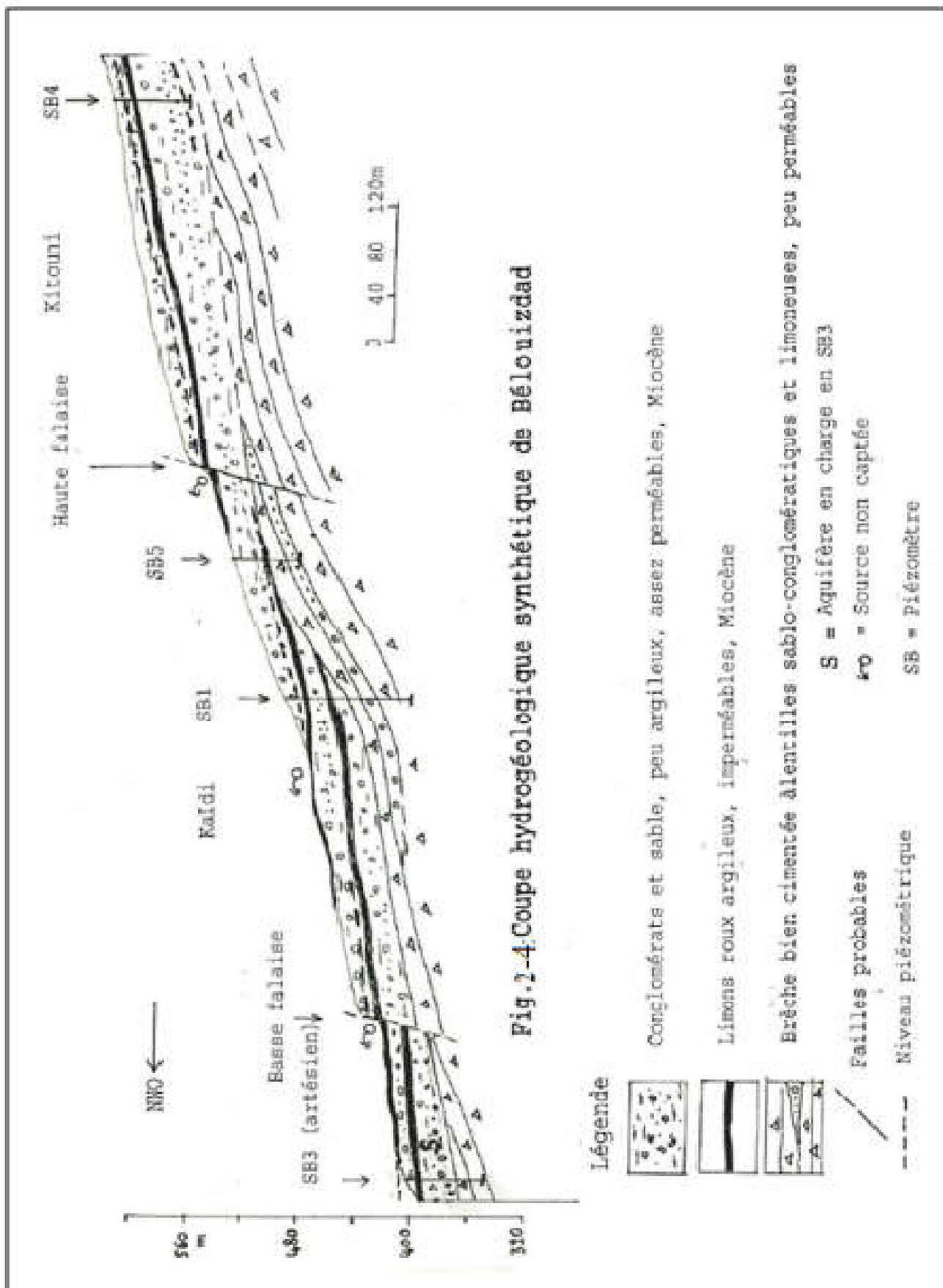
2-4-1-3-2-1-Les fuites des réseaux publics (AEP, EU)

L'étude élaborée par la SAFEGE (1997) a estimé que 40 % des pertes du réseau d'adduction de la ville est liés a la détérioration des réseaux, qui est responsable des désordres liés aux glissements de terrain.

Il est primordial de mettre un programme de réhabilitation des réseaux, qui est une condition indispensable pour la maitrise des glissements à travers les quartiers affectés

2-4-1-3-2-2-Les rejets incontrôlés des habitations

Construites de façon illégales directement vers les talwegs ou par le biais de dispositifs d'infiltration de type puits perdus. Leur conséquence est multiple : augmenter le volume des eaux qui se retrouvent dans le sous sol, en particulier, les eaux usées sont potentiellement agressives et peuvent de ce fait modifier la structure des sols par action sur la structure des matériaux argileux et/ou mise en solution de minéraux, en particulier de ceux d'origine calcaire qui assurent très probablement une cimentation entre les matériaux d'origine détritique. De tels rejets peuvent à eux seuls provoquer des instabilités, d'après les observations effectuées, cela apparaît le cas sur le site de la Poudrière, dont la maitrise de ces eaux constitue une composante majeure des dispositions de confortement qui peuvent être envisagées.



Source : SIMECSOL-ACRADIS(2016)

2-4-1-4-Les caractéristiques géotechniques des formations

Les argiles conglomératiques miocènes et les conglomérats quaternaires correspondant aux formations les plus propices aux glissements de terrain. Alors que, les marnes et marno-calcaires créacés, de même que la brèche Miocène bien cimentée, recoupés en profondeur par les sondages sont de consistance rocheuse plus stable.

2-4-1-4-1-Données de laboratoire

Les essais géotechniques ont porté sur les niveaux fins de la formation argilo conglomératique du miocène à partir des carottes de sondages, alors que, pour les niveaux les plus grossiers ont été testés à partir de prélèvement de surface.

2-4-1-4-2-Les dépôts fins de la formation miocène

Les essais granulométriques montrent que la fraction inférieure à 2 mm est au moins supérieure à 97%, ce qui est une constante que l'on retrouve dans toutes les études antérieures, quelles que soient leur localisation dans la ville, par ailleurs, la fraction inférieure à 100µm est supérieure à 70% de ce fait, on pourrait attendre des plasticités élevées, ce qui n'est pas le cas. Les indices de plasticité se situant entre 17 et 22 %, on relève ainsi que les matériaux sont peu carbonatés, dont les teneurs mesurées est de l'ordre de 20 à 30 %, il est à mentionner la présence de gypse mais elle n'a pas fait l'objet de dosage. (EEG-Simecsol,2004)

2-4-1-4-3-Les dépôts grossiers de la formation miocène

Quatre échantillons d'un poids compris entre 220 et 575 Kg , (en fonction de la taille du plus gros élément rencontré), étaient tenus pour mesurer et calculer les paramètres suivant : la granulométrie, la densité sèche et la porosité.

Les résultats des mesures effectuées sont les suivant : la plus grande dimension des éléments figurés dans les échantillons prélevés, de 220 mm ceux-ci sont roulés, ce qui suggère une origine relativement peu éloignée, torrentielle, probablement, pour que des blocs de cette taille aient pu être transportés, mais suffisamment distante pour qu'ils soient arrondis.

Ainsi que 40 à 55% des éléments sont d'une taille supérieure à 10 mm, et 80 à 90% supérieure à 100µm et plus de 50% de la fraction inférieure à 100µm est constituée par des particules de taille inférieure à 10 µm sur la base des mesures effectuées, la porosité théorique du milieu (rapport du volume des vides au volume total de l'échantillon) été calculé. (EEG-Simecsol 2004).

Cette porosité théorique est de façon constante supérieure à la porosité effective, c'est-à-dire celle qui intervient dans la capacité de l'eau à circuler au travers des formations.

Les résultats sont représenté par le tableau suivant :

| Puits | Porosité théorique (%) | Densité sèche |
|-------|------------------------|---------------|
| P1 | 21 | 2,04 |
| P2 | 25 | 1,84 |
| P3 | 11 | 2,18 |
| P4 | 6 | 2,29 |

Source : EEG-Simecsol (2004)

Tableau n°2-12 : La porosité théorique par puits

Les résultats exposés ci-dessus mettent en évidence, la difficulté d'apprécier le rôle des conglomérats dans la circulation des eaux, le caractère grossier de la formation conduit à considérer que celle-ci doit être perméable voire très perméable, or même s'il n'y a pas de relation directe entre porosité calculée et perméabilité, il est certain que des porosités calculées de 6 à 11% correspondent à un milieu très peu perméable.

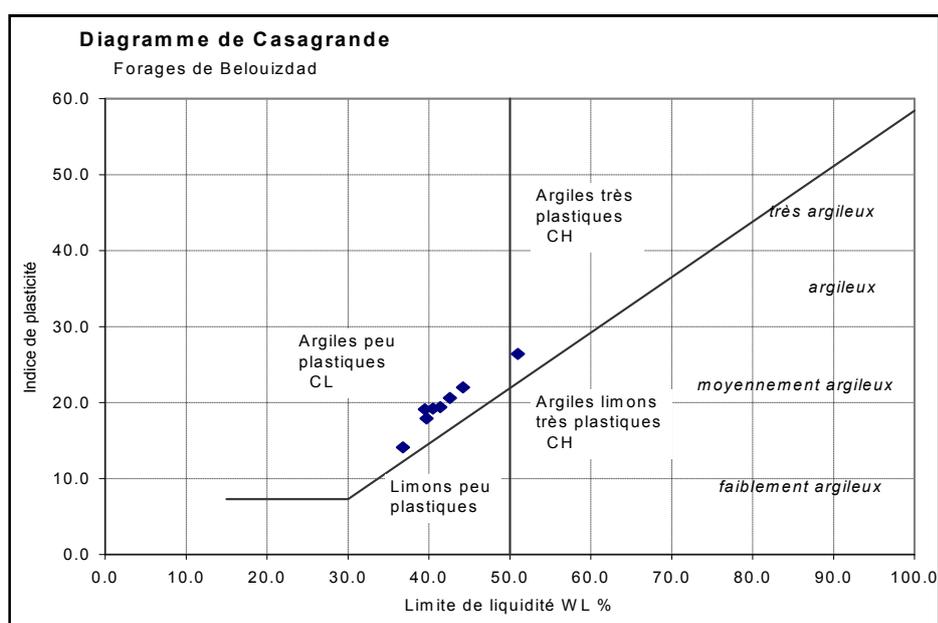
Les conglomérats grossiers peut être considéré comme des milieux fermés, peu perméables à cause de la présence des horizons comportant une proportion suffisante de fines, la dernière étude (EEG-Simecsol, 2004) a mis en évidence ce qui suit:

- Les glissements de Belouizdad sont complexes dans leur ensemble et ne correspondent pas au schéma classique d'une masse glissé, suivant une rupture unique.
- Les ruptures progressives identifiées sur la coupe géologique synthétique de l'aval (Oued Rhumel) vers l'amont (Boulevard Belouizdad), correspondaient aux escarpements principaux observés au niveau des quartiers endommagés.
- Les terrains particulièrement sensibles au glissement, correspondent aux horizons les plus fins : les argiles rouges plus ou moins graveleuses sur lesquelles sont fondés les quartiers les plus touchés : Belouizdad-Kitouni, Maquisards, Kaïdi Abdellah, Sabatier.
- Les niveaux franchement conglomératiques tels que les deux falaises et les talus de la rue Kitouni, paraissent à première vue stables.
- Cependant, leur structure lenticulaire délimitée par des horizons argileux moins résistants, ne les met pas à l'abri d'un mouvement d'ensemble du versant.

Cette prédisposition est témoignée par l'observation de quelques fissures ouvertes des talus conglomératiques de la rue Kitouni et les écroulements récents constatés au niveau de la falaise la plus basse.

-La brèche Miocène qui se développe sur l'ensemble du site, au dessous des formations argilo-conglomératiques paraît quant à elle stable. Les affleurements locaux de cette brèche à la périphérie du terrain Amirouche, montrent une consistance rocheuse. Cette brèche qui affleure sur de grandes étendues, plus à l'ouest de Belouizdad (piémonts du Dj.Chettabah), est tout à fait stable sur des versants de forte pente.

Les observations sur terrain et les coupes géologiques ne suffisent pas pour estimer la profondeur des glissements, le recours aux mesures inclinométriques devient un outil incontournable.



Source: SIMECSOL-ARCADIS(2004)

Figure n°2-5 : Diagramme de Casagrande des sols du site Belouizdad (Les terrains sont de type argiles peu plastiques à moyennement plastique).

2-4-1-5-Analyse des glissements de terrain

2-4-1-5-1-Les mesures inclinométriques

L'objectif des mesures inclinométriques est de déterminer la profondeur des ruptures et l'amplitude et la direction des déplacements horizontaux du terrain, en fonction du temps.

Au niveau de ce site cinq tubes inclinométriques nommés SB1 SB2 et SB4 à SB6, ont été installés, leurs situations est la suivante²³

²³:Rapport glissement de terrain site Belouizdad direction d'urbanisme et de construction, DUC (2004)

SB1 : au niveau de la Route du 20 août, carrefour à l'ouest du profil central

SB2 : sur le profil central, sur le terrain Kaïdi Abdallah

SB4 : à l'amont du glissement, au niveau du coin sud-est du square Guessoum

SB5 : sur le profil central, dans le terrain sous la falaise

SB6 : rue des Maquisards, à l'ouest du profil central, à l'amont

Le tableau ci-dessous synthétise les résultats des mesures inclinométriques, qui ont été réalisées par le Laboratoire des Travaux Publics-Est

| Incli | Prof forage (m) | Prof surface de rupture (m) | Direct de déplacement | Le déplacement en (mm) par trimestre | | | | | | | | Observations |
|-------|-----------------|-----------------------------|-----------------------|---|---------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|--|---|
| | | | | La vitesse de déplacement en (mm) par trimestre | | | | | | | | |
| | | | | 4 ^{ème} trim 2002 | 1 ^{er} trim 2003 | 2 ^{ème} trim 2003 | 3 ^{ème} trim 2003 | 4 ^{ème} trim 2003 | 1 ^{er} trim 2004 | 2 ^{ème} trim 2004 | | |
| SB1 | 90 | 15-16 | N 343° E | 3 / 3 | 13 / 9 | 45 / 32 | | | | | | Rupture après la mesure de juillet 2003 |
| SB2 | 90 | 6-6,5 | N 315° E | 5 / 5 | 15/14 | | | | | | | Rupture après la mesure de mars 2003 |
| SB4 | 55 | 18,5-21 | N 225° E | | | | 0 / 0 | 3,4 / 3,4 | 6,6 / 3,2 | 68/02 | | Tube bouché à 21 m |
| SB5 | 52 | 8 | N 325° E | | | | 0/0 | 10/10 | 38,8 / 28,6 | 44,5/5,7 | | |
| SB6 | 52 | 7,5-8,5 | N 325° E | | | | 0 | 11 | 16,6 | 17,7 | | |

Source: SIMECSOL-ARCADIS(2004)

Tableau n° 2-13 : Mesures inclinométriques (Synthèse)

Les données montrant l'évolution des variations angulaires ou des déplacements en fonction du temps, dont on détermine la profondeur de surface de glissement, d'après les résultats on peut déduire ce qui suit :

-Les terrains recoupés par les sondages équipés en inclinomètres, sont hétérogènes : limons roux, conglomérats et sables grossiers appartiennent à la formation Miocène.

-Tous les inclinomètres mettent en évidence une surface de rupture, les inclinomètres SB1, SB2 et SB5 montrent des vitesses d'évolution proches, supérieures à celles observées sur les inclinomètres SB4 et SB6.

-L'orientation du déplacement de l'inclinomètre SB4 est différente de celle des autres orienté Sud-ouest, la vitesse de déplacement moyenne est la plus faible et le déplacement concerne un sous ensemble du grand glissement qui semble débiter au niveau du square Guessoum en se développant vers le Sud-ouest

Le second tableau ci-dessous indique, pour chaque inclinomètre, le type de terrain traversé par la surface de glissement. On note qu'une couche particulière de limon roux dense est traversée par des surfaces de glissement (les inclinomètres concernés : SB1, SB2 et SB4).

| Inclinomètre | Prof. du forage (m) | Prof. surface de glissement (m) | Terrain traversé au niveau de la surface de glissement | Observations |
|--------------|---------------------|---------------------------------|---|-----------------------------|
| SB1 | 90 | 15 - 16 | Base d'une couche de galets, blocs et graviers gréseux dans matrice limoneuse sur une couche de limon roux dense. | |
| SB2 | 90 | 6 - 6,5 | Dans couche de limon roux dense au-dessus brèche à matrice limoneuse | |
| B3 | 56 | - | | Artésien. Mesure impossible |
| SB4 | 55 | 18.5-21 | Dans couche de sable graveleux roux, argileux blocs et galets à matrice argilo-sableuse. | |
| SB5 | 52 | 8 | Dans galets hétérogènes et sable moyen. | |
| SB6 | 52 | 7.5-8.5 | Dans blocs de grès et de calcaire à matrice limono-sableuse. | |

Source: SIMECSOL-ARCADIS(2004)

Tableau n°2-14: Mesures inclinométriques. Profondeur des ruptures.

2-4-1-5-2-Nivellement de précision

Le nivellement de précision, mesure le déplacement vertical de points matérialisés sur le terrain, il vise à délimiter les zones instables et de contrôler leur régression vers l'amont.

C'est une mesure très précise plus au moins 0,5 mm d'incertitude sur le déplacement), qui permet de détecter très tôt les déplacements. Afin de contrôler la régression des zones instables, et de les délimiter plus précisément, un système de surveillance par nivellement de précision a été mis en place au début de l'année 2004.

Plusieurs profils de points ont été installés, suivant des profils traversant les zones instables et calés sur des points extérieurs à celle-ci, dans des endroits supposés stables.

Les mesures consistent à déceler les variations d'altitude des points par rapport à la mesure origine du 7/2/2004. Les résultats obtenus montrent très peu de variations altimétriques, à l'exception des quartiers Kaïdi et Kitouni ou des tassements de 8 à 25 cm ont été relevés.²⁴

²⁴: Rapport glissement de terrain site Belouizdad direction d'urbanisme et de construction, DUC (2004)

2-4-1-6-Analyse de stabilité

Les glissements de ce site sont de grands glissements, profonds et actifs, pour lesquels la présence d'eau, par la pression interstitielle est l'élément moteur prépondérant.

Le déclenchement initial de ces glissements est vraisemblablement la conséquence de phénomènes dont l'accumulation a contribué à l'instabilité des pentes : érosion en pied, fortes pressions interstitielles et séismes.

La méthode appliquée pour les calculs de stabilité, est la méthode des perturbations développée au Laboratoire Central des Ponts et Chaussées et intégrée dans le logiciel de calcul de stabilité des ouvrages et pentes TALREN²⁵.

Elle est particulièrement bien adaptée au calcul des ruptures non circulaires qui sont celles observées sur le site, quatre types de glissement, étaient distingués :

-Glissement Guessoum : glissement au niveau du square Guessoum et de l'immeuble Cadeau, associé au glissement principal mais de direction différente :

-Glissement 1 : glissement le plus en amont du site se prolongeant jusqu'à la première falaise

-Glissement 2 : glissement concernant le quartier Maquisards se prolongeant jusqu'à la première falaise

-Glissement 3 : glissement de pente du type de celui observé au niveau du quartier Kaïdi Abdallah.

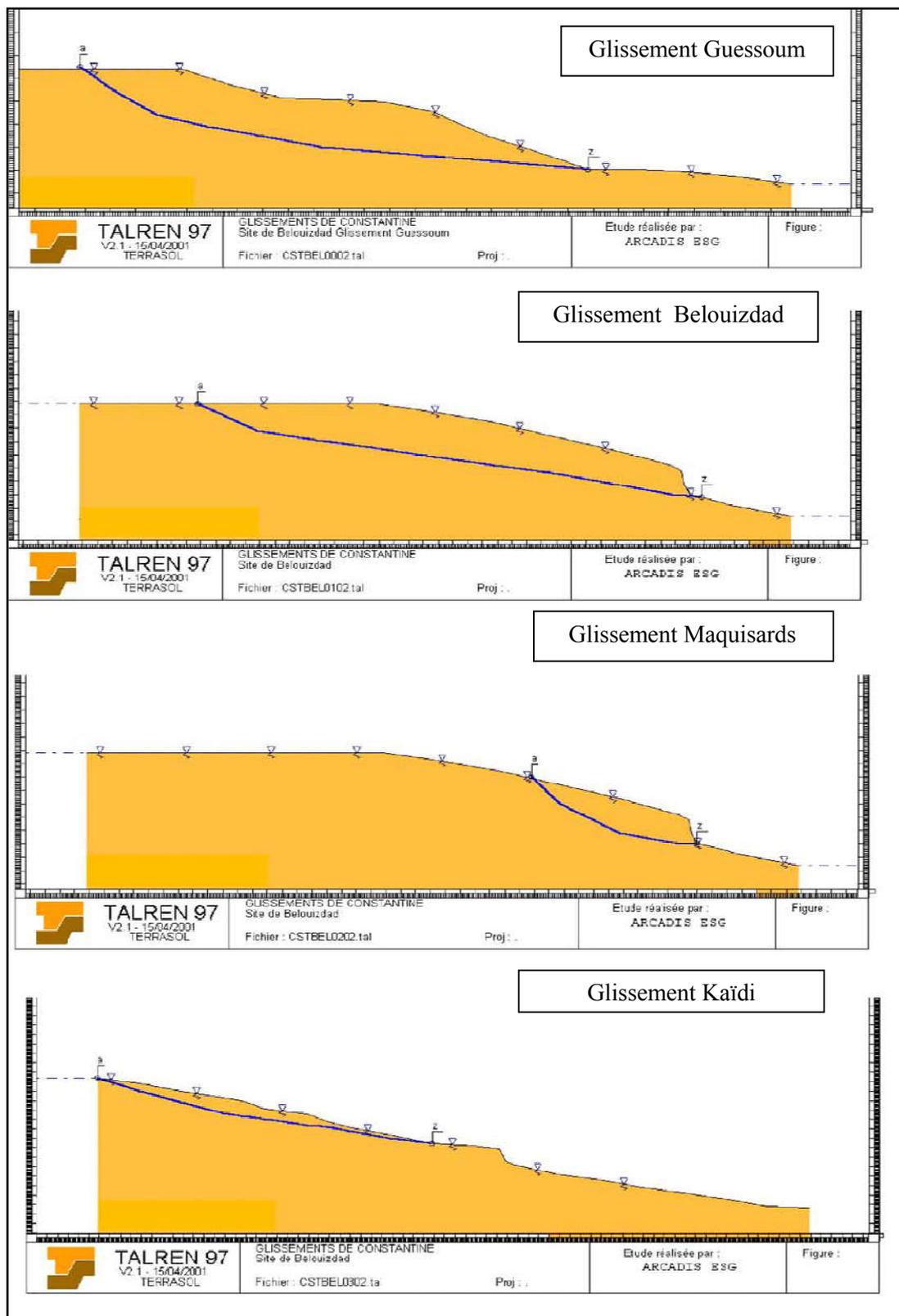
Quatre vingt trois calculs ont été réalisés pour établir les graphes du coefficient de sécurité en fonction de l'angle de frottement et de la pression interstitielle.

| Glissement | Masse volumique (KN/m ³)du terrain | Cohésion (KPa) | Angle de frottement (°) | Pression interstitielle niveau par rapport au TN (m) |
|--------------|--|----------------|-------------------------|--|
| Guessoum | 20 | 0 | 12, 15, 20, 25 | 0, -5, -10, -20 |
| Glissement 1 | 20 | 0 | 12, 15, 20, 25 | 0, -5, -10, -15, -20 |
| Glissement 2 | 20 | 0 | 12, 15, 20, 25 | 0, -5, -10, -15, -20 |
| Glissement 3 | 20 | 0 | 12, 15, 20, 25 | 0, -5, -10, -20 |

Source : SIMECSOL-ARCADIS(2004)

Tableau n°2-15 : Hypothèses des calculs

²⁵: Rapport glissement de terrain site Belouizdad direction d'urbanisme et de construction, DUC (2004)



Source : Etude Simecsol-Arcadis (2004)

Figure n°2-6 : Schéma des surfaces de rupture prises en compte dans les calculs (Les échelles ne sont pas respectées).

L'analyse de la figure n°(2-6) met en évidence les points suivants : les glissements Guessoum, amont (glissement 1) et aval (glissement 3) s'expliquent par des caractéristiques géomécaniques moyennes ($c'=0$ et angle de frottement compris entre $17,5^\circ$ et 24°), des pressions interstitielles équivalentes à celle d'une nappe dont le toit se situerait entre le terrain naturel et 4 m de profondeur.

Le glissement 2 confiné au quartier des Maquisards, ne pourrait s'expliquer que par des caractéristiques géomécaniques équivalentes mais avec un champ de pressions interstitielles de faible amplitude, ce qui semble être le cas (piézomètres), le coefficient de sécurité s'accroît de 50% si on rabat la nappe de :

-7 à 9 m pour le glissement Guessoum ;

-10 m pour le glissement amont (glissement 1) ;

-5 à 7 m pour le glissement de pente aval (glissement 3).

Cette augmentation est impossible à atteindre par drainage pour le glissement de la première falaise dont la stabilité dépend plus des caractéristiques géomécaniques que du champ de pressions interstitielles.

Les angles de frottement du sol qui peuvent expliquer les glissements avec des champs de pressions interstitielles raisonnables se situent entre $17,5$ et 24° . On notera qu'ils se situent dans la fourchette d'angles de frottement, assez large, citée par A. Monjoie (1987), de 23° et 9° pour des matériaux équivalents.

Dans cette fourchette, la valeur de 21° pour l'angle de frottement, apparaît comme la plus vraisemblable, ce choix est cohérent avec les informations fournies par les essais de laboratoire qui classent le sol à la frontière des argiles et limons plastiques, par sécurité certains calculs ont été réalisés avec des hypothèses considérées comme défavorables $c' = 0$ et angle de frottement = $17,5^\circ$.

| Caractéristiques géomécaniques à la surface de rupture | Poids volumique (KN/m ³) | Cohésion (KPa) | Angle de frottement (°) |
|--|--------------------------------------|----------------|-------------------------|
| Les plus probables | 20 | 0 | 21 |
| Les plus défavorables | 20 | 0 | 17,5 |

Source : SIMECSOL-ARCADIS(2004)

Tableau 2-16-Paramètres géomécaniques pris en compte dans les calculs

2-4-1-6-1-Effet d'un séisme

L'effet d'un séisme sur la stabilité des pentes se calcule par une méthode pseudo-dynamique qui prend en compte l'effet de l'accélération sismique sur les contraintes induites par la masse du terrain.

La méthodologie de calcul consiste à se placer tout d'abord dans un domaine de paramètres expliquant la rupture hors séisme, avec les paramètres géomécaniques les plus probables ($c' = 0$, angle de frottement 21°) et les plus défavorables ($c' = 0$, angle de frottement $17,5^\circ$).

Adopter le champ des pressions interstitielles qui donne un coefficient de sécurité de 1,5 avec les paramètres géomécaniques les plus probables, hors séisme de calculer quel est le coefficient de sécurité dans le cas d'un séisme produisant une accélération horizontale (s).

L'accélération horizontale adoptée dans les calculs ($s = 0,09$ g) est celle qui a une période de retour de 100 ans dans la région de Constantine, le tableau n° (2-17) indique les variations du coefficient de sécurité dans ces hypothèses.

A l'exception du glissement 2, les résultats des calculs sont remarquablement proches, ceci s'explique facilement par le fait que la géométrie de ces glissements est semblable et que le drainage est calé (position de la nappe) pour obtenir un coefficient de sécurité de 1,5 avec les caractéristiques géomécaniques les plus probables, hors séisme.

| Glissements | Accélération horizontale (g) | Position de la nappe/TN (m) | Angle de frottement du sol ($^\circ$) | | Coefficient de sécurité | |
|----------------------|------------------------------|-----------------------------|---|----|-------------------------|-----|
| | | | 17.5 | 21 | 1.2 | 1.5 |
| Guessoum | 0 | -9 | 17.5 | 21 | 1.2 | 1.5 |
| Guessoum | 0.09 | -9 | 17.5 | 21 | 0.8 | 1.0 |
| Glissement amont (1) | 0 | -10 | 17.5 | 21 | 1.2 | 1.5 |
| Glissement amont (1) | 0.09 | -10 | 17.5 | 21 | 0.8 | 1.0 |
| Glissement aval (3) | 0 | -7 | 17.5 | 21 | 1.2 | 1.5 |
| Glissement aval (3) | 0.09 | -7 | 17.5 | 21 | 0.8 | 1.0 |
| Glissement amont (2) | 0 | -15 | 17.5 | 21 | 0.8 | 1.0 |
| Glissement amont (2) | 0.09 | -15 | 17.5 | 21 | 0.6 | 0.8 |

Source : SIMECSOL-ARCADIS(2004)

Tableau 2-17 : Valeur de l'accélération horizontale et variation du coefficient de sécurité

Les variations des coefficients de sécurité correspondent soit à l'effet d'une diminution des caractéristiques du terrain, soit à un séisme, soit à l'effet des deux.

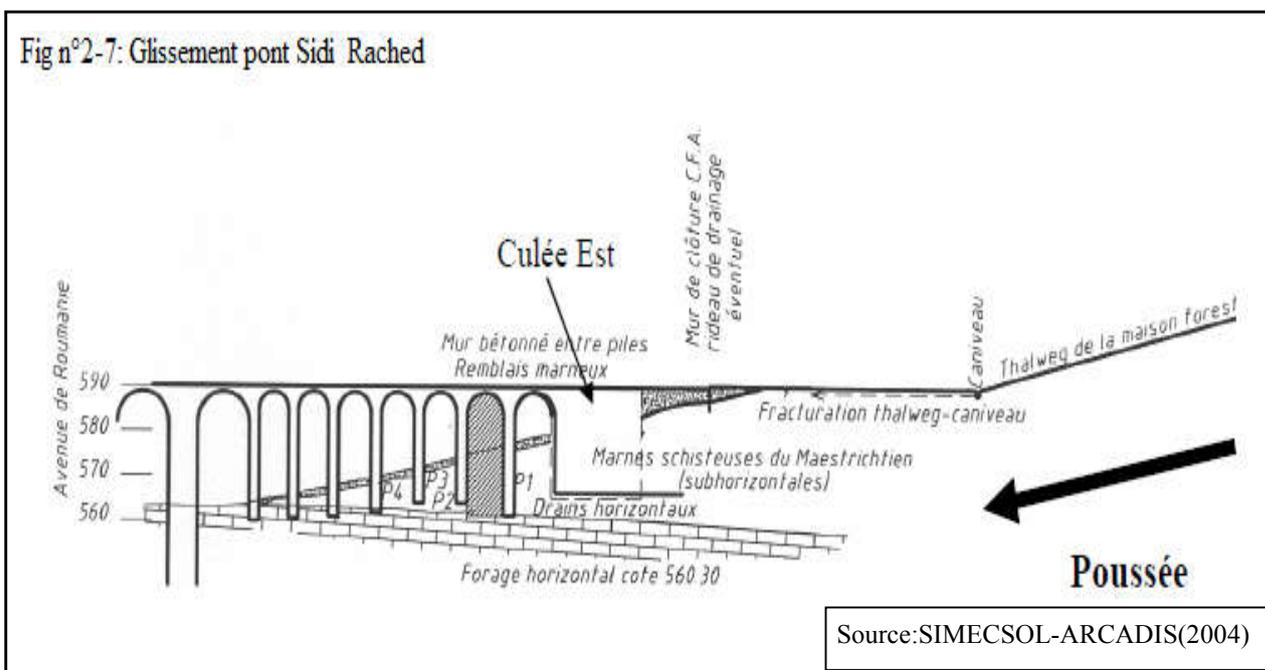
Les variations des paramètres sont identiques et les géométries semblables, les variations des coefficients de sécurité doivent donc être proches, c'est ce que les calculs montrent pour trois des quatre glissements :

Dans la mesure où les caractéristiques géomécaniques au niveau de la surface de rupture restent proches de celles que nous avons adoptées comme étant les plus probables ($c' = 0$, angle de frottement 21°), si le dispositif drainant provoque un rabattement de 10 m environ, le coefficient de sécurité des glissements est de 1,5 environ hors séisme, il est légèrement supérieur à 1 dans le cas d'un séisme dont l'accélération horizontale atteindra 0,09 g (période de retour de 100 ans), le dispositif drainant n'assurera pas la stabilité des glissements dans le cas d'un séisme dont l'accélération horizontale dépassera 0,09 g.

2-4-2-La menace d'un glissement profond contre la culée Est du pont Sidi Rached

2-4-2-1-Géomorphologie

La culée Est du pont Sidi Rached domine un talus aval de 30 % de pente, interrompu par les gorges profondes du Rhumel, vers l'amont, cette culée est prolongée par un replat de terrassement ancien formant la plateforme ferroviaire, puis par le versant du chemin forestier, de 25% de pente, qui se raccorde au plateau de Mansourah à 100m de dénivelée par rapport au pont.



2-4-2-2-Géologie

Les reconnaissances complémentaires étaient effectuées entre (2003-2004) sur la base d'une cartographie géologique. Les roches qui forment cette morphologie sont variées, elles sont représentées par la série stratigraphique suivante :

○ **Les Calcaires Massifs du Crétacé Supérieur (Cénomano-Turonien)**

Ils sont connus sous le terme de « Néritique Constantinois » et correspondent à une série massive de calcaires fins, gris à blanchâtres fossilifères.

Ils affleurent sur toute la hauteur des gorges (plus de 150 m), en bancs métriques et sont coiffés par quelques mètres de pélites et grès calcaires observés sur le talus aval de la culée du pont (à l'intérieur de la société Naftal), cette formation représente le terrain substratum du site du pont Sidi Rached.

Sur le plan structural, le calcaire néritique correspond à un flanc monoclinale de direction Nord 60° et de faible pendage (5°) vers le Sud est, d'après l'interprétation des coupes de sondages, il présente une légère inflexion au droit de la plate forme ferroviaire.

○ **Les Marnes et Marno-Calcaires Crétacés (Telliens)**

Les marnes sont de couleur gris-sombre et se présentent en feuillets millimétriques à centimétriques, elles se débitent facilement suivant leurs joints de stratification et le réseau serré de diaclases qui les découpe.

Elles renferment des bancs demi-métriques marno-calcaires plus robustes et occupent, sous un faible recouvrement colluvial, la grande majorité du talus aval du pont de Sidi Rached et le versant du chemin forestier.

L'observation de cette formation sur site et sur carottes de sondages, permet de distinguer deux termes :

-Un terme supérieur décomprimé et parcouru par un réseau de diaclases ouvertes, tapissées d'oxydes et parfois de gypse.

Cet horizon est très mal récupéré par sondages et les carottes sont souvent remaniées et récupérées en fragments centimétriques, des pertes totales d'eau y sont constatées dans quelques forages anciens, son épaisseur varie entre 10 et 20 m.

-Un terme inférieur plus consistant, mis en évidence par les sondages et mieux récupéré (carottes de 10 à 100 cm).

Cet horizon renferme néanmoins, quelques passées terreuses contrairement à la régularité de la structure des calcaires néritiques qu'elles recouvrent, ces marnes sont très plissées et montrent de place en place, une grande variation de leur direction et pendage.

Elles sont discordantes sur l'assise calcaire et correspondent aux nappes telliennes d'âge probable maastrichtien.

○ **Les calcaires lacustres de Mansourah**

Ils sont d'âge quaternaire ancien et forment le plateau de Mansourah ,ils sont représentés par des dalles épaisses, subhorizontales de plusieurs mètres de calcaire blanchâtre,vacuolaire discordant sur les marnes telliennes, un conglomérat de 1 à 2 m d'épaisseur affleure localement à la base de ces calcaires.

L'érosion différentielle entre les marnes friables et les dalles calcaires robustes, entraîne des écroulements fréquents de gros blocs parsemés le long du versant qui domine le pont Sidi Rached

○ **Les colluvions et éboulis**

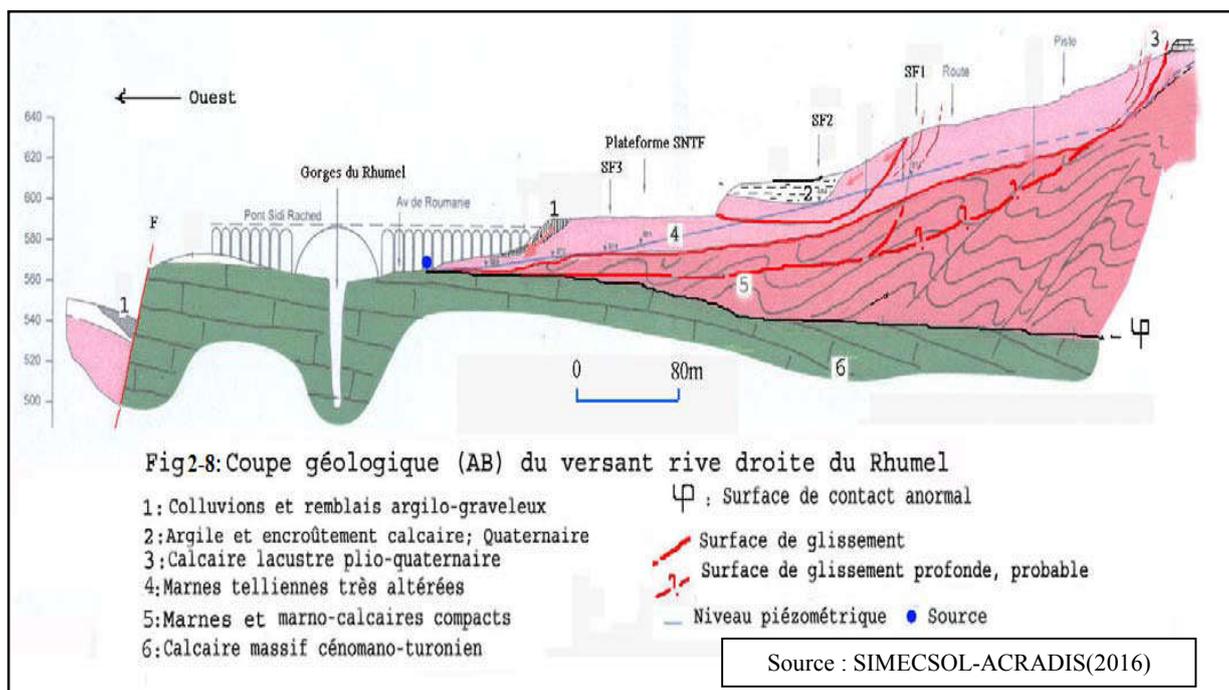
Ils sont de nature hétérogène à débris pélitiques dominants et recouvrent superficiellement l'ensemble du versant marneux, quelques encroûtements calcaires se développent sur des zones de replats topographiques tel celui situé au-dessus du talus de la voie ferrée.

○ **Les remblais**

Les remblais les plus épais sont localisés, d'après les sondages, au droit de la culée orientale du pont et le long de la route qui mène vers la gare ferroviaire (Rue Zaamouche).

L'ensemble des sondages anciens, réalisés sur la culée du pont Sidi Rached et la plate forme ferroviaire voisine,a mis en évidence la présence de remblais épais.

Certains sondages montrent des épaisseurs de 8 à 10 m, ces remblais sont de nature prédominante marneuse et paraissent peu ou mal compactés.



2-4-2-3-Les données hydrogéologiques

La présence d'eau souterraine se manifeste par de nombreuses résurgences d'eau, le long du talus aval de la culée du pont. Sous ce dernier et à sa proximité, deux sources ont été captées lors de la construction de l'ouvrage, à la hauteur de l'avenue de Roumanie, à la cote d'altitude 563m.

Ces résurgences correspondent sensiblement au contact entre les marnes telliennes altérées et fracturées, perméables et le calcaire sous-jacent, peu perméable.

L'interprétation globale des données de terrain et des sondages carottés, montrent que les horizons aquifères correspondent :

- Aux termes supérieurs, altérés et décomprimés des marnes telliennes,
- Aux remblais existants en particulier sous la culée Est du pont de Sidi Rached,
- Aux calcaires lacustres assez poreux du plateau de Mansourah, la nappe contenue dans cet aquifère de structure géométrique légèrement inclinée vers l'Est, semble s'écouler dans cette direction.

L'examen des relevés piézométriques d'une campagne de sondages carottés, réalisés par le laboratoire des Travaux Publics de Constantine (LTP Est), au voisinage de la culée du pont (période 1998-2000), montre la présence d'eau souterraine entre les cotes 572 et 568m, suivant le sens de la pente, soit un gradient hydraulique moyen de 2,5 % entre les piézomètres extrêmes : Sc1 et Sc7.

Les relevés piézométriques effectués entre janvier 1998 et juin 2000, bien qu'irréguliers dans le temps, ne montrent pas de variations notables et la nappe paraît insensible aux écarts saisonniers des précipitations malgré les fortes pluies de l'hiver 1998.

Nous attribuons cette faible variation du niveau piézométrique, d'une part, à une perméabilité probablement élevée des marnes et marno-calcaires telliens, très altérés et d'autre part, à la vidange rapide de la nappe qui se trouve ici, proche de son exutoire : les gorges du Rhumel.

L'alimentation de l'aquifère marneux décomprimé et fissuré, est assurée par l'impluvium relativement large (500 m), compris entre la bordure du plateau de Mansourah et le talus rive droite du pont Sidi Rached, mais également par les infiltrations sur le plateau.

En raison de l'inefficacité des ouvrages de drainage du versant dominant la plate forme ferroviaire, signalée dès 1956 par Durozoy, la plupart des eaux de ruissellement du versant s'infiltrent dans le sol, et en particulier au niveau de la plate forme ferroviaire, pour réapparaître sous forme de sources, en aval de la culée du pont Sidi Rached.

Depuis la construction du pont, plusieurs dispositifs de drainage ont été installés : puits, fossés, galerie, drains subhorizontaux. On note sur le terrain, dans le talus sud par exemple, la présence d'anciens drains mais qui ne semblent plus fonctionner.

Certains drains ont produit beaucoup d'eau des « débits importants de certains drains, notamment ceux qui débouchent au dépôt SNTV, de 1 et 2 l/s en période pluvieuse » ont été notés par le LTP Est (1983).

2-4-2-4-Les caractéristiques géotechniques des formations

On ne dispose que peu de renseignements sur les caractéristiques géotechniques des formations en place. En effet, les sondages carottés réalisés lors des précédentes campagnes n'ont pas fait l'objet de prélèvements d'échantillons intacts et aucun essai en laboratoire n'a été réalisé.

Les marnes qui se présentent le plus souvent en feuillets millimétriques à centimétriques ont un comportement plus proche de celui d'une roche que d'un sol.

Les derniers essais en laboratoire se sont donc limités à la réalisation d'essais d'identification les pourcentages de fines (inférieures à 8 µm sont compris entre 50 et 80% et que la fraction argileuse (éléments inférieurs à 2µm) varie de 25 à 50%.

La présence de nappes joue certainement un rôle important dans les mouvements du versant du chemin forestier, ces derniers sont anciens, les déplacements cumulés sur une période de 50 ans sont de l'ordre du mètre, les vitesses de déplacements restent faibles mais continues et les conditions initiales qui ont déclenché ces mouvements restent délicates à déterminer.

2-4-2-5-Analyse des glissements de terrain

Au cours des études antérieures, le problème d'instabilité de la culée est du pont Sidi Rached, a été expliqué par un glissement de terrain dont les contours ne dépassaient pas les environs les plus proches de la culée.

En effet, les désordres les plus apparents sont bien exprimés le long du talus aval, de part et d'autre de la culée, tels que :

- La fissuration de plusieurs constructions en béton armé,
- Le basculement de murs de soutènement,
- La dégradation de structures enterrées à l'intérieur du siège NAFTAL,
- L'inclinaison systématique des arbres.

Le lever géologique du talus amont du pont, montre, toutefois, plusieurs autres indices d'instabilité, il s'agit, en particulier :

- D'une ouverture excessive des diaclases et joints de stratification des marnes telliennes ;
- D'affaissement et fissuration affectant deux chemins forestiers.

Les ouvrages de drainage anciens, des eaux superficielles, sont systématiquement fissurés et les voies ferrées sont périodiquement rectifiées, preuve de l'instabilité de leur sol support.

Ces observations militent ainsi, en faveur d'un glissement de terrain mobilisant l'ensemble du versant compris entre le contrebas du plateau de Mansourah (cote 685m) et le talus aval de la culée du pont (cote 565m).

Les terrains déstabilisés correspondent aux remblais et probablement aux marnes telliennes les plus remaniées (les plus mal récupérées par sondages carottés), les calcaires Cénomano-turonien, formant des falaises très hautes, ne montrent aucun indice d'instabilité.

C'est sur la base de ces observations de terrain, qu'un programme d'investigation par sondages équipés d'inclinomètres a été élaboré, suivant un profil étendu à toute la hauteur du versant soupçonné instable.

2-4-2-5-1-Les mesures inclinométriques

Plusieurs campagnes de mesures inclinométriques ont été lancées, les plus récentes :

- 1) Campagne 1999 LTP Est au niveau de la culée du pont ;
- 2) Campagne 2002 et 2004 LTP Est au niveau de la culée du pont ;
- 3) Campagne EEG SIMECSOL-LTP Est (juillet 2003 à juillet 2004).

La période de mesure de la première campagne (1999) semble insuffisante en raison du mode d'installation des inclinomètres adoptée alors (clavage au sable, campagnes 1 et 2) qui conduit une sensibilité moindre que les inclinomètres scellés au coulis de ciment (campagne 3) qui est la procédure recommandée par la norme française NF 94-156.

Dans le premier cas, il faut en effet un déplacement important du terrain pour déformer le tube, ce qui masque les mouvements pendant quelques temps.

Seuls les résultats des mesures de 2002 à 2004 des campagnes 2 et 3 ont fourni des résultats significatifs, les courbes inclinométriques font nettement et rapidement apparaître la profondeur des surfaces de glissement. Pour les variations angulaires, les courbes présentent des pics correspondant à ces surfaces. A ce stade des mesures, on peut noter que :

- L'inclinomètre le plus à l'amont (SF1) n'indique pas de déplacement du terrain ;
- L'inclinomètre SF2, installé à mi-pente montre clairement la présence de deux surfaces de rupture actives et profondes, l'une à 14 m de profondeur et l'autre à 30,5 m ;
- Les inclinomètres du LTP Est installés au niveau de la culée du pont (plus en aval du SF2) montrent une surface de rupture qui se confond avec l'interface entre le calcaire et les marnes telliennes.

Les inclinomètres mettent clairement en évidence plusieurs surfaces de glissement, le versant du chemin forestier jusqu'au Rhumel est affecté par des instabilités qui sont à l'origine des désordres de la culée du pont Sidi Rached et des bâtiments construits dans la pente et à l'aval.

La profondeur des surfaces de rupture est de 14 m et 30,5 m au niveau du sondage SF2 et les vitesses de déplacement des glissements varient entre 13,6 et 46,7 mm/an.

Toutefois que la moyenne des vitesses atteint 30 mm par an, il s'agit d'un mouvement lent mais mesurable et dont les effets sur la culée du pont Sidi Rached sont considérables.

2-4-2-5-2-Les mesures topographiques

Les mesures topographiques de surveillance ont débuté en mai 1954, il y a plus de 50 ans ces mesures ont toujours été réalisées avec du matériel de précision (théodolite et niveau) en suivant les procédures de la micro géodésie avec mise en place d'un réseau de points matérialisés par des repères et des points fixes matérialisés par des embases sur des piliers.

Il existe deux séries de campagnes de mesure : de mai 1954 à avril 1960 avec sept campagnes de mesures réalisées suivant un rythme annuel, puis de juin 1997 à avril 2001 avec trois campagnes de mesures effectuées tous les deux ans.

La réutilisation réussie du réseau de 1954 pour les campagnes de 1997 à 2001, a permis de se recalibrer sur la mesure initiale de mai 1954.

Il faut toutefois regretter le faible nombre de points observés en dehors de l'ouvrage lui-même et l'absence de mesures durant 37 ans, entre 1960 et 1997, empêchant de mettre en évidence les variations des vitesses des déplacements dans le temps, l'analyse de ces mesures conduit à ces résultats:

- 1) Les points de la pente (Q), de la route (P) et de la culée (C) se déplacent de manière significative et régulière au cours du temps (respectivement 880 mm, 1340 mm et 535 mm en 47 ans) alors que les points de la première pile (A) se déplacent très faiblement (49 à 57 mm en 47 ans) par effet de butée de l'ouvrage,
- 2) La vitesse moyenne du déplacement du terrain dans la pente est de 19 mm/an au point Q et de 28.5 mm/an au point P au niveau de la route nationale. Il est vraisemblable que ce déplacement intègre des mouvements de surface plus importants qu'au point Q ;
- 3) La vitesse moyenne du déplacement du point C près du pont est de 11 mm/an, nettement plus faible que celle des autres points dans la pente ;
- 4) La vitesse moyenne des déplacements des points de la première pile A du pont est très faible, de 1.1 à 1.2 mm/an.
- 5) Les déplacements des points C, Q et P sont clairement dirigés d'Est en Ouest avec une légère rotation plus de 16° vers le Nord Est pour les points de la pile (direction moyenne

287°), vraisemblablement une conséquence de la réaction exercée par le pont qui est courbe à cet endroit ;

6) les inclinaisons des déplacements sont toutes proches de celle de la pente moyenne (14°) sauf pour le point C de la culée, qui se soulève plus de 101 mm en 47 ans.

Ce déplacement est parallèle au toit du calcaire sous la culée, sur lequel glisse la marne, la culée est donc entraînée par le glissement ; elle remonte à cet endroit à cause du pendage du calcaire faute de mesures avant 1954, il est impossible de quantifier l'évolution de la vitesse des déplacements au cours du temps ,avec une vitesse constante, la culée se serait déplacée de 2,1 m depuis sa construction²⁶.

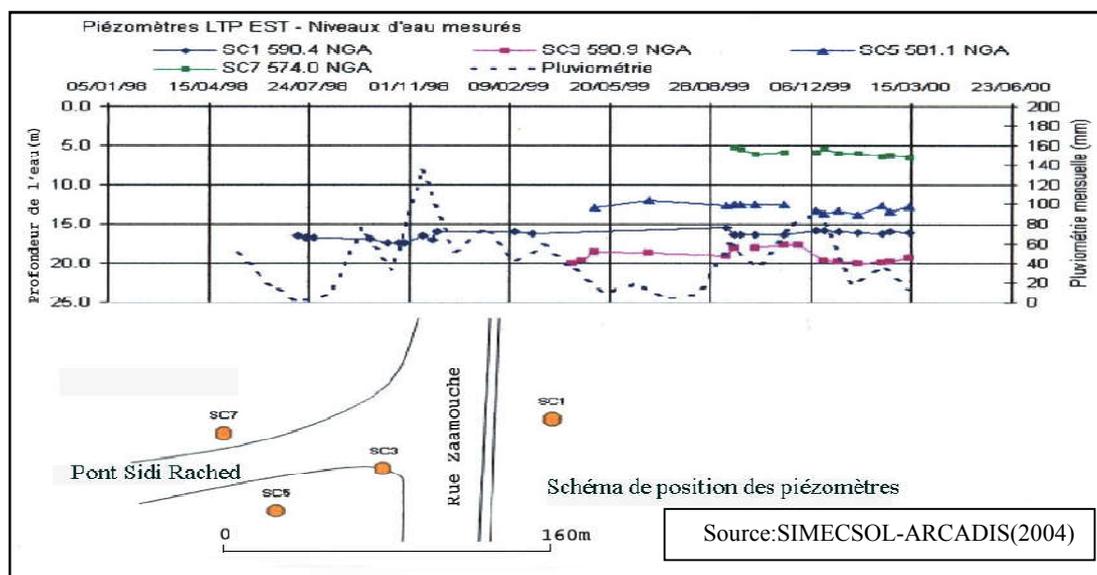


Figure n°2-9: Mesures piézométriques et pluviométrie

| Inclinomètre | Prof du forage (m) | Profondeur surface de glissement (m) | Terrain traversé au niveau de la surface de glissement | Observations |
|--------------|--------------------|--------------------------------------|--|---------------------------------|
| SF1 | 98 | 16 23 26 | Marne grise Maestrichien | |
| SF2 | 76 | 14 30.5 | marne grise Maestrichien | |
| SF3 | 42 | - | | rompu à 21 m |
| SF4 | 50 | - | | pas de déplacement significatif |
| PSR1 | 25 | 13 à 19 | interface calcaire - marne | |
| PSR3 | 36 | 28 à 30 | interface calcaire - marne | |
| PSR4 | | 45 m ? | | |

Source : SIMECSOL-ARCADIS(2004)

Tableau n°2-18: Mesures inclinométriques. Profondeur des ruptures.

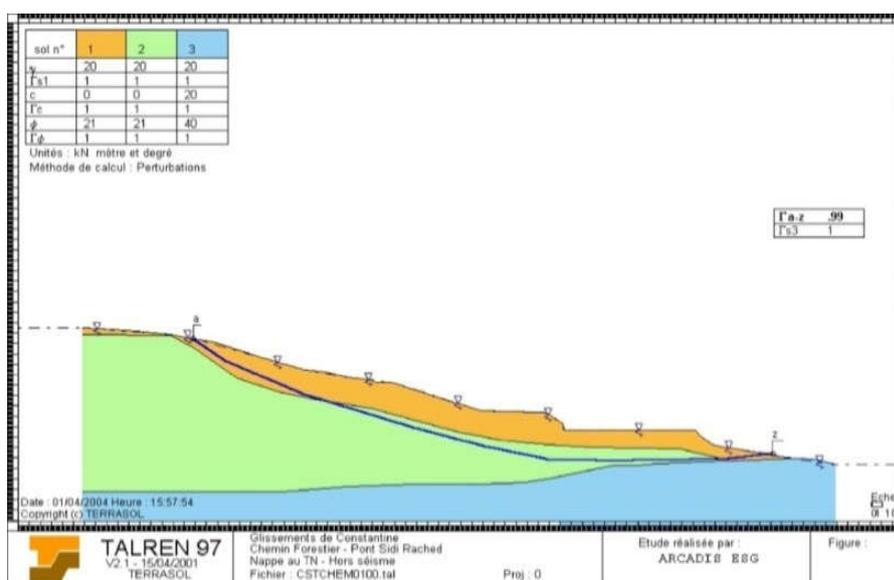
²⁶ Bougdal, R. (2007): Urbanisation et mouvements de versants dans le contexte géologique et géotechnique des bassins néogènes d'Algérie du Nord, thèse de doctorat, Spécialité : Géologie appliquée, 203p. Université des sciences et de la technologie Houari Boumediene, 186p

2-4-2-6-Analyse de stabilité

La méthode des perturbations développée au Laboratoire Central des Ponts et Chaussées et intégrée dans le logiciel de calcul de stabilité des ouvrages et pentes TALREN a été adoptée. Elle est particulièrement bien adaptée au calcul de stabilité de pentes avec des ruptures non circulaires qui sont celles observées sur le site, la morphologie du site et les mesures inclinométriques conduisent à étudier trois types de glissements :

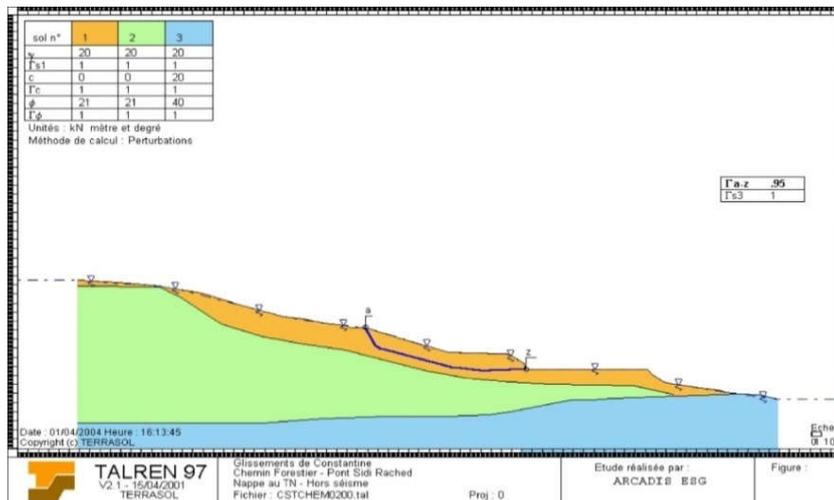
- 1) Un grand glissement englobant toute la pente ;
- 2) Un glissement plus local détecté par l'inclinomètre SF2 en milieu de pente ;
- 3) Un grand glissement débutant au niveau du chemin forestier.

Les calculs montrent que l'instabilité de la pente peut s'expliquer par des caractéristiques géomécaniques au niveau de la surface de rupture telles que $c' = 0$ et $\varphi' = 20$ à 22° avec une nappe sub-affleurante ou bien $c' = 0$ et φ' entre 13 et 15° si la nappe correspond à celle qui a été observée. Les calculs de stabilité montrent que les caractéristiques à la surface de rupture $c'=0$, $\varphi' = 21^\circ$ et la nappe observée, conduisent à un coefficient de sécurité de 1,5 la pente devrait être stable ce qui est contraire aux observations et mesures. Les déplacements des surfaces de glissement ont été très importants, ce qui a eu pour effet de lisser ces surfaces en faisant chuter l'angle de frottement jusqu'à l'angle de frottement résiduel. Cette valeur $\varphi' = 14^\circ$ est tout à fait admissible pour les marnes telliennes remaniées avec une forte proportion de particules argileuses dont l'angle de frottement résiduel doit se situer entre 6° et 14° .



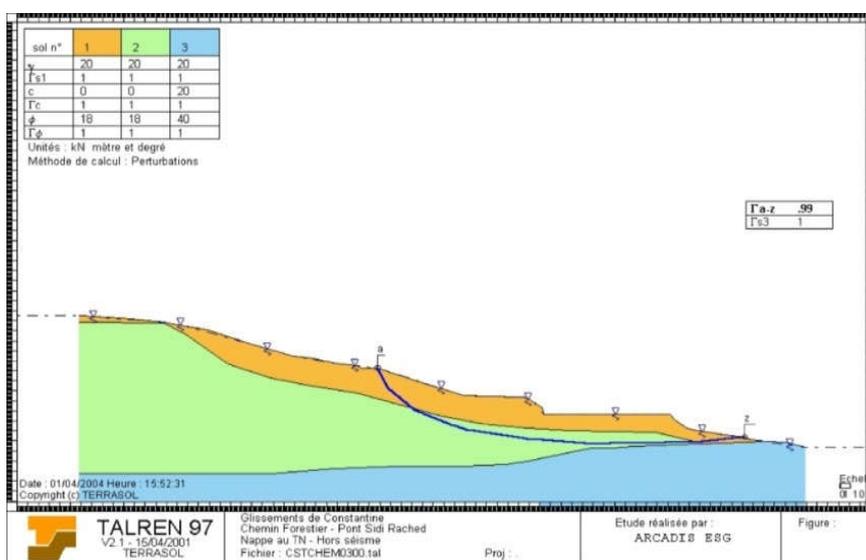
Source: SIMECSOL-ARCADIS(2004)

Figure n°2-10 : Schéma de la surface de glissement de type 1



Source:SIMECSOL-ARCADIS(2004)

Figure n°2-11 : Schéma de la surface de glissement de type 2



Source:SIMECSOL-ARCADIS(2004)

Figure n°2-12 : Schéma de la surface de glissement de type 3

2-4-2-6-1-Effet d'un séisme

L'effet d'un séisme sur la stabilité des pentes se calcule par une méthode pseudo-dynamique qui prend en compte l'effet de l'accélération sismique sur les contraintes induites par la masse du terrain.

On ne considère ici que l'effet d'une accélération sismique horizontale en envisageant le drainage comme solution principale de stabilisation, la méthodologie de calcul consiste à se placer tout d'abord dans un domaine de paramètres expliquant la rupture hors séisme, avec les paramètres géomécaniques les plus probables ($c' = 0$, angle de frottement 14°); adopter le champ des pressions interstitielles qui donne un coefficient de sécurité le plus élevé possible avec les paramètres géomécaniques les plus probables, hors séisme de calculer quel est le coefficient de sécurité dans le cas d'un séisme produisant une accélération horizontale.

L'accélération horizontale adoptée dans les calculs $s = 0,09$ g est celle qui a une période de retour de 100 ans dans la région de Constantine.

Le tableau n°(2-19) indique les coefficients de sécurité obtenus dans ces hypothèses et ceux calculés avec les caractéristiques mécaniques les plus favorables.

Pour le grand glissement, dans les hypothèses les plus probables, un drainage complet de la pente n'apporte qu'un supplément de coefficient de sécurité de 30% maximum (nappe totalement rabattue).

| Glissements | Accélération horizontale (g) | Position de la nappe | Angle de frottement du sol (°) | | Coefficient de sécurité | |
|--------------------|------------------------------|----------------------|--------------------------------|----|-------------------------|-----|
| | | | 21 | 14 | | |
| Grand glissement 1 | 0.0 | nappe observée | 21 | 14 | 1.5 | 1.0 |
| Grand glissement 1 | 0.09 | nappe observée | 21 | 14 | 1.0 | 0.7 |
| | 0.0 | drainage total | | 14 | | 1.3 |
| | 0.09 | drainage total | | 14 | | 0.9 |
| Glissement 2 | 0.0 | nappe observée | 21 | 14 | 1.8 | 1.2 |
| Glissement 2 | 0.09 | nappe observée | 21 | 14 | 1.2 | 0.8 |
| | 0.0 | drainage total | | 14 | | 1.3 |
| | 0.09 | drainage total | | 14 | | 0.9 |
| Glissement 3 | 0.0 | nappe observée | 21 | 14 | 1.7 | 1.1 |
| Glissement 3 | 0.09 | nappe observée | 21 | 14 | 1.1 | 0.7 |
| | 0.0 | drainage total | | 14 | | 1.5 |
| | | | | | | 1.0 |

Source : SIMECSOL-ARCADIS(2004)

Tableau n°2-19-Coefficient de sécurité en fonction de l'angle de frottement et de l'accélération

Compte tenu de la difficulté technique de réaliser un drainage aussi efficace et du niveau du coefficient de sécurité (1,3), l'arrêt des mouvements ne peut être garanti.

En cas de séisme avec une accélération horizontale de 0,09 g, le terrain étant totalement drainé, le coefficient de sécurité est de 0,9, insuffisant pour assurer la stabilité de la pente.

En revanche pour les autres glissements, les calculs effectués sur les deux autres types de glissement montrent qu'ils sont peu différents du premier : un drainage total augmente le coefficient de sécurité de 35% environ pour le glissement 3 et de seulement 10% pour le glissement 2 qui est plus éloigné de la nappe que le précédent.

En cas de séisme avec une accélération horizontale de 0,09g, le terrain étant totalement drainé, le coefficient de sécurité varie de 0,9 à 1, ces coefficients sont insuffisants pour assurer la stabilité de la pente soumise à ce séisme (période de retour de 100 ans).

A l'analyse de ces résultats, il apparaît impossible d'assurer la stabilité du versant et des glissements par drainage.

D'après les caractéristiques des glissements, nous sommes en présence de grands glissements profonds et actifs.

Le site est peu bâti et les mouvements étant lents et relativement homogènes, les mouvements différentiels de la surface du terrain ont limité les désordres sur les bâtiments et sur le pont Sidi Rached.

Le tableau n°2-20 indique la valeur du coefficient de sécurité dans ces hypothèses, il est de 0,7 environ. Ainsi on note que le drainage de la pente qui a glissé ne garantit pas sa stabilité dans le cas d'un séisme d'accélération horizontale 0,1 G

| Glissement | Accélération horizontale (G) | Position de la nappe / TN (m) | Cohésion (KPa) et angle de frottement du sol (°) | | Coefficient de sécurité |
|------------|------------------------------|-------------------------------|--|----|-------------------------|
| | | | | | |
| Observé | 0 | -2 m | 0 | 10 | 1.4 |
| | 0.1 | -2 m | 0 | 10 | 0.7 |

Source: SIMECSOL-ARCADIS(2004)

Tableau n°2-20-Drainage-Coefficient de sécurité en fonction de la position de la nappe et de l'accélération

2-4-3-Glislements actifs dans les marnes et argiles Miocènes à Boussouf

2-4-3-1-L'urbanisation du site et histoire des désordres

La zone de Boussouf est située à l'extrémité Sud-ouest du PDAU de Constantine et couvre une superficie d'environ 600 ha. Elle est délimitée, au Nord, par le quartier de Zaouche au Sud par des collines boisées, à l'Est par l'Oued Rhumel et à l'Ouest par les bas piedmonts du massif ancien de Chettaba.

Cette zone qui est le siège d'une urbanisation récente et dense, est caractérisée par une faible stabilité de ses versants argileux.

Les travaux de terrassement ont souvent contribué à la déstabilisation de ces derniers, en générant une véritable menace pour une grande partie du bâti.

L'urbanisation de Boussouf s'est déroulée progressivement depuis 1988, elle a débuté par la partie haute, plus précisément dans la partie centrale appelée Cité Boussouf, zone qui est stable.

Elle s'est ensuite étendue tout d'abord sur les versants qui s'avèrent de faible stabilité puis dans les fonds de talwegs elle se traduit la construction de petits immeubles dans un glissement de terrain très actif ou dans la zone inondable de Châabet El Merdja, l'urbanisation du site est passer par plusieurs phases:

- **La première phase (1970-1990)**

En 1972 le site de Boussouf été entièrement destiné à l'activité agricole, l'urbanisation est situé sur le côté amont de la route RN5, sur le plateau est occupé par quelques bâtiments entre (1980-1988), l'urbanisation se développe à l'amont de la RN5 et sur le plateau au Nord-est par la construction d'un ensemble de bâtiments de forme circulaire au Nord-est des chalets en bois de la cité Boudjenana sont construits dans la pente et une route de grande largeur a été réalisée dans le talweg Est, quelques constructions sont construit sur des remblais en tête de talus, le long de la RN5.

Au Sud et au Sud Ouest du site, plus particulièrement au centre de la zone, la cité Boussouf été construit sur des terrains plat, les immeubles ont été érigés en tête de talus sur des remblais constitués par les matériaux argileux, les traces de l'instabilité sont apparue sur site, par les glissements de terrain, l'urbanisation ce poursuive au Sud Ouest du site.

- **La deuxième phase (1990-2000)**

Le rapport du CTC (1995) indique que seul le lotissement Zaouche été en cours de construction dans le talweg Est ,ce rapport, souligne l'existence de nombreux glissements actifs.

Ces mouvements sont dus à plusieurs facteurs : l'anarchie des constructions et les réseaux d'eau et d'assainissement incorrectement dimensionnés et installés, créant de nombreuses zones d'érosion, humides et déclenchant des glissements de terrain.

D'après ce rapport la majorité de ces glissements de terrain, étaient qualifiés comme des mouvements superficiels, sauf celle du thalweg Est.

Il insiste sur la nécessité impérieuse de traiter le problème des écoulements d'eau, et propose de conforter les glissements par des murs de soutènement et/ou reprofilage du terrain.

Le rapport de G. Evans (1998) ne mentionne pas les instabilités de Boussouf.

En revanche, dans son rapport d'expertise de (1999) Paulsen suggère de capter et de canaliser les nombreuses venues d'eau et indique que *"les immeubles hauts encore en construction sont fondés sur des pieux de 22 m, le problème de stabilité ne se pose pas ici"*.

○ **La troisième phase après 2000**

En 2002, les constructions occupaient tout le talweg Est, certaines sont fondées dans les versants d'autres se sont réalisés dans le lit des écoulements naturels.

Au Sud, oued Châabet El Merdja est entièrement occupé par de nombreuses habitations à l'Ouest de la cité Boussouf, l'urbanisation s'est considérablement développée. Certains immeubles ont été construits dans la pente ou sur les remblais d'argile déversés en tête de talus. Dans le talweg Ouest, jusqu'à sa sortie, sur des terrains qui présentent des indices évidents d'instabilité, trois tours de 17 étages, une quarantaine d'immeubles de longueur variable et une école ont été construits.

L'urbanisation s'est développée sur un glissement de terrain, dans le talweg Est, ainsi que des villas sur le versant Ouest du talweg, aujourd'hui, elle se développe sur les versants Ouest.

Un très mauvais état des réseaux d'assainissement, cela présente de nombreuses fuites d'eau potable ou d'eau usée, des écoulements, qui injectent de l'eau dans les terrains de manière continue, ce qui conduit à l'instabilité des terrains.

Les sorties sur site effectuées par les experts entre (2004-2005), dans le cadre de l'étude SIMECSOL, ont mis en évidence l'existence de très nombreux désordres affectant certaines constructions, il s'agit de:

- 1-Fissurations du mur d'enceinte de l'école de la cité Boussouf centre ;
- 2-Ouverture des joints de dilatation d'un bloc de trois immeubles ;
- 3-Basculement d'immeuble situé immédiatement en haut du sondage prénétrométrique PSBO5, cet immeuble montre un net fléchissement par rapport à son mitoyen, qui lui semble, ne montrer aucun désordre ;

4-Destruction de deux villas en début de construction, l'une à proximité immédiate de SBO11, l'autre en remontant le chemin d'accès à ce sondage ;

5-Des immeubles menacés par un grand glissement très actif, l'école Saïd ZABI menacée par un glissement de talus qui emporte le mur de clôture.

2-4-3-2-Géomorphologie et géologie du site

A Boussouf le modèle orographique est peu contrasté, à cause du caractère érodable des terrains qui génèrent des formes collinaires, les différences de relief ne sont généralement soulignées que par le réseau hydrographique en surcreusement et les plateaux rocheux dominants de la bordure méridionale de Boussouf (Zouaghi et son prolongement occidental).

Il existe Cinq zones géomorphologiques classer selon leur aptitude aux glissements de terrain, ces cinq zones sont les suivantes :

1-Une aire centrale, de très faible déclivité, sur laquelle s'est développé le bâti le plus ancien;

2-Un versant nord de pente moyenne 10 à 15% drainé par un réseau de thalwegs pente moyenne 10 à 15%, drainé par un réseau de thalwegs confluant vers châabet El Merdja en direction de Zaouche. Ce drainage naturel est entièrement perturbé par des constructions.

Il est à signaler que cette zone montre des signes d'instabilité et qu'elle est fortement urbanisée, ainsi que, la plupart des investigations ont été réalisées dans cette zone;

3-Au sud une dépression topographique longée par un petit cours d'eau orienté Est-Ouest et confluant vers l'oued Rhumel;

4-Un versant Sud-est à dominante argileuse, très raviné et limité par le plateau boisé méridional;

5-Le versant Sud-ouest argileux de pente moyenne 10 à 15%, limité au Sud par le plateau calcaire de Zouaghi, ce versant se raccorde, au Nord à la vallée de Rhumel par une diminution sensible de sa déclivité.

Le réseau hydrographique est représenté par des ravines étroites issues du plateau calcaire et soumise à une action érosive intense de leurs berges, un écroulement superficiel diffus se produit à la faveur des fortes averses.

Cet écroulement superficiel est souvent généralisé sur l'ensemble des quartiers de Boussouf, par suite des actions anthropiques (terrassements, imperméabilisation du terrain, stockage de remblais obstruction de thalwegs), qui ont contribué dans une large mesure à la déstabilisation des versants.

La série stratigraphique est représentée par des formations superficielles quaternaires (alluvions, colluvions) et des calcaires plio-quaternaires, reposant en discordance sur des argiles épaisses du Miocène post-nappes.

1-Les terrasses alluviales

Elles se développent en particulier le long des rives de l'oued Rhumel, à une altitude de quelques mètres par rapport à la côte topographique du cours d'eau,elles sont de nature limoneuse.

Localisés sur les berges de l'oued M'gharouel, ces terrasses inondables correspondent aux termes les plus récentes (Holocène) des formations alluviales étagées, connues le long du Rhumel.

2-Les colluvions

Elles sont de natures hétérogènes peu épaisses à dominante limoneuse rousse, ces colluvions sont localisées dans la zone centrale de Boussouf, sur le versant sud et les talus de terrassement Elles ont suffisamment perméable et peuvent renfermer des aquifères superficiels,temporaires. Durant la période humide au contact entre ces colluvions et les argiles Miocène imperméables sous jacentes, de nombreux suintements été observés.

3-Les calcaires lacustres Plio-quaternaires

Ils forment les plateaux et les collines relativement élevés de la partie méridionale, ces calcaires se présentent en bancs épais, massifs, faisant relief par rapport aux argiles miocènes qu'ils recouvrent. L'érosion de la barre calcaire qui délimite le plateau de Zouaghi, donne quelques éboulis de blocs épars qui parsèment le versant argileux.

4-Les argiles brunes à grises, Miocènes

Elles constituent le terrain substratum du secteur de Boussouf, elles se distinguent des autres formations par une végétation rare et des pentes naturelles qui ne dépassent pas 15% et une morphologie moutonnée, signe de leurs fréquentes instabilités (fluage).

Les différents sondages carottés qui les ont systématiquement traversées, montrent qu'elles sont recouvertes, sur quelques mètres, par des niveaux décomprimés, plastiques et remaniés).

Elles renferment des inclusions de gypse qui se présentent sous plusieurs formes (cristaux centimétriques isolés, agrégats de cristaux, formes fibreuses et saccharoïdes) et de rares passées finement sableuses.

En profondeur, elles deviennent plus compactes et portent des traces de marmorisation caractéristique des argiles miocènes reconnues dans la plupart des sites (Université, Zaouche, Boudraa Salah).Aucune déformation récente n'est apparue dans les formations superficielles, par ailleurs, dans les calcaires lacustres pliocènes qui affleurent à la limite Sud de Boussouf

montrent une légère déformation et sont affectés par des failles à rejet vertical important (route d'Ain Smara).

A l'échelle de l'ensemble du PDAU, le secteur de Boussouf correspond au prolongement Sud de la structure synclinale orientée Nord Sud, mise en évidence à Ben Chergui-Oued El Mellah sa partie orientale correspond quant à elle, au prolongement de la structure anticlinale de Koudiet Touifez.

Ces structures plissées expliquent la morphologie irrégulière du toit des argiles Miocènes que l'on peut retrouver à différentes altitudes dans le secteur de Boussouf.

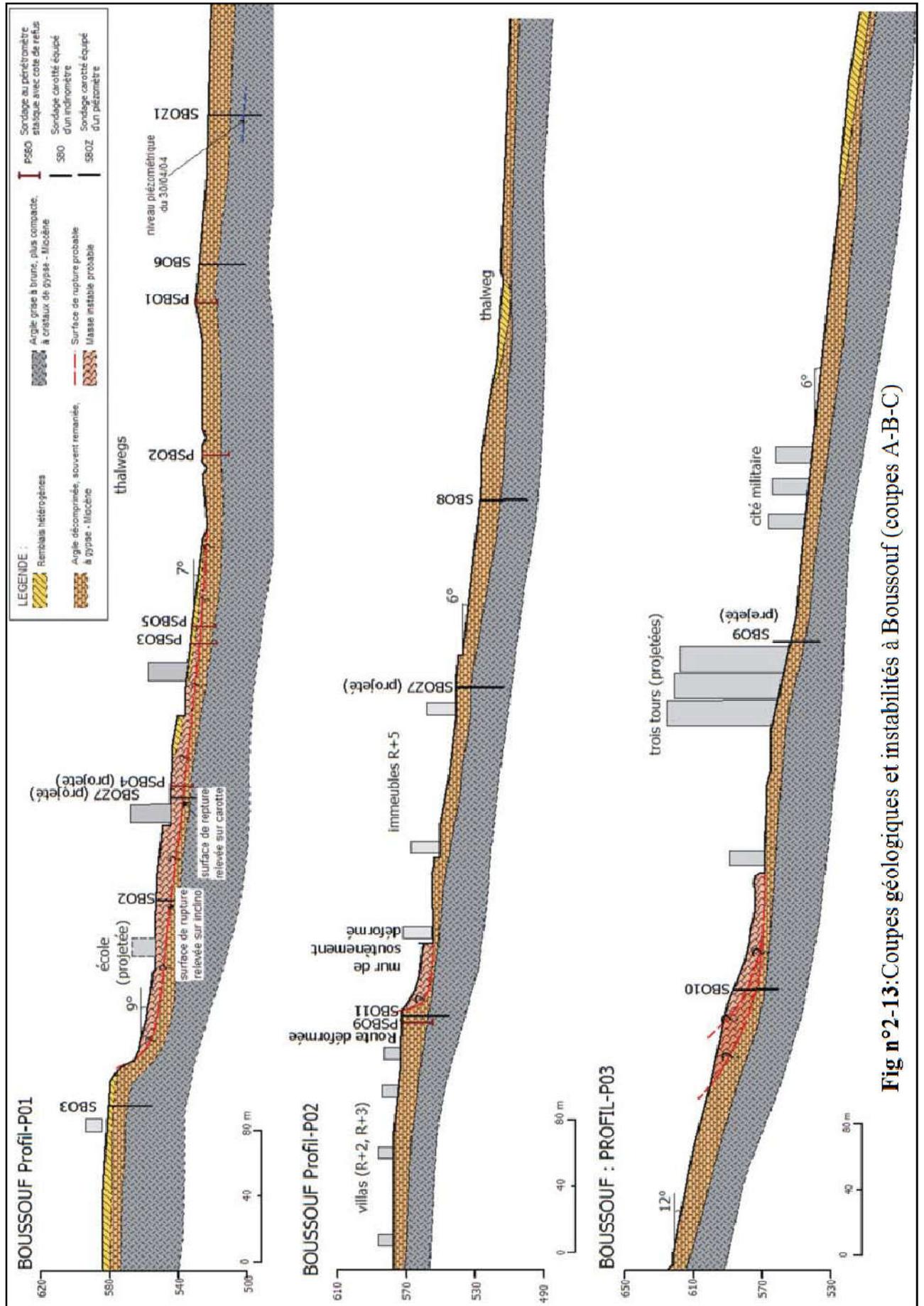
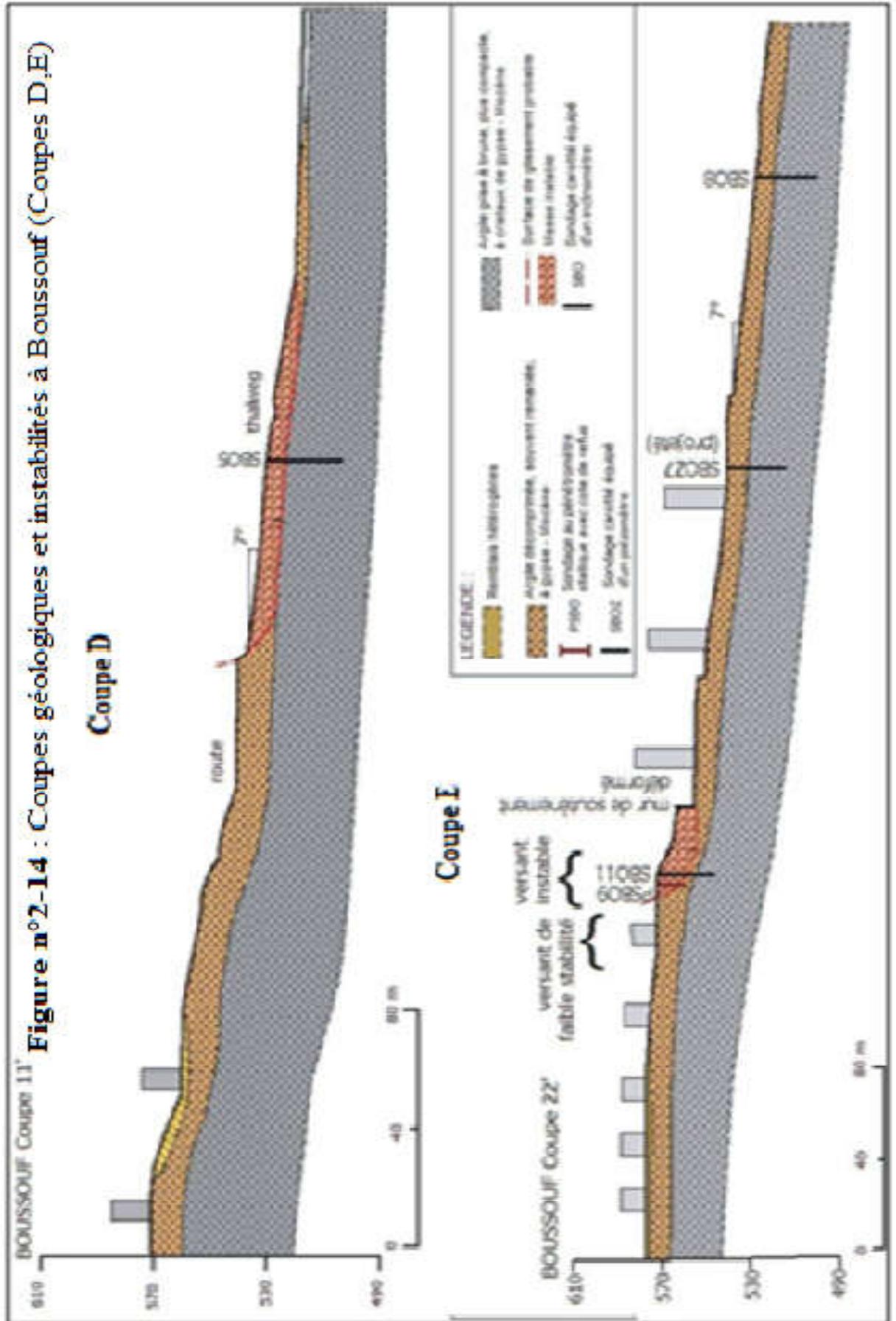
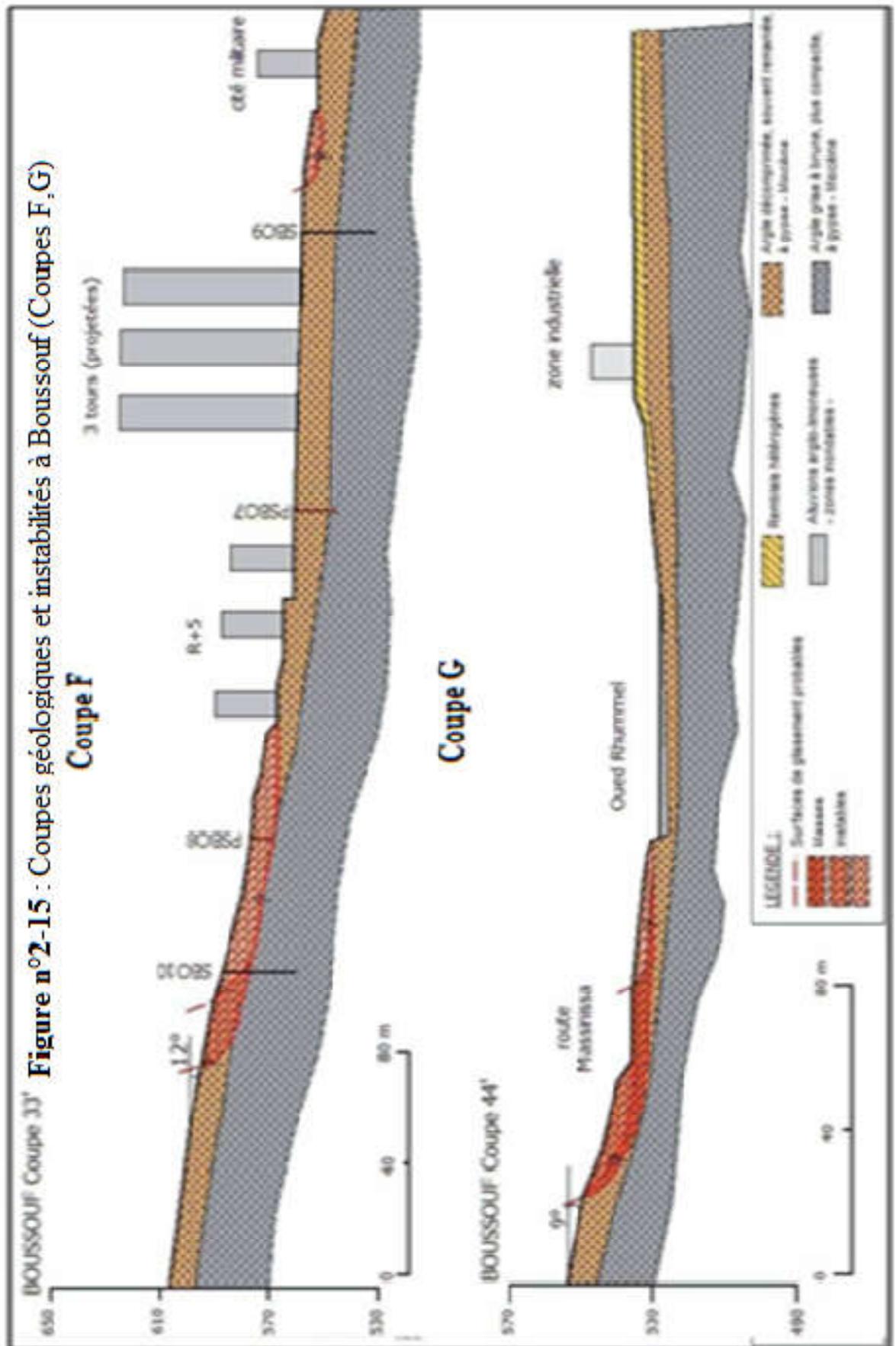


Fig n°2-13: Coupes géologiques et instabilités à Boussouf (coupes A-B-C)

Source: SIMECSOL-ARCADIS(2004)



Source: SIMECSOL-ARCADIS(2004)



Source: SIMECSOL-ARCADIS(2004)



Source:SIMECSOL-ARCADIS(2004)

Photo n°2-2: Extension du glissement en aval de deux bâtiments de construction ancienne. (E=Escarpement du glissement)



Source:SIMECSOL-ARCADIS(2004)

Photo n°2-3 : Glissement superficiel et encombrement du RDC, par les matériaux glissés à Boussouf

2-4-3-3-Les caractéristiques hydrogéologiques

Les eaux souterraines jouent un rôle important dans les mécanismes des argiles miocènes, cela conduit aux fréquents mouvements gravitaires, les quelques suintements, observés à la base des colluvions graveleuses, au contact avec les argiles miocènes témoignent de leur perméabilité. Les terrasses alluviales limoneuses sont aquifères dans la mesure où les eaux souterraines, sont exploitées par quelques puits dans la zone industrielle de Constantine.

La frange altérée et décomprimée des argiles miocènes, est susceptible de contenir des eaux pelliculaires notamment en période humide.

Cette présence d'eau à la base des murs de soutènement dans plusieurs immeubles, ces eaux est issue de l'infiltration des eaux météoriques mais aussi de nombreuses canalisations défectueuses

La perturbation du réseau hydrographique par la construction favorise par ailleurs, la création de nombreuses aires de stagnation des eaux pluviales et par conséquent, une infiltration efficace des eaux et une augmentation des pressions interstitielles.

2-4-3-4-Les caractéristiques géotechniques des formations

Le site de Boussouf a fait l'objet de deux campagnes de reconnaissances géotechniques, la première a eu lieu en 2003 et a consisté en la réalisation de :

- 1 sondage carotté SBO1 de 30,50 m de profondeur et équipé d'un piézomètre ;
- 2 sondages piézométriques SBZ1 (installé à 4 m du SBO1) et SBZ2 de 10 m et 15 m de profondeur respectivement.

La deuxième campagne a eu lieu en 2004 et 2005 et a consisté en la réalisation de :

- 9 sondages carottés SBO2 à SBO6 et SBO8 à SBO11 équipés chacun d'un inclinomètre ;
- 1 sondage carotté SBOZ7 équipé d'un piézomètre ;
- 15 sondages au pénétromètre statique PSBO1 à PSBO15.

Les piézomètres SBZ1 et SBZ2 ont été bouchés, respectivement avant Janvier et avant Mars 2004, et l'inclinomètre SBO3 a été bouché courant Septembre 2004, soit un mois seulement après son installation.

1-Données de laboratoire

Les résultats indiqués ci-dessous concernent les essais réalisés par EEG SIMECSOL/LTP-Est dans le cadre de la dernière étude : essais de granulométrie, de composition chimique, de cisaillement à la boîte sur des échantillons prélevés dans les sondages SBO1 à SBO11.

○ Formations du Quaternaire, Remblais

Il s'agit des terrains de surface incluant les remblais composés de sols pris sur place qu'il est difficile de distinguer du terrain en place.

- Masse volumique sèche

Elle est comprise entre 1.5 g/cm^3 et 2.0 g/cm^3 (moyenne 1.7 g/cm^3 de 6 valeurs).

- Teneur en eau

Les valeurs des teneurs en eau sont comprises entre 12.5% et 27.5%, la moyenne des teneurs en eau est de 22.9% (8 valeurs).

- Limites d'Atterberg

Les valeurs obtenues sont récapitulées dans le tableau ci-dessous, les valeurs de l'indice de consistance sont modérées $I_c = 0.9$ à 1.8 avec une moyenne de 1.3 (7 valeurs), ces terrains correspondent à un sol plastique, ferme à dur.

| | W_L | W_p | I_p | I_c |
|-------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Maximum | 67.7 | 31 | 36.7 | 1.8 |
| Minimum | 52.6 | 23 | 29.6 | 0.9 |
| Moyenne | 59.7 | 26.8 | 32.9 | 1.2 |
| Nombre de valeurs | 7 | 7 | 7 | 7 |

Source : EEG Simecsol, (2004)

Tableau n°2-21 : Limites d'Atterberg : (formations du Quaternaire, Remblais)

○ **Formations du Miocène**

Il s'agit ici de formations profondes, constituées d'argiles qui peuvent être limoneuses.

- Masse volumique sèche

Elle est comprise entre 1.6 g/cm^3 et 2.0 g/cm^3 (moyenne 1.9 g/cm^3 pour 10 valeurs).

-Teneur en eau

Les valeurs de teneur en eau sont comprises entre 11.5% et 27.9% , la moyenne des teneurs en eau est de 16.8% (24 valeurs).

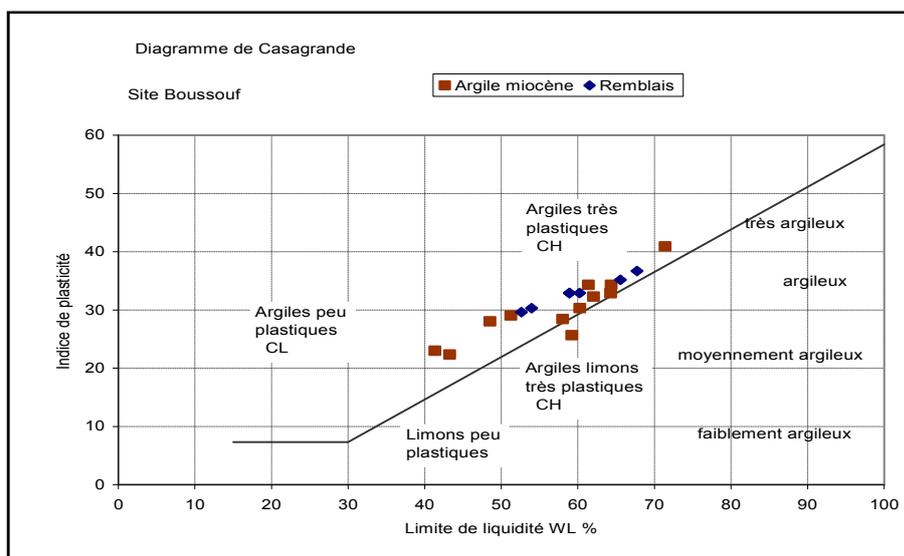
-Limites d'Atterberg

Les valeurs obtenues sont récapitulées dans le tableau ci-dessous, les valeurs de l'indice de consistance sont situées entre 1.1 et 2.0 . Ces terrains correspondent à un sol plastique, de consistance dure.

| | W_L | W_p | I_p | I_c |
|-------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Maximum | 71.4 | 33.6 | 40.9 | 2.0 |
| Minimum | 41.4 | 18.4 | 22.3 | 1.1 |
| Moyenne | 57.1 | 27.0 | 30.1 | 1.5 |
| Nombre de valeurs | 12 | 12 | 12 | 12 |

Source : EEG Simecsol, (2004)

Tableau n°2-22 : Limites d'Atterberg : (formations du Miocène)



Source: EEG Simecsol, (2004)

Figure n°2-16 : Diagramme de Casagrande des sols du site Boussouf (Les terrains sont de type argiles peu plastiques à moyennement plastique)

- Caractéristiques de cisaillement

Deux essais de cisaillement rectiligne ont été réalisés sur les argiles miocènes de Boussouf, les résultats sont les suivant :

| | | Cisaillement rectiligne | |
|---------|-------------------|-------------------------|-------------------------|
| Sondage | Prof. échantillon | Cohésion (bars) | Angle de frottement (°) |
| SBO4 | 10,00 – 10,50 | 0,45 | 15 |
| SBO5 | 11,20 – 11,80 | 0,66 | 16 |

Source : EG Simecsol, (2004)

Tableau n°2-23 : Caractéristiques de cisaillement du site de Boussouf

Trois essais triaxiaux ont été réalisés et les résultats sont résumés dans le tableau suivant :

| | | Essai triaxial | |
|---------|-------------------|----------------|-------------------------|
| Sondage | Prof. échantillon | Cohésion bars | Angle de frottement (°) |
| SBO4 | 7,00 – 7,60 | 0,55 | 22 |
| SBO4 | 16,00 – 16,40 | 0,50 | 25,0 |
| SBO5 | 5,00 – 5,70 | 0,72 | 23 |

Source : EEG Simecsol, (2004)

Tableau n°2-24 : Les essais triaxiaux au site de Boussouf

-Caractéristiques des terrains à partir des résultats des essais pénétrométriques

Dans le cadre de la dernière étude de EEG-Simecsol (2004), 15 sondages au pénétromètre statique de PSBO1 à PSBO15, ont été réalisés, le tableau n°(2-21) résume les résultats qui fait ressortir les trois groupes suivants :

-PSBO2 à PSBO5 et PSBO7 : la résistance de pointe varie très peu ou pas du tout jusqu'à des profondeurs de 9 à 10 ou 12 à 14 m, les valeurs se situent autour de 20 à 40 bars, c'est une zone de remblais épais et non consolidés ;

-PSBO6, PSBO8 à PSBO12 : la résistance en pointe augmente très rapidement et le refus est atteint entre 5 et 7m de profondeur seulement. C'est une zone où la frange décomprimée des argiles miocènes est très réduite ;

-PSBO13 à PSBO15 : la résistance augmente progressivement mais le refus est atteint vers 9 à 10 m de profondeur avec une valeur de résistance en pointe de l'ordre de 60 bars.

Dans cette zone, les remblais sont peu développés mais où la frange décomprimée des argiles miocènes est relativement plus développée.

2-4-3-5-Analyse des mouvements**2-4-3-5-1-Les données inclinométriques**

Les mesures inclinométriques ont pour objet de déterminer l'amplitude et la direction des déplacements horizontaux du terrain, en profondeur au cours du temps. Neuf sondages carottés SBO2 à SBO6 et SBO8 à SBO11, ont été installés lors de la campagne (2004-2005).

Après avoir scellé un tube spécial dans un forage, des mesures régulières de l'inclinaison de ce tube à l'aide d'une sonde de mesure (inclinomètre).

L'emplacement des différents sondages et les mesures ont été réalisées par le Laboratoire des Travaux Publics Est, pour chaque inclinomètre : les courbes de variations angulaires dans la direction A, les courbes des déplacements dans la direction A, les courbes de variations angulaires dans la direction B, perpendiculaire à A, les courbes des déplacements dans la direction B.

Les courbes indiquent l'évolution des variations angulaires ou des déplacements en fonction du temps. Elles font apparaître la profondeur des surfaces de glissement, pour les variations angulaires, les courbes présentent un pic correspondant à cette surface de glissement.

L'amplitude et la direction des déplacements résultants sont calculées par composition des déplacements calculés, dans la direction A et dans la direction B perpendiculaire.

Le tableau ci-dessous synthétise les résultats de ces mesures, qui indique que les glissements au niveau des inclinomètres SBO4 et SBO5 sont profonds (11,5m-8,5m) et très actifs.

Ainsi qu'une surface de glissement est mise en évidence par l'inclinomètre BO2 à 7,5 m de profondeur certainement en relation avec le déplacement mesuré à 17 m de profondeur par l'inclinomètre SBO8, tandis que, les inclinomètres SBO6 et SBO8, révèlent des surfaces de glissement profond à déplacement lent.

L'inclinomètre SB010 montre trois surfaces de rupture superposées, la plus profonde à 13m, le déplacement est très rapide et menace directement des immeubles, les inclinomètres SBO9 et SBO11 n'indiquent pas de déplacements significatifs, mais il faut noter que la période de mesure est de durée très limitée respectivement de 9 et 17 mois.

| Sondage | Refus | | Résistance de pointe (bars) |
|---------|----------------|-----------------------------|--|
| | Profondeur (m) | Résistance de pointe (bars) | |
| PSBO1 | 12,4 | 110 | De 0 à 9 m de profondeur la résistance varie de 10 à 40 bars, puis elle atteint des valeurs allant de 40 à 80 bars. Le refus est atteint à 110 bars. |
| PSBO2 | 14,8 | 94 | Jusqu'à 13 m de profondeur les valeurs de résistance varient entre 20 et 40 bars ? A partir de 13 m elles augmentent rapidement pour atteindre une valeur moyenne autour de 90 bars. |
| PSBO3 | 14,7 | 37 | La résistance en pointe varie très lentement avec la profondeur. Les valeurs se situent entre 20 et 40 bars. |
| PSBO4 | 12,8 | 125 | De 0 à 11 m, les valeurs vont de 20 à 40 bars avec une moyenne de 25 à 30 bars. A partir de 12 m, la résistance augmente pour atteindre rapidement le refus. |
| PSBO5 | 13,2 | 82 | Jusqu'à 9 m, la résistance est de l'ordre de 10 à 20 bars. Au-delà, elle augmente rapidement jusqu'au refus. |
| PSBO6 | 6,5 | 93 | Le refus est très vite atteint au niveau de ce sondage. Jusqu'à 4m de profondeur, les valeurs varient de 20 à 80 bars avec une moyenne entre 30 et 50 bars. Au-delà de 4 m la résistance augmente rapidement pour atteindre le refus vers 6,5 m de profondeur. |
| PSBO7 | 13,8 | 60 | De 0 à 7 m, la résistance augmente progressivement jusqu'à atteindre 40 bars. Puis elle se stabilise entre 40 et 60 bars avec une moyenne autour de 50 bars. |
| PSBO8 | 8,1 | 140 | De 0 à 3 m, la résistance est de l'ordre de 20 bars, puis elle augmente progressivement jusqu'à atteindre une valeur autour de 50 bars vers 7 m. Au-delà, elle augmente très rapidement pour atteindre le refus vers 8 m. |
| PSBO9 | 6,9 | 170 | La résistance augmente progressivement jusqu'à 4 m de profondeur puis rapidement jusqu'au refus (6,9 m). |
| PSBO10 | 4,5 | 170 | La résistance augmente progressivement jusqu'à 4,5 m de profondeur (refus). |
| PSBO11 | 6,5 | 170 | Jusqu'à 4,5 m, les valeurs se situent autour de 50 bars (de 30 à 70 bars). Puis, la résistance augmente très rapidement pour atteindre le refus. |
| PSBO12 | 6,7 | 63 | De 0 à 3 m, la résistance est de l'ordre de 30 bars. Au-delà elle est de l'ordre de 60 à 70 bars. |
| PSBO13 | 10,4 | 130 | La résistance augmente progressivement jusqu'à 30 bars à 7 m, puis elle passe à 70 bars vers 9,5m puis elle augmente rapidement pour atteindre le refus. |
| PSBO14 | 10,2 | 138 | La résistance augmente progressivement jusqu'à 4 m de profondeur où elle se stabilise autour de 40 bars jusqu'à 6 m. Puis, elle passe à 70 bars en moyenne entre 6 et 9 m et atteint le refus vers 10 m. |
| PSBO15 | 8,7 | 82 | Jusqu'à 5 m la résistance varie entre 10 et 30 bars. Au-delà, elle passe à des valeurs entre 50 et 70 bars. Le refus est autour de 80 bars. |

Source : EEG Simecsol, (2004)

Tableau n°2-25 : Les résultats des essais au pénétromètre statique Gouda à Boussouf

2-4-3-5-2-Les mesures topographiques

Le nivellement de précision, a pour but est mesurer le déplacement vertical de points matérialisés sur le terrain, est de délimiter les zones instables et de contrôler leur régression vers l'amont.

C'est une mesure très précise plus au moins 0,5 mm d'incertitude sur le déplacement, cela permet de détecter très tôt les déplacements.

Tous les cheminements comportent un ou plusieurs points considérés comme fixes à une des deux extrémités qui serviront de référence pour le calcul des déplacements verticaux.

| Inclino mètre | Profondeur du forage (m) | Profondeur surface de glissement (m) | Direction du déplacement (°/Nord) | Déplacement (mm) | Vitesse (mm/an) | Observations |
|---------------|--------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|------------------|-----------------|--|
| SBO2 | 26 | 7,5 | 40,5 | 5 | 12,5 | |
| SBO3 | 25 | 11 ? 20 ? | | | | Bouché |
| SBO4 | 26 | 11,5 | 25,5 | 41 | 65,5 | |
| SBO5 | 25.5 | 6,5 8,5 | 90 | 74,3 | 186 | Rompu après 4,8 mois de mesures |
| SBO6 | 26 | 11m ?- | | 1,8 | 10 | Période d'observation limitée à 2.1 mois |
| SBO8 | 26 | 17 m - | 42,5 | 3,3 | 16 | Période d'observation limitée à 2.1 mois |
| SBO9 | 25.5 | - | | | | Pas de surface de rupture période d'observation très limitée |
| SBO10 | 25.5 | 4m,10,5m et 13 m | 71,5 | 39 | 425 | Surfaces de rupture superposées |
| SBO11 | 26 | - | | | | Pas de surface de rupture période d'observation limitée |

Source : EEG Simecsol, (2004)

Tableau n°2-26 : Mesures inclinométriques (synthèse)

Le second tableau ci-dessous indique, pour chaque inclinomètre, le type de terrain traversé par la surface de glissement.

| Inclinomètre | Prof. du forage (m) | Prof surface de glissement (m) | Terrain traversé au niveau de la surface de glissement | Observations |
|--------------|---------------------|--------------------------------|---|--|
| SBO2 | 26 | 7,5 | Argile | |
| SBO3 | 25 | 11 ? 20 ? | Argile brune marmorisée Argile | |
| SBO4 | 26 | 11,5 | Argile beige non remaniée, à quelques niveaux de gypse | Bouché |
| SBO5 | 25,5 | 6,5 8,5 | Argile à traces de remaniement centimétriques, très plastique | Rompue après 4,8 mois de mesures |
| SBO6 | 26 | - | Argile | |
| SBO8 | 26 | 17 m ? | Argile | Période d'observation limitée à 1,3 mois |
| SBO9 | 25,5 | | Argile | |
| SBO10 | 25,5 | 4 m, 10,5 m et 13 m | Argile | |
| SBO11 | 26 | - | Argile | Période d'observation très limitée |

Source : EEG Simecsol, (2004)

Tableau n°2-27 : Mesures inclinométriques (profondeur des ruptures)

L'implantation des points est indiquée sur le plan Surveillance Nivellement GPS (Figure 2-21), les variations d'altitude des points par rapport à la mesure origine du 10/05/2005, et les relevés effectués le, 26/05/2005, 13/06/2005, 23/06/2005 et 3/07/2005 sur le site de Boussouf.

1-Cheminement N1 : ce cheminement longe la crête Ouest du thalweg Est du site de Boussouf, une instabilité se dessine nettement des points P01 à P04.

Le déplacement vertical maximum se situe en P01 et P02, en extrémité de cheminement, il atteint 32 mm en deux mois soit une vitesse moyenne de 16 mm/mois environ.

Ce mouvement rapide se situe en prolongation du glissement de terrain actif, dont la partie supérieure a été consolidée par des gabions. Il concerne la route devant les deux immeubles et sont le signe d'une régression probable des instabilités du talus à l'aval qui peut être dangereuse pour les immeubles.

2-Cheminement N2 : ce cheminement longe le talus au Nord de Boussouf, devant de grands immeubles.

Un déplacement vertical significatif des points P06 et P12, respectivement de 9,5 mm et de 14,2 mm en deux mois. Le premier point P06 est situé près de l'école Abdallah Teniou et de l'inclinomètre SBO6 qui montre une rupture profonde, le deuxième point P12 est situé à l'extrémité Est an tête de talus constitué de grands remblais.

3-Cheminement N3 : ce cheminement se trouve sur la route principale qui traverse le nouveau quartier de Boussouf , il passe devant la cité militaire.

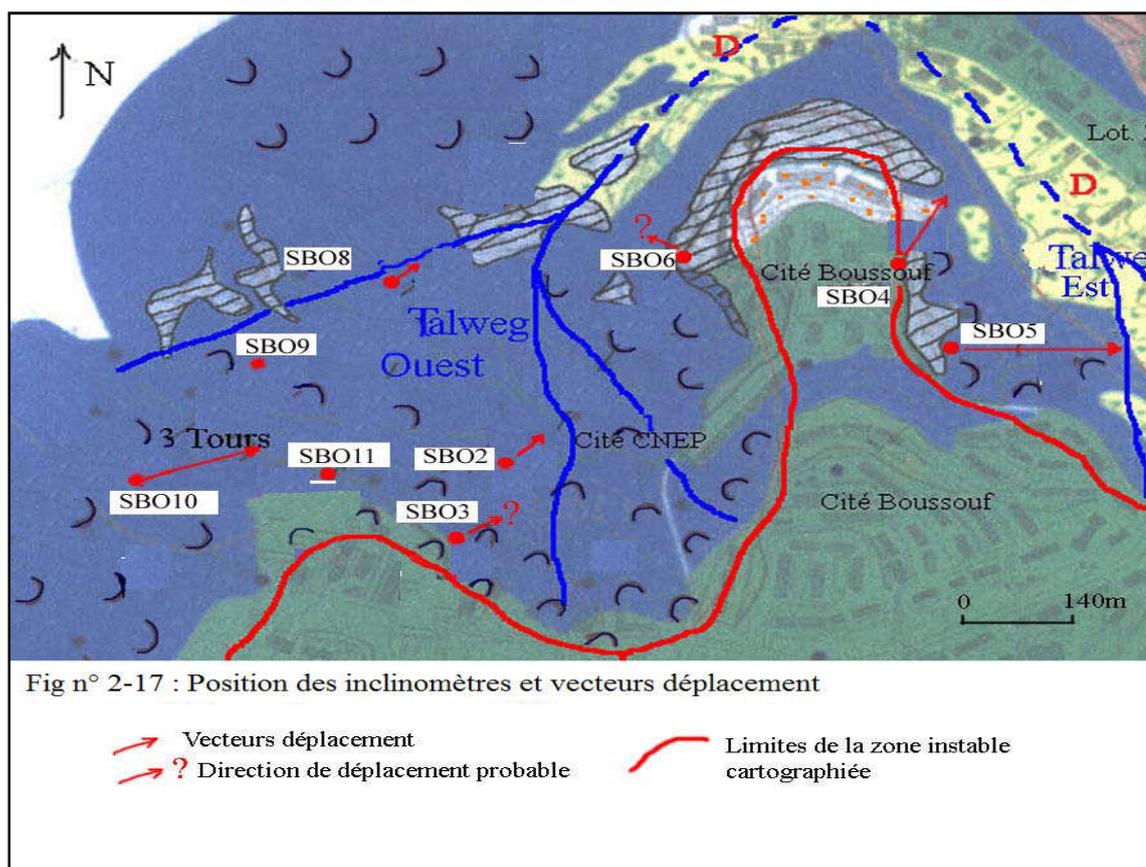
Un déplacement vertical important des points P03, P04 et P05, il atteint 23 mm au point P04 qui est situé près du carrefour à l'Est de l'école Abdallah Said Azabi,il est vraisemblablement local.

4-Cheminement N4 : ce cheminement passe dans la cité CNEP, les déplacements mesurés ne sont pas significatifs ,tandis que, le déplacement du point P05 qui n'évolue pas semble être accidentel.

5-Cheminement N5 : ce cheminement suit la route qui passe devant l'école Abdallah Said Azzabi et se dirige vers les trois tours. Le léger soulèvement des points P03 à P07 devant l'école, signe probable d'une instabilité (bourelet de pied).

6-Cheminement N6 : ce cheminement est situé au Sud Ouest de Boussouf, en crête du talus du thalweg Ouest.

Les points P04 et P05 se déplacent verticalement de 15,9 et 28,5 mm respectivement, ils confirment l'instabilité de cette zone où ont été construites des habitations.



Source : EEG Simecsol, (2004)

2-4-3-6-Analyse de stabilité

La méthode qui a été appliquée pour l'exemple de glissements de Boussouf, est celle de rétro-analyse (back analysis), elle consiste de déterminer les pressions interstitielles qui jouent un rôle important, qui sont mal connues et très complexes à mesurer compte tenu du contexte géologique et géométrique du site.

Les hypothèses de calcul appliquées à ce site, nappe au terrain naturel située à 2 m de profondeur les surfaces de glissement ont été déterminées par les inclinomètres et extrapolées vers l'amont et l'aval suivant les indices géomorphologiques du site.

Le sol a été modélisé par une seule couche de terrain de caractéristiques géomécaniques c' , ϕ' et de poids volumique 20 KN/m^3 , les calculs sont effectués en faisant varier l'angle de frottement de 5 à 20° par pas de 5° .

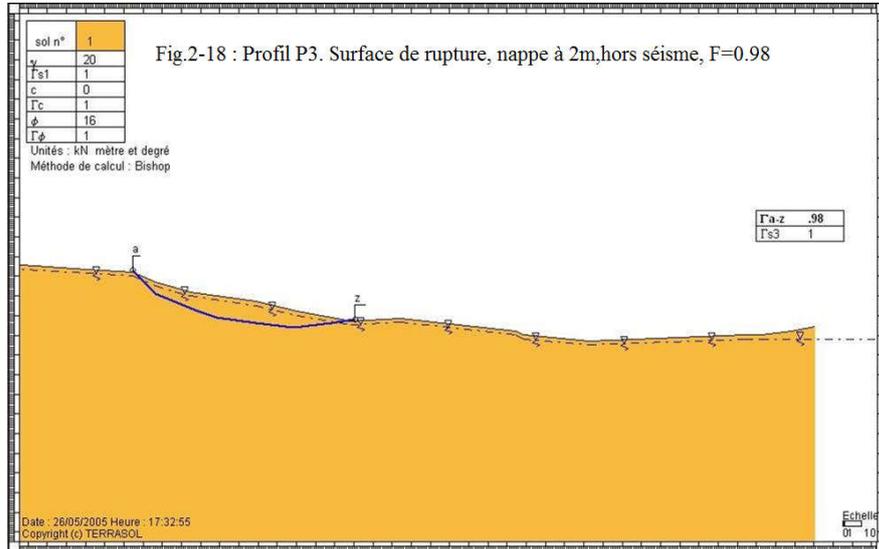
Seize calculs ont été effectués par profil et des calculs complémentaires, ont été réalisés pour préciser les caractéristiques pour un coefficient de sécurité égal à 1.

Pour le profil P03 les calculs de stabilité par la méthode des perturbations développée au Laboratoire Central des Ponts et Chaussées ont été choisies et intégrées dans le logiciel de calcul de stabilité des ouvrages et pentes TALREN, elle est particulièrement bien adaptée au calcul des ruptures non circulaires qui sont celles observées à Boussouf.

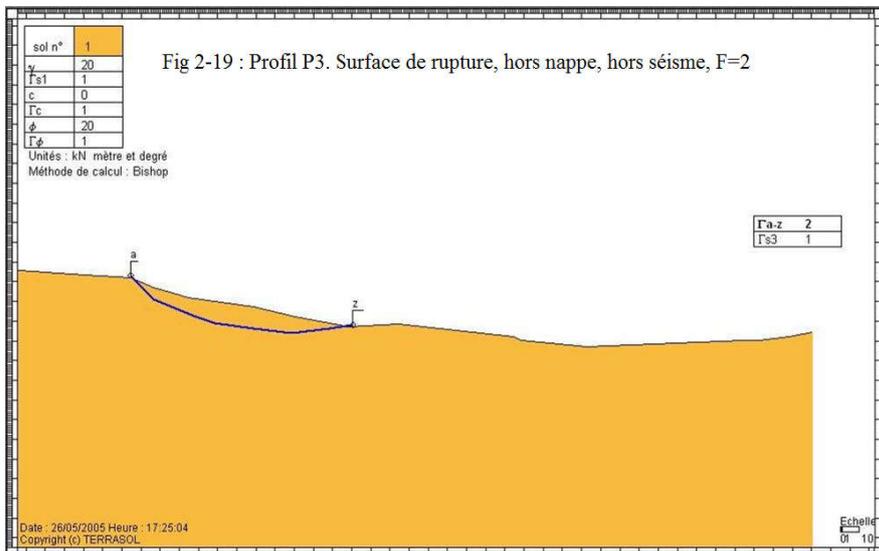
| Caractéristiques géomécaniques à la surface de rupture | Poids volumique (KN/m^3) | Cohésion (KPa) | Angle de frottement |
|--|-------------------------------------|----------------|---------------------|
| Les plus favorables | 20 | 0 | 20 |
| Les plus probables | 20 | 0 | 16 |
| Les plus défavorables | 20 | 0 | 12 |

Source : EEG Simecsol.,(2004)

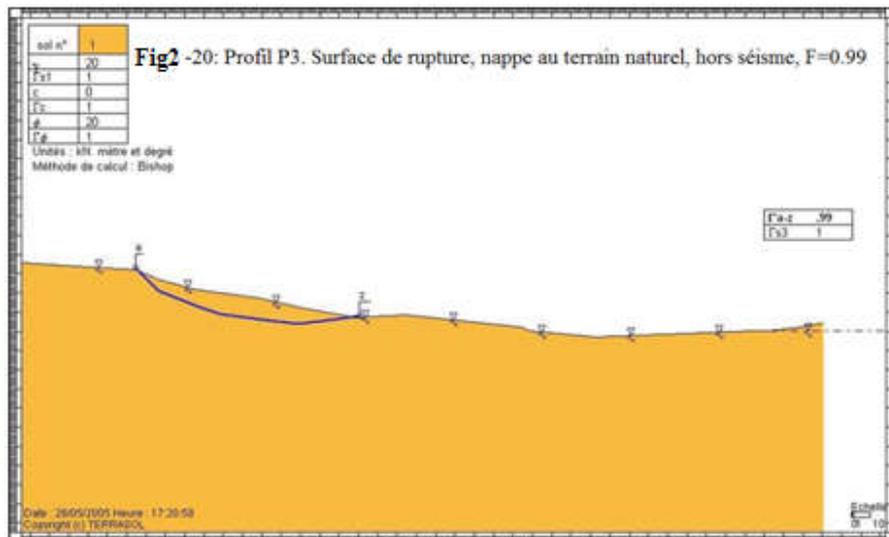
Tableau n°2-28 : Profil P3-Paramètres géomécaniques pris en compte dans les calculs



Source : EEG-Simecsol, (2004)



Source : EEG-Simecsol, (2004)



Source : EEG-Simecsol, (2004)

L'analyse des résultats met en évidence les points suivants:

-Un drainage semi-profond qui rabattrait la nappe du niveau moins 2 m à moins 5 m, apporte un gain de 20% au coefficient de sécurité lorsque l'angle de frottement $\varphi = 11^\circ$ et un gain de 25% lorsque $\varphi = 16^\circ$.

-L'ampleur et la vitesse des glissements de terrain sont très variables, des glissements peuvent se déclencher et se déplacer rapidement jusqu'à 37 mm/mois en période sèche en menaçant des immeubles, les déplacements des très grands glissements sont lents de 12 mm/an environ, d'après les premières mesures.

-La cause des instabilités relève de la nature argileuse du terrain, de l'eau (pressions interstitielles) et de la géométrie (pente des versants). Les glissements se déclarent dès que les pentes avoisinent ou dépassent les 10%, c'est le cas des versants de Boussouf.

-Les glissements se manifestent essentiellement dans la partie supérieure altérée et décomprimée des argiles Miocènes, l'épaisseur de cette frange altérée peu stable est variable généralement elle est comprise entre 5 et 10 m. Nous signalons ainsi que, la présence de gypse, en proportion notable, contribue à la prédisposition des argiles au glissement.

-Des ruptures plus profondes que l'horizon altéré, sont très vraisemblables et l'inclinomètre SBO8 semble indiquer une surface de rupture à 17 m de profondeur, cette profondeur compatible avec la géométrie des lieux est malheureusement possible dans des argiles Miocènes, qui sont plissées et affectées par un réseau de discontinuités (fractures, diaclases tapissées de gypses) qui forment des plans de faibles résistance.

Ces glissements profonds sont la traduction en surface de la réactivation de glissements qui ont déjà eu lieu sur le site comme l'indique clairement la géomorphologie du site.

On guise de conclusion, les glissements de Boussouf sont parmi les glissements les plus préoccupants eu égard aux volumes de terre en mouvement et au tissu urbain dense et récent, qui a été touché ou est menacé.

Les eaux de pluie tombant sur le site de Boussouf ne sont plus évacuées par les thalwegs dans les pentes et les lits des oueds. Ces thalwegs ont été barrés par des bâtiments, des routes et des chemins, quant aux oueds naturels ils ont disparu recouverts par les habitations.

Les systèmes de collecte des eaux pluviales sont la plupart du temps inexistants ou bouchés, les conséquences de cet état sont : l'accumulation d'eau dans les points bas des chaussées et plates-formes, devant les immeubles et sur les replats, des écoulements anarchiques avec érosion et ravinement qui se heurtent aux immeubles et murs de soutènement ou longent les routes, en déposant de grandes quantités de matériaux qu'il faut ensuite enlever et nettoyer.

L'état du réseau de collecte des eaux usées, dont les ruptures favorisent les injections d'eau dans les sols, est aussi très préoccupant.

L'accumulation d'eau dans une pente ou un glissement est particulièrement néfaste, celle-ci crée des pressions interstitielles élevées qui favorisent le déclenchement ou la réactivation de glissements de terrain.

C'est malheureusement souvent le cas sur le site de Boussouf où les routes se trouvent en tête de versant ou dans la pente, collectent les eaux de pluie pour les déverser ensuite dans le terrain à l'aval.

Les travaux d'urbanisation de ces versants de faible stabilité naturelle ont contribué dans une large mesure à leur déstabilisation par :

- Les terrassements qui accentuent les pentes,
- Les obstructions du réseau naturel de drainage des eaux superficielles, qui génèrent un ravinement actif et des stagnations d'eau fréquentes,
- Les fuites d'eau souterraine à partir d'un réseau d'assainissement et d'AEP souvent défectueux
- La surcharge du sol par les matériaux de remblai stockés sur place, le plus souvent en tête de versant. La réactivation des glissements profonds est plus spécifiquement la conséquence de l'augmentation des pressions interstitielles par défaut de drainage, et d'évacuation des eaux et/ou des travaux de terrassement en pied de talus.



Source : EEG Simecsol, (2004)

Photo n°2-4 : Déstabilisation des talus de terrassement et recours au soutènement, le suintement d'eau soulignant la saturation des argiles miocènes.



Source : Auteur, (23 /11/2011)

Photo n°2-5 : A Boussouf : dégradation de la chaussée en hiver



Source : EEG Simecsol,(2004)

Photo n°2-6 : Le réseau hydrographique est entièrement perturbé sur un versant initialement de faible stabilité.

2-4-4-Glislements dans les conglomérats Miocènes à Benchergui

Les terrains instables sont localisés sur les deux versants de l'oued El Mellah, entre le croisement de la route du 20 Août et de la route nationale n° 27, en aval, et la confluence des oueds El-Mellah et Châabet el Merdja, en amont.

Les mouvements gravitaires se produisent le long du versant rive gauche de l'oued El Mellah, formant une série de talus abrupts séparés par des replats.

Le versant rive gauche de l'oued El Mellah, de pente raide est souligné par une pointe rocheuse à El Menia, celle-ci se prolonge vers Benchergui par une série de falaises, entre coupées de replats et sujettes à de fréquents écroulements, par ailleurs, son versant rive droite de nature conglomératique est plus faible déclivité.



Source:EEG Simecsol,(2004)

Photo n°2-7-Benchergui vu de l'ancienne décharge, recul de falaise.
R:Replat construit, de falaise stabilité, Ec : Ecoulement



Source:EEG Simecsol,(2004)

Photo n°2-8-Glissement dans les colluvions limono-graveleuses, rouges.
(Rive gauche d'oued El Mellah), l'enrochement est entièrement recouvert
par la masse glissée.

2-4-4-1-Contexte géologiques et hydrogéologiques

Entre El Menia et Benchergui, les deux versants de l'oued El Mellah sont formés par des terrains quaternaires à dominante conglomératique et à couverture colluviale épaisse de bas de pente, la série stratigraphique est la suivante :

- **Conglomérats rouges du Miocène**

Forment une assise épaisse bien visible sur les falaises de Benchergui, ils sont représentés par une alternance de niveaux conglomératiques à matrice limoneuse, et de niveau de poudingues et grés grossiers d'épaisseur plurimétrique, de consistance rocheuse et d'une structure subhorizontale.

Les éléments grossiers sont bien roulés, de taille décimétriques à demi métrique et de nature gréseuse et calcaire.

- **Les dépôts de pentes**

Elles résultent des conglomérats et d'une même constitution que ces derniers, la matrice argilo-limoneuse est prédominante par rapport aux éléments grossiers qui sont répartis indifféremment dans cette matrice.

Ces colluvions occupent les pentes les plus faibles des versants, en particulier le replat situé en contrebas et au sud de la pointe conglomératique d'el Menia.

- **La terrasse alluviale**

Elle est de nature sablo-limoneuse localisé en rive gauche de l'oued El Mellah, son altitude est de 4 à 5 m par rapport à la côte du lit mineur.

- **Les remblais**

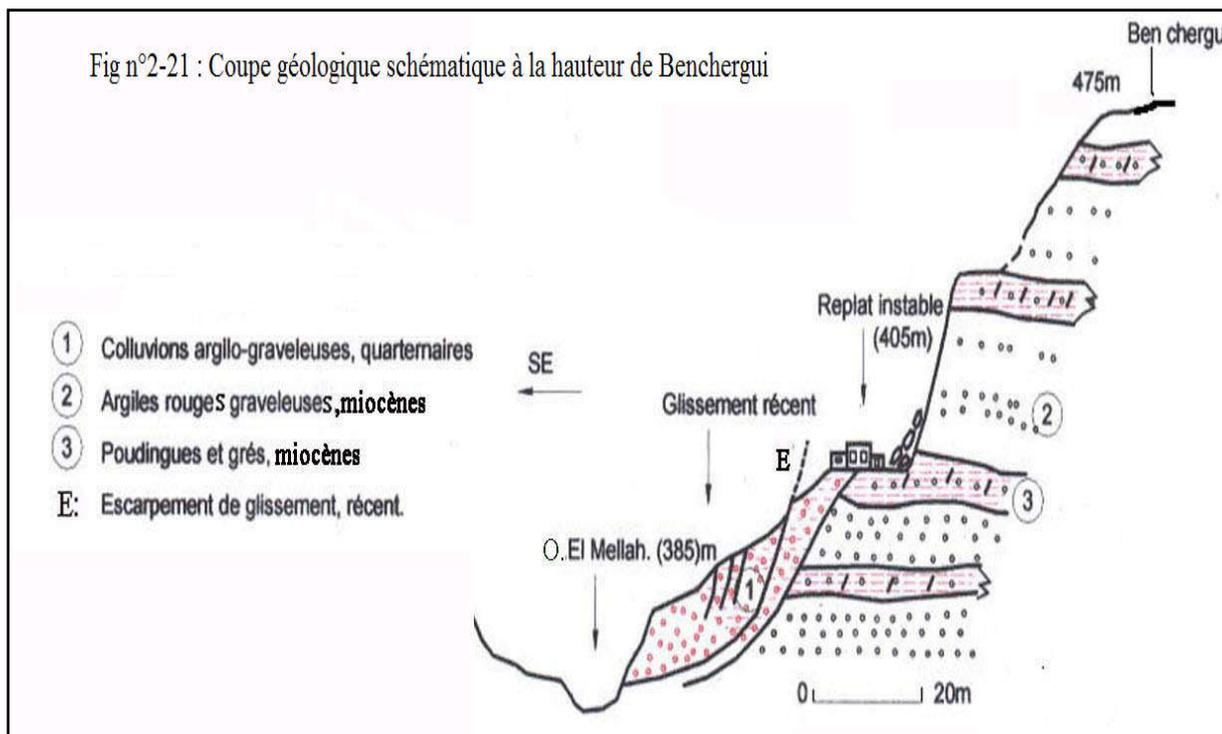
Relativement épais, forment le talus aval de la route nationale n°27, occupe toute la hauteur qui sépare cette route du cours d'eau.

Le versant située entre le plateau qui porte le quartier de Ben chergui et oued el Mellah, est exposé aux mouvements qui se manifestent par des détachements massifs de pans entiers du versant, dont la régression vers le plateau a détruit plusieurs maisons bordières et menacent plusieurs d'autres.

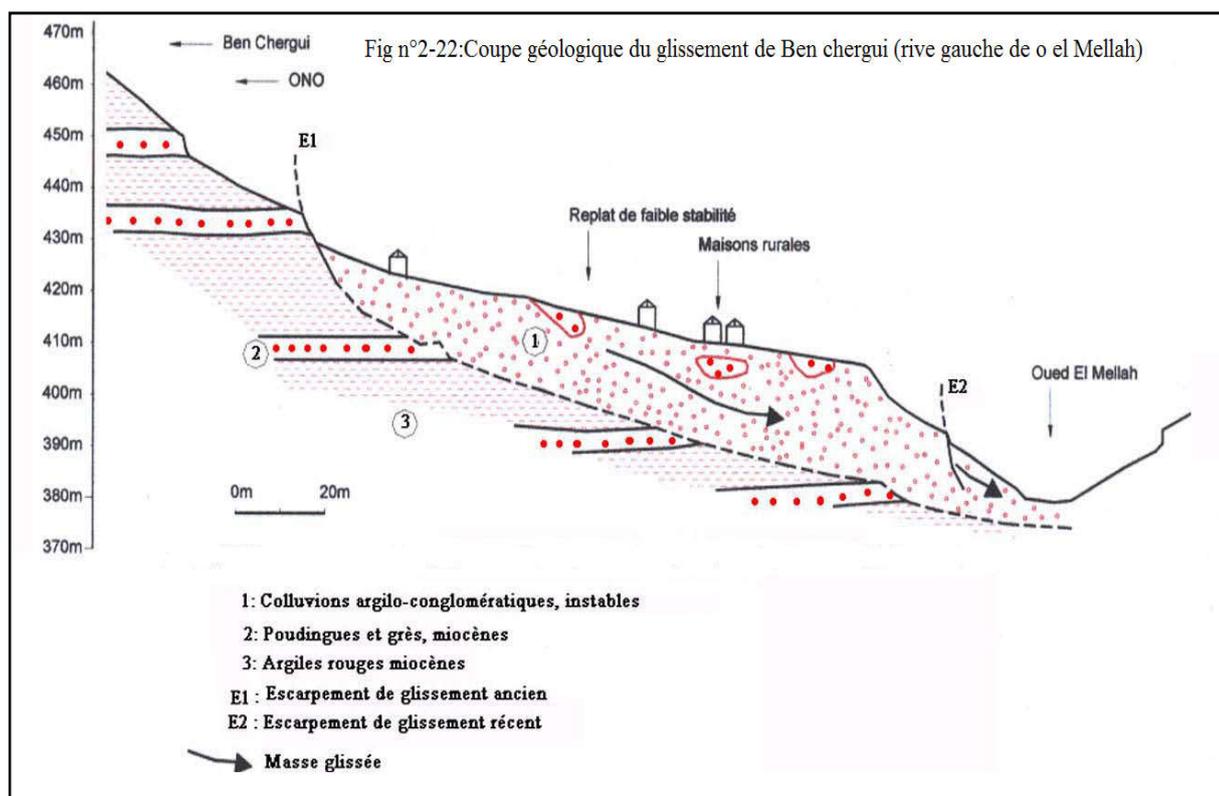
Les ruptures se produisent suivant des plans verticaux orientés sensiblement Nord-Sud, les surfaces dégagées montrent bien la succession stratigraphiques composée de couches d'argiles rouges, limoneuses et de niveaux gréseux et conglomératiques. Figures (2-21)-(2-22) Les pluies hivernales est un facteur déterminant dans la réactivité de quelques mouvements de terrain, à titre d'exemple les pluies de l'hiver 2006, ont réactivé un ancien glissement dans la partie aval de l'oued El Mellah, dont les gros blocs enfouis et des légères fissurations des maisons sont les indices de ce mouvement.

Sur le plan de l'hydrogéologie, les formations potentiellement aquifères correspondent aux conglomérats pliocènes et aux passées les plus grossières en particulier.

L'inventaire des points d'eau sur le versant urbanisé de Benchergui, montre une variation notable du niveau piézométrique, qui traduit probablement l'existence de plusieurs niveaux aquifères (les passées grossières), suffisamment isolés par les intercalations argileuses de faible perméabilité, ce système hydrogéologique explique la sensibilité d'ensemble des assises argilo-conglomératiques aux glissements de terrain.



Source : EEG-Simecsol, (2004)



Source : EEG-Simecsol, (2004)

2-4-4-2- Caractéristiques géotechniques des formations

2-4-4-2-1- Remblais

D'après le rapport du LTP-EST, ces remblais correspondraient à des marnes à des graves ou à des argiles limoneuses.

Les sondages SBE1 et SBE2 réalisés dans le cadre de la dernière étude, les décrivent comme étant des argiles graveleuses ou des limons argileux.

○ Masse volumique sèche

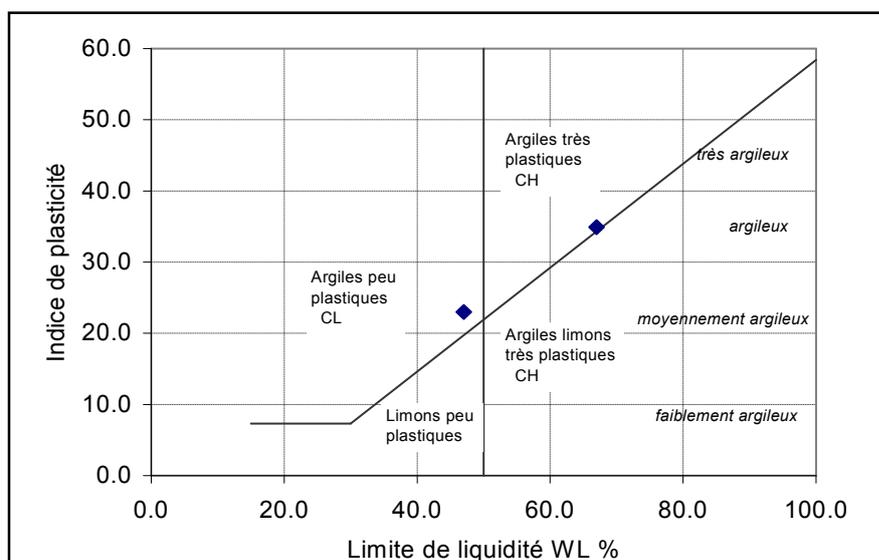
La masse volumique sèche des remblais est comprise entre 1.84 g/cm^3 et 1.99 g/cm^3 , soit une moyenne de $1,91 \text{ g/cm}^3$.

○ Teneur en eau

Les valeurs de teneur en eau mesurées sur trois échantillons sont comprises entre 8% et 15%.

○ Limites d'Atterberg

Les limites déterminées sur deux échantillons SBE1 (profondeur : 1,20m / 1,40m) et SBE2 (profondeur : 2,70m/3m), ont donné comme valeurs : $Wl = 47$ et 67 , $Wp = 24$ et 32 et $Ip = 23$ et 35 , ces valeurs correspondent à un sol plastique à très plastique.



Source : EEG Simecsol, (2004)

Figure n°2-23: Diagramme de Casagrande des sols remblais

2-4-4-2-2- Conglomérats et argiles rouges

○ Masse volumique sèche

La masse volumique sèche des conglomérats est comprise entre $1,83 \text{ g/cm}^3$ et $2,07 \text{ g/cm}^3$, soit une moyenne pour cinq (5) valeurs mesurées de $1,95 \text{ g/cm}^3$.

- **Teneur en eau**

Les valeurs de teneur en eau mesurées sur quatre (4) échantillons varient de 10% à 14%.

- **Limites d'Atterberg**

Les valeurs mesurées sur les mêmes échantillons ont été reportées sur l'abaque de Casagrande ci-dessous, les fines des conglomérats correspondent à un sol moyennement argileux, peu plastique.

3-Marne du Miocène

- **Masse volumique sèche**

La masse volumique sèche mesurée sur 25 échantillons est comprise entre 1,93 g/cm³ et 2,40 g/cm³, le plus souvent entre 1,95 et 2,15 g/cm³ en éliminant les valeurs extrêmes.

- **Teneur en eau**

Les valeurs de teneur en eau varient en général de 8 à 16%.

- **Limites d'Atterberg**

Les quatorze (14) valeurs mesurées sur les échantillons prélevés dans cette formation, ont été reportées sur l'abaque ci-dessous et montrent que les marnes correspondent à un sol moyennement argileux, peu plastique.

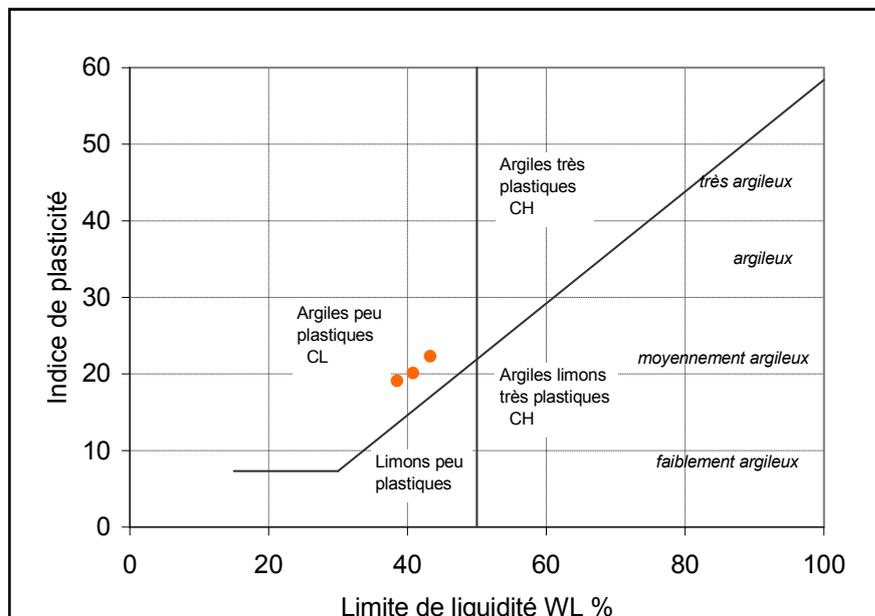


Source : EEG-Simecsol,(2004)

Photo n°2-9:Ecroulement dans les conglomérats massifs Pliocènes à Benchergui

- **Caractéristiques de cisaillement**

Treize essais à la boîte de cisaillement consolidé non drainé, ont été réalisés sur les échantillons paraffinés provenant principalement des anciens sondages. Un essai à la boîte consolidé drainé a été réalisé sur l'échantillon SBE2 (profondeur : 7,10m -7,40m).



Source : EEG Simecsol, (2004)

Figure n°2-24 : Diagramme de Casagrande des sols marne du Miocène.

2-4-4-3-Analyse des mouvements

1-Données inclinométriques

L'importance des mesures inclinométriques consiste à déterminer au cours du temps l'amplitude et la direction des déplacements horizontaux du terrain en profondeur, cela s'effectue par la méthode suivante :

Deux tubes inclinométriques nommés SBE1 et SBE2, ont été installés sur le site, ils sont placés à l'aval de la Route Nationale n°27, sur un profil sensiblement perpendiculaire à la route nationale, au niveau de la jonction de la route de Djebas avec la route nationale n°27.

Les mesures ont été réalisées par le Laboratoire des Travaux Publics Est, la procédure de mesure est celle de la norme française NF 94 156, les mesures inclinométriques traitées sont représentées comme suit :

- Les courbes de variations angulaires dans la direction A ;
- Les courbes des déplacements dans la direction A ;
- Les courbes de variations angulaires dans la direction B, perpendiculaire à A ;
- Les courbes des déplacements dans la direction B ;

Ces courbes montrant l'évolution des variations angulaires ou des déplacements en fonction du temps, elles font apparaître nettement une surface de rupture située à 13 m de profondeur pour l'inclinomètre SBE1 et plus profond, à 21,5 m pour l'inclinomètre SBE2.

La surface de glissement se trouve dans une couche caractéristique d'argile ocre à marron, plastique à marmorisation.

Cette surface présente une caractéristique particulière : elle est pratiquement horizontale dans sa partie centrale. On notera que la direction du mouvement 330° à 345° n'est pas perpendiculaire à la route, elle est guidée par la morphologie du site.

La vitesse d'évolution a été suffisamment rapide pour provoquer la rupture totale des tubes inclinométriques en quatre mois. Comme celle-ci se produit après un déplacement de l'ordre de 50 mm, ceci fait craindre des vitesses de déplacement supérieures à 100 mm par an.

(Tableaux 2-29-2-30)

| Inclinomètre | Prof. du forage (m) | Prof. surface de glisst. | Direction azimuth (°) | Période de mesure | Déplact. (mm) | Déplact. vitesse (mm/mois) | Déplact. vitesse (mm/an) | Observations |
|--------------|---------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------------------|---------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------------|
| SBE1 | 21 | 13 | 330 | 16/09/2003 au 26/10/2003 | 6.6 | 8.6 | > 100 ? | cassé à 13 m en janvier 2004 |
| SBE2 | 25 | 21.5 | 345 | 16/09/2003 au 26/10/2003 | 7.0 | 9.2 | > 100 ? | cassé à 21.5 m en janvier 2004 |

Source : EEG Simecsol, (2004)

Tableau n°2-29 : Mesures inclinométriques. (Synthèse au site Benchergui)

| Inclinomètre | Prof. du forage (m) | Prof. Surface de glissement (m) | Cote NGA | Terrain traversé au niveau de la surface de glissement | Observations |
|--------------|---------------------|---------------------------------|----------|--|--------------------------------|
| SBE1 | 21 | 13 | 404.04 | Argile ocre plastique à marmorisation | cassé à 13 m en janvier 2004 |
| SBE2 | 25 | 21.5 | 413.74 | Argile ocre plastique à marmorisation | cassé à 21.5 m en janvier 2004 |

Source : EEG Simecsol, (2004)

Tableau n°2-30 : Mesures inclinométriques. (Profondeur des ruptures).

2-Mesures topographiques

L'objectif du nivellement de précision, qui mesure le déplacement vertical de points matérialisés sur le terrain, est de délimiter les zones instables et de contrôler leur régression vers l'amont, quatre profils de points (40 points) ont été installés cheminement le long de la nationale n°27 et trois cheminements dans la cité Benchergui.

Ces cheminements comportent plusieurs points considérés comme fixes aux deux extrémités qui serviront de référence pour le calcul des déplacements verticaux. Les distances de mesure niveau-mire sont variables de 30 à 40 mètres, sont indiquées les dénivelées (altitude) par rapport à un point pris comme référence :

-Cheminement N1 (route nationale n°27) : le premier point P01.

-Cheminements N3 à N5 (Cité Benchergui) : le point P01 du cheminement N5, situé en tête de falaise.

-Cheminement N1

Le déplacement vers le bas des points P04 (-10 mm) P05 (-31 mm) et P06 (-11 mm) délimite le glissement actif au niveau de la route, un léger soulèvement au point P21 et un faible tassement de 10 mm environ, des points P24 à P26 à l'extrémité nord du cheminement.

-Cheminement N3 à N5

On observe un déplacement (tassement) significatif du point P04 du cheminement N5(sommet de la falaise) qui atteint 22 mm environ.

Il s'agit d'une instabilité locale en tête de falaise qui pourrait être le signe précurseur d'un effondrement local, les déplacements des points 4 et 5 du cheminement N4, qui restent faibles doivent être surveillés.

2-4-4-4-Analyse de stabilité

1-Effet d'un séisme

L'effet d'un séisme sur la stabilité des pentes se calcule par une méthode pseudo-dynamique qui prend en compte l'effet de l'accélération sismique sur les contraintes induites par la masse du terrain, dans ce cas seul l'effet d'une accélération sismique horizontale est pris en compte.

La méthodologie de calcul consiste à :

-Se placer tout d'abord dans un domaine de paramètres expliquant la rupture hors séisme, avec les paramètres géomécaniques retenus ;

-De calculer quel est le coefficient de sécurité dans le cas d'un séisme produisant une accélération horizontale s est adoptée dans les calculs $s = 0,09$ g est celle qui a une période de retour de 100 ans dans la région de Constantine.

La stabilité de la pente confortée n'est pas assurée dans le cas d'un séisme d'accélération horizontale 0,09 g, le calcul montre que pour garantir la stabilité de la pente au séisme, il faut doubler la taille du dispositif de confortation.

Du point de vue structural, l'oued El Mellah correspond à la zone axiale d'un pli N20°, longé par une faille de même direction, son talus rive gauche, de structure horizontale, renferme des fractures de direction subméridienne, qui favorisent et contrôlent les ruptures gravitaires en pans de falaise.

D'autres facteurs interviennent dans ces instabilités, il s'agit du sapement des berges par les crues de l'oued El Mellah, qui maintient la forte déclivité du bas du versant d'une part et d'autre part, de l'érosion différentielle des niveaux argileux qui met les niveaux les plus durs (conglomérats et grès) en surplomb. L'ensemble de ces facteurs entretient le recul progressif du versant en période humide.

L'action anthropique joue un rôle non négligeable dans cette déstabilisation du versant, les remblais épais et anciens, déposés le long de la rive droite de l'oued El Mellah, forment un resserrement topographique de la section de ce cours d'eau, qui acquiert ainsi des écoulements torrentiels et des débordements fréquents, en période de crue, qui amplifient le sapement du versant rive droite de faible stabilité.

Conclusion

A Constantine, les glissements de terrains se démarquent par la complexité de leurs mécanismes dont certains glissements tirent leurs origines de la structure géologique, ainsi que, les études géotechniques ont montré que les terrains sont susceptibles de glisser s'ils sont à l'état saturé ou moyennement saturé.

Il faut préciser que les résultats de l'essai inclinométriques à travers les sites instables, ont montré que la vitesse de glissement est fortement appréciable en périodes humides qu'en d'autres périodes,

Conclusion de la première partie

Le relief de Constantine présente une topographie très accidentée, marquée par des escarpements, des cassures et des terrains très pentus, le réseau hydrographique, le climat, et le relief forment un système qui fonctionne comme un ensemble d'éléments en interactions dynamiques.

Constantine, ayant un climat semi-aride à hiver frais, se caractérisant par un régime de précipitations irrégulier, il influe sur le réseau hydrographique, les précipitations déterminent le régime d'écoulement des oueds.

Elle se distingue par des formations sédimentaires variées d'âge crétacé à quaternaire, les formations néogènes post-nappes, de consistance meuble, sont les plus répandues, par opposition aux formations plus anciennes, crétacées de consistance plus rocheuse.

Les caractéristiques physiques du site, qui se présente compte tenu de ses aspects géomorphologiques et géologiques comme un site tourmenté et contraignant, avec ses versants à pentes raides et ses zones sensibles soumises aux glissements de terrains.

Les observations sur terrain ont permis de mettre en évidence que la dynamique des terrains est plus importante en périodes humides qu'en périodes sèches, la présence et l'action de l'eau des pluies ne constituent que l'une des causes du déclenchement et de l'accélération des glissements de terrain.

Ainsi que la complexité des sols argileux et leur pouvoir de saturation, l'altération des roches et leur dégradation rapide par les eaux d'infiltration, sont autant de facteurs favorables au déclenchement et à l'accélération des glissements de terrain.

A ces caractéristiques géologiques et lithologiques viennent s'y ajouter des facteurs aggravant davantage l'instabilité des versants de la ville : des pentes élevées, une sismicité fréquente et une néotectonique active et l'action humaine constitue une autre cause de l'instabilité, en effet durant les travaux de terrassements des grands projets, d'importants mouvements de terre ont été provoqués dans les secteurs de fortes pentes la ville fait face à d'importants problèmes d'aménagement.

Les études géotechniques ont montré que les terrains sont susceptibles de glisser, s'ils sont à l'état saturé ou moyennement saturé, il faut préciser que les résultats de l'essai inclinométrique travers les sites instables, ont montré que la vitesse de glissement est fortement appréciable en périodes humides qu'en d'autres périodes.

DEUXIEME PARTIE : IDENTIFICATION DES ELEMENTS DU RISQUE

GLISSEMENTS DE TERRAIN DANS LA VILLE DE CONSTANTINE

Chapitre 3 : La difficulté de l'urbanisation, l'attractivité de la ville et l'évolution de la population

Chapitre 4 : Analyse de la vulnérabilité structurelle à travers les sites exposés aux glissements de terrain

Chapitre 5 : Essais de cartographie appliquée aux risques glissements de terrain

Introduction de la deuxième partie

S'intéresser aux risques naturels particulièrement amènes à nous préoccuper de la société puisque l'importance d'un risque naturel, voire catastrophe ne traduit pas uniquement l'intensité du phénomène qui en est à l'origine, mais aussi la vulnérabilité de la société qui le subit empruntant les termes de Ledoux (1995).

La ville de Constantine métropole de l'Est est d'une part, un lieu de très forte concentration démographique et d'autre part un creuset de culture et d'histoire. Elle représente un riche patrimoine historique, architecturale et culturel qu'il faut impérativement sauvegarder.

En revanche, l'état des constructions notamment en quartiers exposés aux glissements de terrain exposés aux glissements de terrain est de plus en plus préoccupant au fil du temps.

(Annexe n°8).

En effet la croissance urbaine est posée comme un problème environnemental, quand elle s'effectue sur des sites peu propices à la construction : sur des pentes inadaptées ou sur des terrains inondables par exemple et qu'elle génère ce qui est perçu comme risque.

Afin de mieux comprendre le phénomène du glissement dans la ville de Constantine, une analyse de l'évolution du tissu urbain, sera appréhendée à travers d'une part l'évolution du cadre bâti depuis sa création à nos jours et qui sera présenter dans le troisième chapitre de ce travail.

Parallèlement à cette lecture de l'évolution du tissu urbain de la ville, nous procéderons dans le quatrième chapitre à identifier l'état des constructions exposé aux glissements de terrains à travers les sites instables et cela par l'utilisation des résultats du rapport sur la vulnérabilité structurelle, mener par le bureau d'étude ARCADIS-Simecsol et la direction d'urbanisme et de la construction et la direction d'urbanisme et de la construction DUC en collaboration avec l'organisme national de contrôle technique et de construction CTC entre (2001-2004).

Nous tenterons dans ce chapitre de dégager une première lecture sur l'expertise du bâti, par un classement des constructions en fonction de leur état face aux glissements de terrain.

Le cinquième chapitre est destiné à la cartographie, qui vise à délimiter les zones pouvant être exposées au risque des glissements de terrain, par une approche probabiliste basée sur une analyse des composants du risque.

Chapitre 3 : La difficulté de l'urbanisation, l'attractivité et l'évolution de la population à travers la ville de Constantine

Introduction

Pendant des siècles la ville s'est limitée au strict site du massif calcaire, elle n'en est sortie que lors de la colonisation française, qui en a fait la capitale de l'Est algérien, en tant que chef-lieu de département. En effet depuis sa sortie de la limite du Rocher, qui constitue un socle stable pour la construction, elle ne cesse de s'agrandir et de continuer son extension vers des terrains moins consistants.

Aujourd'hui, l'espace immédiat constructible est presque entièrement consommé, la ville devient une véritable métropole.

3-1-Analyse urbaine

3-1-1-La ville de Constantine à travers les différentes civilisations

La genèse et les mutations par lesquelles est passée la ville de Constantine, depuis son histoire urbaine jusqu'à l'ère contemporaine à travers une analyse diachronique décrivant un processus de croissance et de dynamiques spatiale de la ville, via son histoire urbaine et ce pour comprendre son étalement spatiale et les différents facteurs qui ont engendré sa composition et sa formation actuelle.

Nous allons résumer son histoire qui nous permettra d'avoir un regard sur son passage par les différentes civilisations jusqu'à la période actuelle.

Constantine tire avantage de sa situation en devenant la capitale du royaume Numide politiquement et culturellement durant 150 ans, Constantine était une ville riche par son statut de capitale et de « ville marché ».

De nombreux vestiges sont témoins du développement qu'elle a atteint dans les domaines architecturale, commercial et culturel et les relations inter méditerranéennes développées.

En période romaine plusieurs édifices ont été érigés, des ponts des aqueducs et des aménagements hydrauliques.

La cité pour la première fois va s'étaler au-delà de sa muraille sur des faubourgs où les habitations étaient clairsemées, ces faubourgs étaient à Sidi Mabrouk sur le Mansourah, des villas à Sidi M'cid, des maisons de campagne avec jardin aux abords de la ville, aux côtés de l'oued à proximité des sources n'a pas toujours été emprisonné dans les remparts, elle s'étendait à l'ouest jusqu'à Bellevue, près du cimetière musulman au Sud-ouest jusqu'à Bardo et la Coudiat Aty²⁷.

²⁷ : K.Boufenara (2008): thèse de magistère (reprise à partir de la restitution de M. Elie Juge).p42.

Durant la période allant du 9^{ème} au 16^{ème}siècle, Constantine connut la succession de plusieurs dynasties musulmanes, la ville s'épanouit scientifiquement et culturellement, Constantine était une ville commerçante, un marché de blé et de laine, elle a connu la construction de la Casbah et d'un nombre conséquent de mosquées.

Le renouveau de rayonnement de la ville a été particulièrement au 18^{ème} siècle avec plusieurs Beys de grande valeur dont Salah Bey, responsable d'apports importants en urbanisme (voies de communication, écoles, approvisionnement en eau¹⁶, cette période s'acheva en 1837 avec l'invasion française.

L'occupation de la ville par ce colonisateur jusqu'à l'indépendance du pays en 1962 a bouleversé l'ordre établi et a façonné l'espace à l'image du modèle urbain français, engendrant ainsi plusieurs transformations du tissu existant (désaffectation d'édifices existants : casbah palais du Bey,...) des opérations ponctuelles telles que : démolitions, percements de rues reconstructions aux dépens de nombreux édifices religieux et autres bâtiments).

Constantine depuis 1962, a connu de grandes mutations (économiques, sociales,...etc.), qui ont influencé négativement sur son développement urbain.



Figure n°3-1: La ville de Constantine à l'époque Romaine.²⁸

3-1-2-Dynamique spatiale de la ville de Constantine

La croissance urbaine de la ville de Constantine, s'est effectuée à partir de son rocher agissant comme foyer émetteur d'une croissance de plus en plus importante, engendrant un étalement urbain assez conséquent, qui et dans le cas de la ville de Constantine prend des formes différentes.

²⁸ : Idem

À chaque époque correspond un développement caractérisé par une configuration spécifique, et comportant des types d'unités morphologiques, déterminées par des facteurs d'ordre économique, social et spatial.

Retraçant l'évolution la morphologie urbaine de l'espace bâti de la métropole de Constantine, laisse apparaître trois couronnes caractérisées par une organisation particulière (ville compacte) constituée par le rocher dans la couronne initiale un tissu lâche dans la seconde et un étalement urbain périphériques dans la troisième).

3-1-2-1-Croissance du centre urbain (1837-1930)

La première couronne qui correspond au franchissement de la rupture physique des gorges, et l'étalement en une vaste tache urbaine autour du rocher, s'est faite par étapes, tout au long du siècle colonial d'un rayon de 3 Km, ces extensions auréolaires ont donné lieu à une urbanisation moderne et régulée jusqu'à la veille de la colonisation, la ville de Constantine se limitait au rocher et entourée par le Rhumel.

En 1860, Napoléon III en visite en Algérie a envisagé l'installation de la ville coloniale en dehors du périmètre limité par les remparts, et de franchir le vide qui entoure le rocher pour faire des faubourgs résidentiels en continuité avec la vieille ville.

Les extensions autour du noyau originel sont marquées à l'Est par El Kantara, Mansourah et Sidi Mabrouk, à l'Ouest le Coudiat, Saint Jean. Le franchissement s'est fait par le pont d'El Kantara en 1864, le pont de Sidi M'cid en 1912, le pont de Sidi Rached en 1912, la passerelle Perrégaux 1925, qui enjambent majestueusement les gorges du Rhumel pour résoudre les problèmes de liaison et mirent fin à l'isolement du rocher, c'est le début de l'extension de Constantine.

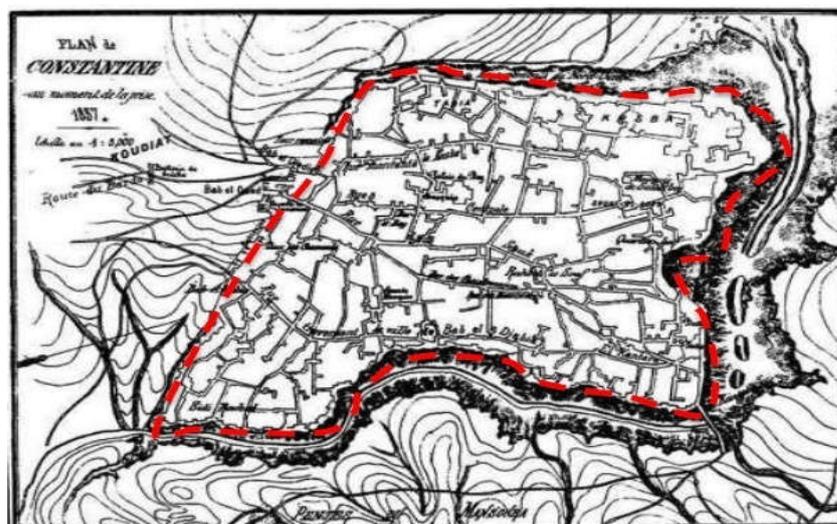


Figure n°3-2 : La ville au moment de la prise plan de 1837²⁹

²⁹ : Rapport du Schéma de cohérence urbaine de Constantine, Le diagnostic prospectif du Grand Constantine, p58

3-1-2-2-L'étalement de la ville (1930-1988)

Jusqu'en 1975, la consommation d'espace a augmenté, reflet d'une industrialisation massive qui a induit l'implantation des autres équipements urbains et qui a incité la population rurale à quitter la campagne pour la ville dans l'espoir de trouver de l'emploi.

Cette situation a provoqué une crise de logements et a poussé l'État à procéder, en premier lieu, à une extension urbaine volontariste ; l'urbanisation s'est ainsi faite entre 1979 et 1980 autour des programmes Z.H.U.N, définies par la circulaire ministérielle n°335 du 19 Février 1975.

Elle avait pour objectif d'assurer d'une part, les terrains d'assiette destinés au programme de logement social et d'autre part, de protéger les terres agricoles contre une urbanisation anarchique.

À partir de 1988, Constantine a connu une autre ère d'urbanisation plus libérale, celle-ci s'est confirmée en programmes de lotissements et de promotion immobilière sur la périphérie.

Ces deux formes d'extension ont connu un essor considérable, ce qui a eu des effets négatifs sur l'espace constantinois, on ne citera que deux conséquences néfastes : une urbanisation au détriment des terres agricoles de haut rendement et une extension urbaine qui a démesuré les rapports de l'armature urbaine existante.

L'évolution urbaine s'est accélérée avec la création de nouvelles zones d'habitat, d'équipements et d'activités : la cité Fadila Saâdane, la cité du Ciloc et la cité des Frères Abbas, les zones d'habitat du 20 Août 1955 et du 5 juillet 1962, la cité Daksi, les cités Sakiet Sidi Youcef et Ziadia, les cités de transit El Gammas, la zone industrielle la Mauricière-Palma, la zone industrielle Boumerzoug, la zone universitaire, le complexe sportif du 17 juin.

La période (1975-1988) parachève la continuité du tissu tant au Nord qu'au Sud de l'agglomération (6km de rayon), elle donne lieu à de nouvelles extensions spontanées implantées sur les disponibilités foncières résiduelles non encore bâties, tels que, les terrains très pentus d'Aouinet El Foul, sols peu stables de Serkina et Boussouf, ou encore sites difficiles à relier à la ville comme c'est le cas de Békira, Bencherghi, Sissaoui.

Dans le cadre du quinquennal (1985 à 1989), la ville s'est vue attribuée de nouveaux programmes de logements planifiées qui sont venues combler les vides au Nord-est comme au Sud-ouest par la construction d'une série d'immeubles collectifs : la zone d'habitat urbain nouvelle ZHUN de Djebel Ouahch, la ZHUN de Boussouf, la ZHUN de Serkina et la ZHUN d'El Menia, cet étalement ne se traduit pas uniquement à une augmentation des espaces artificialisés mais il s'associe aussi à une différenciation des densités du bâti.

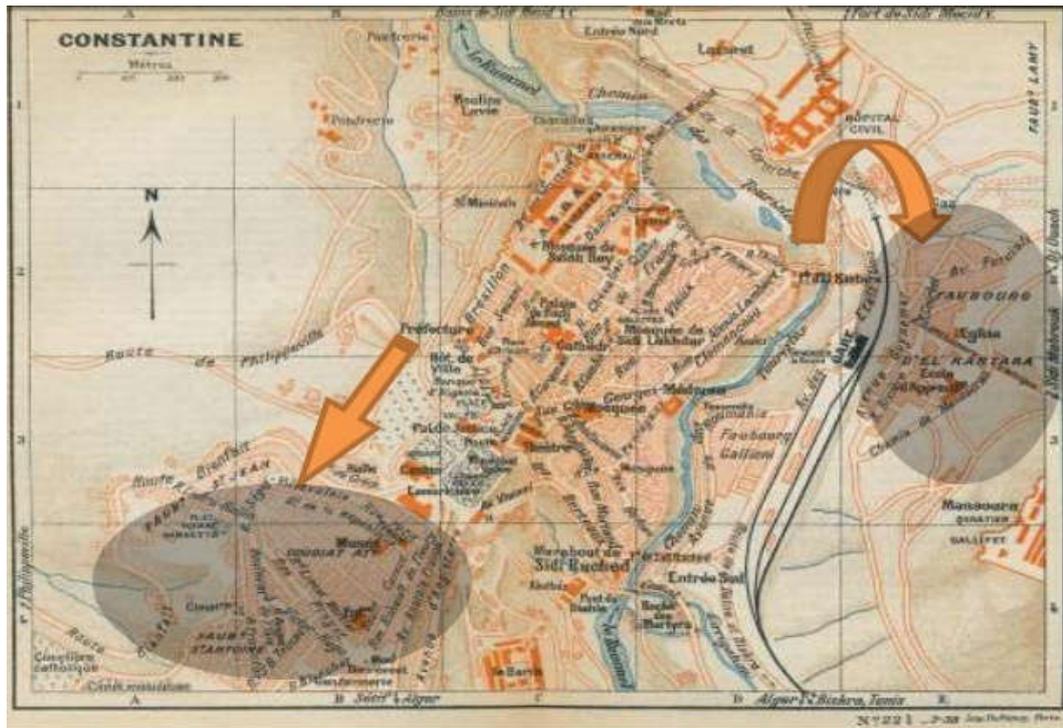


Figure n°3-3: Evolution de l'urbanisation de Constantine à partir de 1837

3-1-2-3 -La troisième phase : Après 1988

Constantine a continué ses extensions le long des axes de communication inter régionaux à l'extérieur du périmètre urbain, par le biais des lotissements promotionnels privés incontrôlés et du tassement des poches par un habitat précaire.

En un temps relativement court, la ville de Constantine s'est étalée dans toutes les directions occupant les collines : Sidi Mabrouk ,Faubourg Lamy, et le Coudiat, les plateaux : Mansourah Ain El Bey et les vallées du Rhumel et de Boumerzoug étaient occupées par les unités industrielles, les bidonvilles et par l'habitat illicite disparues actuellement.

Les bilans de l'époque font état d'un programme important de lotissements engagé à l'échelle de la wilaya sur une superficie totale estimée 1,781³⁰ hectares la majorité de cet important programme a été implantée au niveau de la ville de Constantine et de ses quatre agglomérations satellites : Khroub, Ain Smara, Hamma Bouziane et Didouche Mourad.

³⁰ Naït Amar Nadra, une solution à la question de la congestion de Constantine :ville nouvelle Ali Mendjeli,Mémoire Magistère 2005

S'opposant aux autres banlieues où l'urbanisation est spontanée et éparpillée sous l'effet des contraintes physiques du site, le groupement de communes devient donc une réponse à la croissance de la ville mais, il en résulte que l'évolution urbaine qui suit le cheminement des voies de communication, le long des vallées de la ville amorce une deuxième étape du processus d'étalement.

Cette tendance va ralentir la croissance spatiale de la ville mère de Constantine et accroître parallèlement les noyaux urbains, qui sont El Khroub, Didouche Mourad, et Ain Smara «Fonder sa croissance spatiale sur une ville nouvelle unique, mais de grande taille, capable à terme de contrebalancer le poids de la ville mère » (Marc Côte), les autorités locales se sont trouvées dans l'obligation de trouver des solutions de remplacement et le choix de nouveaux espaces urbanisables en dehors de la ville de Constantine s'est imposé.

Le projet de ville nouvelle Ali Mendjeli, adoptée en 1988 par un décret ministériel dans le cadre du PUD puis confirmé en 1998 par le PDAU, il vise d'une part l'allègement de la charge qui pèse sur Constantine du fait de sa croissance.

Ce redéploiement de l'urbanisation sur le plateau d'Ain El Bey, se réalise de manière volontaire, la ville nouvelle Ali Mendjeli, édifiée sur un plateau ouvert en continuité physique avec l'agglomération reste le projet le plus audacieux dans la politique d'organisation spatiale de la métropole Constantine.

Le report de la croissance vers les villes satellites et la création de la ville nouvelle n'ont pas freiné l'étalement de la ville qui se fait toujours en continuité avec son tissu urbain existant et qui s'est faite dans un milieu d'anarchie, de laisser aller et en absence totale d'un des services de contrôle et de gestion pour la maîtrise de la situation.

Encore que par leurs rapides croissances, les villes satellites et les centres support annexées à la métropole de Constantine, vont reproduire le schéma de celle-ci et devenir à leur tour des nouveaux foyers émetteurs, polarisant les centres urbains environnants, l'agglomération chef lieu d'El Khroub et Hamma Bouziane constitue à leur tour leurs espaces périurbain (nombre important d'agglomérations secondaires), étant elle-même des périurbain de la ville de Constantine.

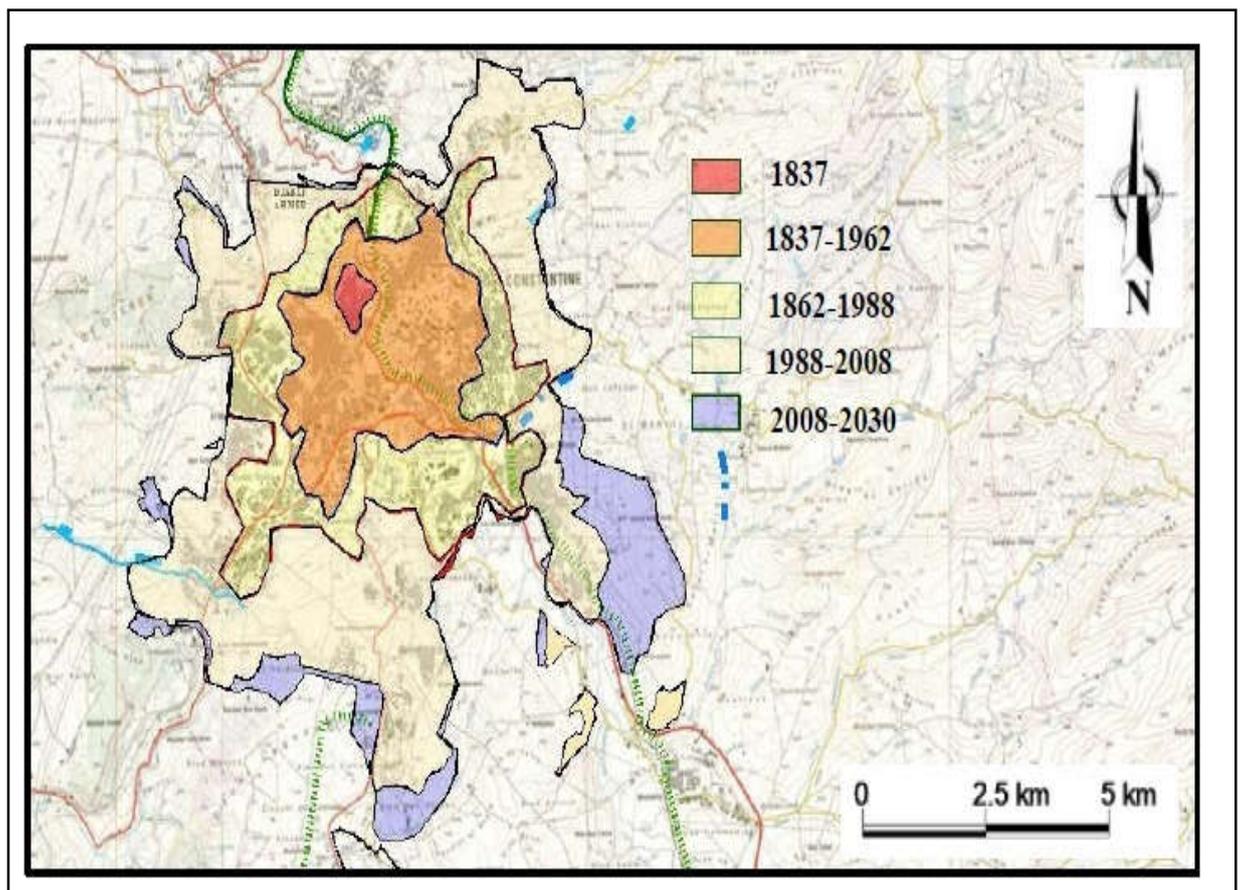
Aujourd'hui, l'évolution des espaces suburbains et périurbains autour de la ville consommera encore plus d'espaces, celui-ci se resserra entre la métropole et les satellites urbains du fait d'une urbanisation future qui paraît excessive et que cette première couronne urbaine tend à fusionner de plus en plus dans le triangle d'urbanisation du grand Constantine.

La nouvelle aire urbaine de Constantine apparait comme une forme récente de l'étalement urbain, ses extensions urbaines dévoilent une forme en plusieurs taches grandissante, donnant l'impression que l'espace est fragmenté, traduisant une « ville éclaté ».

L'analyse des différentes phases de l'extension de la ville, issus des différents documents d'urbanismes, elle a fait objet la ville de Constantine, le périmètre urbain représente sur les cartes de la ville la limite des espaces artificialisés affectés à l'urbanisation même non urbanisés .Ce qui explique une importante consommation d'espace durant la période (1988-2008), et qui dépasse la phase précédente et la suivante estimée d'ici 2030.

On note une progression continue de la surface urbaine, qui s'est traduite par le dédoublement de l'agglomération constantinoise en une vingtaine d'années (1988-2008).

L'évolution de la population urbaine n'est pourtant pas proportionnelle à cette croissance des territoires urbains, en effet, la superficie de la ville de Constantine a crû rapidement alors que sa population a connu une légère baisse estimée à 2364 habitant entre (1987-2008).



Source : Schémas prospectif d'aménagement et de développement durable PATW.

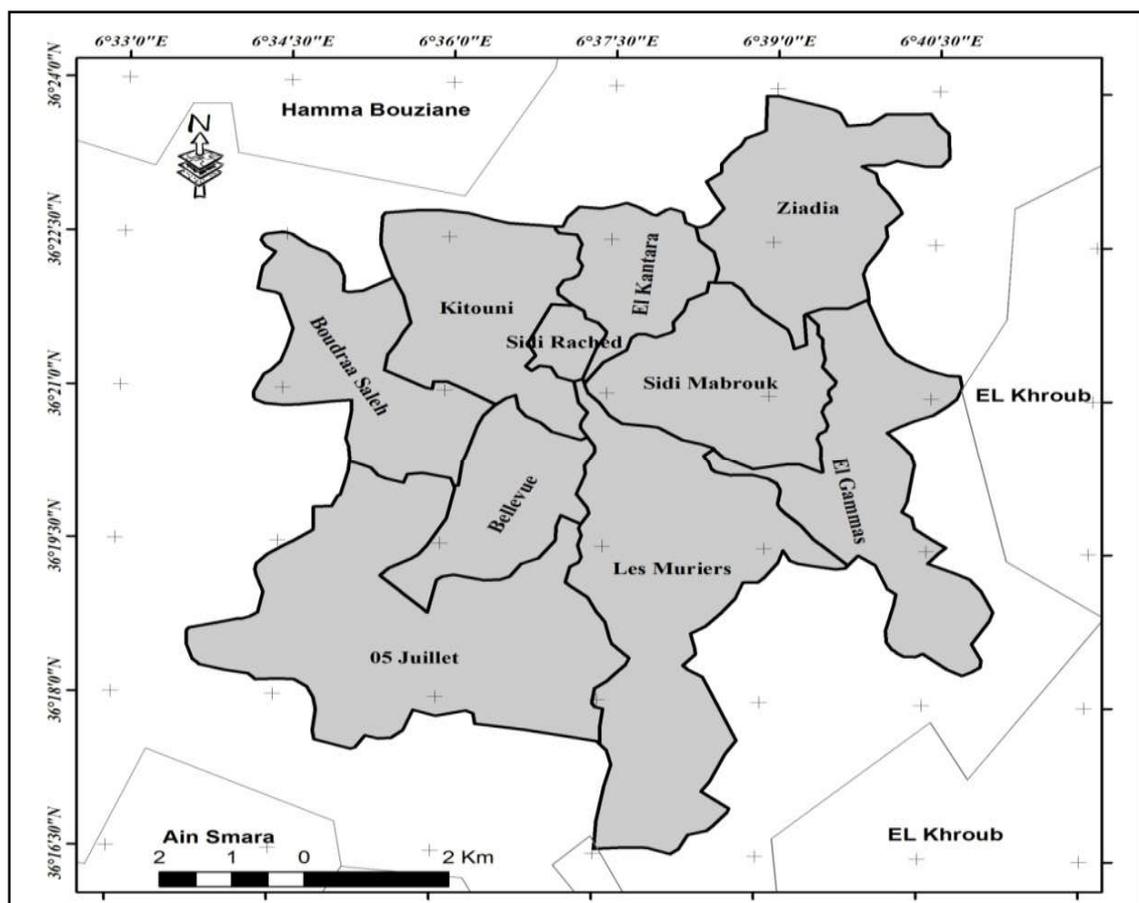
Carte n°3-1 : Evolution de l'emprise artificialisée de la ville de Constantine (1837-2030)

La ville de Constantine s'est développée, s'est étalée et s'est agrandie, c'est une réalité concrète, car aujourd'hui toutes les zones urbaines de Constantine sont touchées par l'étalement périurbain, la dilution des formes urbaines différenciation fonctionnelle des espaces intra-urbains (travail, résidence, études, achats, services) de la médina, ville dense et compacte, la ville est passée à la ville étalée et fragmentée, cette transition urbaine, s'avère consommatrice du sol, grignotant les terres agricoles de grandes valeurs.

En définitive, l'urbanisation de la ville s'est faite au gré du site dans une première période et contre le site dans une deuxième période et enfin au-delà du site.

Ces différentes étapes d'urbanisation de la ville, sont liées à la particularité du site ont généré un ensemble urbain hétérogène et fragmenté ³¹.

La ville de Constantine couvre une superficie de 5 920.51 hectares, surface calculée d'après le périmètre urbain actuel de Constantine et le dossier cartographique élaboré lors du RGPH 2008 transmis par l'APC de Constantine, elle est divisée en 10 secteurs urbains (Carte n° 3-2).



Source : décret exécutif n°16-258(2016)

Carte n°3-2 : Les délégations communales de la ville de Constantine

³¹ : Rapport de l'Agence Nationale pour l'Aménagement du Territoire, 1994

3-1-3-Typologie et état de l’habitat

3-1-3-1-Habitat traditionnel et l’habitat colonial

Le parc logement est composé de l’habitat traditionnel en ruine et le colonial, situé dans sa totalité sur le vieux rocher et ses abords qui présentent le patrimoine architectural et culturel de la ville, il constitue le noyau de l’agglomération de Constantine

1-Caractéristique de ce type de construction

- Trame orthogonale pour l’habitat colonial.
- Trame sinueuse pour l’habitat traditionnel.
- Matériaux utilisés (pierre, tuiles, bois).
- Niveau RDC à R+4.
- Les constructions se trouvent dans un état moyen à dégradé.
- Les rez-de chaussée sont généralement occupés par les commerces.
- Certaines habitations ont fait l’objet de démolition et la reconstruction de construction moderne.

Ce grand centre urbain qui se trouve étouffé aussi bien du point de vue spatial qu’organisationnel, en particulier au milieu du centre administratif, le Coudiat, Place du 1^{er} Novembre, ou encore Bab El Oued, sont localisés des équipements de grande importance : poste, théâtre, palais de justice, banques, marché...etc.

3-1-3-2-Habitat collectif

Implanté sur plusieurs sites à travers la ville de Constantine l’habitat collectif, constitue une part très importante dans le parc logement.

C’est à partir des années 70 que l’habitat collectif a fait son apparition de manière conséquente à travers la création de plusieurs ZHUN (Zone d’Habitat Urbain Nouvelle).

Jusqu’en 1980 d’importantes zones d’habitat et d’équipements ont été réalisées dans la périphérie de la ville (20 Août, Fadila Saâdane, Filali, Daksi, Sakiet Sidi Youcef, Ziadia, zones industrielles, parc de sport...).

De 1980 à nos jours la politique d’habitat des ZHUN (cité Boussouf, Djebel Ouahch), s’est prolongée avant de laisser la place à une nouvelle stratégie qui favorise l’individuel avec la consommation d’importants espaces situés à la périphérie (plateau d’Ain El Bey, Sarkina, Benchergui, El Berda, Gammas, Sissaoui...).

La politique de ZHUN a été abandonnée en laissant place au nouvel instrument d’urbanisme à savoir le POS qui prend en charge l’habitat collectif qu’individuel ou autres.

3-1-3-3-Habitat individuel planifié

Une urbanisation planifiée se traduit par des différents lotissements dénommés (lotissement Frères Ferrad , lotissement le plateau, lotissement El Berda, lotissements El Menia), sont en majorité sous équipés et restent tributaires du centre ville en matière d'équipements et de services.

3-1-3-4-Habitat spontanée

Une urbanisation spontanée occupe une grande partie du tissu existant et vient se greffer à la périphérie de la ville de Constantine, défavorisée en matière d'équipements et d'activités sur des sites de topographie difficile, échappant à toute règle d'urbanisme. Cet habitat s'insère dans la dynamique urbaine de la ville englobant plusieurs quartiers : (Bencherghi, Oued El Had, cité le Murier, Aouinet El Foul, Sissaoui, cité El Bir, etc...).

Les particuliers ont ainsi pris en charge leurs constructions, sans un cahier de charge urbain, ni contrôle des services concernés, aucune typologie architecturale, aucune couleur, aucune volumétrie cela entraîne conséquences suivantes deux quartiers (Bardo, Djnane Tchina) illicites ont fait l'objet de démolitions par les autorités dans le cadre d'une opération de modernisation de la ville de Constantine, cela a permis à récupérer un patrimoine foncier où le parc urbain de Bardo été érigé.

3-1-3-5-Equipements et activités

Généralement le niveau d'équipement de la ville est très bon, de nombreux équipements de proximité (groupes scolaires, équipements sociaux et sportifs...), structurent l'espace urbain et organisent la vie des quartiers.

La commune de Constantine dispose de plusieurs équipements : scolaire et de formation d'enseignement supérieur, sanitaires, administratifs et de services et de jeunesse et socio culturels et culturels.

Les grandes infrastructures exercent quant à elles leur attractivité sur l'ensemble du groupement et parfois au-delà, occupant ainsi le rôle d'équipements d'agglomération.

Les équipements industrielles sont situées au sud est et ouest de l'agglomération longeant l'oued Rhumel, ces infrastructures assurent une activité est très variée.

La ville de Constantine est traversée par les routes nationales, (R.N.5, RN.3, RN.10,RN.79) qui se transforment à l'intérieur du périmètre urbain en voies primaires principales, confortée par le boulevard de l'est et le contournement Massinissa, les voies secondaires viennent se greffer sur ces principaux axes pour relier entre eux les différents quartiers de la ville de Constantine.

L'état des routes dans la ville de Constantine est assez bon dans l'ensemble, pour la modernisation et la réhabilitation de la ville, un vaste programme de rénovation et d'embellissement a été effectué à travers les quartiers et de la ville : le tramway, les lignes téléphériques et le trans-Rhumel, par ailleurs, de nombreuses « Trémies », passages routiers souterrains ont été construits.

3-1-4-Densité des constructions

Les délégations communales de la commune de Constantine sont caractérisées par une densité différenciée de leur tissu urbain. Néanmoins, nous distinguons une densité de construction importante au niveau de la délégation communale Sidi Rached.

| Délégations communales | Nombre de Construction | Surface (h) | Densité (cons/h) |
|-------------------------------|-------------------------------|--------------------|-------------------------|
| Sidi Rached | 1440 | 58,71 | 24,52 |
| Ziadia | 3452 | 634,37 | 5,44 |
| Le 5 juillet | 3283 | 1345,21 | 2,44 |
| Belle vue | 2012 | 394,45 | 5,1 |
| Sidi Mabrouk | 6722 | 533,06 | 12,61 |
| El Guemmas | 6339 | 699 | 9,06 |
| Bab El Kantra | 2854 | 357,07 | 7,99 |
| Boudraa Salah | 6616 | 509,97 | 12,97 |
| Les Muriers | 7046 | 839,7 | 8,39 |
| Kitouni | 3438 | 548,97 | 6,26 |
| La ville | 43202 | 5920,51 | 7,29 |

Source : décret exécutif n°16-258(2016)-RGPH(2008)

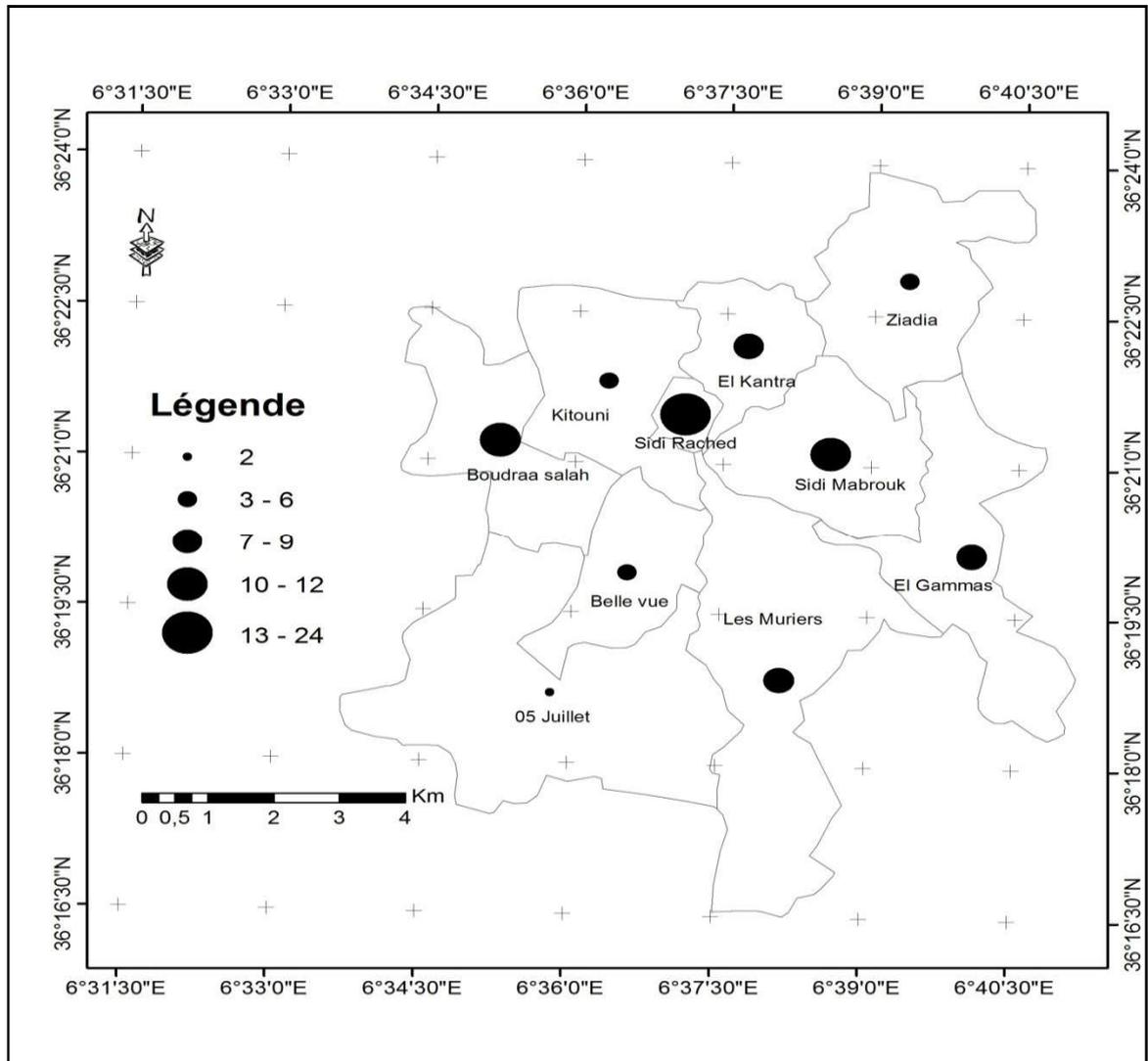
Tableau n°3-1:Densité des constructions par délégation communale

Le tableau précédent met en évidence cinq valeurs distinctes représentant la densité de construction par hectare, la première valeur représente une densité égale à 24,52 constructions par hectare, cette densité représente uniquement la délégation communale Sidi Rached.

La deuxième valeur indique une densité qui est (12,97-12,61) constructions par hectare, elle regroupe les délégations communales Boudrâa Salah et Sidi Mabrouk.

Alors que, la troisième valeur représente (9,06-7,99) constructions par hectare, elle représente les délégations communales El Guemmas, les Muriers et Bab el Kantara.

Pour la troisième valeur représente (6,26-5,10) constructions par hectare, elle regroupe les délégations communales Kitouni,Ziadia et Bellevue. Enfin, la dernière valeur représente 2,44 constructions par hectare, elle représente la délégation communale 5 juillet 62.



Source : décret exécutif n°16-258(2016)-RGPH(2008)

Carte n°3-3 : Densité de construction à travers les délégations communales

3-2-L'analyse démographique

L'analyse démographique est plus que nécessaire dans la mesure où elle permet de comprendre les différentes évolutions, d'évaluer les densités, la répartition sur l'espace considéré les concentrations de la population, ainsi que, la superposition de cette occupation humaine à celle des activités. Cela met en évidence le diagnostic établi sur la ville, et permettra de saisir la dynamique socio-économique et le degré de développement rétrospective dans le temps.

3-2-1-Evolution de la population et mouvements migratoires

La ville de Constantine a connu entre (1966-1998) une croissance démographique importante la population qui était de 245621 habitants en 1966 est passée à 481947 habitants en1998. Un important taux d'accroissement de 3.47 % en moyenne par an a été enregistré pour la décennie (1966-1977), la population de Constantine a continué à évoluer durant la période (1977-1987). En effet, les données du recensement (RGPH-1987) montre que la population est passée de 357500 en 1977 à 450738 en 1987.Néanmoins, nous constatons une légère baisse du taux d'accroissement soit 2.34 %,il faut rappeler qu'en plus du croît naturel, le phénomène de l'exode rural et du flux migratoire ont eux aussi contribué à l'accroissement démographique.

| Année | 1966 | 1977 | 1987 | 1998 | 2008 |
|-----------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Population | 245621 | 345566 | 440842 | 465021 | 418672 |
| Taux d'accroissement | 3,2% | 2,44% | 0,48% | -1,04% | |

Source : ONS, RGPH(2008)

Tableau n°3-2 : Evolution démographique de la ville de Constantine

3-2-1-1-La période (1966-1977)

Durant la période allant de (1966 -1977) le pays connaît une forte relance économique, le solde migratoire reste encore positif pour la ville de Constantine à la suite d'investissements consentis, dès les premiers plans quadriennaux pour des implantations industrielles et des équipements tertiaires.

Néanmoins on constate que durant cette période, une affectation en masse des activités s'est développées sur la première couronne, une mesure d'exurbanisation de l'industrie à travers la mise en chantier d'unités industrielles publiques : l'unité SONACOME d'oued Hamimine située dans la commune d'El Khroub, de l'unité SONACOME pelle et grue d'Ain Smara et de la cimenterie située à mi-distance de Hamma Bouziane et Didouche Mourad ,créatrices d'emplois ayant généré des flux migratoires intenses d'une population en quête d'emploi provenant de la ville de la campagne, mais aussi d'autres wilayas.On notera un apport plutôt timide qui s'est paradoxalement fixé sur la localité de Hamma Bouziane et à un degré moindre El Khroub, qui ont vu leur population s'accroître moyennement avec respectivement 4.8 % et 4.2% ³².

³² : Mareouk Messaoud : Recherches pour un Atlas de Constantine : Approche statistique et thématique, thèse doctorat 2010. P 268

3-2-1-2-La période de (1977-1987)

Cette période a été marquée par l'achèvement des réalisations des unités industrielles (notamment le complexe des moteurs tracteurs-pelle et grue d'Ain Smara et la cimenterie) et leur mise en production.

L'exécution des plans quinquennaux (1980-1984) (1985-1989), dont l'objectif primordial est d'accélérer et de dynamiser les politiques sociales par l'amélioration du cadre de vie des populations locales.

Ce phénomène s'explique par le report du surplus de populations de Constantine sur les quatre pôles situés dans un rayon d'une vingtaine de kilomètres, en l'occurrence El Khroub, Aïn Smara, Hamma Bouziane et Didouche Mourad.

Ces quatre pôles constituant le Groupement Urbain de Constantine, ont enregistré un taux de croissance démographique très élevé, on note à El Khroub 9,36%, Aïn Smara 13,98%, Hamma Bouziane 4,21% et Didouche Mourad 5,95%.

Le fort taux d'accroissement démographique au niveau de ces quatre pôles, est aussi justifié par l'entrée en production des différentes unités industrielles publiques³³.

3-2-1-3-La période de (1987-1998)

Les statistiques de la population au recensement de la population de 1998, font ressortir que le taux d'accroissement de Constantine entre (1987 et 1998), a subi un net fléchissement par rapport à celui de la période de (1977 à 1987), il passe de 3,34 % à 2,08 % (RGPH 1998).

Cette diminution s'explique par les effets dus à la crise économique que traverse le pays, conjuguais un fort taux de chômage, fermeture des entreprises, manque de financement et changement de la politique de l'habitat.

La même tendance à la baisse est observée au niveau de la répartition de la population des faisant partie du Groupement de Constantine à l'exception de Didouche Mourad qui enregistre quant à lui un sensible accroissement : El Khroub 5,20%, Aïn Smara 6%, Hamma Bouziane 1,99%, Didouche Mourad 10,93%.

³³Hioul Smain, mutations fonctionnelles d'un village colonial dans la logique de la croissance urbaine de Constantine, cas El Khroub, 2009, p102.

3-2-1-4-La période de (1998-2008)

C'est une période de relance économique, elle s'est démarquée par la complémentarité de deux événements, une stabilité sécuritaire du pays et l'amorce d'une stabilité politique et économique. Les différentes actions politiques, économiques et sociales, menées au cours de cette période ont donné naissance à des retombées positives qui ont touché tous les domaines.

La population et son redéploiement sur le territoire n'a pas échappé à ces changements, c'est ainsi que malgré faiblesse des taux d'accroissement globaux moyens pour la commune de Constantine d'une manière générale et au niveau de la ville de Constantine en particulier, les flux migratoires ne continuent pas à alimenter sa croissance d'une façon très visible.

Cette période est caractérisée par la baisse du volume de la population de la commune de Constantine qui passe de 481947 habitants en 1998 à 448 374 habitants en 2008 d'où un déclin de 33 573 habitants. Cette baisse s'explique d'une part, par le désengorgement de la ville de Constantine et d'autre part, par la politique de résorption de l'habitat précaire entreprise depuis une décennie en attribuant à ses occupants un logement neuf sur les sites des deux villes nouvelles : Ali Mendjeli et Massinissa et des communes avoisinantes, faisant partie du groupement de Constantine.

Par contre, cette période a été marquée par la croissance démographique de la commune d'El Khroub qui a littéralement explosé passant de 89919 habitants en 1998 à 179033 en 2008 soit une augmentation de 89114 personnes, cet état de fait s'explique par l'urbanisation sur son territoire des deux villes nouvelles à savoir, Ali Mendjeli et Massinissa, pour les autres communes la même tendance à la hausse est reconduite en 2008 par rapport aux résultats des RGPH précédent.

| Localités | Population | | TAGMA | SM | POP | TAGMA | SM |
|-----------------------------|---------------|---------------|-------------|--------------|---------------|--------------|--------------|
| | 1987 | 1998 | (1987-1998) | | 2008 | (1998-2008) | |
| Constantine | 440 842 | 465 021 | 6,48 | -1,66 | 418 672 | 1,64 | -2,98 |
| Salah Bey | 1521 | 1469 | -0,32 | -2,47 | 1405 | -0,44 | -2,16 |
| Ain el Bey | 1364 | 9299 | 19,06 | 16,91 | 19251 | 7,55 | 5,83 |
| Ouled Yacoub | | 1125 | | | 2176 | 6,82 | 5,10 |
| 1 ^{er} Novembre 54 | | | | | 190 | | |
| Ben Abdelmalek | | | | | 452 | | |
| Zone Eparse | 4080 | 5033 | 1,93 | -0,22 | 5240 | 0,40 | -1,32 |
| Commune | 447807 | 481947 | 0,67 | -1,48 | 438164 | -0,95 | -2,67 |

Source : RGPH, (2008)

Tableau n°3-3:Evolution de la population de la ville de Constantine par dispersion

La population du chef-lieu a connu un taux d'accroissement, très inférieur aux taux national 2.15% depuis (1987 à 1998), soit 0.49%, du fait des programmes accrus de relogements de la population constantinoise vers d'autres centres urbains limitrophe à Constantine.

Le décroissement du taux se poursuit d'une façon accélérée pour la période (1998-2008), le taux d'accroissement de la population vivant à Constantine se chiffre à moins 1,26%, ce qui traduit la persistance du programme de relogement de la population autochtone vers les villes tout proches, ce décroissement constaté n'est pas le fruit d'un manque de fécondité ou d'attractivité, mais plutôt à cause du programme lancées le relogement des populations du programme lancées le relogement des populations vivants dans les bidonvilles et les habitations précaires, cela se traduit par une volonté politique pour éradiquer ce type d'habitat et d'offrir aux citoyens constantinois un cadre d'habitat agréable avec toute les commodités.

3-2-2-Répartition de la population

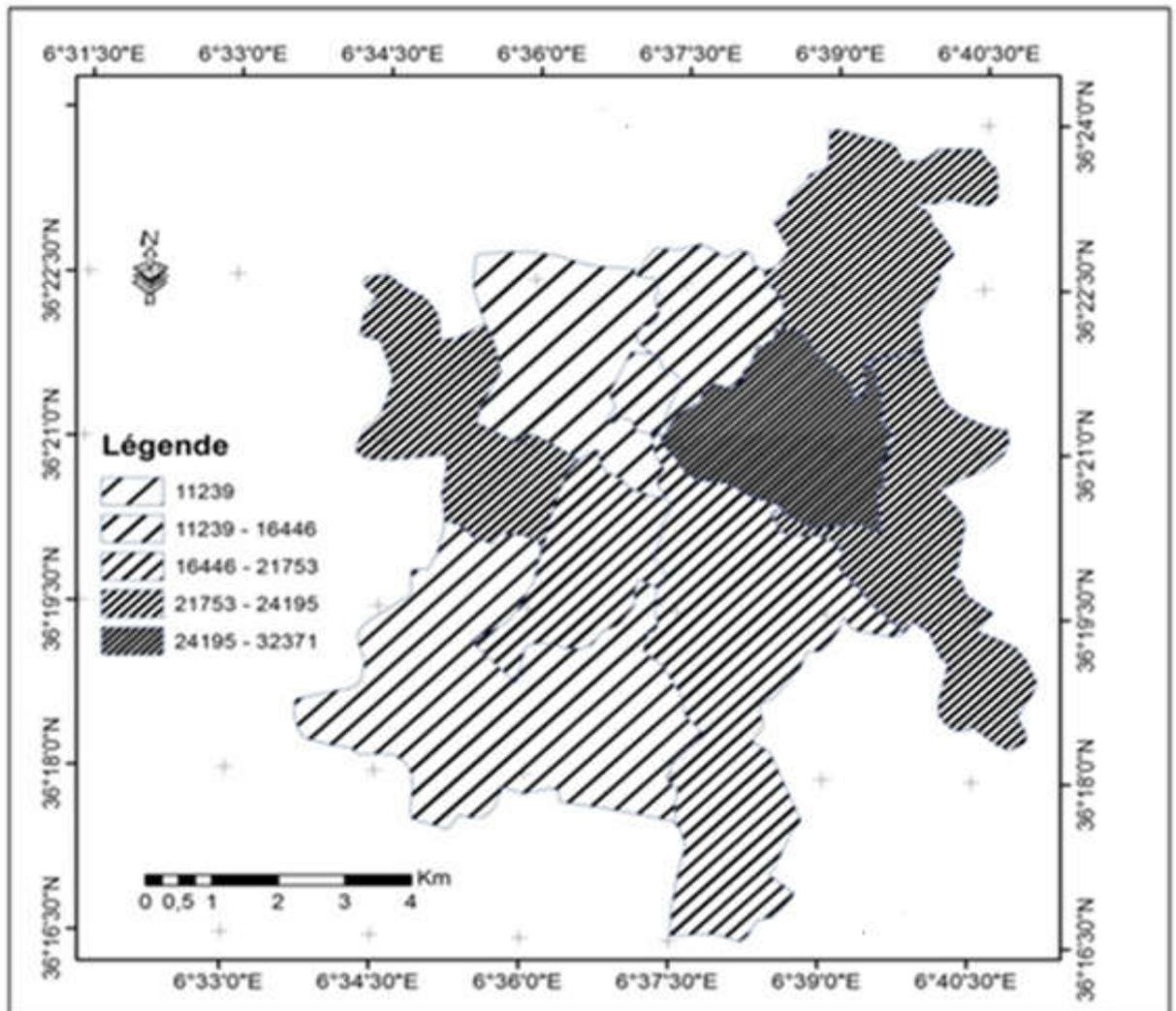
Les données traitées sont basées sur les résultats du RGPH (2008), fournis par l'APC de Constantine, suivant le tableau récapitulatif communal et le dossier cartographique du PDAU (2008).L'analyse qui suit va permettre de voir comment la population est répartie à l'intérieur de la ville et quels sont les secteurs qui subissent le poids de la distribution spatiale de la population constantinoise.

| Délégation communale | Population | Ménage | Taux population | Taux ménage |
|-----------------------------|-------------------|---------------|------------------------|--------------------|
| Sidi Rached | 14981 | 9435 | 4% | 12% |
| Ziadia | 41191 | 9920 | 10% | 12% |
| 5 Juillet | 27922 | 7328 | 7% | 9% |
| Belle vue | 40368 | 6061 | 10% | 8% |
| Sidi Mabrouk | 72495 | 7950 | 18% | 10% |
| El Guemmass | 44353 | 14258 | 11% | 18% |
| Bab El Kantara | 30457 | 8292 | 7% | 10% |
| Boudraa Salah | 54140 | 5379 | 13% | 7% |
| Les Muriers | 47897 | 7687 | 12% | 10% |
| Kitouni | 35646 | 3198 | 9% | 4% |
| La ville | 409450 | 79508 | 100% | 100% |

Source : RGPH,(2008)

Tableau n°3-4:Répartition de la population par délégation communale

La délégation communale Sidi Mabrouk enregistre 18% de la population constantinoise soit 72,495 personnes, à contrario a la délégation communale Sidi Rached comprend 14,981 personnes soit 4% de la population totale en 2008, les raisons sont simples la nature fonctionnelle de cette délégation communale, il est le cœur de la ville, concentration du secteur tertiaire supérieure et surtout le départ d'une importante tranche de population habitant la vieille ville. Pour la répartition des ménages à l'intérieur de la ville (79,508 ménages recensés), la délégation communale d'El Guemmass présente 18% des ménages avec 14,258 ménages, la délégation communale de Kitouni comprend 4% soit 3,198 ménages, c'est le taux le plus faible enregistré l'intérieur de la ville, un fait marquant malgré sa nature fonctionnelle d'hyper centre ,alors que, la délégation communale Sidi Rached concentre 12 % des ménages de la ville malgré sa superficie et sa nature géographique implanté sur le Rocher de Constantine 58,71 hectares.



Source : décret exécutif n°16-258(2016)-RGPH(2008)

Carte n°3-4 : Répartition de la population à travers les délégations communales

3-2-3-Densité de population à travers la ville

3-2-3-1-Au niveau des délégations communales

L'agglomération constantinoise a engendré une densité de population importante, le tableau ci-dessous nous renseigne sur l'importance relative de la densité de population à travers les différentes délégations communales.

Les données qui figurent au tableau n°1-5, mettent en évidence la densité de population au niveau des délégations communales de la commune de Constantine en 2008.

La comparaison entre les délégations communales fait apparaitre une densité de population différenciée, la délégation communale Sidi Rached a enregistré une densité de population très importante, nous pouvons associer à l'effectif important de population la petite surface de cette délégation, nous constatons ainsi que les délégations communales : Boudraa Salah, El Kantara, Belle vue et Sidi Mabrouk connaissent une densité de population importante qui varie entre (102,36-136) habitants/hectares.

Paradoxalement, les délégations communales dont la densité de population est moyenne ou faible tels que : Kitouni, Ziadia, El Gammas, Les Muriers,5 Juillet, ces derniers présentent de grandes surfaces occupées par des terrains vagues.

| Délégations communales | Population | Surface (h) | Densité (hab/h) |
|------------------------|---------------|----------------|-----------------|
| Sidi Rached | 14981 | 58,71 | 255,17 |
| Ziadia | 41191 | 634,37 | 64,93 |
| Le 5 juillet | 27922 | 1345,21 | 20,76 |
| Belle vue | 40368 | 394,45 | 102,34 |
| Sidi Mabrouuk | 72495 | 533,06 | 136 |
| El Gammas | 44353 | 699 | 63,45 |
| Bab el Kantra | 30457 | 357,07 | 85,3 |
| Boudraa Salah | 54140 | 509,97 | 106,16 |
| Les Muriers | 47897 | 839,7 | 57,04 |
| Kitouni | 35646 | 548,97 | 64,93 |
| La ville | 418672 | 5920,51 | 69,16 |

Source : RGPH, (2008)

Tableau n°3-5:Densité de la population par délégation communale

3-2-3-2-Densité de population à travers les districts

Etant que le découpage par secteurs urbain (APC), fixé par décret, il est trop général pour une recherche qui se veut plus fine. Nous avons opter pour le découpage des districts afin de couvrir l'ensemble de l'espace urbain, nous avons utiliser le fond des districts urbains établis par l'ONS du dernier recensement 2008. (Annexe n°1)

Cela a permet de mettre en relief la carte de densité à travers les districts de la ville, dont la répartition spatiale des densités montre cinq niveaux de densité.

Une forte densité supérieur à 312 habitants/hectare, localiser particulièrement au centre et quelques districts de la partie ouest de la ville, les districts des délégations communales Sidi Rached, Bellevue, Kitouni et 5 juillet 62, ainsi que, dans quelques districts des délégations communales d'El Guemmass et Ziadia et Sidi Mabrouk, une faible densité à inférieur à 207 hab/h localisé dans les délégations communales en périphérie.

Conclusion

En définitive, l'urbanisation de Constantine, s'est faite au gré du site dans une première période et contre le site dans une deuxième période et enfin au-delà du site.

Ces différentes étapes d'urbanisation de la ville de Constantine, liées à cette particularité de son site ont généré un ensemble urbain hétérogène et fragmenté.

La période post indépendance a été marquée par un accroissement spectaculaire de sa population, on note, une très forte concentration de population au niveau du chef lieu 87,13% de la population de la wilaya réside dans la commune de Constantine avec une densité moyenne de 370 habitants au km².

Il faut rappeler qu'en plus du croît naturel, le phénomène de l'exode rural et du flux migratoire, ont eux aussi contribué à l'accroissement démographique.

La croissance urbaine en effet est posée comme un problème environnemental, quand elle s'effectue sur des sites peu propices à la construction sur des pentes inadaptées et terrains instables et qu'elle génère ce qui est perçu comme risque.

Chapitre 4 : Analyse de la vulnérabilité structurelle à travers les sites exposés aux glissements de terrain

Introduction

Ce chapitre sera consacré pour présenter les résultats d'expertise établie dans le cadre de l'étude menée par ARCADIS-Simecsol par le biais de sa filiale EEG (Entreprise des études engineering), et la direction d'urbanisme et de la construction et la direction d'urbanisme et de la construction DUC, en collaboration avec l'organisme national de contrôle technique et de construction CTC entre (2001-2004).

Les résultats de l'expertise concernant l'évaluation de l'impact des glissements de terrain sur le bâti et le classement des constructions, en fonction de leur état et des risques encourus sont résumés comme suit :

Le nombre des ouvrages destiné à démolir est 1781 (1751 habitations et 30 équipements), soit 22% du total des ouvrages expertisés, tandis que, 900 ouvrages destinés à démolir est ce qui représentent 10%, du total des ouvrages expertisés soit 835, à usage habitations et 65 équipements, par ailleurs, 5837 ouvrages en bon état.

4-1-Les désordres enregistrés dans le tissu urbain colonial

4-1-1-Site Belouizdad-Kitouni

Ce secteur habité se trouve en majorité sinistré et renferme une densité urbaine très élevée, de plus, le versant à pente accentuée du terrain aggravant le phénomène de glissement a rendu le bâti fragile au fil des années.

Le cadre bâti date en majeure partie de la période coloniale, il est constitué de constructions en maçonnerie et en béton armé enchevêtrées avec un gabarit de quelques niveaux en moyenne (constructions de hauteur moyenne).

Concernant l'état des constructions, plusieurs interventions ont été effectuées par le passé où l'organisme national de contrôle technique et de construction direction régionale et de construction direction régionale EST-

TC/Est, a été représentée dans des commissions chargées

de statuer sur le degré de gravité des constructions endommagées à titre d'exemple

l'immeuble cadeau (R+6), qui a été démolie été le témoin de plusieurs rapports d'expertises ainsi que les différents établissements scolaires.

Ainsi que, les différentes expertises menées par le passé sur quelques constructions, nous ont permis de nous renseigner sur le type de constructions et leurs fondations, qui prennent appui sur le versant de stabilité devenue préoccupante.

Les constructions en murs porteurs en maçonnerie reposent sur des semelles filantes en gros béton insuffisamment mal ancrées dans le cas général.

Les désordres les plus importants sont localisés dans les zones de remblai tant pour le bâti que pour les rues et les trottoirs qui se sont affaissés.

Les ruptures progressives du glissement sont devenues alarmantes, le boulevard de Belouizdad constitue à l'état actuel le sommet du glissement en regardant les désordres survenus dans les bâtiments avoisinants d'autant plus que les ruptures atteignent le niveau des fondations.

Certaines constructions sont dans un état de désorganisation totale à la limite de l'effondrement

des modifications ont eu lieu durant la vie de ces ouvrages se traduisant par des démolitions et des reconstructions (existence de structures en béton armé : poutres et poteaux, hauteur moyenne de quelques niveaux...).

Les problèmes de mitoyenneté se posent chaque fois que de nouvelles constructions, sont établies entre des constructions anciennes, avec surtout de sous-sols comme commerces, sans prise en compte de mesures de soutènement.

4-1-1-1-Identification et repérage des désordres

Une partie du site a été expertisée en 1998 par l'organisme national de contrôle technique et de construction direction régionale-EST (CTC-Est), sur la base d'une campagne d'enquêtes sur le vieux bâti en vue de déterminer l'ampleur des désordres par un classement approprié.

Une classification à trois niveaux a été utilisée sur la base de fiches guides d'expertises pour rendre systématique la procédure d'évaluation de façon à avoir une certaine homogénéisation dans les appréciations des équipes d'ingénieurs, des tableaux ont été confectionnés pour englober l'adresse et l'état de ces constructions, selon la répartition par îlots suivant leur degré de gravité, les fiches guides présentent un schéma de diagnostic comme suit :

- Identification de l'ouvrage ;
- Identification et examen de la structure résistante ;
- Influence des constructions adjacentes ;
- Identification et examen des façades et des murs extérieurs et des éléments extérieurs ;
- Identification et examen de l'assainissement et ses dépendances et les différents ;
- Identification planchers et couvertures;
- Examen du sol autour de la construction ;
- Evaluation des dommages (causes probables, identification des causes);
- Estimation des principes directeurs de classement ;
- Principe de réparation (méthodologie de réparation), et de démolition.

4-1-1-2-Classement par degré de gravité des désordres

Les modifications importantes affectant le terrain se répercutent sur les constructions, qui subissent des fissures dans les éléments structuraux, des tassements et des basculements pouvant être à l'origine de leur destruction partielle ou totale. Il est constaté déjà que les portes et les fenêtres ont perdu les ajustements nécessaires.

1-Action moyennement lente de l'eau

Le système de collecte des eaux pluviales et usées est totalement défaillant (ruptures de joints entre buses, obstruction des canalisations, fuites de canalisations, ...).

Les venues d'eaux anarchiques et accidentelles dues aux précipitations sporadiques et irrégulières de forte intensité ou de longue durée, conduisent à des mouvements de terrain.

Les précipitations de 1985 ont provoqué une rupture dans le sol au niveau de l'avenue Kitouni les mouvements de terrain de ce site sont aussi favorisés par des influences anthropiques dus à :

- Intervention sur existant (surélévations, aménagements effectués par les occupants ...);
- Intervention par des travaux de grand terrassement (excavations sans dispositifs de protection effectuées pour des travaux de reconstruction de maisons), engendrant des constructions édifiées à des époques différentes avec un système de fondation différent avec aussi des profondeurs différentes, il est constaté de nouvelles structures en portiques ayant subi également de désordres.

4-1-1-3-Evaluation et analyse des causes des dommages

Les processus à l'origine de mouvements de terrain sont très complexes et dépendent rarement d'une seule cause.

1-Causes naturelles

Les mouvements de terrain sont constitués par un déplacement avec ruptures dans le sol, caractérisant un glissement moyennement lent et permanent.

Deux ruptures sont localisées au niveau du Boulevard Belouizdad et de l'avenue Kitouni, ce site présente la particularité que le secteur habité est concerné par une prédisposition générale aux phénomènes d'instabilité.

2-Causes structurelles (mécanismes de rupture)

a) Maçonnerie non chaînée

- Mauvaise conception architecturale et structurale (irrégularité en plan, en élévation, décrochement, absence de contreventement, absence de joints entre blocs ...);
 - Désolidarisations de pans de murs au niveau des connexions avec les murs perpendiculaires
- rupture de systèmes de fondations constitués de rigoles en gros béton ;

-Toitures en charpente en bois affectées dans les zones de pénétration d'eaux ou de condensation ;

-Désorganisations des planchers en vouîains ;

-Désorganisation du dallage (cycle alterné de tassement, gonflement et déplacement) ;

-Fissures dans les façades principales et postérieures ainsi que dans le cloisonnement ;

-Affaissement des trottoirs et des dallages périphériques.

b) Maçonnerie chaînée horizontalement et verticalement

-Fissuration en croix dans les panneaux ;

-Fissuration inclinée dans les panneaux dans le sens de la pente ;

-Fissuration horizontale à la base et en haut des panneaux ;

-Déplacement en bloc de certaines constructions ;

-Désorganisation du dallage (cycle alterné de tassement, de gonflement et de déplacement)

-Fissures dans les façades principales et postérieures ainsi que dans le cloisonnement ;

-Affaissement des trottoirs et des dallages périphériques ;

-Mauvaise conception architecturale et structurale (irrégularité en plan, en élévation, décrochements, absence de joints de dilatation, absence de joints entre blocs).

c) Construction en béton armé

-Rigidité insuffisante devant le glissement de terrain ;

-Cisaillement dans les poteaux à la base des constructions ;

-Désorganisation du dallage (cycle alterné de tassement, gonflement et déplacement) ;

-Balancement avec rotation de certaines constructions ;

-Bâtiments accolés édifiés à des époques différentes d'où fondations hétérogènes sollicitant le sol avec des charges différentes ;

-Mauvaise conception architecturale et structurale (irrégularité en plan, en élévation, présence de décrochements poteaux courts mal étudiés, de joints de dilatation, absence de contreventement, mauvaise conception des zones nodales, absence de joints entre blocs ...).

3-Effet du séisme

Dans l'ensemble, il s'agit de vieilles habitations conçues en maçonneries non chaînées situées dans une ville classée en zone II du point de vue sismicité selon la réglementation parasismique en vigueur.

De part leur âge avancé et eu égard à la crise de logements, ces maisons sont occupées irrationnellement par leurs propriétaires, d'où l'existence d'une incommodité définie par l'exiguïté de la surface offerte à chaque famille.



Source : ARCADIS-EEG-SIMECSOL(2004)

Photo n°4-1 : Mur de soutènement fissuré à Belouizdad-Kitouni



Source : ARCADIS-EEG-SIMECSOL(2004)

Photo n°4-2 : Façade très endommagée à Belouizdad



Source : ARCADIS-EEG-SIMECSOL(2004)

Photo n°4-3:Dégradation du bâti dans le quartier Belouizdad-Kitouni

En raison de l'absence d'un système structural adéquat composé d'ossatures à nœuds rigides (chaînages verticaux et horizontaux), constituant des portiques ou des murs en béton armé et vu l'état de délabrement, ces constructions présentent un risque majeur d'effondrement sous sollicitation sismique.

De plus les bâtiments ayant subi plusieurs séismes voient leur résistance affaiblie (perte progressive de la rigidité), et ne sont pas réglementaires vis-vis des codes existants, d'autant plus que les bâtiments affaiblis par des fissurations dans les structures porteuses résisteront beaucoup moins que les structures saines.

La tendance est de réparer ou de renforcer pour les bâtiments présentant un risque, le principe qu'il faut rendre réglementaire un bâtiment n'est pas d'actualité.

Tenant compte de cette situation, il est nécessaire d'aviser l'Administration sur les risques éventuels liés aux agressions sismiques, cependant des recommandations de bonne conception parasismique mentionnées dans les solutions de réparation sont de nature à améliorer les résistances au séisme ou tout au moins ne les diminuera pas (augmentation de la capacité résistante) de grosses réparations mentionnées dans les fiches guides pour les bâtiments à conforter nécessitent des études plus approfondies.

Il y a lieu de signaler que les réparations et les renforcements des ouvrages constituent l'un des problèmes les plus délicats que rencontre le domaine de la construction en Algérie, les exigences du comportement des structures obéissent à deux critères importants : maintien de la fonctionnalité des constructions et le niveau de renforcement pour obtenir le non effondrement.

4-1-1-4-Evaluation des dommages

L'expertise effectuée par SIMECSOL-ARCADIS en collaboration avec DUC concernant le site Belouizdad-Kitouni a porté sur 2451 constructions diverses étant donné leur enchevêtrement important, nous pouvons enregistrer pour le site Belouizdad-Kitouni le bilan suivant :

-1619 constructions expertisées sont classées au vert représentant un taux de 66% (Classe 1), c'est à dire considérées comme n'ayant subi aucun dommage ou des dommages légers.

-477 constructions sont classées en orange représentant un taux de 19% (Classe 2), et qui nécessitent un confortement en urgence.

-313 constructions sont classées au rouge représentant un taux de 13% (Classe 3), bâtiments endommagés (condamnés).

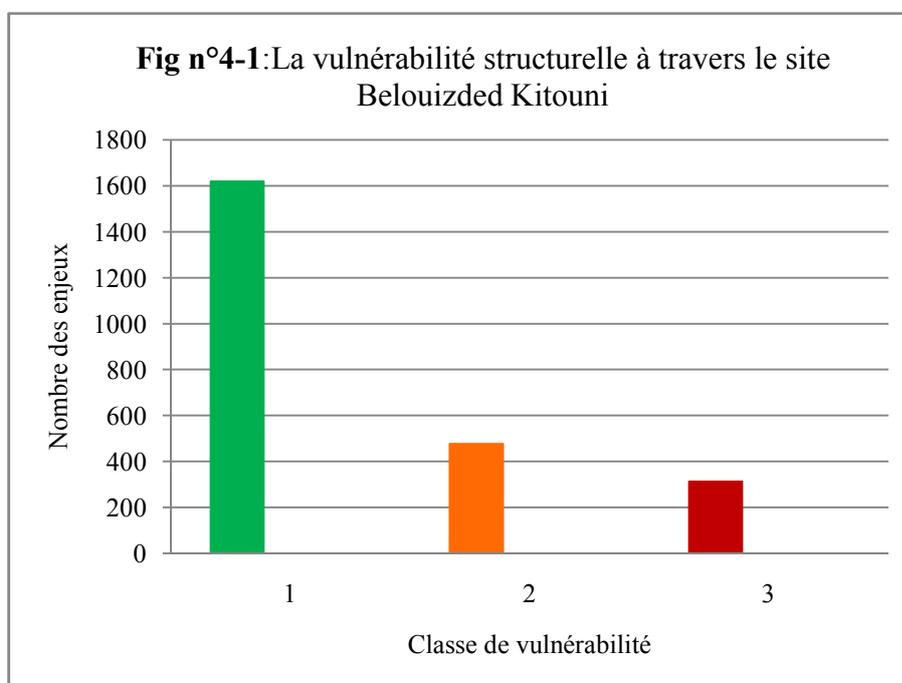
-42 constructions sont classées au bleu représentant un taux de 02%, bâtiments non visités soit par absence ou par refus d'accès de la part du propriétaire.

Belouizdad-Kitouni est classé comme un site à danger élevé, à l'intérieur comme l'extérieur des bâtiments qui présente un danger pour les personnes et deviennent inhabitables³³.

| Nature de la construction | Classe 1 | Classe 2 | Classe 3 | Total |
|-----------------------------------|-------------|------------|------------|-------------|
| Habitations Bâtiments | 1572 | 473 | 306 | 2351 |
| Bâtiments Administratifs | 12 | 00 | 00 | 12 |
| Equipements Scolaires | 09 | 01 | 01 | 11 |
| Equipements Hospitaliers | 01 | 00 | 00 | 01 |
| Equipements Sportifs ou Culturels | 01 | 00 | 00 | 01 |
| Autres | 24 | 03 | 06 | 33 |
| Total | 1619 | 477 | 313 | 2409 |
| % | 66 | 19 | 13 | 98 |

Source : ARCADIS-EEG-SIMECSOL(2004)

Tableau n°4-1 -Récapitulatif des dommages du Site Belouizdad-Kitouni



Source : MEZHOUD. L

³³ DUC-ARCADIS-EEG-SIMECSOL(2003):Etude des glissements de terrain de la ville de Constantine,rapport d'expertise bâtis, site Belouizdad-Kitouni

Nous pouvons enregistrer aussi le bilan suivant pour chaque partie du site :

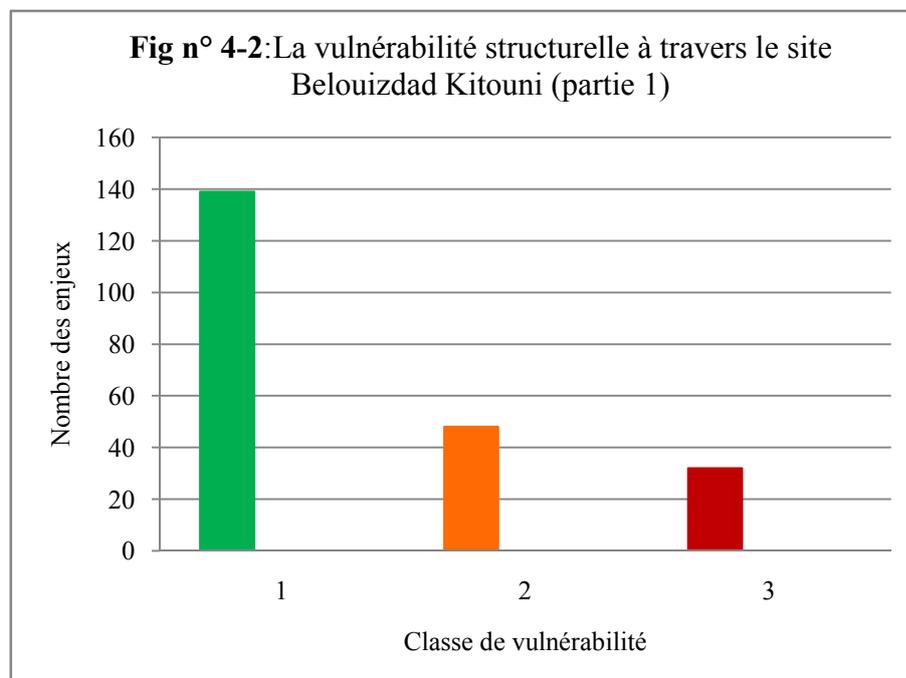
-Partie 1

- 139 constructions expertisées sont classées au vert représentant un taux de 63% (Classe 1).
- 48 constructions sont classées en orange représentant un taux de 22% (Classe 2).
- 32 constructions sont classées au rouge représentant un taux de 14% (Classe 3).
- 03 constructions sont classées au bleu représentant un taux de 01%.

| Nature de la construction | Classe 1 | Classe 2 | Classe 3 | Total |
|------------------------------|----------|----------|----------|-------|
| Habitations Bâtiments | 137 | 47 | 31 | 215 |
| Autres | 02 | 01 | 01 | 04 |
| Total | 139 | 48 | 32 | 219 |
| % | 63 | 22 | 14 | 99 |

Source : ARCADIS-EEG-SIMECSOL(2004)

Tableau n°4-2:Récapitulatif des dommages du site Belouizdad-Kitouni (Partie 1)



Source: MEZHOUD. L

-Partie 2

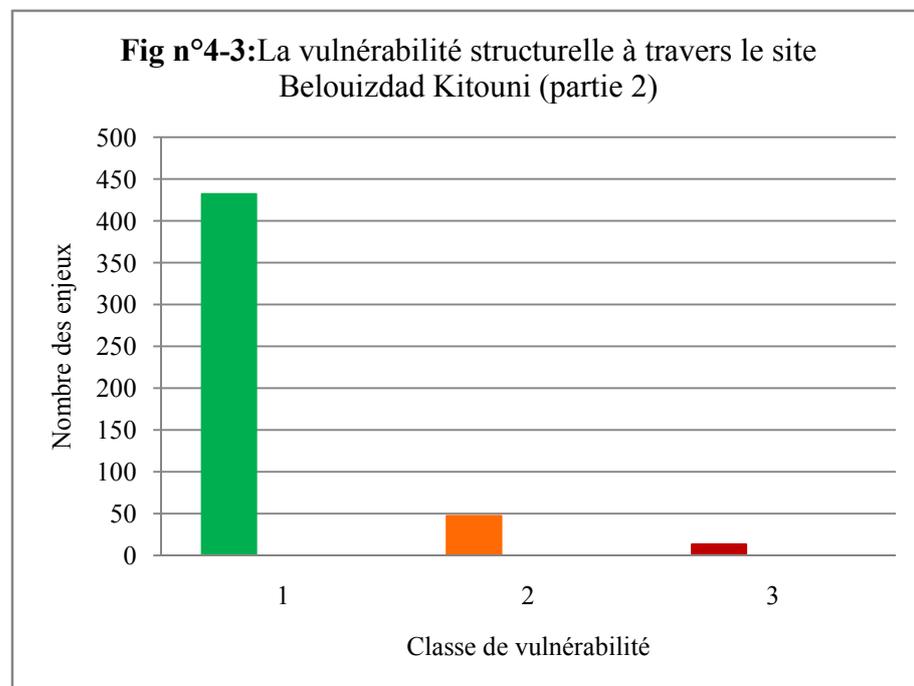
- 432 constructions expertisées sont classées au vert représentant un taux de 88% (Classe 1).
- 47 constructions sont classées en orange représentant un taux de 09% (Classe 2).
- 13 constructions sont classées au rouge représentant un taux de 03% (Classe 3).

| Nature de la construction | Classe 1 | Classe 2 | Classe 3 | Total |
|---------------------------------|----------|----------|----------|-------|
| Habitations Bâtiments | 428 | 47 | 13 | 488 |
| Bâtiments Administratifs | 01 | 00 | 00 | 01 |
| Autres | 03 | 00 | 00 | 03 |
| Total | 432 | 47 | 13 | 492 |
| % | 88 | 09 | 03 | 100 |

Source : ARCADIS-EEG-SIMECSOL(2004)

Tableau n°4-3:Récapitulatif des dommages du site Belouizdad-Kitouni (Partie

2)



Source : MEZHOU.D.L

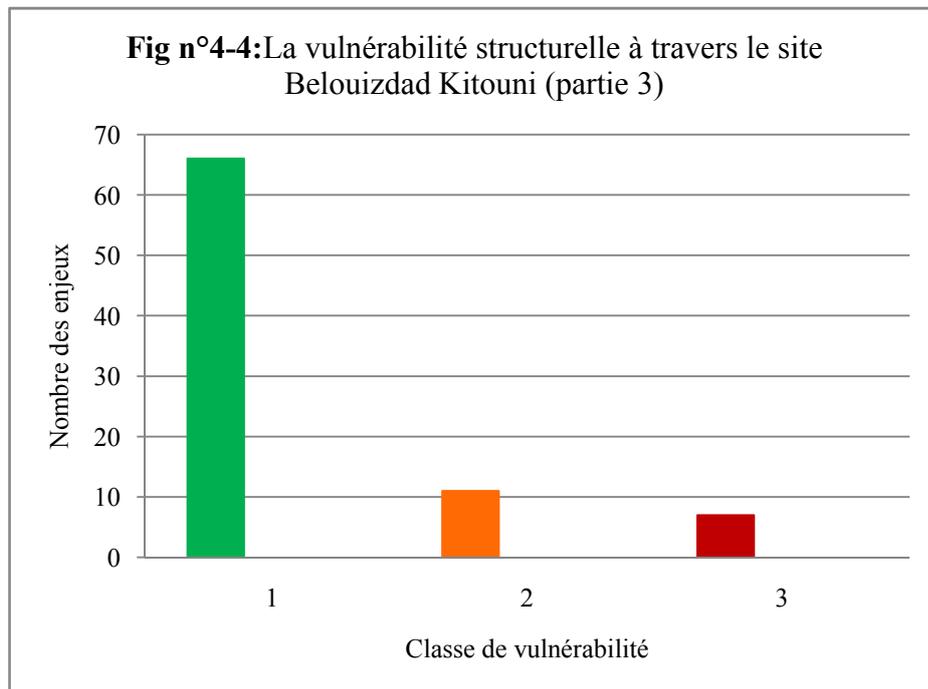
-Partie 3

- 66 constructions expertisées sont classées au Vert représentant un taux de 78% (Classe 1).
- 11 constructions sont classées en orange représentant un taux de 13% (Classe 2).
- 07 constructions sont classées au rouge représentant un taux de 08% (Classe 3).
- 01 constructions sont classées au bleu représentant un taux de 01%

| Nature de la construction | Classe 1 | Classe 2 | Classe 3 | Total |
|---------------------------|----------|----------|----------|-------|
| Habitations Bâtiments | 65 | 11 | 07 | 83 |
| Autres | 01 | 00 | 00 | 01 |
| Total | 66 | 11 | 07 | 84 |
| % | 78 | 13 | 08 | 99 |

Source : ARCADIS-EEG-SIMECSOL(2004)

Tableau n°4-4:Récapitulatif des dommages du site Belouizdad-Kitouni (Partie 3)



Source : MEZHOUD. L

-Partie 4

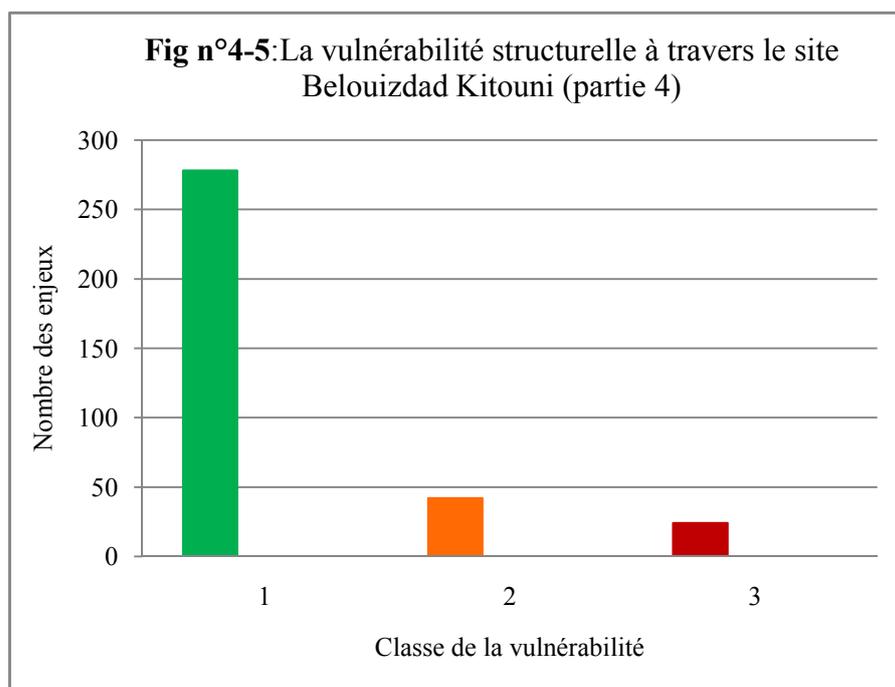
- 278 constructions expertisées sont classées au Vert représentant un taux de 76% (Classe 1).
- 42 constructions sont classées en orange représentant un taux de 12% (Classe 2).
- 24 constructions sont classées au rouge représentant un taux de 07% (Classe 3).
- 21 constructions sont classées au bleu représentant un taux de 05%.

Les bâtiments non visités soit par absence ou par refus d'accès de la part du propriétaire, malgré deux à trois tentatives.

| Nature de la construction | Classe 1 | Classe 2 | Classe 3 | Total |
|---------------------------------|----------|----------|----------|-------|
| Habitations Bâtiments | 267 | 42 | 24 | 333 |
| Bâtiments Administratifs | 01 | 00 | 00 | 01 |
| Equipements Scolaires | 06 | 00 | 00 | 06 |
| Equipements Hospitaliers | 01 | 00 | 00 | 01 |
| Autres | 03 | 00 | 00 | 03 |
| Total | 278 | 42 | 24 | 344 |
| % | 76 | 12 | 07 | 95 |

Source : ARCADIS-EEG-SIMECSOL(2004)

Tableau n°4-5 : Récapitulatif des dommages du site Belouizdad-Kitouni (Partie 4)



Source : MEZHOU.D. L

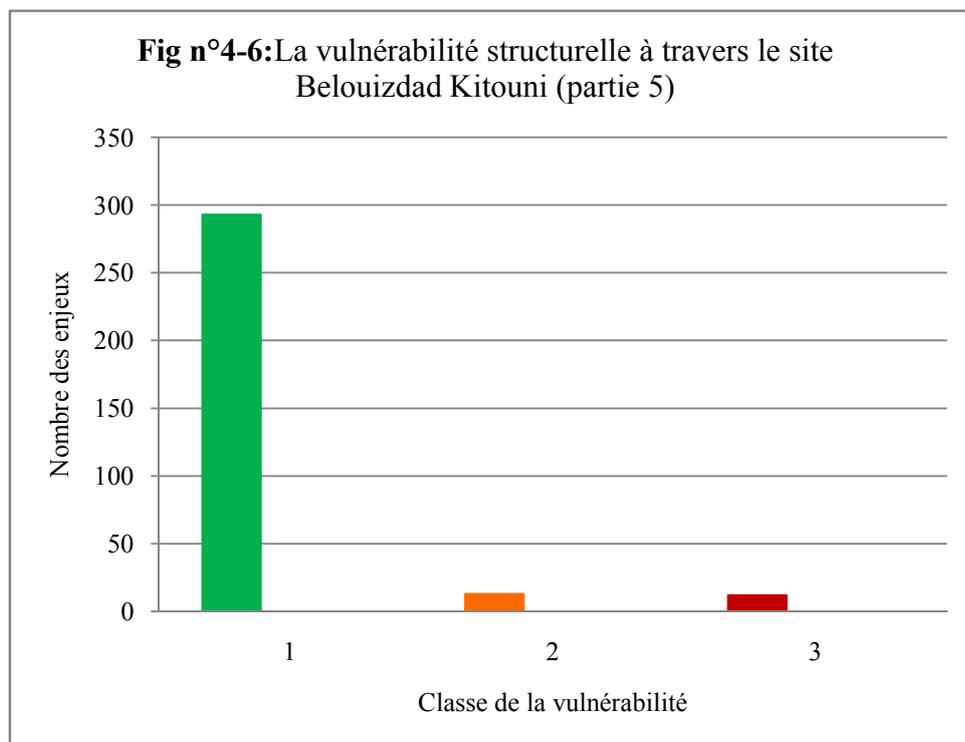
-Partie 5

- 293 constructions expertisées sont classées au vert représentant un taux de 90% (Classe 1).
- 13 constructions sont classées en orange représentant un taux de 04% (Classe 2).
- 12 constructions sont classées au rouge représentant un taux de 04% (Classe 3).
- 05 constructions sont classées au bleu représentant un taux de 02%.

| Nature de la construction | Classe 1 | Classe 2 | Classe 3 | Total |
|---------------------------------|----------|----------|----------|-------|
| Habitations Bâtiments | 273 | 13 | 12 | 298 |
| Bâtiments Administratifs | 08 | 00 | 00 | 08 |
| Equipements Scolaires | 02 | 00 | 00 | 02 |
| Autres | 10 | 00 | 00 | 10 |
| Total | 293 | 13 | 12 | 318 |
| % | 90 | 4 | 4 | 98 |

Source : ARCADIS-EEG-SIMECSOL(2004)

Tableau n°4-6:Récapitulatif des dommages du site Belouizdad-Kitouni (Partie 5)



Source : MEZHOUD. L

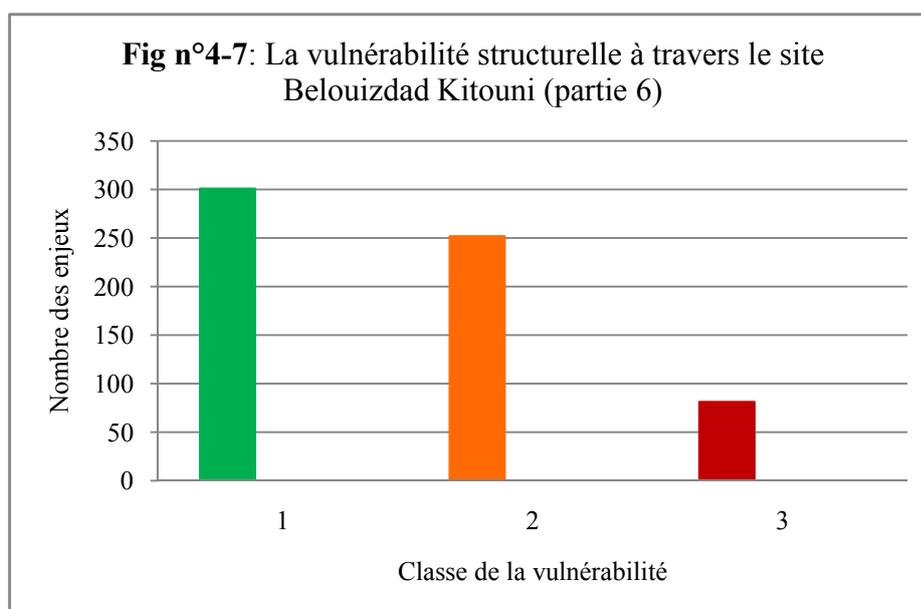
-Partie 6

- 110 constructions expertisées sont classées au vert représentant un taux de 33% (Classe 1).
- 64 constructions sont classées en orange représentant un taux de 19% (Classe 2).
- 144 constructions sont classées au rouge représentant un taux de 44% (Classe 3).
- 12 constructions sont classées au bleu représentant un taux de 04%.

| Nature de la construction | Classe 1 | Classe 2 | Classe 3 | Total |
|---------------------------------|----------|----------|----------|-------|
| Habitations Bâtiments | 297 | 251 | 80 | 628 |
| Bâtiments Administratifs | 01 | 00 | 00 | 01 |
| Equipements Scolaires | 00 | 00 | 01 | 01 |
| Autres | 03 | 01 | 00 | 04 |
| Total | 301 | 252 | 81 | 634 |
| % | 47 | 40 | 13 | 100 |

Source : ARCADIS-EEG-SIMECSOL(2004)

Tableau n°4-7:Récapitulatif des dommages du site Belouizdad-Kitouni (Partie 6)



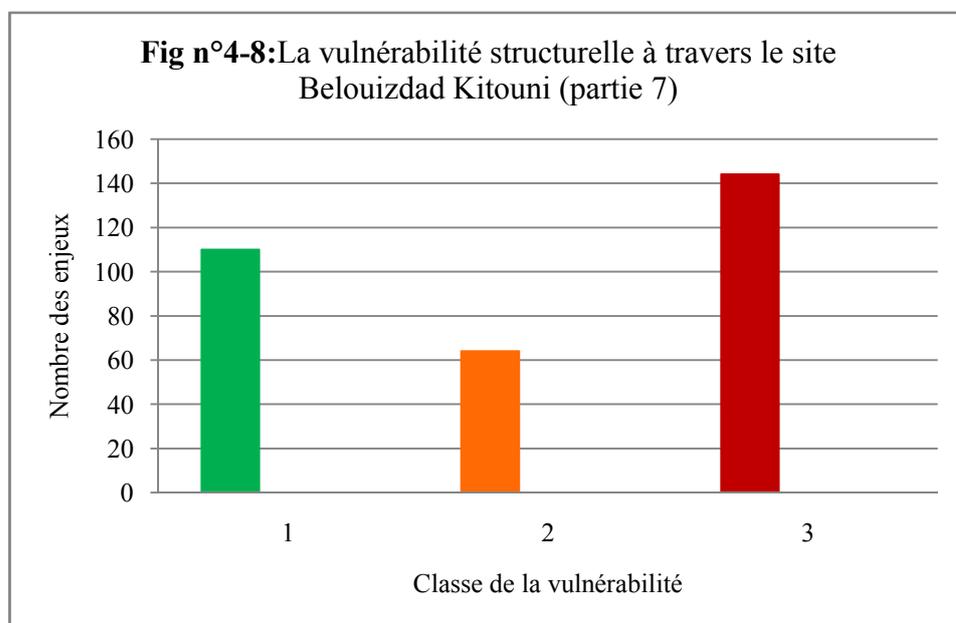
-Partie 7

- 301 constructions expertisées sont classées au vert représentant un taux de 47% (Classe 1).
- 252 constructions sont classées en orange représentant un taux de 40% (Classe 2).
- 81 constructions sont classées au rouge représentant un taux de 13% (Classe 3).

| Nature de la construction | Classe 1 | Classe 2 | Classe 3 | Total |
|--|----------|----------|----------|-------|
| Habitations Bâtiments | 105 | 62 | 139 | 306 |
| Bâtiments Administratifs | 01 | 00 | 00 | 01 |
| Equipements Scolaires | 01 | 01 | 00 | 02 |
| Equipements Sportifs ou Culturels | 01 | 00 | 00 | 01 |
| Autres | 02 | 01 | 05 | 08 |
| Total | 110 | 64 | 144 | 318 |
| % | 33 | 19 | 44 | 96 |

Source : ARCADIS-EEG-SIMECSOL(2004)

Tableau n°4-8:Récapitulatif des dommages du site Belouizdad -Kitouni (Partie 7)



Source: MEZHOUD. L

4-1-2-Le pont Sidi Rached

4-1-2-1-Histoire des désordres

Le pont Sidi Rached sur oued Rhumel construit entre (1908-1912), ce pont est l'un des ouvrages principaux de la ville, puisqu'il assure le passage des véhicules de la partie Ouest à la partie Est.

En 1910, à la suite d'un hiver pluvieux, des fissurations verticales apparaissent dans la culée Est et dans l'anneau aval de la première voûte, ces désordres sont attribués à une poussée des terres consécutive à un mauvais drainage des marnes et un drainage de la fondation par puits et galerie est mis en œuvre.

Les désordres se poursuivent est en 1922, des témoins pour suivre les fissures étaient posés et on constatait un drainage superficiel.

La campagne de reconnaissance des sols lancée en 1938, montre que la culée Est et les deux piles avoisinantes sont fondées sur les marnes surmontant une couche massive de calcaire.

En 1941, l'ampleur des désordres nécessite d'adopter des mesures de consolidation : des pieux inclinés ancrés dans le calcaire, sont réalisés pour poser les piles sur ce substratum plus stable.

Les derniers rangs de piles et la culée sont consolidés par des forages injectés, des poutres en béton armé sont installées entre les piles et la culée et les fissures sont injectées.

À la suite du séisme de 1947, qui ébranla la région de Constantine, ce qui a conduit à l'évolution des fissures existantes sur les trois groupes de piles, par conséquent, les mesures topographiques de surveillance du pont débutent en 1954, d'où à l'époque les importants travaux entrepris : un remplacement de la première voûte par un arc en béton armé à trois articulations, transformation de la deuxième voûte en culée par remplissage en béton armé, ancré à 1,5 m dans le calcaire, et la mise en place de butons à mi-hauteur équipés de vérins de réglage, exécution de forages horizontaux pour drainer le massif derrière la culée et les déformations enregistrées étaient capables d'absorber un déplacement horizontal de 30 cm environ.

Une conduite d'eau potable de 400 mm de diamètre se rompt en mai 1979, des quantités importantes d'eau se déversent sur le talus surplombant la plate forme des chemins de fer, et durant le même mois, un glissement apparaît sur le talus de déblai dans la gare, et en juin, l'arc à trois articulations de la première voûte se rompt, par ailleurs aucun désordre significatif n'est observé dans la structure du pont.

Une campagne de sondages et d'essais en place et en laboratoire est lancée, les mesures de confortements adoptées, consistent à remplacer la voûte par une poutraison métallique reposant, côté culée sur des pieux verticaux ancrés dans le calcaire.

En 1992 des déplacements se poursuivent au niveau du pont par :

- Un déplacement longitudinal du tablier et un écrasement du béton de la dalle ;
- Le joint de dilatation côté pile est endommagé ;
- Des fissures au niveau du mur garde-grève sont apparues ;

Les travaux de réparation de 1994 consistent à :

- Démolir la dalle au niveau du joint de dilatation ;
- Rétablir le joint entre le mur garde grève et le tablier en découpant le tablier ;
- Mettre en place un joint de type Freyssinet;
- Colmater les fissures côté pile, remettre en état le joint et reconstruire le mur garde grève, côté culée.

En 1997, à la suite d'un déplacement de la culée coté gare : écrasement des appareils d'appui, fissuration du mur garde grève, fermeture des joints de chaussée, de nouveaux travaux sont entrepris : mise en place d'un joint à grand soufflé, réfection des poutres de renforcement par TFC traitement des éclatements de béton sous dalle, reconstruction du mur garde grève remplacement des appareils d'appui abîmés.

Des questions se posent sur la nature de glissement, souvent l'hétérogénéité du sol d'assise des fondations été conçue comme l'un des causes pour expliquer ces désordres de ce « glissement local », seul Paulsen dans un rapport en 1999, avance que ce glissement est « un glissement de grande ampleur ».

La culée nord en maçonnerie relative au pont sidi Rached, a été complètement désolidarisée de la structure porteuse du pont lors de la dernière intervention de réparation de 1980.

La solution retenue a consisté à remplacer l'ancienne culée en maçonnerie par une nouvelle en béton armé, fondée sur des pieux verticaux ancrés dans les calcaires compacts.

Le nouveau tablier de la travée de rive est constitué de poutres métalliques reposant sur la nouvelle culée d'une part et sur un sommier en béton armé aménagé en tête de la pile avoisinante d'autre part, compte tenu de ce qui précède, il en résulte ce qui suit :

La culée nord en maçonnerie affectée par les désordres ne joue aucun rôle porteur pour la stabilité du pont, mais elle assure le rôle de mur de soutènement.

Elle pourrait être uniquement soumise aux actions suivantes son poids propre, poussées des terres et des eaux éventuelles, effets de tassement ou de gonflement des sols de fondation, effets d'un glissement de terrain éventuel de la zone, présence des surfaces potentielles de glissement, effets dus aux vibrations résultant du trafic routier ou ferroviaire, mais la culée a été déconnectée du tablier.

En effet l'effet dû aux vibrations du trafic ferroviaire pourrait avoir une influence à cause du nouveau schéma statique de la culée, mais la voie ferrée est distance d'une cinquantaine de mètres (50m) environ de la culée.

2-1-2-2-Identification des désordres

Il faut rappeler que depuis l'achèvement des travaux du pont, la culée nord a dû avoir une histoire assez mouvementée.

Les investigations lancées en 1994 dans le cadre de l'expertise des ponts de la ville de Constantine ont révélé des fissures légères sur la culée nord, mais les investigations menées en 1997 révèlent une évolution appréciable des fissures existantes, avec l'apparition d'autres fissures d'ouvertures importantes sur le mur en retour coté amont.

Les traces des fissures observées n'ont pas suivi les plans des joints horizontaux de la maçonnerie, mais elles se sont imposées des lignes de rupture en rompant les pierres, ce qui montre que l'effort mobilisé est appréciable.

La paillasse de la cage d'escaliers se trouve dans un état de déformation avancée, y compris le déboîtement du caniveau de surface destiné à récolter les eaux de ruissellement.

Les suintements des eaux qui se sont infiltrées à travers les orifices au droit des descentes, sont de nature à provoquer les dégradations dans les joints en mortier de la maçonnerie, ainsi que les déformations dans les deux joints de chaussée se traduisant par un décalage de niveau, attestant une évolution certaine dans les désordres affectent l'ouvrage.

Le rapport d'expertise a mentionner que des désordres par fissurations, déformations étaient détecter dans le corps de la culée plus précisément dans la septième arche, sont en train de prendre des proportions alarmantes, cela est du a l'humidité du terrain avoisinant la culée³⁴.

³⁴:DUC-ARCADIS-EEG-SIMECSOL(2003):Etude des glissements de terrain de la ville de Constantine.Rapport d'expertise bâtis, pont Sidi Rached et chemin forestier



Source : ARCADIS-EEG-SIMECSOL(2004)

Photo n°4-4:Le pont de Sidi Rached en rive droite du Rhumel



Source : ARCADIS-EEG-SIMECSOL(2004)

Photo n°4-5:Fissuration de la culée Est du pont de Sidi Rached
voûte fissurée, sectionnée en clé



Source : ARCADIS-EEG-SIMECSOL(2004)

Photo n°4-6 : Dégradation de maisons et de murs de soutènement côté
aval du pont de Sidi Rached.



Source : ARCADIS-EEG-SIMECSOL(2004)

Photo n°4-7: Mur en béton armé, fissuré et basculé en aval de la culée du pont de Sidi Rached.

4-1-2-1-3-Les causes probables des désordres

La recherche des causes des désordres est une opération indispensable pour le choix d'une solution de réparation fiable et durable.

Les désordres observés sont dus essentiellement à l'effet ou aux effets simultanés des actions énumérées précédemment agissant sur la culée et dont le schéma statique initial a été complètement modifié suite à la dernière réparation.

En effet, l'éventualité d'un glissement généralisé du terrain, n'aurait engendré aucun désordre dans la culée, car elle subirait uniquement un déplacement d'ensemble, pour l'étude des effets des diverses actions agissant sur la culée, nous envisageons successivement les cas suivants :

-1^{er} Cas : Poussées des Terres et des Eaux.

Il est à noter qu'un réseau de drainage de la zone a été déjà réalisé par le passé ayant pour but :

- Réduire les poussées des eaux par la diminution des pressions interstitielles.
- Réduire le risque de glissement au niveau des surfaces potentielles en augmentant le taux de cisaillement résistant.

Mais il ne faut pas perdre de vue qu'un sol argileux ne se draine pas par simple gravité, les drains risquent de se colmater et constituer souvent des réserves d'eau qui vont accélérer l'apparition et la gravité des désordres.

La surveillance et l'entretien du réseau de drainage sont indispensables pour éviter le risque d'apparition des phénomènes d'instabilité dans cette zone.

-2^{ème} Cas : Tassement Localisé Coté Amont.

L'examen des études de sol (sondages) réalisée en 1980, fait ressortir que les appuis du pont sidi Rached ont été fondés sur des formations géologiques différentes.

La culée nord et les deux piles avoisinantes ont été fondées sur des schistes marneux, fragiles, altérés, perméables et très sensibles aux eaux.

Les schistes marneux ont des caractéristiques mécaniques faibles et sont sujets à des tassements ou des gonflements : la présence en forte proportion de montmorillonite est connue pour son caractère hydrophile, pouvant provoquer des gonflements.

Pour les autres appuis, leurs fondations ont été ancrées dans les calcaires turoniens assez compacts et peu fissurés où les déplacements sont pratiquement impossibles.

Il est intéressant de remarquer que les désordres affectant par le passé, la culée nord, n'ont provoqué aucune dégradation grave dans sa structure, ce qui montre que la culée a été soumise uniquement à un mouvement d'ensemble.

L'étude de sol réalisée en février 1980, signale la présence de cavités au niveau de la culée nord en partie amont.

Le dernier rapport effectué par CTC-EST considérait que « l'affaissement du sol s'est produit en entraînant des tassements différentiels, d'où ce phénomène intéresse l'ensemble des couches de sol de fondation mais les effets du tassement seront plus prononcés coté amont en raison de la présence des cavités.

La difficulté réside dans l'estimation du phénomène de consolidation, dans le cas où l'équilibre serait atteint, la stabilité de la culée est assurée, dans le cas contraire, le phénomène de consolidation se poursuit dans le temps et des désordres importants seraient à craindre, l'hypothèse d'un tassement localisé coté amont parait la plus possible » est tenu comme hypothèse pour expliquer le phénomène de l'instabilité.

4-2-L'apparition des désordres à travers l'urbanisation planifiée

4-2-1-Site Boussof

La mission expertise du bâti du secteur Boussof, menée par le CTC-EST dans le cadre des glissements de terrain de la ville de Constantine a été faite suivant deux phases.

La première a été consacrée aux levés de désordres accompagnés de photos, la deuxième à un traitement des zones concernées, les constructions ont été classées selon leur degré de dégradation.

Ce secteur n'a pas fait l'objet d'expertises antérieures, c'est donc pour la première fois que cette zone a été expertisée.

4-2-1-1-Lotissement Boussof

4-2-1-1-1-Repérages des désordres apparents

C'est un quartier résidentiel abritant des habitations privées, elles sont conçues en portiques ordinaires avec un remplissage en maçonnerie, aucun désordre apparent sur les constructions pouvant présenter un danger sur la sécurité des personnes et de l'ouvrage.

Néanmoins, nous signalons quelques désordres légers apparus au niveau des cages d'escaliers du CEM Moussa Chaâbane où des descellements de la maçonnerie au droit de la jonction des poteaux et des poutres, liés à l'adhérence.

L'école Laidi Khélifa est traversée par un lit d'oued asséché, au niveau de la cour à proximité du mur de clôture et pouvant présenter un risque de débordement des eaux pouvant inonder une partie de l'établissement.

4-2-1-1-2-Evaluation et analyse des causes des dommages

Il s'agit de rechercher les causes qui sont à l'origine des désordres observés.

1-Causes naturelles

Propriétés caractéristiques du terrain

On peut rencontrer divers problèmes liés à la nature des sols.

- Présence d'argiles gonflantes.
- Présence d'eaux et sols agressifs.
- Présence des pentes instables.

Systeme de fondations

- Il s'agit de constructions légères.
- La structure est fondée sur des massifs ancrés superficiellement dans la couche de remblai d'épaisseur 2,0 m environ.
- La liaison périphérique des massifs est assurée par des longrines en béton armé
- Les dimensions des massifs de fondations sont inconnues par absence des plans d'exécution.
- Les désordres observés au niveau des fondations se réduisent uniquement aux affaissements ponctuels des alentours extérieurs.

Dallage

- On n'a pas relevé de désordres apparents sur les dallages.
- On n'a pas remarquée l'existence du réseau de drainage périphérique, malgré l'importance de la pente du terrain et le débit des eaux de ruissellement durant la période hivernale
- La circulation des eaux provient des fuites des canalisations engendrant des conséquences graves sur la dégradation des caractéristiques physicomécaniques des argiles.
- On doit éviter les variations différentielles de teneur en eau par collecte et évacuation des eaux de pluie.
- Réalisation des trottoirs imperméables
- On doit aussi éviter des plantations à proximité des fondations
- Eviter toute arrivée accidentelle d'eau sous les fondations, car l'humidification accidentelle du sol peut provoquer le soulèvement des fondations.

2-Causes structurelles

-Superstructure

Il existe deux types de conception des chalets :

- La première conception en portiques : poteaux et fermes en acier
- La deuxième conception en portiques : poteaux en B.A et fermes en acier
- Les détails de liaison des poteaux en B.A avec les fermes nous permettent d'estimer les effets de la dilatation de ces dernières et d'apprécier par la suite les conséquences sur les panneaux en maçonnerie.

On n'a observé aucun désordre apparent sur la structure porteuse. Par ailleurs, les constructions étant légères de masse faible, générant des sollicitations sismiques négligeables devant celles engendrées par le vent

-Toiture

La toiture est composée de fermes en charpente métallique ,les détails des assemblages entre les poteaux avec les fermes, ainsi que, les fermes avec les cloisons ne sont pas connues par absence des plans d'exécution.

On considère qu'en partie supérieure les cloisons sont bloquées perpendiculairement à leur plan et déplaçables parallèlement à ce dernier, sinon leur équilibre statique serait précaire.

Les désordres observés concernent certains chalets où sur les faux plafonds se sont apparues des traces d'humidité.

Ces traces d'humidité sont dues probablement au phénomène de condensation dans le comble entre la couverture et le faux plafond.

- Absence du complexe d'étanchéité.
- Pas de pare vapeur.
- Pas d'isolation thermique.

-Murs extérieurs-cloisons

Les murs extérieurs sont exécutés sur des longrines, mais les cloisons sont posées directement sur le dallage

Au sommet, les cloisons sont supposées en contact avec les éléments métalliques de la toiture, sinon leur équilibre statique serait précaire

Les murs extérieurs et les cloisons ont été fissurés, avec le plus souvent des ouvertures des fissures importantes dans les cloisons

D'après les renseignements recueillis sur place, l'évolution de la fissuration de ces éléments suit le cycle saisonnier, en fonction de l'alternance des périodes humidification /dessiccation du terrain

-Effets des actions du sol sur les panneaux de maçonnerie

Les principaux désordres sont observés essentiellement dans les cloisons et peu dans les murs extérieurs. Compte tenu de leur rigidité de flexion leur plan et leur caractère fragile vis à vis des sollicitations de traction et de cisaillement, les panneaux sont sujets au phénomène de fissuration en croix suivant les diagonales.

En général, les fissures apparaissent dans les murs et les cloisons en maçonnerie lorsque les deux extrémités subissent l'une par rapport à l'autre une dénivellation comprise entre (1/500 - 1/1000) de distance séparant les deux extrémités.

Dans le cas présent, la trame étant de 4,0 m environ, donc les fissures apparaissent dans les murs pour des tassements différentiels compris entre 4 mm à 8 mm, ce qui montre la sensibilité des panneaux aux déformations.³⁵

-Effets du tassement et soulèvement du dallage

Les cloisons posées sans support résistant sur le dallage et solidaires en partie supérieure aux éléments métalliques de la toiture seraient soumises à des sollicitations de compression suite à des mouvements du dallage. Les fissures observées dans les cloisons pourraient résulter de ces déplacements alternés.

-Effets de la dilatation de la toiture

Comme les deux matériaux acier et maçonnerie n'ont pas le même coefficient de dilatation, la liaison entre ces deux matériaux sera le siège à des efforts parasites de cisaillement qui provoqueront des fissures dans les cloisons.

3-Effet du séisme

Dans l'ensemble, il s'agit de constructions légères, la ville de Constantine est classée en zone II du point de vue sismicité selon la réglementation en vigueur, ces constructions ne peuvent présenter un risque majeur d'effondrement sous sollicitation sismique.

³⁵ : ARCADIS-EEG-SIMECSOL-DUC(2003):Etude des glissements de terrain de la ville de Constantine, rapport d'expertise bâtis site Boussouf et Zaouch

4-2-1-1-3-Evaluation des dommages

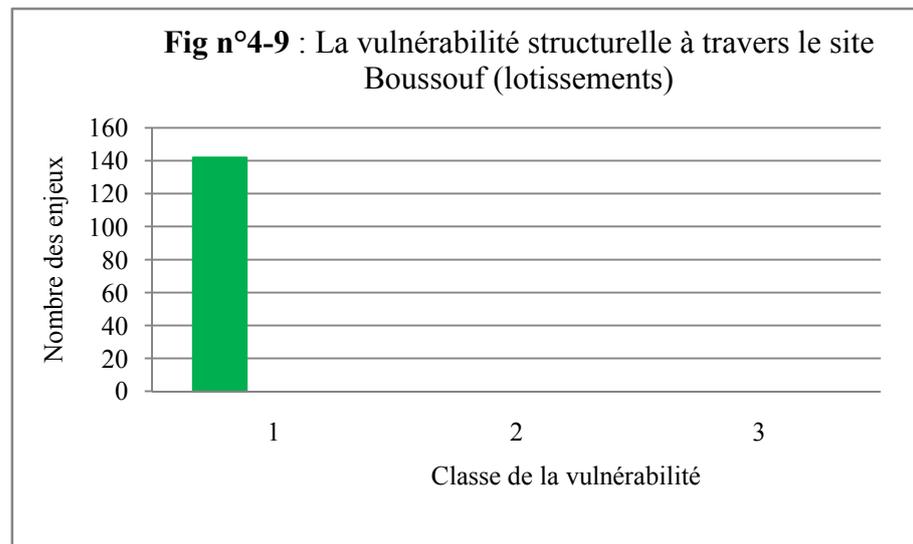
L'expertise a porté sur 601 constructions diverses portés sur la carte relative à la répartition des dommages, les constructions expertisées sont classées au vert dans l'ensemble. Nous pouvons enregistrer le bilan suivant:

- 142 constructions expertisées sont classées vert représentant un taux de 100% (Classe 1), c'est à dire considérées comme n'ayant subi aucun dommage ou des dommages légers.
- 00 constructions qui représentent un taux de 0% ont été classés orange (classe 2),
- 00 constructions sont classées rouge représentant un taux de 0% (Classe 3)³⁶.

| Nature de la construction | Classe 1 | Classe 2 | Classe 3 | Total |
|------------------------------|----------|----------|----------|-------|
| Habitations Bâtiments | 142 | 00 | 00 | 142 |
| Equipements Scolaires | 02 | 00 | 00 | 02 |
| Total | 142 | 00 | 00 | 142 |
| % | 100 | 00 | 00 | 100 |

Source : ARCADIS-EEG-SIMECSOL(2004)

Tableau n°4-9:Récapitulatif des dommages du lotissement Boussouf



Source : MEZHOUD. L

³⁶: ARCADIS-EEG-SIMECSOL-DUC(2003):Etude des glissements de terrain de la ville de Constantine ,rapport d'expertise bâtis site Boussouf et Zaouch



Source : ARCADIS-EEG-SIMECSOL(2004)

Photo n° 4-8 : Retenue d'eau d'origine diverse au pied du glissement a Boussouf



Source : MEZHOUD,L, (2011)

Photo n°4-9 : Fissure verticale au niveau d'un mur de soutènement à Boussouf



Source :MEZHOUD,L . (2011)

Photo n°4-10 : Versant instable : morphologie ondulé
cela traduit le mouvement en fluage

4-3-Les désordres enregistrés dans l'urbanisation parallèle et spontanée

4-3-1-Site Benchergui

Le site de Benchergui est connu par sa déclivité car il est sur un versant de grande étendue l'âge de ses constructions varie entre 15 et 45 ans, l'accès aux fondations de ces constructions est impossible.

Le seul rapport établie par CTC-Est dans le cadre de l'étude sur les glissements de terrain en 2004, a conclue que le système des fondations est conçu en semelles isolées, alors que les planchers sont en dalle pleine et d'autres sont en corps creux.

La majorité des maisons sont des constructions basses (de 1 à 3 niveaux), des modifications ont eu lieu durant la vie de ces constructions se traduisant par des aménagements, des extensions en hauteur, des créations des locaux commerciaux et des extensions en plan. Ainsi que l'aménagement extérieur (voiries,trottoirs) et l'évacuation des eaux pluviales et de ruissellement (avaloirs) ne sont pas réalisés.

Ces facteurs aggravent le phénomène glissement du coté aval du site,la zone susceptible d'être instable est le terrain situé en aval de la cité Benchergui,il présente des trajectoires possibles de glissement délimitant des périmètres de danger ³⁷.

4-3-1-1-Evaluation et analyse des causes des dommages

1-Causes naturelles

Les principales causes des désordres sont :

- La nature du terrain de grande déclivité ayant favorisé l'effet de glissement et la nature du sol constitué d'argile accentuant les mouvements des terres.
- La présence d'un oued en bas de talus provoquant les éboulements des terres surtout pendant les périodes pluviales, les venues d'eaux anarchiques et accidentelles pendant les grandes pluies.
- La défaillance du réseau d'évacuation des eaux usées et pluviales (assainissement), à cause de sa vétusté, a imbibé le sol d'une manière importante.

2-Causes Structurelles

-Constructions en poleax poutres

- Rigidité insuffisante devant le glissement de terrain.
- Désorganisation du dallage (cycle alterné de tassement, gonflement et déplacement).

³⁷:DUC-ARCADIS-EEG-SIMECSOL(2003):Etude des glissements de terrain de la ville de Constantine,Rapport d'expertise bâtis-Site Boudraa Salah-

-Mauvaise conception architecturale et structurale (irrégularité en plan, en élévation, dissymétrie du contreventement, mauvaise conception des zones nodales.

-Constructions en bidonvilles

-La vétusté et le délabrement des gourbis, enchevêtrés l'un dans l'autre sans aucune voie de circulation.

-Les réseaux des eaux usées et eaux pluviales sont inexistant; vu l'état des écoulements des eaux qui sont à ciel ouvert.

3-Effet sismique

En raison de l'irrégularité et de l'insuffisance d'un système structural composé d'ossatures à nœuds rigides, et vu que ces constructions ont été réalisées illicitement et sans aucune étude technique, le risque d'effondrement sous sollicitations sismiques n'est pas à écarter cependant un renforcement du système structural adéquat s'avèrerait nécessaire

4-3-1-2-Bilans des dommages

L'expertise effectuée sur le cadre bâtis (643 constructions) a mis en relief ces résultats :

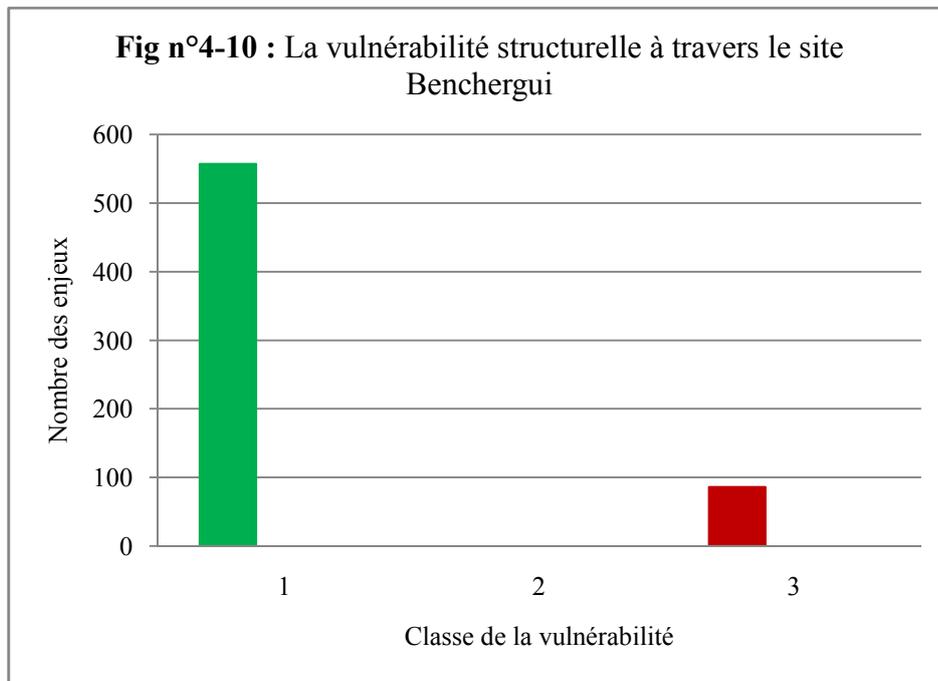
-557 constructions classées au vert représentant un taux de 86,63 % (Classe 1), c'est-à-dire considérées comme n'ayant subi aucun dommage ou des dommages légers.

-86 constructions classées au rouge représentant un taux de 13,37 % (Classe 3), constructions endommagées (condamnées).

| Nature de la construction | Classe 1 | Classe 2 | Classe 3 | Total |
|----------------------------------|----------|----------|----------|-------|
| Habitations Individuelles | 488 | 00 | 86 | 574 |
| Commerces | 67 | 00 | 00 | 67 |
| Autres (Mosquées) | 02 | 00 | 00 | 02 |
| Total | 557 | 00 | 86 | 643 |
| % | 87 | 00 | 13 | 100 |

Source : ARCADIS-EEG-SIMECSOL (2004)

Tableau n°4-10-Récapitulatif des dommages du site Benchergui



Source : MEZHOUD. L

Conclusion

A la ville de Constantine les contraintes des sites vite débordés par une croissance urbaine sans précédent, la morphologie urbaine issue de la croissance démographique rapide rend la vulnérabilité de la ville endémique, ce fait se traduit par la mauvaise qualité du bâti face aux glissements de terrain.

L'extension urbaine d'une façon anarchique et l'exode rural depuis l'indépendance, s'est effectuée en zones menacées par les glissements de terrain.

Les résultats de l'étude réalisée par Arcadis-EEG-Simecsol, met en évidence que la moitié de la ville, soit 12 zones étalées sur environ 120ha est affectée 15000 habitations abritant 100 000 personnes, sont menacées et pas moins de 1790 constructions individuelles et collectives concernés par la démolition.

Ces constructions désignées en rouge, correspondent à une zone d'interdiction, elles présentent un risque majeur d'effondrement.

Les parties ayant conservé encore la couleur orange, présentent un danger moyen ,les personnes sont en danger à l'extérieur des bâtiments mais peu à l'intérieur.

Des dégâts sont causés aux constructions, sans qu'ils n'entraînent leur destruction rapide surtout pour celles reconstruites.

Chapitre 5 : Essai de cartographie appliquée aux risques glissements de terrain à Constantine

Introduction

La cartographie est devenue un outil indispensable de la prévention des risques naturels, ses applications n'ont cessé de se développer depuis plus d'une trentaine d'années, notamment à partir des années 1980, dans les domaines de l'information préventive, de la planification de la planification et de la gestion de crise.

En effet, c'est au milieu des années 1980, que l'utilisation des SIG, s'est répandue grâce au développement d'applications commerciales et de la disponibilité des ordinateurs personnels. Ces systèmes d'informations géographiques qui au départ n'intervenaient que dans l'automatisation de certaines tâches de reproduction cartographique et de dessin assisté par ordinateur, sont maintenant des outils qui permettent de réaliser des opérations complexes d'analyses spatiales.

Aujourd'hui, l'expérience acquise nous permet de mieux cerner les besoins et d'organiser de façon plus rationnelle la complémentarité des documents dont la richesse et les niveaux multiples d'utilisation permettent de recourir à des systèmes d'informations géographiques. Ce chapitre vise à l'évaluation du risque, cela s'organise en deux étapes successives : la caractérisation de l'aléa et l'évaluation des conséquences potentielles.

La première étape consiste à évaluer l'aléa dans sa composante spatiale, en définissant la zone affectée et sa possible extension et dans sa composante temporelle, en déterminant sa probabilité d'occurrence et son intensité (Amatruda, 2004). La seconde phase consiste à déterminer la nature et l'importance des enjeux exposés (Dauphiné, 2004).

Ce chapitre présente une méthode de cartographie du risque glissement de terrain par l'utilisation de modèles d'analyse spatiale, la méthodologie comporte trois étapes successives:

- 1-L'évaluation et la cartographie de la susceptibilité par l'utilisation d'un modèle probabiliste bivariée simulant la relation entre les facteurs de contrôle de la localisation des glissements de terrain et leur distribution actuelle ;
- 2-L'évaluation et la cartographie de la vulnérabilité totale ;
- 3-L'évaluation et la cartographie du risque par la combinaison des deux cartes précédentes, la préparation des données leur simulation a été réalisée dans les environnements SIG ArcView.

Le développement considérable des SIG depuis ces dernières années a permis d'augmenter, la puissance des techniques d'évaluation et de cartographie de l'aléa et du risque.

Ce développement s'est observé principalement au niveau des méthodes quantitatives, qui requièrent des analyses plus sophistiquées que les méthodes qualitatives, les premières applications simples datent des années 1970 (Aronoff, 1989).

5-1-Evaluation et cartographie d'aléa « glissement de terrain »

L'aléa correspond à la probabilité d'occurrence spatiale (*susceptibilité*) en relation avec les paramètres environnementaux directs tels que : la lithologie, la pente, la fracturation...etc, et temporelle liée aux facteurs environnementaux indirects tels que : l'activité sismique, les précipitations ou même le comportement du réseau hydrographique.

Cet aléa ne peut devenir risque qu'en présence d'enjeux humains, économiques et environnementaux, possédant une certaine vulnérabilité (fragilité), par exemple, un mouvement de terrain, qui survient dans une région montagneuse déserte et non habitée ne constitue pas un risque, contrairement à celui qui se déclenche dans un secteur peuplé, qui constitue un risque majeur et peut provoquer des dommages considérables. Sur un espace donné, un aléa est plus ou moins probable et comporte une large part d'incertitude quant à son déroulement (moment, circonstances).

L'analyse scientifique de l'aléa comporte, la description de la nature du phénomène de son intensité et de sa probabilité d'occurrence.

L'évaluation de l'aléa mouvements de terrain s'effectue par l'évaluation de la susceptibilité de la zone d'étude, celle-ci est le plus souvent obtenue par l'analyse de la relation spatiale entre les mouvements de terrain et un ensemble de facteurs environnementaux supposés être responsable de leur genèse.

Une telle démarche permet de prédire les futures zones susceptibles, en essayant de trouver les aires où des combinaisons similaires de facteurs environnementaux se trouvent réunies. Nombreuses sont les méthodes et les techniques d'évaluation de la susceptibilité, ce qui fait qu'aucun accord général n'a encore été trouvé que ce soit pour les méthodes ou les échelles à utiliser pour la réalisation d'un zonage de susceptibilité aux mouvements de terrain (Brabb, 1984 ; Varnes, 1984 ; Carrara, 1989 ; Nieto, 1989; Carrara et al., 1991; Soeters et Van Westen, 1996; Van Westen et al., 1997; Aleotti et ; Chowdhury, 1999 ; Guzzetti et al, 1999 ; Crozier et Glade, 2005; Glade et Crozier, 2005, Guzzetti, 2005).

Cette absence d'accord est le plus souvent accentuée par la variabilité des techniques et outils disponibles, malgré les divergences existantes, de grands points (hypothèses) de concordance sont à souligner et constituent le fondement de la quasi-totalité des démarches.

Cependant évaluer la susceptibilité aux glissements de terrain présente un double intérêt, aussi bien scientifique que sociétal, d'un point de vue scientifique, comprendre les couplages entre ses différents processus participe à améliorer notre vision sur le comportement, l'occurrence et l'impact des glissements de terrain et donc une bonne maîtrise de leur prévention et prévision ainsi qu'une mitigation de leurs effets.

5-1-1-Les principales méthodes

L'évaluation de l'aléa s'effectue par plusieurs approches et chacune des méthodes d'analyse et de cartographie utilise des données provenant de différentes cartes des facteurs qui influencent la stabilité, ces facteurs sont divisés en plusieurs classes de façon à représenter leur variabilité dans l'espace.

Sur le plan méthodologique deux grands types d'approches peuvent être identifiées pour la cartographie de la susceptibilité et ou de l'aléa : les approches qualitatives et les approches quantitatives illustrer par la figure n°(5-1), elle regroupe les méthodes qualitatives et quantitatives.

Les premières peuvent être des approches géomorphologiques ou des approches basées sur des opérations simples d'algèbre cartographique par conséquent, les approches quantitatives sont basées sur des analyses statistiques, ou sur des modèles déterministes ou probabilistes³⁸. L'évaluation complète de l'aléa « glissements de terrain », devait prendre en considération les deux composantes temporelle et spatiale de l'aléa.

La composante temporelle correspond à la probabilité qu'un glissement de terrain se produise durant une période de temps donnée, tandis que, la composante spatiale représente la probabilité qu'un glissement de terrain se produise à l'intérieur d'une région donnée.

Cette composante doit tenir compte de deux phases du moment, les phases de rupture (i) et de post rupture (ii) :

-La première phase : c'est la phase de rupture, elle est caractérisée par la formation d'une surface de cisaillement continue dans la masse de sol (Leroueil et Locat ;1998).

-La deuxième phase: représente la phase de post-rupture, elle est caractérisée par le mouvement de masse de sol déplacé, de la rupture à l'immobilisation des débris.

³⁸:Sedan ,O ;Terrier ;M et al (2011):Scenarior département de risque mouvements de terrain : méthodologie et processus de réalisation. Rapport final, BRGM/RP-59065-FR

L'évaluation de l'aléa « glissement de terrain », s'effectue généralement à travers la susceptibilité, c'est-à-dire la possibilité, plus au moins grande qu'un glissement de terrain se produise dans une région donnée, sans intégrer la composante temporelle de l'aléa.

L'approche quantitative probabilité est rarement utilisée pour déterminer l'aléa lié aux glissements de terrain. En effet, l'évaluation de la probabilité nécessite une analyse statistique des facteurs discriminants de l'instabilité ou l'application de modèles déterministes ou probabilistes complexes.

En réalité, un effort considérable pour cartographier l'aléa « glissement de terrain », été établie au cours des dernières décennies en particulier en pays développées, cela s'explique par l'augmentation de la prise de conscience de l'impact socio-économique des risques de glissement de terrain d'une part et par l'accroissement du développement et de l'urbanisation d'autre part.

La cartographie de la susceptibilité aux glissements de terrain a connu un fort développement méthodologique depuis la fin des années 1990 et la démocratisation des SIG (Guzzetti et al., 1999 ; Chacon et al., 2006).

De nombreuses méthodes et algorithmes ont fait l'objet d'expérimentation sur des terrains différents et avec des types de phénomènes gravitaires variés. Ces méthodes de cartographie de la susceptibilité, s'appuient essentiellement sur le croisement d'un inventaire de ces relations sont ensuite généralisées afin de produire une carte de probabilité de présence future de phénomènes gravitaires.

Une des premières difficultés rencontrées est qu'il n'existe pas de méthode plus performante que les autres et que leur efficacité dépend des contextes locaux et des données d'entrée. Cependant, on peut tout de même noter une certaine robustesse des méthodes bivariées, ou des régressions logistiques qui sont actuellement très utilisées par la communauté (Thiery., 2007).

Parmi les critiques ou problèmes demeurant, certains auteurs font remarquer la persistance d'incertitudes récurrentes dans les classes de susceptibilité intermédiaires (Guzzetti et al., 2006 Van-den-Eeckhaut et al., 2009).

En effet, si certaines méthodologies peuvent produire des résultats très bien ajustés aux données d'entrée, elles sont cependant moins bonnes pour ce qui est de la prédiction (cas des réseaux de neurones dans l'étude de Rossi et al (2010).

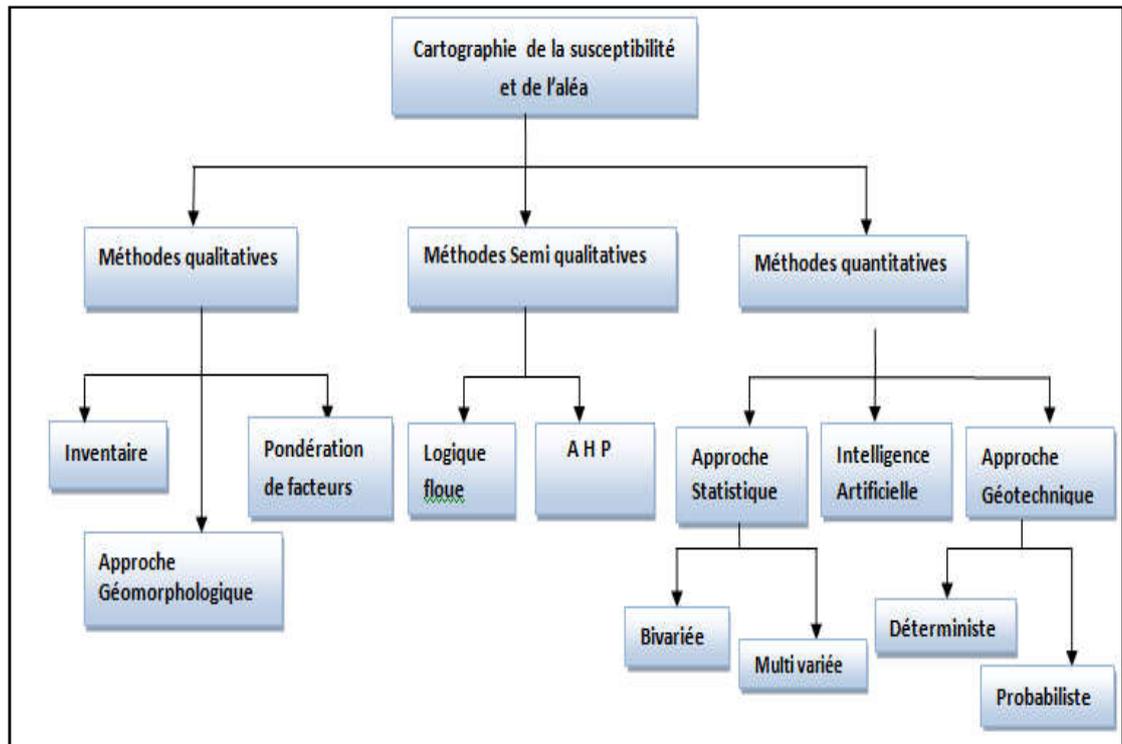


Figure n°5-1-Classification des principales approches d'évaluation de l'aléa « glissement de terrain » (tiré de Aléotti et Chowdhury 1999 et Guzzetti *et al.*, 2006.)³⁹

5-1-1-1-Méthodes qualitatives

Ces méthodes peuvent reposer sur les approches expertes ou (heuristiques), qui visent à déterminer sur le terrain la prédisposition aux glissements de terrain d'une région donnée, c'est le cas des approches essentiellement géomorphologiques.

Ainsi elles peuvent être réalisées en combinant, par des approches basées sur des opérations simples d'algèbre cartographique, des cartes de facteurs contrôlent la stabilité des talus d'une région. Selon Aleotti et al (1999), les méthodes qualitatives sont, soit directe ou semi-directe elles sont souvent très subjectives puisqu'elles font appel à plusieurs reprises au jugement régionale d'experts.

- **Approche basée sur des inventaires**

Elle constitue la source d'information de base de toute analyse spatiale, permettant de calibrer et/ou valider les modèles (Guzzetti et al., 1999), même si ceux-ci ne sont pas directement nécessaires à la construction des modèles (exemple des modèles déterministes).

³⁹Sedan ,O ;Terrier ;M et al (2011):Scenarior département de risque mouvements de terrain : méthodologie et processus de réalisation. Rapport final, BRGM/RP-59065-FR

Les informations sur la localisation des phénomènes permettent une validation du pouvoir prédictif des résultats (Santacana et al.,2003; Beguería, 2006;Guzzetti et al.,2006).

Les inventaires doivent ainsi faire l'objet d'une attention particulière, et des moyens conséquents doivent être alloués à leur réalisation, dans la mesure où seuls des inventaires de bonne qualité permettront une analyse spatiale robuste (Glade & Crozier, 2005).

À échelle large, les inventaires peuvent contenir des informations très précises sur les caractéristiques des mouvements de versant (type de phénomène, âge, état d'activité, période de retour,...etc.) et peuvent ainsi être considérés comme des formes élémentaires de cartes de susceptibilité (Thiery.,2007).

En revanche, À petite échelle, l'inventaire représenté sous forme ponctuelle peut également constituer une première approche de la cartographie de la susceptibilité, informant sur la répartition générale des phénomènes (Gibson et al.,2012).

Ces cartes se contentent de faire un état des lieux de la localisation des mouvements de versant et ne proposent pas d'informations sur la localisation potentielle d'autres phénomènes (Chacón et al., 2006 ; Fell et al., 2008a ; Kanungo et al., 2012)

- **Approche essentiellement géomorphologique**

La plus simple des méthodes qualitatives, elle repose sur l'expérience et la compétence des géologues et des géomorphologues qui permet d'identifier précisément l'aléa, cette méthode directe s'emploie à n'importe quelle échelle et peut prendre en compte de nombreux facteurs. Crozier (1984) précise les étapes indispensables qui doivent être respectées dans l'application de cette approche :

- Sélection des critères spécifiques sur lesquels repose l'évaluation de la stabilité ;
- Reconnaissance et mesure des indices d'instabilité sur le terrain ;
- Évaluation et classification de degré de stabilité ;
- Cartographie des conditions de stabilité.

Dans le cas des approches expertes, la cartographie géomorphologique ou morphodynamique constitue une des bases essentielles de l'évaluation de la susceptibilité ou de l'aléa (Kienholz, 1978;Amadesi &Vianello, 1978;Porcher & Guillope,1979).

Il est à signaler que l'avantage majeur de cette approche est la possibilité d'une évaluation rapide de la stabilité des zones observées.Cependant ses principaux inconvénients sont dans la sélection des données, les méthodes d'investigation de terrain propres à chaque expert, la nécessité de longues missions de terrain (Leroi ,1996), et la nature des facteurs pris en compte est très variée, allant de valeurs de pente à des facteurs (Aleotti et Chowdhury,1999).

Parmi les nombreux types de représentation cartographique proposés par cette approche, est celle de la procédure ZERMOS, elle fut l'une des meilleurs exemples de cette approche appliquée et développée en particulier en France depuis 1972.

- **Approche par pondération de facteurs**

Ce type d'approche nécessite l'analyse et la sélection des facteurs de prédisposition et des facteurs déclenchants de l'aléa étudié. Cela nécessite en un premier la sélection des cartes des facteurs qui influencent la stabilité des talus de la région considérée.

Ensuite, il convient d'attribuer à chaque facteur une valeur en rapport avec sa contribution dans la génération des instabilités (Aleotti et Chowdhury, 1999).

Des poids sont attribués chaque facteur, chacune de leurs classes en fonction de leur contribution à l'instabilité des talus, est cela s'effectue selon l'expérience d'expert, qui doit sélectionner les facteurs qu'il juge déterminants vis-à-vis de la stabilité des terrains.

Les cartes des poids créées sont ensuite superposés et des opérations logiques sont effectuées entre les cartes, ce qui permet d'obtenir la carte de l'aléa.⁴⁰

Chaque analyse de facteur pouvant se traduire cartographiquement, la superposition des cartes de facteurs produit une carte de zonage de l'aléa ou (carte de susceptibilité à l'aléa) (Gökceoglu et Aksu;1996), ce zonage se fait par classes, deux instables ou stables ou trois classes d'aléas à produire dans le cadre d'études de risque. (Crozier ;1984)

Ces recherches sur l'évaluation des glissements de terrain ont abouti à la création de ces cartes de facteurs qui sont devenues incontournables dans l'analyse cartographique des aléas.

L'utilisation des SIG consiste à automatiser les procédures de superposition de carte et à réaliser les opérations logiques entre celle-ci.

Ces opérations sont effectuées de façon plus efficace en format matriciel d'où ces opérations logiques sont réalisées pour chacun des pixels et les résultats sont indiqués sur une carte résultante correspondant à l'aléa «glissement de terrain », l'attribution d'une pondération aux différents facteurs contrôlant la stabilité.

5-1-1-2-Méthodes semi-quantitatives

D'autres méthodes, telles que les logiques floues sont considérées comme des méthodes semi-quantitatives (Thiery,2007).

Cette méthode permet de formaliser des règles définies par l'expert, elle garde la souplesse de l'approche experte mais, est considérée comme plus objective par le cadre formaliste qu'elle impose à son application (Poiraud,2012).

⁴⁰ Idem

De nombreux exemples d'applications des logiques floues à la cartographie de la susceptibilité aux mouvements de versant peuvent être trouvés, Bonham-Carter (1994), Ercanoglu et Gokceoglu (2002), Pradhan (2011), Thiery et al. (2013).

D'autre part, certains systèmes d'analyse hiérarchiques (AHP), peuvent être considérés comme un autre type de méthodes semi-quantitatives, notamment les systèmes de combinaison par paires (Saaty, 1980 et Vargas, 2001).

5-1-1-3-Méthode quantitatives

Les méthodes quantitatives sont plus objectives que les méthodes qualitatives puisqu'elles font moins appel au jugement d'experts.

Ces méthodes requièrent une approche théoriquement rigoureuse et parfois très complexe, elles peuvent être basées sur des analyses statistiques, ainsi que, sur des modèles déterministes ou probabilistes de l'aléa.

- **Approches Statistiques**

Les analyses statistiques autorisent la comparaison entre la répartition spatiale des mouvements de terrain repérés et les paramètres considérés comme favorables à la génération des phénomènes d'instabilité, ce qui permet, de déterminer le degré de causalité entre chaque facteur et chaque type d'instabilité. Ces méthodes cherchent à déterminer les relations probantes entre l'occurrence de mouvements de terrain et la présence de divers facteurs.

Dans un premier lieu, des poids sont attribués aux facteurs et à leurs classes à l'aide de relations statistiques établies entre la distribution spatiale des glissements de terrain et celles des facteurs.

Ensuite, l'aléa est évalué en réalisant des opérations d'algèbre cartographique entre les cartes des poids obtenues pour chaque facteur, cela conduit à adopter la notion de susceptibilité.

À l'inverse aux cartographies par pondération, les approches statistiques sont basées sur une analyse statistique, ce qui lui permet d'estimer les poids de façon plus objective et concrète.

En général, pour ces approches, c'est seulement la composante spatiale de l'aléa, qui est prise en compte.

Il est possible d'intégrer la composante temporelle dans l'analyse, en particulier, lorsqu'un lien a été établi entre certains paramètres et éléments hydrométéorologiques et l'initiation d'instabilités. Les approches statistiques peuvent être subdivisées en approche statistique bivariée ou multivariée.

-L'analyse statistique bivariée

Elle s'apparente aux approches basées sur des opérations simples d'algèbre cartographique, dans cette analyse l'attribution des poids aux classes est réalisée en fonction de la densité de glissements de terrain à l'intérieur de celle-ci.

L'analyse statistique nécessite la détermination d'une valeur seuil pour chaque facteur séparant les deux domaines de susceptibilité.

Les valeurs nominales des facteurs sont converties en valeurs numériques suivant la densité de mouvement de terrain relevée au niveau de chaque unité de terrain. Selon Aleotti et Chowdhury (1999), les étapes suivantes sont indispensables dans une analyse statistique bivariée:

- Identification et préparation des cartes des facteurs qui contrôlent la stabilité;
- Établissement de la carte de localisation des glissements de terrain;
- Superposition de la carte glissements de terrain aux cartes des facteurs;
- Attribution d'un poids à chacune des classes de chacun des facteurs en fonction de la densité de glissements de terrain;
- Attribution d'un poids à chacun des facteurs selon l'expérience régionale d'experts ;
- Calcul et cartographie de l'aléa par des opérations d'algèbre cartographique entre les cartes des facteurs pondérés;

Un certain degré de subjectivité est associé à ce type d'approche, particulièrement à la cinquième phase où l'attribution des poids des paramètres est réalisée selon le jugement d'experts.

Il est à signaler que ces méthodes sont qualifiées comme des approches plus objectives que les méthodes qualitatives. En revanche, il est à signaler que dans ce type d'analyse, les conditions critiques propices à la génération d'instabilités sont facilement définissables.

-L'analyse multivariée

Elle permet l'emploi de plusieurs variables, l'analyse statistique qui s'ensuit se fait via une analyse discriminante dans le cas de variables discontinues, ou une analyse régressive pour les variables nominales ou continues.

Il est nécessaire dès le début de cette méthode de sectionner une unité de terrain adéquat à l'évaluation de l'aléa « glissement de terrain », pour la région considérée.

D'après Hansen (1984) : « l'unité est une portion de terrain présentant des caractéristiques topographiques, géologiques hydrographiques, homogènes différentes des zones adjacentes.

Ce qui conduit ensuite à la création « d'unités cartographiques » pour permettre par la suite le zonage des indices de susceptibilité aux mouvements ».

En réalité dans les premières applications, les unités de terrain étaient des éléments de surface de dimensions variant avec la dimension de la région. Par la suite, les unités ont été définies sur des bases morphométriques (Aleotti et Chowdhury;1999).

Ainsi les unités cartographiques peuvent intégrer l'une des cinq catégories suivantes : cellules de grilles, unités de terrain, unités de condition unique, unité de pente et unités topographiques (Guzzetti et al 1999).

Chaque unité cartographique retenue, et influençait par plusieurs facteurs tels que : le type et la qualité des données, leur précision, le type de phénomène étudié et l'échelle cartographique (Aleotti et Chowdhuru;1999), présentent les étapes indispensables de cette approche :

- Classification du terrain étudié en unités cartographiques;
- Identification des facteurs liés aux instabilités, création d'une carte pour chaque facteur;
- Cartographie des mouvements de terrain;
- Superposition de la carte des mouvements avec la carte des unités cartographiques;
- Identification du pourcentage de surface affectée par les instabilités dans chaque unité cartographique et classification de ces unités en stable ou instables;
- Combinaison entre les cartes de facteurs et la carte des unités stables ou instables;
- Analyse multivariée régressive;
- Classement des unités cartographiques en classes de susceptibilité, carte de susceptibilité finale.

Cette analyse statistique permet d'obtenir des coefficients de la régression, cela conduit d'attribuer un poids aux facteurs et à leurs classes. Ensuite un calcul de l'aléa pour chaque pixel de la région considérée s'effectue à partir des trois cartes résultantes.

Les avantages de ces méthodes d'analyse sont nombreux : méthodologie objective, processus d'évaluation structuré, ce qui permettent une certaine automatisation, gestion des données pouvant être standardisée, ce qui nécessite d'importantes et systématiques collectes et analyses de données. Cependant l'inconvénient majeur réside dans la disparité existante entre les différentes bases de données.

Les difficultés pour accéder extraire, organiser, référencer et analyser les données provenant d'archives de toute nature (articles scientifiques, photographies, relevés pluviométriques, procès verbaux, articles de périodiques ou quotidiens), sont parfois nombreuses puisque la plupart des informations n'auront pas été recueillies et transcrites dans un langage scientifique (Ibsen ,Brundsen,1996).

Cela nécessite d'obtenir le maximum d'informations sur les sources des données, ainsi que, l'analyse bivariée via une régression logique, se distingue par sa simplicité, les valeurs prédictives ne pouvant être que deux types : événement possible et événement impossible offrant une facilité de lecture et d'interprétation des résultats.

Les cartes de susceptibilité obtenues sont plus souvent à l'échelle (1/10000° à 1/50000°) (Dai et Lee ; 2001) et très rarement à plus grandes échelles.

Le principal inconvénient de l'analyse multivariée est la création de corrélations parfois illogique entre variables réellement indépendantes et la susceptibilité, ceci apparaît lorsque les conditions et les paramètres mécaniques ne sont pas correctement définis.

La difficulté principale réside que les acteurs ne sont pas statistiquement indépendants dans la grande majorité des cas, c'est la raison pour laquelle les méthodes statistiques élaborées sont indispensables et nécessaires.

-Méthodes issues de l'intelligence artificielle

Plus récemment de nouvelles méthodes principalement issues de l'intelligence artificielle sont également utilisées pour la cartographie de la susceptibilité.

L'objectif est d'ajuster les poids *via* une multitude d'itérations, en considérant les erreurs entre les valeurs obtenues et l'objectif espéré (reconnaissance des glissements) (Lee *et al.*, 2003).

Ces tests statistiques donnent des informations (scores) sur les facteurs ou la combinaison de facteurs permettant d'expliquer au mieux l'occurrence des mouvements de versant.

Les zones dépourvues de mouvement mais, dont l'association des scores équivaut à celles affectées par des mouvements, sont considérées comme susceptibles.

Le résultat de ces méthodes de cartographie ne propose qu'une évaluation de la susceptibilité (probabilité spatiale), dans la mesure où celles-ci ne contiennent pas d'informations sur l'occurrence temporelle ou la magnitude des phénomènes.

- **Approches géotechniques**

Ces méthodes d'analyse de l'aléa s'appuient sur des outils d'ingénierie géotechnique, on distingue principalement deux approches géotechniques de l'aléa : les méthodes déterministes et les approches probabilistes.

-Méthodes déterministes

La méthode déterministe, méthode indirecte est basée sur les analyses de stabilité de pente dans ce type d'analyse les principales caractéristiques physiques sont qualifiées et introduites dans des modèles mathématiques qui calculent le facteur de sécurité.

Selon Van Westen (1993), ces analyses sont basées sur les lois physiques de la conservation de la masse, de l'énergie et de la quantité de mouvement.

Cette méthode vise la détermination d'un indice de stabilité désignant la propension d'une pente à la rupture à un instant donné. Cet indice de stabilité est le facteur de sécurité F , employé dans de nombreux modèles géotechniques, un calcul précis du coefficient de sécurité (F) nécessite des données géotechniques définissant le profil du terrain en surface et sa structure en profondeur des données suffisantes sur les paramètres mécaniques de résistance et des informations sur les données piézométriques.

La carte finale de susceptibilité, à une échelle de 1/10 000^e, est le produit de la superposition de la carte « géotechnique » contenant les résultats du coefficient de sécurité (F) par unité de terrain analysée, la carte des instabilités repérées, la carte des pentes et la carte du relief (Aleotti et Chowdhury, 1999).

Cette méthode n'est applicable que lorsque l'aire étudiée est relativement homogène, de faibles dimensions et que le type d'instabilité est correctement reconnue (Dai et Lee, 2001).

Le principal avantage de cette méthode est de pouvoir calculer de nombreux coefficients de sécurité, tout en ne perdant pas de vue l'extrême simplification des modèles utilisés par rapport du terrain naturel, ce type de méthode est souvent employé pour des glissements plans de grande extension avec une surface topographique relativement uniforme (Haefeli, 1948. Skempton et Delory, 1957; dans Brundsen, 1999).

Du fait de la précision demandée aux données, ce type d'évaluation à grande échelle ne peut se mener que sur des zones réduites, localement au niveau de l'instabilité elle-même.

Cependant, pour de bonnes conditions d'utilisation de cette méthode, le contexte géologique doit être simple et les données géométriques et géotechniques des couches de terrains (épaisseurs, cohésions, angles de frottement...etc.) disponibles.

-Méthodes probabilistes

L'analyse probabiliste dans la majorité des cas, vise à évaluer la probabilité de rupture comme étant la probabilité déterminer que le facteur de sécurité soit inférieur à une valeur prédéterminée qui est généralement prise égale à une pente à l'équilibre limite, d'où l'analyse probabiliste, définit l'aléa comme la probabilité que les forces motrices qui dépassent les forces résistantes le long d'une surface de rupture potentielle.

Ces différentes manières d'exprimer la probabilité de rupture, tiennent compte des caractéristiques des glissements de terrain et au contexte géologique et géomorphologique de la région considérée par l'instabilité.

Concrètement au niveau du phénomène lui-même, deux raisons justifient l'emploi d'une méthode probabiliste pour l'étude de l'aléa (CFGI, 2000) : la variabilité temporelle des

facteurs déclenchant (pluies, fontes des neiges, séismes impossibles à déterminer de façon déterministe) et la méconnaissance systémique des facteurs permanents conditionnant le type de rupture.

5-2-Evaluation et cartographie de la vulnérabilité

5-2-1-Les approches de l'évaluation de la vulnérabilité

Parmi les multiples travaux portant sur l'évaluation de la vulnérabilité, A. Dauphiné désigne deux approches analytique et systémique

5-2-1-1-Approche Analytique

L'approche analytique décline la vulnérabilité par nature d'enjeux exposés ou éléments vulnérables à différents aléas naturels (Dauphiné 2004), cette approche typologie répond directement au besoin de recherche des facteurs et causes de vulnérabilité, avec pour objectif d'expliquer plutôt que de modéliser suivant la nature des éléments exposés on peut distinguer différentes formes de vulnérabilité :

- Physique pour les infrastructures physiques bâti, réseaux physiques, ouvrages d'arts ...etc ;
- Corporelle pour les personnes physiques ;
- Humaine ou social pour les populations approches sociale ou psycho-social;
- Organisationnelles ou institutionnelles, pour les actions menées pour des organismes privés ou publics ;
- Environnementales pour les composants du milieu naturel végétation ressources en eau...etc ;
- Fonctionnelles pour les fonctions et activités économiques notamment supportées par les éléments précédents.

5-2-1-2-Approche Systémique

La vulnérabilité systémique ou territoriale définit le territoire comme un espace de vie plus au moins approprié et organisé par l'homme qui se décline à différentes échelles.

Ces différentes formes de vulnérabilité s'identifient donc dans des échelles de temps et d'espace qui leur sont propres suivants : la nature des éléments vulnérables, leur niveau d'organisation, leur implantation géographique et la période analysée avant pendant ou après une crise.

Pigeon (2005), nous l'enseigne que l'approche systémique de la vulnérabilité d'un territoire n'est pas réductible à la somme des vulnérabilités des enjeux exposés, d'où une approche holistique de la vulnérabilité s'impose pour décrire et analyser les systèmes complexes territoriaux, sociaux organisationnels et institutionnels ...etc, supportés par l'ensemble des éléments précédents. D'après Thouret et D'ercole , la vulnérabilité s'inscrit dans un système qui obéit à une série de facteurs structurels, géographiques et conjoncturels.

L'analyse de ces derniers est un moyen à prévoir l'amplitude des préjudices potentiels, car elle fournit d'une part une mesure quantitative de l'exposition des éléments et d'autre part, une mesure qualitative de la capacité de réponse d'un individu ou d'un groupe exposé à un sinistre. Toujours, pour ces deux auteurs, la qualité de la réponse d'un individu ou d'un groupe sinistré modifie la vulnérabilité, en effet les effets d'un sinistre peuvent être plus ou moins accentués ou parfois même déboucher sur de véritables catastrophes, si la capacité de réponse d'un individu ou d'un groupe sinistré est partiellement défectueuse. Il est indispensable de distinguer les capacités de réponse d'un individu d'un groupe et celle d'une société.⁴¹

5-2-2-Analyse de la vulnérabilité en milieu urbain

En se basant sur les travaux de Robert D'ercele (1996), la vulnérabilité en milieu urbain, est un système dynamique et complexe aux causes multiples, selon une approche classique, la vulnérabilité résulte d'une convergence d'une multitude de facteurs directs et indirects souvent complexe et difficile à modéliser.

Ces facteurs, sont des éléments qui permettent d'estimer la vulnérabilité, ils doivent être classés selon leur importance à une échelle choisie selon les sites analysées et selon la précisions des données disponibles, ils peuvent ensuite être pondérés afin d'obtenir une valeur de vulnérabilité par unité de surface définie.

La vulnérabilité révèle la fragilité d'un système données son ensemble et sa capacité à surmonter la crise provoquée par un aléa (Dauphine 2001)

D'après Mitchell (1999-2003), le fait d'être vulnérables n'est pas seulement une caractéristique des personnes, des biens ou d'un écosystème, mais l'une des dimensions fonctionnelles du système urbain en particulier dans les métropoles.

5-2-2-1-Approches de la vulnérabilité urbaine

Le système de vulnérabilité trouve ses racines dans le fonctionnement même de la ville et aussi à l'extérieur de celle-ci, trois démarches différents poursuivent l'analyse de se système (D'ercele 1994, Thouret et D'ercele 1996).

A l'approche classique qui mesure un endommagement potentiel des biens et des personnes ets es répercussions sur l'environnement économique, s'oppose celle qui considère une société comme vulnérable lorsqu'elle est incapable de répondre aux crises potentielles cette capacité repose sur un ensemble de facteurs structurels et contingents dont les interactions sont complexes surtout dans les grandes villes.

⁴¹ : Frédéric L et al (2006):Concept de vulnérabilité appliqué à l'évaluation des risques générés par les phénomènes de mouvements de terrain : <http://tel.archives-ouvertes.FR/tel/00721876->

5-2-2-1-1-Approche classique : l'endommagement

Selon cette approche classique, la vulnérabilité en milieu urbain résulte comme nous avons évoqué précédemment d'une intégration entre les facteurs externes et internes.

Les facteurs externes du milieu représentent l'accélération de la croissance urbaine d'une part, le déséquilibre des facteurs de développement socio-économique et les choix politiques dans l'aménagement du territoire d'autre part.

Alors que les facteurs intrinsèques reflètent les effets destructeurs des phénomènes naturels, qui sont aggravés par la structure même des matériaux et la morphologie urbaine d'une part et la segmentation accentuée de la société urbaine, qui reflète le mal développement et les conflits socio-économiques dans un espace limité convoité d'autre part.

D'après Thouret et D'ercole, cette approche consiste à mesurer l'endommagement potentiel les conséquences spatiotemporelles, socioéconomiques et culturelles, elles sont évaluées par les coûts et les dommages aux éléments exposés.

Les coûts sont directs, immédiats ou lents : (préjudices corporels, habitat et activités socio-économiques) et indirects à terme (moyen de production, emploi, reconstruction), elles sont mesurables. Pour les atteintes au patrimoine humain, écologique, culturel et esthétique et la réadaptation sont également importantes, mais restent difficiles à évaluer avec précision.

Toujours, pour ces deux auteurs Thouret et D'ercole, qui évoquent que l'estimation et l'évaluation du bilan des atteintes dus à une catastrophe par rapport aux avantages d'une politique de prévention à court et à long terme consiste et implique la prise en compte du coût réel de tous les éléments, afin d'évaluer le risque acceptable.

5-2-2-1-2-Approche nouvelle : les facteurs de vulnérabilités

Cette approche prend en considération d'une part les facteurs de vulnérabilité : structurels, géographiques et conjoncturels et d'autre part, les types de réponses des populations exposées et sinistrées que ces facteurs de vulnérabilité induisent.

En autre terme cette approche, cherche à prendre en compte les facteurs de vulnérabilité d'une société.

1-Les facteurs structurels

Selon Thouret et D'ercole, les facteurs structurels relèvent de quatre catégories : les facteurs socio-démographiques et économiques, les facteurs socio-culturels, les facteurs physiques, techniques et fonctionnels et les facteurs institutionnels ou politico-administratifs.

○ **L'analyse des facteurs socio-démographiques et économiques vise à**

Définir les populations exposées par leur structure et leur mobilité, rythmes de croissance, ressources et activité professionnelle, niveau de formation et de scolarisation, état sanitaire et alimentaire, migrations quotidiennes et type de quartier urbain.

Repérer les facteurs de cohésion et décohésion et de stabilité et instabilité, d'inégalités sociales et de segmentation : mobilité, renouvellement, origine géographique et migrations, relations avec les campagnes environnantes, types d'associations et de communautés.

Ces paramètres ont notamment pour but de révéler l'existence d'une hiérarchie dans le groupe, d'individualiser des responsables et de déterminer les relais utilisés et utilisables entre les autorités locales et la population.

L'objectif général de la définition des types de populations et d'associations est la prévision des réponses imminentes et latentes aux crises, ainsi que l'utilisation possible de structures sociales existantes pour la transmission des informations.

○ **L'analyse des facteurs socioculturels, d'ordre cognitif ou éducatif et d'ordre perceptif**

L'objectif est d'établir la mesure du comportement individuel et collectif devant l'alerte et la catastrophe. Elle permet de faire le point sur les connaissances acquises et les expériences de sinistres vécus, ainsi que, sur l'existence et la qualité de la prévention et des solutions de défense alors envisagées.

La perception du risque par l'individu et le groupe et les éléments qui la modulent peuvent être également mesurés au moyen d'enquêtes (D'ERCOLE, 1991), reflétant l'évaluation des menaces et de leurs conséquences dommageables possibles, l'appréciation de la «qualité environnementale » du quartier urbain,... etc.

L'étude des facteurs cognitifs et perceptifs cherche donc à prévoir les modes de comportement des populations exposées, notamment les réactions individuelles et collectives à l'action préventive et à une alerte donnée.

Prévoir ces modes de comportement, c'est d'abord cerner l'écart subsistant entre les champs cognitif et perceptif, qui influe sur les réactions individuelles ou collectives.

C'est ensuite comprendre à quel groupe ou à quel organisme la responsabilité est demandée ou transférée en cas d'alerte et de sinistre.

L'analyse des facteurs socio-culturels s'avère complexe, car elle doit être conduite dans des sociétés différentes, dont la population perçoit ou ne perçoit pas la menace, et à trois pas de temps discrets : pendant la crise, au moment de l'impact et après la catastrophe.

○ **Les facteurs physiques, techniques et fonctionnels désignent**

-La qualité du bâti (matériaux et techniques de construction, type d'habitat), et des infrastructures (voirie, appareil industriel, etc.) ;

-La structure, le réseau et la qualité opérationnelle des organismes chargés de la prévention et de la protection civile (personnel, matériel et bâtiments des pompiers et des hôpitaux, . . . etc.)

-L'accessibilité et la disponibilité des flux et relais existants (systèmes d'alerte, itinéraires d'évacuation, centres de secours, dépôts);

-L'organisation et la mise en œuvre des secours et des plans d'intervention lors des sinistres passés.

L'étude de ces facteurs contribue à évaluer, a priori et a posteriori, l'efficacité des organismes et à repérer les blocages et les dysfonctionnements éventuels, qui peuvent enrayer l'organisation des secours en cas de catastrophe.

Les dysfonctionnements désignent les blocages entre les structures ou à l'intérieur de celles-ci et ceux des relais politico-administratifs, pivots d'un plan de contingence, conduit après une crise, l'ensemble de cette étude contribue enfin à améliorer la qualité de la planification préventive future.

○ Les facteurs institutionnels et politico-administratifs, méconnus et difficiles à appréhender

○ Concernent l'appareil législatif et réglementaire, ainsi que les rouages administratifs de prévention et de gestion des risques.

Ils englobent donc les choix politiques de planification préventive (occupation et utilisation du sol, protection technologique, formation et éducation, politiques de relogement), les opérations de protection civile (plans d'intervention en cas d'alerte et d'urgence, mesures d'aide humanitaire) et enfin la gestion de l'après-crise, c'est-à-dire la phase d'adaptation de la population sinistrée et de réhabilitation des biens endommagés.

La qualité des facteurs institutionnels peut être évaluée de deux manières : directement par l'analyse des textes légiférant en matière de risque en milieu urbain indirectement par l'impact des textes réglementaires mesuré à deux pas de temps, en situation de crise latente et au moment de l'urgence et de la catastrophe.

Il s'agira de savoir comment l'information préventive et le message d'alerte sont transmis entre les décideurs, les relais administratifs régionaux et locaux et les citoyens menacés.

En corollaire, l'impact des textes réglementaires dépend largement du mode de comportement de deux catégories d'individus (en sus des décideurs eux-mêmes) : les responsables et les diverses associations de quartier d'une part, ce qui permet de mesurer le poids du contexte

politique local dans la perception et l'application du texte réglementaire, l'individu vulnérable, les sinistrés et les bénéficiaires des politiques de relogement d'autre part, ce qui autorise l'évaluation du degré de perception du texte dans un quartier exposé, particulièrement dans un quartier sous-intégré plus vulnérable.

L'impact des textes législatifs peut être également mesuré a posteriori, lors de la phase d'adaptation aux catastrophes. Les conséquences de ces dernières fournissent matière à réflexion pour qui veut comprendre la genèse de la législation.

L'étude des facteurs structurels, implique un diagnostic pluridisciplinaire et nécessite de disposer d'une solide base de connaissances sur les catastrophes historiques, leurs impacts et leur gestion par les populations, ce qui n'est pas toujours disponible dans les pays en développement.

2-Facteurs géographiques et conjoncturels

Les facteurs géographiques et conjoncturels, jouent momentanément au même moment de la survenance de la catastrophe, un rôle contingent difficile à prévoir.

Le diagnostic qui fonde notre approche du système de la vulnérabilité doit prendre en compte et éventuellement prévoir ces facteurs au moment de l'impact d'un sinistre.

Les facteurs géographiques désignent les contraintes de localisation, le lieu et le moment précis, le style et la récurrence de l'impact.

Les facteurs conjoncturels tels que les dysfonctionnements urbains et techniques, les blocages institutionnels et les défaillances temporaires accentuent les effets de l'impact.

Les facteurs géographiques se réfèrent aux paramètres spatio-temporels de l'impact d'un phénomène naturel créateur de dommages et aux caractéristiques de la catastrophe.

Les contraintes de localisation interviennent comme facteurs limitant et de déclenchement, les facteurs limitants sont représentés par les pentes, la morphologie des vallées, la morphologie du lit majeur et les paramètres géotechniques des matériaux, . . . etc.

Alors que les facteurs de déclenchement sont représentés par le rapport pluie/débit dans un bassin versant générateur de crues, l'intensité d'un séisme et la sollicitation dynamique des sols impliqués dans la zone sismique, . . . etc.

5-2-3-La vulnérabilité de glissement de terrain

Mesurer l'impact potentiel est compliqué pour les glissements de terrain, cette complexité n'existe pas pour d'autres aléas comme les inondations ou les séismes, pour ces deux aléas c'est principalement l'intensité du phénomène qui varie et les conséquences sont alors plus facilement mesurables.

L'existence des bases de données historiques sur les dégâts existents pour les séismes et les inondations, offre une base de données qui permet d'estimer les conséquences potentielles de ces aléas.

En revanche, le manque d'informations historiques sur les dommages liés aux glissements de terrain favorise le difficile développement d'études sur la vulnérabilité.

Glade (2003), évoque le problème de la variation de l'exposition au cours du temps, c'est à dire la probabilité qu'une personne soit présente pendant l'occurrence d'un glissement de terrain est très changeante d'autant plus que la probabilité spatiale d'occurrence du phénomène est très variable.

Ce qui permet de prendre en considération les variations journalières et saisonnières de la vulnérabilité, d'autre part, dans le calcul de la vulnérabilité l'aspect social est très peu pris en considération.

5-3-Les méthodes d'évaluation du risque « glissement de terrain »

Le risque "glissement de terrain" est lié à la fois à la présence d'un événement ou aléa qui est la manifestation d'un phénomène naturel hydro-géomorphologique, et également à l'existence d'enjeux multiples. (Maquaire et al., 2006)

5-3-1-Approche qualitative (Experte)

Pour évaluation au niveau régional ($1/25000^e$ - $1/100000^e$), elle est fondée sur l'identification à travers des cartes et photographie aériennes) de zones homogènes sensibles et des principaux enjeux simplifiés. Cette méthode est utilisée en France pour l'élaboration des plans de prévention des risques (MATE/METL, 1997, 1999) et des cartes de danger en Suisse, (Puissant et al.)

5-3-2-Approche analytique semi-empirique et semi-quantitative

Au niveau local ($1/10000^e$ - $1/25000^e$), fondée uniquement sur une évaluation relative de la valeur des éléments exposés à travers des indices.

Dans ce cas la valeur relative unique ou variable, est soit individuelle et affectée à un type d'élément spécifique (Bonnard et al., 2004 ; Maquaire et al., 2006), soit globale et affectée à un ensemble d'éléments pour une aire homogène lorsque la collecte de données est difficile.

5-3-3-Approche analytique quantitative

A une échelle encore plus précise ($1/5000^e$ - $1/10000^e$), fondée sur un calcul détaillé de la valeur (monétaire ou non) (Glade, 2003) et de la vulnérabilité des éléments exposés.

La vulnérabilité est alors définie soit par des coefficients d'endommagement (représentant le degré relatif de dommage à élément exposé), soit par des fonctions d'endommagement

reliant une intensité du phénomène à un niveau observé de dommages sur l'élément exposé comme le propose Léone (1996).

Nous tenons à préciser que les méthodes les plus couramment appliquées sont les méthodes expertes qui ne nécessitent pas d'études longues de la vulnérabilité, et les méthodes semi-quantitatives qui peuvent s'abstenir des données économiques.

La diversité de ces approches rend la comparaison entre ces méthodes difficiles, ceci est d'autant plus vrai que certains auteurs n'expliquent que succinctement leurs démarches et beaucoup d'étude restent empiriques, fondées sur des bases de données incomplètes.

(Glade, 2003).

En conclusion la majorité des limites des méthodes d'évaluation du risque est liée au manque d'étude sur la vulnérabilité. Glade, (2003) évoque « *qu'aucune méthode ne semble encore adaptée pour pouvoir intégrer les différences de vulnérabilité selon le type de phénomène* », chaque méthode possède son niveau d'analyse et un changement d'échelle utilisant une seule stratégie est encore délicate.

Dans les méthodes d'évaluation des conséquences potentielles, les différents aspects sont très rarement intégrés. Les variations d'exposition au cours du temps et l'intégration de la perception des habitants sont deux éléments primordiales dans l'analyse du risque.

Il est à mentionner que à cause du manque de données économiques sur les dommages, l'évaluation économique du risque, réalisable à travers des analyses coût-bénéfice, n'est que très peu envisageable.

5-4-Application à la ville de Constantine

5-4-1-La susceptibilité d'aléa lié au glissement de terrain

La susceptibilité qui est une composante spatiale de l'aléa au glissement de terrain est évaluée par des modèles qui analysent les relations mathématiques entre les facteurs environnementaux et les prédispositions et l'occurrence spatiale des glissements de terrain.

Cette partie propose de réaliser une cartographie de la susceptibilité aux glissements de terrain de la ville de Constantine, par l'approche bivariée par deux modèles le premier est intitulé « théorie de l'évidence », tandis que, le second est intitulé « méthode matrix GMM » évaluer la susceptibilité aux glissements de terrain présente un double intérêt, aussi bien scientifique que sociétal.

D'un point de vue scientifique, comprendre les couplages entre ces différents processus participe à améliorer notre vision sur le comportement, l'occurrence et l'impact des glissements de terrain et donc une bonne maîtrise de leur prévention et prévision, ainsi qu'une mitigation de leurs effets.

5-4-1-1-Approches et méthodologie

5-4-1-1-1-L'approche bivariée

L'analyse statistique bivariée est l'un des méthodes fondés sur l'expérience sur la cartographie directe, pour cette méthode, les facteurs de causalité sont entrés dans un SIG et croisés avec la carte de distribution de glissements de terrain.

La méthode consiste à dresser un inventaire des zones de mouvements de terrain, puis à analyser la corrélation bivariée de ces mouvements avec les facteurs qui déterminent l'instabilité. Il existe différentes variétés de cette méthode notamment le poids de la preuve (Bonham- Carter et al., 1988; Agterberg et al., 1989, 1993; Poli et Sterlacchini, 2007), la méthode de l'indice des glissements de terrain (Van Westen, 1993, 1994 ; Van Westen et al., 1997) et la méthode de la matrice (Degraff et Romesburg 1980 ; Maharaj 1993 ; Cross 1998; Irigaray 1995 ; Irigaray et al. 1999, 2007; Clerici et al. 2002).

5-4-1-1-1-1-Théorie de l'évidence

Le modèle adopté pour évaluer la susceptibilité est basée sur une méthode statistique bivariée mettant, en relation les glissements avec les facteurs de prédisposition, son principe est le suivant : les valeurs de chaque variable sont groupées en plusieurs classes.

Une première superposition de la carte des glissements existant avec chaque facteur, permet de calculer une valeur informative (VI), basée sur des rapports de surfaces pour chaque classe de variable. Cette valeur servira pour quantifier la contribution de la classe dans le déclenchement des glissements, elle est calculée selon la formule suivante :

$$VI \text{ Classe } (i) = \ln \left[\frac{S_i / N_i}{S / N} \right]$$

Avec :

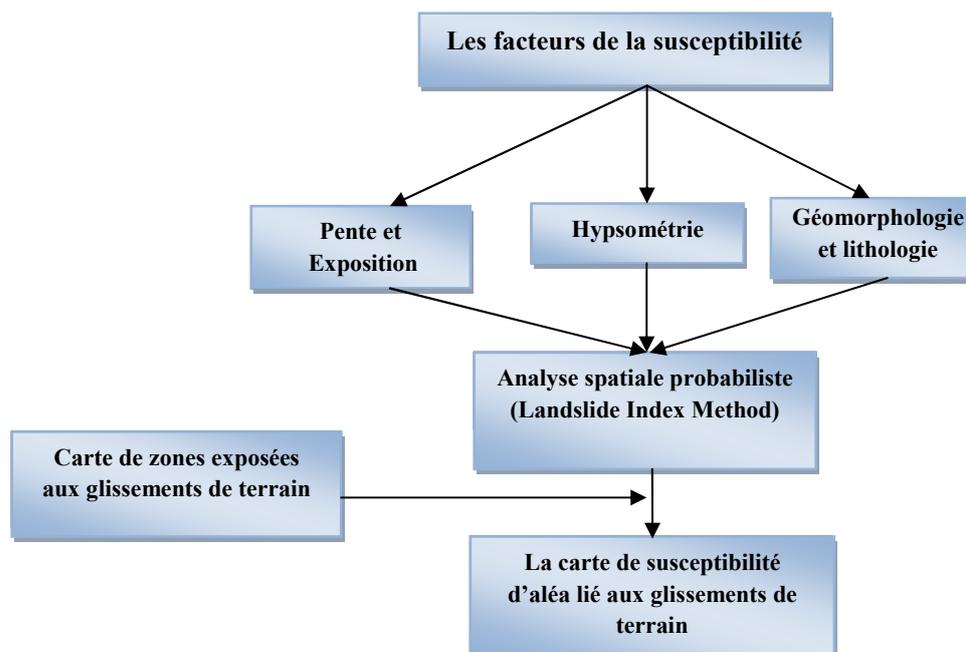
- S_i = la surface de la classe i qui a glissé
- N_i = la surface de la classe i
- S = la surface totale qui a glissé
- N = la surface totale de la zone étudiée

L'application de la méthode quantitative a été rendue possible grâce au système d'information géographique qui a permis la cartographie et l'intégration aussi bien des glissements existants que des facteurs de prédisposition « *le principe de la technique consiste à définir des relations mathématiques entre les facteurs de prédisposition et la répartition spatiale des glissements de terrain afin d'évaluer quantitativement la probabilité de rupture pour des régions non affectées par des glissements de terrain* ».

L'application de la méthode « *Landslide Index Method* », est basée sur le calcul de poids, accordé à chaque classe d'un paramètre suivant la relation. Les poids attribués à ces différentes classes sont permis d'apprécier ainsi l'influence de chaque paramètre dans la prédisposition à l'instabilité, ces classes sont croisées avec la couche des glissements, ce qui permet d'obtenir une indication sur les relations des différentes classes de variables avec les glissements de terrain existant.

1-Les facteurs de prédisposition

Le choix des données à utiliser comme variables explicatives de la susceptibilité aux glissements de terrain a été dépendant à la fois des facteurs de prédisposition connus et de l'accès aux couches d'information, ce qui nous a permis de mettre en évidence quatre principaux facteurs de prédisposition dans l'occurrence spatiale des glissements de terrain à Constantine : la pente l'exposition, l'hypsométrie et la lithologie. (Figure n°5-2).



Source: MEZHOUD.L (2017)

Figure n°5-2: Méthodologie d'analyse de l'aléa à la zone d'étude

C'est à partir des paramètres, n'ayant pas la même influence sur les glissements de terrain, que nous analysons la susceptibilité aux glissements de terrain. Sur la base de l'approche statistique, les classes des différents paramètres seront pondérées.⁴²

⁴² Mezhoud ; L ,Benazzouz M T (2018) :Evaluation de la susceptibilité à l'aléa « glissement de terrain » par l'utilisation SIG Application à la ville de Constantine (Algérie).Science & technologie D .Revue semestrielle de l'université Frères Mentouri Constantine 1 n°47-91-103p.

-La pente

La pente est le paramètre le plus utilisé dans l'étude des glissements de terrain : « *Les glissements de terrain impliquent des matériaux meubles, saturés et de faible cohésion sur des pentes faibles à modérées* ». Beauchamps (2003), qui reconnaît qu'un terrain contenant des argiles gorgées d'eau sera instable sur des pentes même très faibles de 1%.

Les caractéristiques orographiques sont l'héritage des facteurs naturels : la tectonique récente, la nature lithologique et le réseau hydrographique mais sans négliger l'action anthropique, dès que les pentes atteignent ou dépassent 10 % de déclivité, les glissements de terrain se produisent.

| Classe | Superficie des classes en (ha) | Pourcentage des classes (%) | Superficie des glissements de terrain en (ha) | Densité | Pourcentage des glissements de terrain (%) |
|--------------|--------------------------------|-----------------------------|---|--------------|--|
| (0-5) % | 956,97 | 18,11 | 116,99 | 12,22 | 13,01 |
| (5-10)% | 1181,08 | 22,35 | 288,61 | 24,44 | 32,10 |
| (10-20)% | 2375,85 | 44,97 | 408,73 | 17,21 | 45,46 |
| (20-30)% | 608,75 | 11,52 | 79,53 | 13,14 | 8,84 |
| >30% | 160,65 | 3,04 | 5,18 | 3,23 | 0,57 |
| Total | 5283,30 | 100 | 899,04 | 70,24 | 100 |

Source : MEZHOUD .L, (2017)

Tableau n°5-1:Degré de susceptibilité des glissements de terrain par rapport aux classes des pentes

A partir des résultats du (tableau n°3-1), on constate que 45,46% des glissements de terrain sont localisés dans des zones où les pentes sont comprises entre 10 et 20%,32,10% des terrains en mouvement sont dans des zones où les pentes sont comprises entre 5 et 10 %,ces deux classes représentent des zones exposées aux aléas des glissements de terrain dont une grande partie de l'extension du tissu urbain de la ville était sur ces zones.

Pour les pentes les plus faibles de 0 et 5%, elles ne représentent que 13 ,01% du total de zones affectées par les glissements de terrain. Alors que, pour les pentes supérieures à 30%, elles ne représentent que 0,57% du total des terrains instables.⁴³

⁴³:Idem

-Orientation des pentes

Selon Dewitte (2006), « l'orientation des pentes peut agir sur la réactivation en influençant les propriétés physiques de la pente et donc sa susceptibilité au mouvement »

L'utilisation de l'outil Arc GIS, nous a permis d'extraire une couche des données à partir des altitudes, c'est ainsi que pour déterminer l'orientation des pentes, la fonction « Aspect » dans Arc GIS nous a permis d'extraire une couche des données à partir des altitudes.

Cette fonction attribue à chaque pixel la direction du plan ajusté lors du calcul de la pente, elle donne des valeurs de pente allant de 0° à 360°. Ainsi 8 classes ont été mises en évidence, ces classes forment 8 différentes directions chacune comportent 45°.

| Classes | Superficie des classes en (ha) | Pourcentage des classes (%) | Superficie des glissements de terrain en (ha) | Densité | Pourcentage des glissements de terrain (%) |
|--------------------|--------------------------------|-----------------------------|---|---------------|--|
| Plats | 1,69 | 0,03 | 0 | 0 | 0 |
| N (0°-22,5°) | 306,62 | 5,8 | 154,39 | 50,35 | 17,14 |
| N E (22,5°- 67,5°) | 562,1 | 10,64 | 118,07 | 21,01 | 13,11 |
| E (67,5-112,5°) | 601,1 | 11,38 | 157,61 | 26,22 | 17,50 |
| SE (112,5°-157,5°) | 634,32 | 12,01 | 75,49 | 11,9 | 8,38 |
| S (157,5°-202,5°) | 673,02 | 12,74 | 76,85 | 11,42 | 8,53 |
| SO (202,5°-247,5°) | 679,29 | 12,86 | 86,56 | 12,74 | 9,61 |
| O (247,5°-292,5°) | 769,67 | 14,57 | 96,97 | 12,6 | 10,76 |
| NO (292,5°-337,5°) | 752,62 | 14,25 | 68,24 | 9,07 | 7,57 |
| N (337,5°-360°) | 302,87 | 5,72 | 66,25 | 21,87 | 7,35 |
| Total | 5283,30 | 100 | 900,43 | 177,18 | 100 |

Source : MEZHOUD .L,(2017)

Tableau n°5-2:Degré de susceptibilité des glissements de terrain par rapport à l'orientation des pentes

D'après les résultats, nous remarquons que la susceptibilité aux glissements de terrain est localisée sur les versants de pente orientés beaucoup plus vers l'est et le nord soit 17,50 % et 17,14 %, ensuite vers le Nord-est soit 13,11%. Ces trois orientations présentent des densités supérieures aux autres orientations, elles représentent un risque d'être affectées par d'autres glissements de terrain dans le futur.

L'absence de données sur l'influence des orientations des pentes sur les précipitations ou sur le réseau hydrographique dans cette recherche constitue une limite pour cette mise en relation.

-Hypsométrie

A partir des résultats, on peut constater qu'une grande partie de zones affectées par les glissements de terrain près de 54% localisé dans les zones où l'altitude est comprise entre (570-636) m, elle représente 46,61% de la superficie totale de la zone d'étude.

Alors que, les glissements de terrain sont presque inexistantes et ne présentent que 0,45% du total des terrains menacés par l'instabilité pour les altitudes inférieure 480m.

| Classes (m) | Superficie des classes (h) | Pourcentage des classes (%) | Superficie des glissements de terrain (h) | Densité | Pourcentage des glissements de terrain (%) |
|--------------|----------------------------|-----------------------------|---|--------------|--|
| < 480 | 147,31 | 2,79 | 4,13 | 2,80 | 0,45 |
| 480 à 569 | 702,48 | 13,30 | 103,90 | 14,79 | 11,52 |
| 570 à 636 | 2462,35 | 46,61 | 481,57 | 19,56 | 53,39 |
| 637 à 708 | 1648,20 | 31,20 | 254,85 | 15,46 | 28,25 |
| >708 | 292,92 | 5,54 | 57,48 | 19,63 | 6,37 |
| Total | 5253,26 | 99,44 | 901,93 | 72,24 | 100 |

Source : MEZHOUD .L,(2017)

Tableau n°5-3 : Degré de susceptibilité aux glissements de terrain par rapport aux classes d'altitude

-Lithologie

D'après les résultats, on remarque que les glissements de terrain sont localisés dans les formations du miocène en particulier, les marnes à gypse avec une densité de 33,82, dont les zones en mouvement représentent 32,65% de la superficie totale des glissements de terrain.

Tandis que, pour les autres formations en particulier, l'argile rouge du miocène et les conglomérats massifs du Plio-quaternaire, les zones affectées par les glissements de terrain constituent respectivement près de 18% et 12% de la superficie totale des glissements de terrain.

DEUXIEME PARTIE : IDENTIFICATION DES ELEMENTS DU RISQUEGLISSEMENTS DE TERRAIN DANS LA VILLE DE CONSTANTINE

| Classes | Superficie des classes (ha) | Pourcentage des classes (%) | Superficie des glissements de terrain ha) | Densité | Pourcentage des glissements de terrain (%) |
|---|------------------------------------|------------------------------------|--|----------------|---|
| Remblais | 74,36 | 1,42 | 31,75 | 42,36 | 3,52 |
| Quaternaire : Terrasses récente | 221,16 | 4,23 | 11,96 | 5,40 | 1,32 |
| Quaternaire : Terrasse ancienne | 555,48 | 10,64 | 2,47 | 0,44 | 0,27 |
| Quaternaire : Dépôts de pentes limoneux | 148,94 | 2,85 | 35,29 | 23,69 | 3,91 |
| Quaternaire : Conglomérats de Dj Ouhach | 86,39 | 1,65 | 0,41 | 0,474 | 0,04 |
| Quaternaire : Calcaires lacustres | 558,14 | 10,69 | 75,52 | 13,53 | 8,38 |
| Quaternaire : Conglomérats à matrice Limoneuse | 19,17 | 0,36 | 19,17 | 100 | 2,12 |
| Plioquaternaire: Conglomérats massifs | 607,41 | 11,64 | 107,25 | 17,65 | 11,91 |
| Miocène : Argile rouge | 536,01 | 10,27 | 150,62 | 28,10 | 16,72 |
| Miocène : Marne à gypse | 869,22 | 16,66 | 294 | 33,82 | 32,65 |
| Miocène : Brèche Massyliens | 53,04 | 1,01 | 00 | 00 | 00 |
| Crétacé Eocène : Nappes telliennes | 1272,9 | 24,40 | 161,51 | 12,68 | 17,93 |
| Crétacé : Flychs Massyliens | 11,79 | 0,22 | 10,41 | 88,29 | 1,11 |
| Cenomainen Turonien : Calcaire Néritique | 202,73 | 3,88 | 00 | 00 | 00 |
| Total | 5216,74 | 99,9 | 900,36 | 366,43 | 99,39 |

Source : MEZHOUD . L., (2017)

Tableau n°5-4:Degré de susceptibilité aux glissements de terrain par rapport aux formations lithologiques

2-La cartographie de la susceptibilité

Grâce à l'outil « Système d'Informations Géographiques », nous avons superposé les différentes cartes factorielles des facteurs de prédiction signalés ci-haut.

Le recouplement de ces cartes a permis la production d'une carte d'aléa, le traitement de la base de données permet de faire sortir les classes des variables qui contribuent le plus dans le déclenchement des glissements de terrain.

La carte de susceptibilité est obtenue par la superposition des cartes thématiques et la somme des valeurs informatives de chaque thème.

En mode vectoriel, chaque polygone de thème possède une valeur informative et le résultat de la somme des valeurs informatives des différents polygones issus de la superposition quantifie la susceptibilité au glissement pour chaque zone du terrain d'étude.

Les valeurs résultantes sont également regroupées en trois classes, la carte de susceptibilité est obtenue par la superposition des cartes résultantes des premiers croisements.

Le calcul de la somme des valeurs informatives et leur groupement en trois classes, le modèle obtenu permet d'identifier les zones suivant le degré de susceptibilité (zone à susceptibilité élevée zone à susceptibilité moyenne, zone à susceptibilité faible

Il apparaît que la probabilité d'occurrence de glissements de terrain dans la zone de susceptibilité moyenne est 38,36%, cette classe regroupe 64,16 % des glissements de terrain sur une surface correspondant à 28,52 % de la zone d'étude. Tandis que, les espaces de susceptibilité faible 4,58%, elle regroupe 14,95% des glissements de terrain, sur 55,60 % de la surface de la zone d'étude total, alors que les espaces de susceptibilité forte sont mieux classés par 22,43%, dont 20,88% des glissements sur 15,87 % de la zone d'étude⁴⁴.

(Carte n°5-1).

Cette approche a permis d'établir d'une carte de susceptibilité aux glissements de terrain dans la ville de Constantine, par l'utilisation d'une approche probabiliste basée sur un modèle d'analyse spatiale bivariée.

La méthode propose une technique qui consiste à définir des relations mathématiques entre les facteurs naturels de prédisposition et la répartition spatiale des glissements de terrain, l'application de cette méthode a été possible par le biais des systèmes d'information géographique SIG.

⁴⁴Mezhoud ; L ,Benazzouz M T (2018) :Evaluation de la susceptibilité à l'aléa « glissement de terrain » par l'utilisation SIG Application à la ville de Constantine (Algérie).Science & technologie D .Revue semestrielle de l'université Frères Mentouri Constantine 1 n°47-91-103p.

L'analyse des résultats a permis d'évaluer et d'interpréter le rôle respectif des facteurs de prédisposition dans l'occurrence spatiale des glissements de terrain, il apparaît que ces facteurs naturels auront un rôle important dans le déclenchement des glissements de terrain dans le futur.

Le manque de données sur les facteurs déclencheurs d'origine climatique et anthropique n'a pas permis de déterminer l'importance de ces paramètres dans l'évaluation de la susceptibilité.

La carte de la susceptibilité obtenue apparaît comme un outil préalable et indispensable à l'évaluation de l'aléa lié au glissement de terrain, pouvant participer à une meilleure gestion du risque et à l'élaboration des plans de prévention des risques naturels.

Néanmoins pour aboutir à des cartes probabilistes plus fiables sur l'aléa lié aux glissements de terrain, les recherches doivent intégrer les facteurs déclencheurs ainsi que d'autres éléments tels que : les composantes temporelle et spatiale, l'intensité de phénomène, probabilité de rupture et probabilité de propagation...etc, qui ne sont pas toujours disponibles dans l'évaluation de l'aléa glissement de terrain

5-4-1-1-2-La méthode GMM-Martix

Lors de l'adoption d'une approche statistique bivariée, l'inventaire des glissements de terrain est la première étape de tout projet de cartographie des glissements de terrain destiné à fournir une évaluation de la susceptibilité des aléas.

○ Inventaire des glissements de terrain

Lors de l'adoption d'une approche statistique probabiliste, l'inventaire des glissements de terrain est la première étape de tout projet de cartographie des glissements de terrain destiné à fournir une évaluation de la sensibilité, des dangers ou des risques.

Il s'agit peut-être de l'ensemble de données le plus important de l'ensemble du processus d'évaluation et il influence grandement la qualité des résultats finaux.

Dans cette étude, les inventaires ont été numérisés et entrés dans un système d'information géographique (SIG).

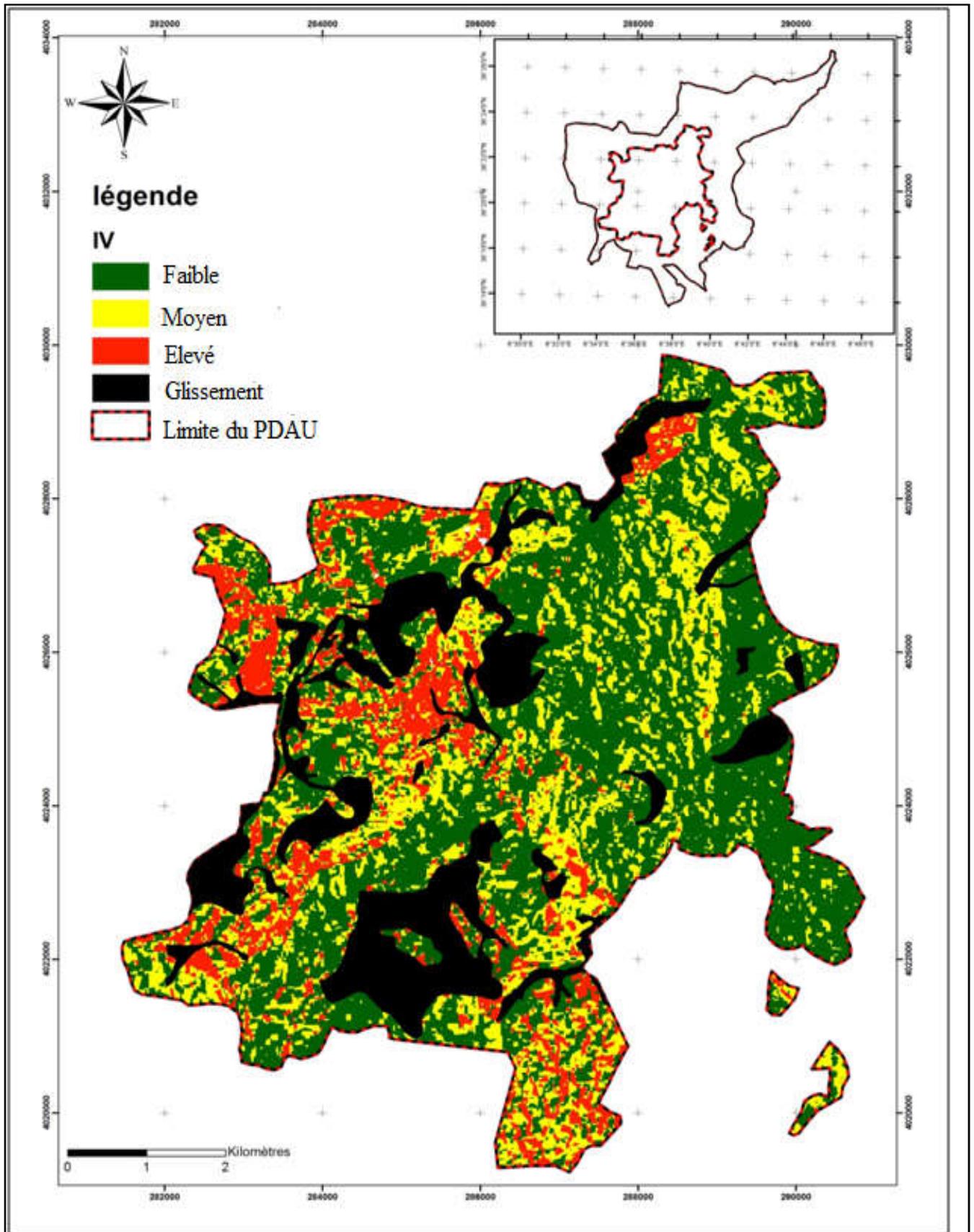
A Constantine les principaux glissements de terrain affectent une partie du tissu urbain, ils sont situés dans ces types de terres, qui sont : les argiles du Miocène, les conglomérats du Plioquaternaire avec intercalation des argiles, les calcaires marneux du Crétacé et les remblais

L'inventaire des glissements de terrain a été effectué à partir de la carte géomorphologique suivante, qui a été réalisée par l'utilisation du logiciel Arc Gis.

-Les glissements dans les argiles du Miocène

Les principaux glissements concernant cette formation, sont situés d'une part, sur les deux versants de Châabet el Merdja, depuis sa confluence avec l'oued El Mellah jusqu'à la limite amont de son bassin versant et d'autre part, sur l'ensemble du versant rive droite du Rhumel, entre la limite sud de la zone industrielle et l'université frères Mentouri.

Ces glissements sont de type fluage caractérisés par une morphologie moutonnée des contrepenes et une fissuration dense et profonde.



Source : MEZHOUD .L ; (2017)

Carte n°5-1 : La susceptibilité d'aléa « glissement de terrain » par la théorie de l'évidence à Constantine

Ils se produisent dès que les pentes atteignent ou dépassent 10 % de déclivité, les quartiers urbanisés touchés par ces glissements: Boudraa Salah et Boussouf .

Les instabilités étaient détectées aussi le long de la rive droite du Rhumel, la route de Massinissa, reliant la banlieue Ouest de Constantine (Boussouf, Zone industrielle) à Ain El Bey est affectée, l'instabilité par fluage lent d'une grande partie du versant qu'elle traverse la dégradée sur plusieurs sections.⁴⁵

-Les glissements dans les conglomérats du Miocène Continental

Les conglomérats, sont représentés par de gros blocs gréseux à matrice limoneuse, forment des talus subverticaux de grande hauteur, dans le centre ville de Constantine (quartiers du Bardo et de la Coudiat Aty).

Ils constituent également, en alternance avec des argiles limoneuses, le versant Nord des quartiers Belouizdad-Kitouni-Kaïdi ponctués par quelques abrupts, jusqu'au Rhumel.

D'autres glissements se produisent aussi le long du versant rive gauche de l'oued El Mellah, à Benchergui a oued El Mellah.

D'autres facteurs interviennent dans les instabilités : il s'agit d'une part, du sapement des berges par les crues de l'oued qui maintient la forte déclivité du bas du versant et d'autre part, de l'érosion différentielle des niveaux argileux qui met les niveaux les plus durs (conglomérats et grès) en surplomb, l'ensemble de ces facteurs entretient alors, le recul progressif du versant, en période humide.⁴⁶

-Les glissements dans les remblais du quaternaire

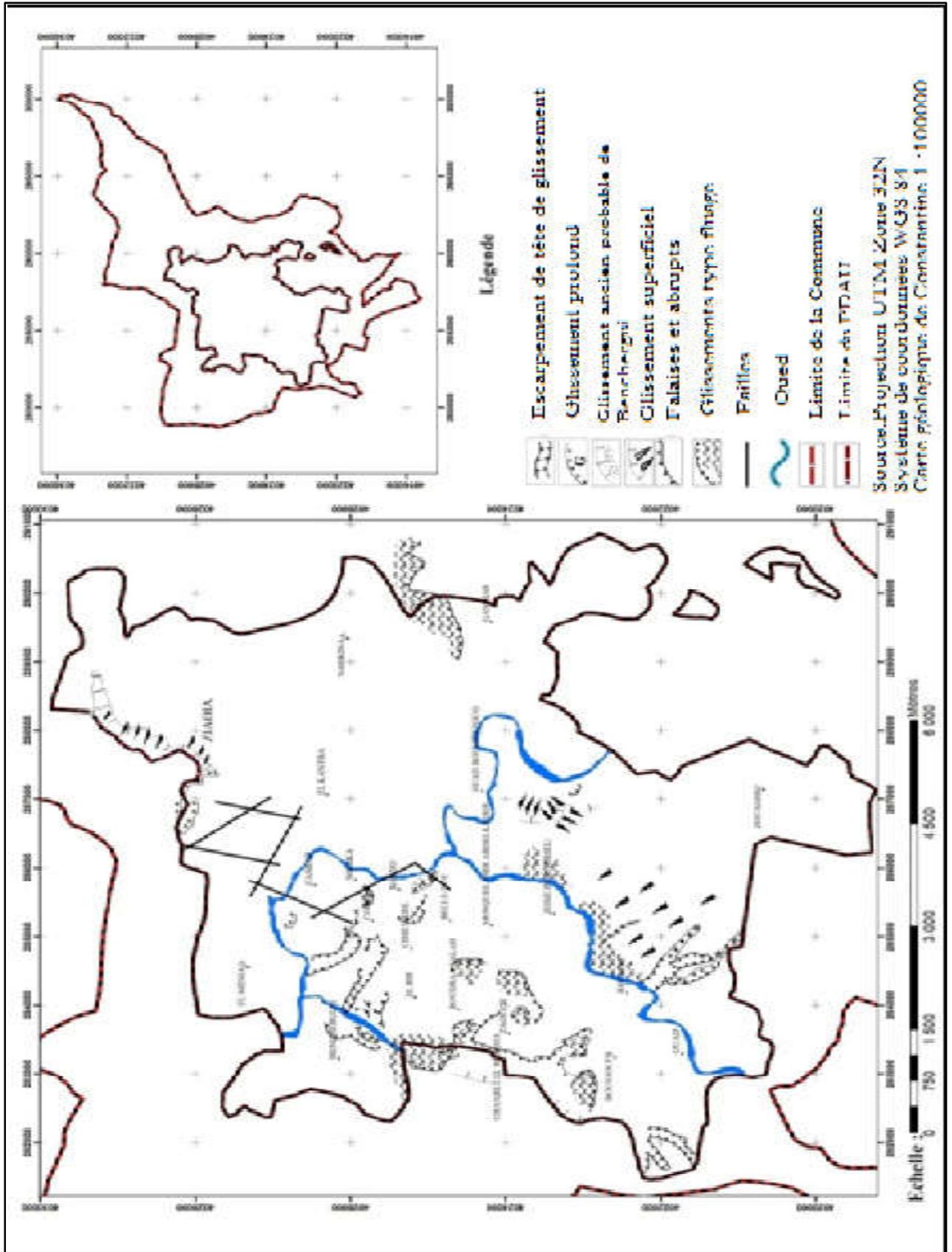
Les remblais proviennent des matériaux de terrassement, datant de l'époque française (au moins) jusqu'à nos jours.

Ils sont déversés sur les pentes des talus et versants et leur similitude de faciès avec la roche mère, souvent proche, ne permet pas de les en distinguer aisément.

Ces remblais, non compactés, leur faible résistance conduit ainsi, à des tassements et à des ruptures sur les pentes : le glissement de la RN27 à Benchergui, le glissement de la route du Bardo, le quartier de la « Poudrière » totalement détruit en hiver 2003 et le glissement de l'université Frères Mentouri.

⁴⁵:DUC-ARCADIS-EEG-SIMECSOL(2003):Etude des glissements de terrain de la ville de Constantine, géomorphologie de la ville de Constantine et de ses Alentours, Ministère de l'habitat et de la construction. Direction de l'urbanisme et de la construction-wilaya de Constantine

⁴⁶:Idem



Carte n°5-2 : La géomorphologie de Constantine

-Facteurs déterminants

Les facteurs déterminants tiennent compte de la stabilité globale de la pente : la résistance des unités géologiques peut en fait être liée au type de sol ou de roche, aux discontinuités ou à la morphologie de la pente en termes d'angle de pente, l'aspect, l'élévation, la taille, l'amplitude (surface recouverte d'une unité de pente homogène avec un aspect de pente à peu près uniforme), la rugosité (décrit différentes combinaisons d'angle de pente et d'aspect dans une région donnée), la courbure (décrit le profil de pente et les différences entre les profils concaves et convexes).

Le modèle utilise quatre facteurs déterminants : trois dérivés du DEM (angle de pente, élévation de pente et aspect de pente), et un dérivé d'une couche thématique du SIG (lithologie), une fois que les facteurs déterminants pertinents sont déterminés, la sensibilité aux glissements de terrain a été évaluée en délimitant les unités de terrain différemment sujettes aux glissements de terrain.

Toutefois, une validation avec la carte d'inventaire utilisée pour dériver la carte de sensibilité aux glissements de terrain a également été effectuée, le degré d'ajustement (DF), tel qu'il est appliqué aux cartes de glissements de terrain, est défini comme suit :

$$DF = \frac{\frac{mi}{ti}}{\sum \frac{mi}{ti}}$$

où mi est la superficie occupée par les zones sources des glissements de terrain à chaque niveau de sensibilité, i , et ti est la superficie totale couverte par ce niveau de sensibilité.

Le degré d'ajustement pour chaque niveau de sensibilité représente le pourcentage de la zone mobilisée située dans chaque classe de sensibilité.⁴⁷

-Données d'entrée

Trois données d'entrée sont nécessaires pour cartographier automatiquement la sensibilité aux glissements de terrain : la carte lithologique de la zone d'étude et l'inventaire des glissements de terrain.

Le DEM doit être une surface ou une carte de trame continue, la carte lithologique doit être une couche vectorielle montrant une classification des unités lithologiques, chaque complexe lithologique doit être associé à un nombre entier.

⁴⁷ : Contribution des systèmes d'information géographique à l'analyse quantitative de l'aléa « glissement de terrain » Exemple d'application au secteur de Ville de la Baie, Québec. Mémoire présenté pour l'obtention du grade de Maitre es sciences (M.Sc.), Université du Québec INRS-E.T.E.

À partir du DEM, trois modèles numériques de terrain ont été dérivés en tant que sous produits montrant trois facteurs déterminants : l'élévation, l'angle de pente et l'aspect de pente (au moyen des outils de géotraitement Arc GIS « Reclassify », « Slope » et « Aspect », resp.) L'inventaire des glissements de terrain doit être une couche vectorielle reclassée en deux classes : présence des zones sources des glissements de terrain « valeur-2 », ou leur absence « valeur-1 », la somme de ces deux classes donne la surface totale de la zone d'étude.

-Modélisation de la matrice

Les facteurs déterminants exprimés en format matriciel ont été reclassés et transformés en format vectoriel, les cartes ont été transformées en format vectoriel afin de fonctionner avec différentes couches d'attributs.

Le quatrième facteur déterminant, la lithologie, a été introduit comme paramètre ou donnée d'entrée, et chaque complexe lithologique a été associé à un nombre entier.

-Modélisation de la matrice de glissement de terrain (LM)

Le LM a été calculé en franchissant l'inventaire des glissements de terrain reclassifiés avec la TSM par de l'outil de géotraitement Arc gis« tabulation Area ».

Les résultats sont présentés dans le tableau « croisé.dbf », avec trois colonnes : « valeur » précédemment ajouté de la MST et correspondant à l'identifiant de chaque combinaison de classes des facteurs déterminants sélectionnés,« valeur-2 » avec la zone affectée par les zones sources des glissements de terrain dans chaque combinaison et « value-1 » avec la zone non affectée dans chaque combinaison. La colonne « value-2 » avec le calque « intersect.shp ».

-Modélisation de la matrice de sensibilité (SM)

Dans le but de calculer le pourcentage de la superficie affectée par les zones sources des glissements de terrain dans chacune des catégories de facteurs déterminants, deux nouvelles colonnes ont été générées dans le tableau LM « croisé.dbf ».

La première colonne est la superficie totale occupée par chacune des combinaisons de classes de déterminants facteurs choisis.

La deuxième colonne est en pourcentage, la superficie affectée par les zones sources des glissements de terrain dans chacune des combinaisons de catégories de facteurs déterminants susmentionnées,la colonne « valeur » du tableau « croisé » « dbf » indique l'identifiant de chaque combinaison et coïncide avec l'identifiant « FID », afin d'obtenir une représentation spatiale de la zone affectée par les zones sources des glissements de terrain.

Il s'agit de la présentation spatiale du SM « suscep-matrix.shp » avec un attribut, un tableau composé d'une série de colonnes.

Dans la colonne « po croisé », le pourcentage de la superficie affectée par les zones sources des glissements de terrain dans cette combinaison de facteurs est préservé, ce qui correspond à la valeur de susceptibilité.

La donnée de sortie du « modèle de sensibilité » est une couche vectorielle : « suscep-matrix .shp ». Cette couche est le résultat de l'analyse, c'est-à-dire la carte de sensibilité aux glissements de terrain.

Les valeurs de susceptibilité variaient entre 0 et 100 pour chaque combinaison de catégories de facteurs déterminants (une centaine de rangées), les valeurs obtenues ont été visualisées au moyen de 5 niveaux de sensibilité : (très faible, faible, modéré, élevé et très élevé).

Dans ce travail, une reclassification des pauses naturelles a été faite (arrondi au nombre entier le plus proche), les classes distinguées étaient :

Sensibilité très faible : la zone touchée dans une combinaison donnée de facteurs déterminants s'étend entre 0 et 1%.

Faible sensibilité : la zone affectée dans une combinaison donnée de facteurs déterminants s'étend entre 1 et 5%.

Sensibilité modérée : la zone affectée dans une combinaison donnée de facteurs déterminants s'étend entre 5 et 15%.

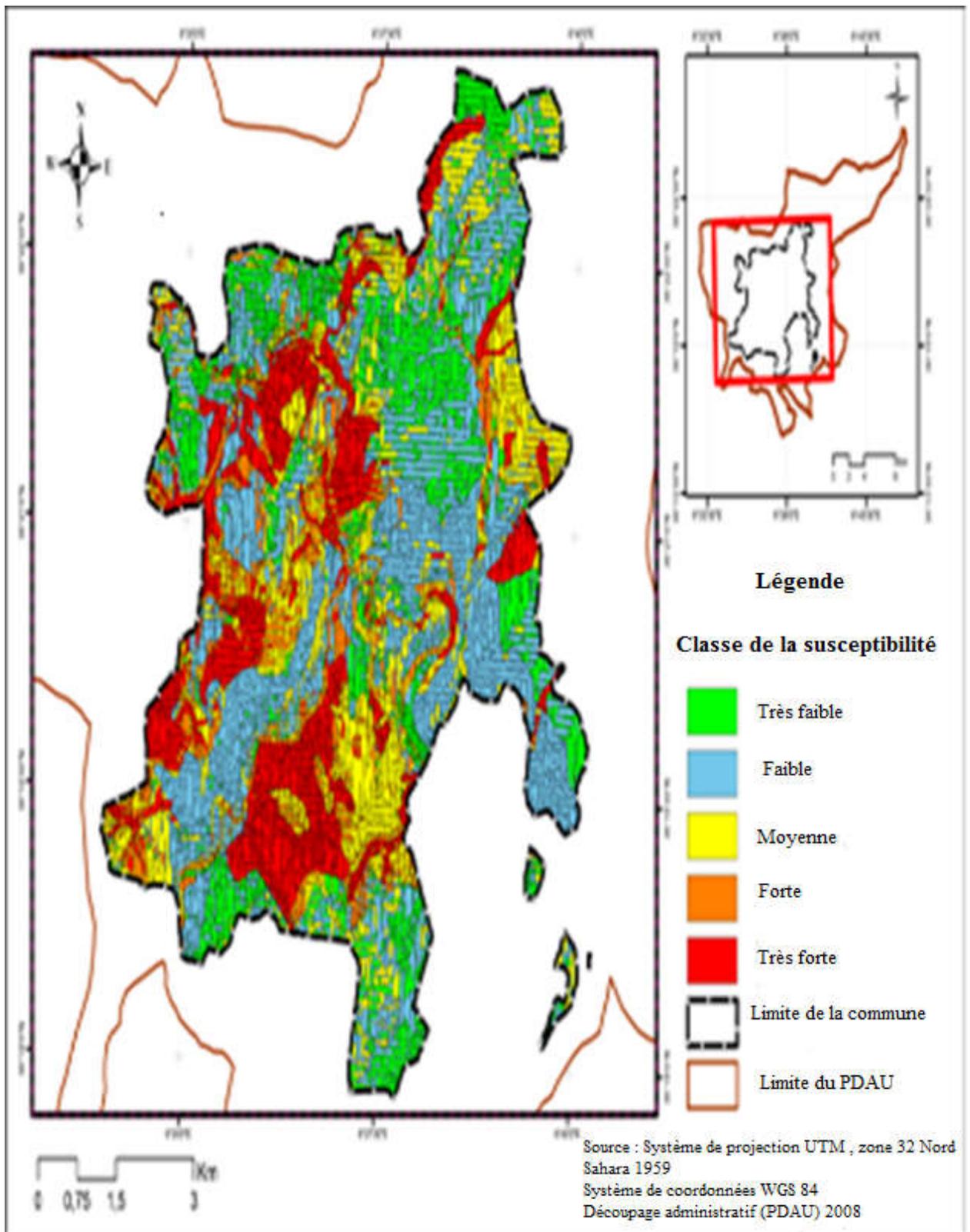
Sensibilité élevée : la zone touchée dans une combinaison donnée de facteurs déterminants s'étend entre 15 et 20%.

Sensibilité très élevée : la zone affectée dans une combinaison donnée de facteurs déterminants les facteurs se situent entre 20 et 100 %.

La carte de susceptibilité aux glissements de terrain est un des outils de prévention destinés à minimiser les risques dans les zones menacées.

Les résultats obtenus ont mis en évidence la qualité de la carte tracée au moyen de la GMM-Matrix en comparaison avec celles réalisées par la théorie de l'évidence.

En général, la GMM-Matrix explique efficacement la répartition spatiale des mouvements qui ont eu lieu, une fois que la carte de susceptibilité aux glissements de terrain est établie et validée, il est possible de faire une sélection simple et rapide des terrains les plus appropriés des projets de construction, ou des zones où des études plus détaillées seraient nécessaires.



Carte n°5-3:La susceptibilité à l'aléa « glissements de terrain » par la méthode GMM-Matrix à Constantine

5-4-2-Cartographie de la vulnérabilité liée aux glissements de terrain

L'évaluation de la vulnérabilité au niveau de la ville de Constantine s'effectue par l'approche Semi-quantitative, cela passe par la détermination du niveau d'endommagement potentiel des éléments situés dans la zone d'étude.

5-4-2-1-Méthode et approche

Une hiérarchisation des éléments exposés aux glissements de terrain à travers les secteurs urbains de la ville, nous entendons par « enjeu » le type de conséquences pouvant affecter la zone et l'élément exposé, ainsi les grands types d'enjeux de la zone d'étude distinguent :

-Les enjeux structurels: qui correspondent aux conséquences physiques sur les biens, les infrastructures, les bâtiments ou l'occupation du sol.

-Les enjeux fonctionnels : concernant les conséquences sur le déroulement des activités sociales et économiques

-Les enjeux corporels : considèrent les hommes dans leur intégrité physique et traduisent la vulnérabilité humaine.

Dans une première étape, une typologie des principaux enjeux de la zone d'étude est réalisée à travers les cartes d'occupation du sol.

Ces enjeux concernent les dégâts aux biens et aux infrastructures (enjeu structurel), les perturbations des activités humaines (enjeu fonctionnel), dans notre cas, ne seront pas tenus.

5-4-2-2-La vulnérabilité totale

5-4-2-2-1-La vulnérabilité structurelle

Nous tenons à préciser que la vulnérabilité potentielle est estimée par une analyse semi-empirique des enjeux définis en termes de valeur relative d'éléments exposés.

Dans une deuxième phase et après la création d'une base de données, sur les différents éléments exposés.

On applique une hiérarchisation des éléments exposés dans chaque catégorie et pour chaque enjeu, un indice de dommage potentiel est ensuite attribué à chaque élément exposé, il est en fonction d'une part au niveau d'exposition I_e aux glissements de terrain, et d'autre part à l'indice qui traduit l'intérêt I_i de chaque élément exposé.

Une combinaison linéaire entre l'indice d'exposition et l'indice d'intérêt, cela traduit par un indice de dommage potentiel ID_x aux éléments exposés qui est compris entre 0 et 1.

Cela permet d'évaluer un potentiel de dommage ce qui traduit le niveau de la vulnérabilité des enjeux structurels.

| Zones | Indice d'exposition I_e |
|---------------|---------------------------|
| Zone stable | 0 |
| Zone instable | 1 |

Source: MEZHOUD .L,(2019)

Tableau n°5-5-L'indice d'exposition en fonction des zones

| Types | Indice d'intérêt I_i |
|---------------------------------------|------------------------|
| Espace vert et loisirs | 0 |
| Zone agricole | 0,3 |
| Tissu historique | 0,4 |
| Grands équipements | 0,6 |
| Industrie, Activités et dépôts | 0,7 |
| Habitat industriel à faible densité | 0,8 |
| Centralité et noyau urbain | 0,9 |
| Habitat collectif et grands ensembles | 1 |

Source : MEZHOUD .L, (2019)

Tableau n°5-6-L'indice d'intérêt en fonction des zones

| Types | Indice de dommage potentiel $ID_x=I_e \times I_i$ | Indice de dommage potentiel $ID_x=I_e \times I_i$ |
|---------------------------------------|---|---|
| | Zone stable | Zone instable |
| Espace vert et loisirs | 0 | 0 |
| Zone agricole | 0 | 0,3 |
| Tissu historique | 0 | 0,4 |
| Grands équipements | 0 | 0,6 |
| Industrie, Activités et dépôts | 0 | 0,7 |
| Habitat industriel à faible densité | 0 | 0,8 |
| Centralité et noyau urbain | 0 | 0,9 |
| Habitat collectif et grands ensembles | 0 | 1 |

Source : MEZHOUD .L, (2019)

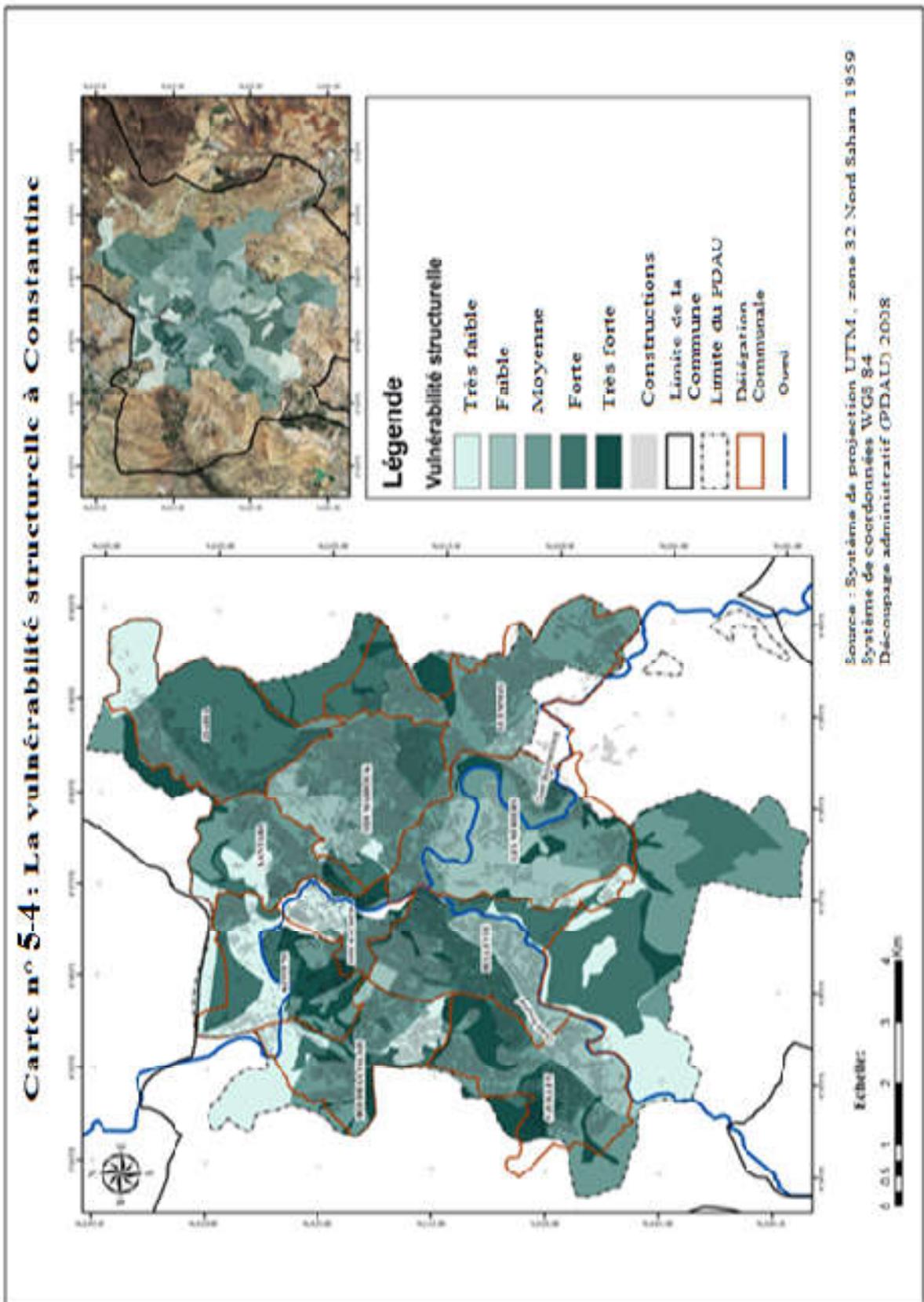
Tableau n°5-7:L'indice potentiel en fonction des zones

La cartographie de la vulnérabilité structurelle, s'effectue par la combinaison linéaire qui permet l'intégration des indices de dommages par le baie du SIG, les différents éléments exposés sont converties en format Raster.

Les donnés surfaciques de la carte d'occupation du sol est converties, cette opération été précéder par la création de buffers sous ArcView10.1qui permet de créer un contour de type surfacique autour des objectifs (éléments exposés), pour que les éléments soient visibles sous format Raster, la taille des buffers est en fonction de la taille initiale de l'objet et de sa valeur.

Nous obtenons pour chaque catégorie d'éléments exposés en grid ou chaque élément exposé possède un identifiant d'où chaque élément est associé à un indice de dommage potentiel.

La combinaison entre la carte d'occupation du sol et la carte de la localisation des glissements de terrain a conduit à mettre en relief la carte de la vulnérabilité structurelle. (Carte n°5-4)



5-4-2-2-2-La vulnérabilité corporelle

Les enjeux corporels concernent les hommes dans leur intégrité physique, pour ce travail, elles sont estimées à partir des données issues des cartes de densité de population par district et de répartition des glissements de terrain. (Annexe 1).

Ensuite après une hiérarchisation des catégories, un indice de dommage potentiel est attribué à chaque catégorie, cela est en fonction du niveau d'exposition au glissement de terrain et de la densité de la population à travers les districts.

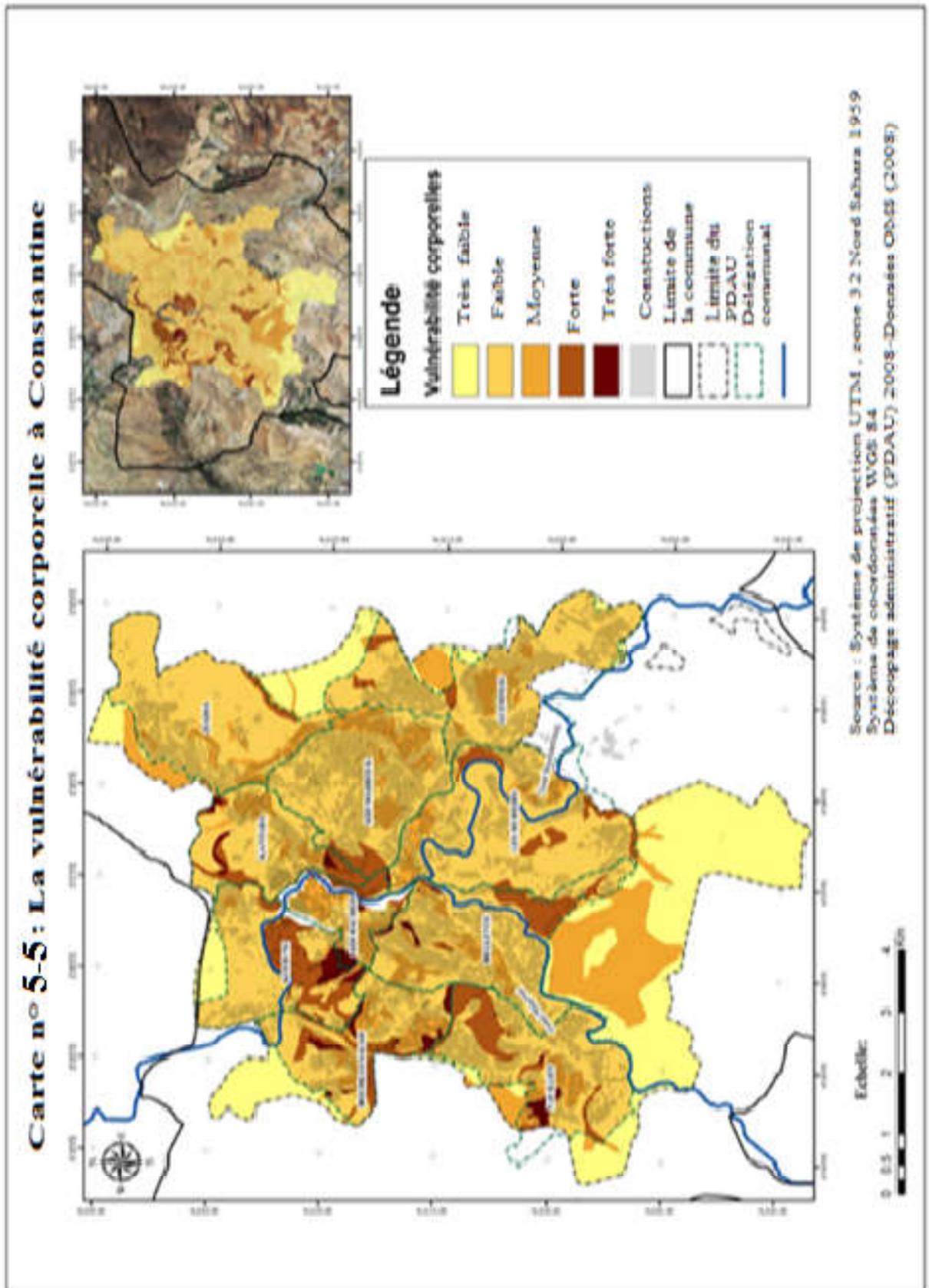
Une combinaison linéaire entre l'indice d'exposition aux glissements de terrain et la densité de la population à travers les différents districts, ce qui conduit à mettre en relief, un indice de dommage potentiel ID_x aux catégories des échantillons, celui-ci est compris entre 0 et 1, il permet d'évaluer un potentiel de dommage ce qui traduit le niveau de la vulnérabilité des enjeux corporelle.

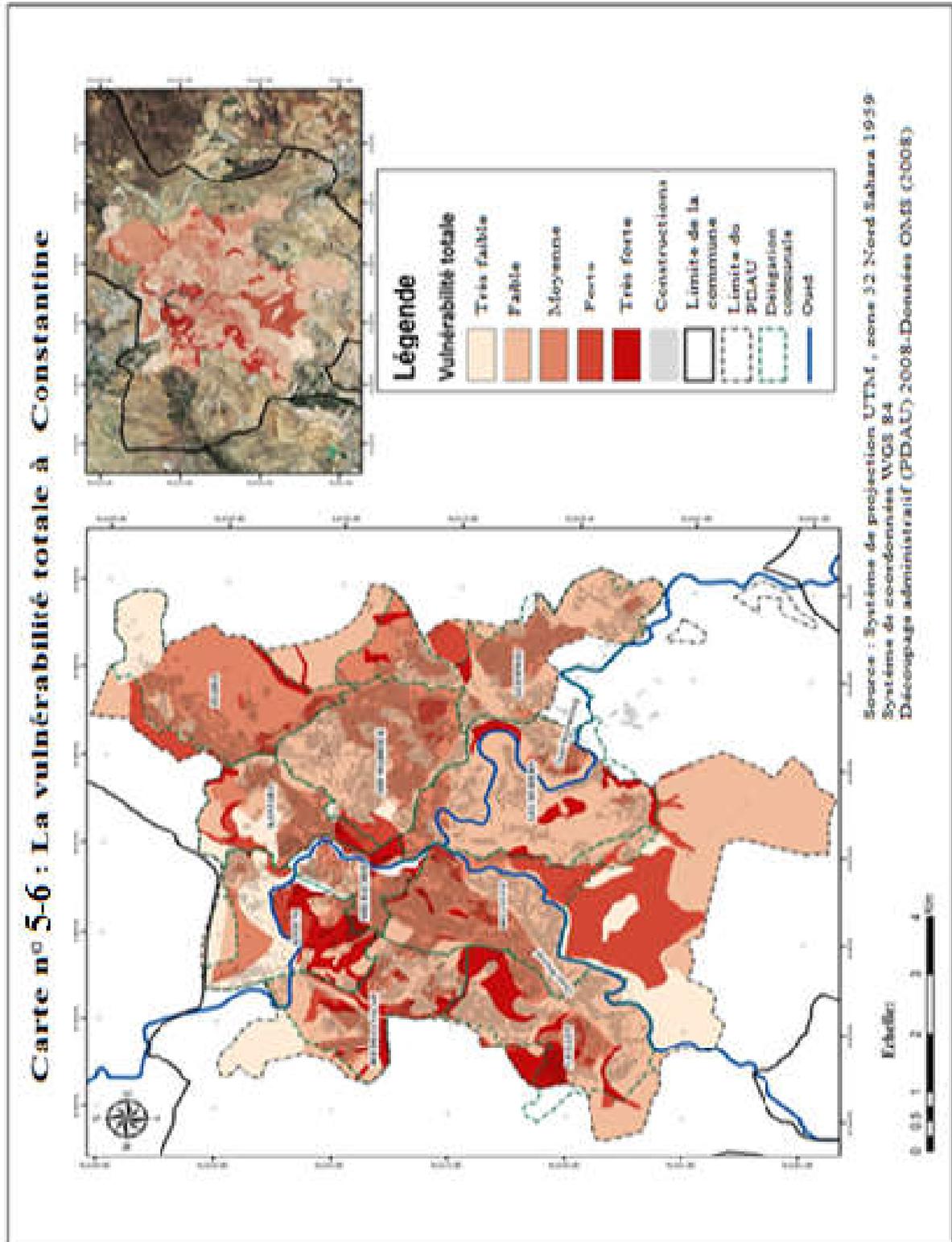
La combinaison entre la carte de la vulnérabilité structurelle, et la carte de la vulnérabilité corporelle a permis de mettre en lumière la carte de vulnérabilité totale.

| Densité (ha/H) | Indice de dommage potentiel ID_x | |
|----------------|------------------------------------|-------------|
| | Zone instable | Zone stable |
| 0 | 0 | 0 |
| 0 -100 | 0,4 | 0 |
| 100-200 | 0,6 | 0 |
| 200-300 | 0,8 | 0 |
| >300 | 1 | 0 |

Source : MEZHOUD .L, (2019)

Tableau n°5-8:Indice de dommage potentiel en fonction des zones





5-3-Cartographie du risque glissement de terrain

La carte de risque "glissement de terrain" à l'échelle communale (Figure n°5-7), est un croisement entre la carte de la susceptibilité pour le glissement de terrain et la carte de la vulnérabilité totale. Elle fait apparaître de larges zones de risque très forte et forte, localiser principalement dans la partie Ouest de la ville par opposé ces zones sont minoritaires dans la partie Est de la ville.

Les zones à risque très fort et fort elles correspondent essentiellement aux terrains à forte susceptibilité, localiser principalement aux versants de Belouizdad, Boussouf, Bardo et le chemin forestier), sur le reste du territoire, le risque est faible à modéré, à l'aide de la matrice suivante, on obtient cinq classes de risque : (très fort, fort, moyen, faible et très faible) (Tableau n°5-9).

| Classe de la vulnérabilité | | | | | | |
|------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|
| Classe de la susceptibilité d'aléa | Risque | Très faible | Faible | Moyen | Fort | Très fort |
| | Très fort | Moyen | Forte | Très forte | Très forte | Très forte |
| | Fort | Faible | Moyen | Forte | Forte | Très forte |
| | Moyen | Très faible | Faible | Moyen | Forte | Très forte |
| | Faible | Très faible | Faible | Faible | Moyen | Forte |
| | Très faible | Très faible | Très faible | Très faible | Faible | Moyen |

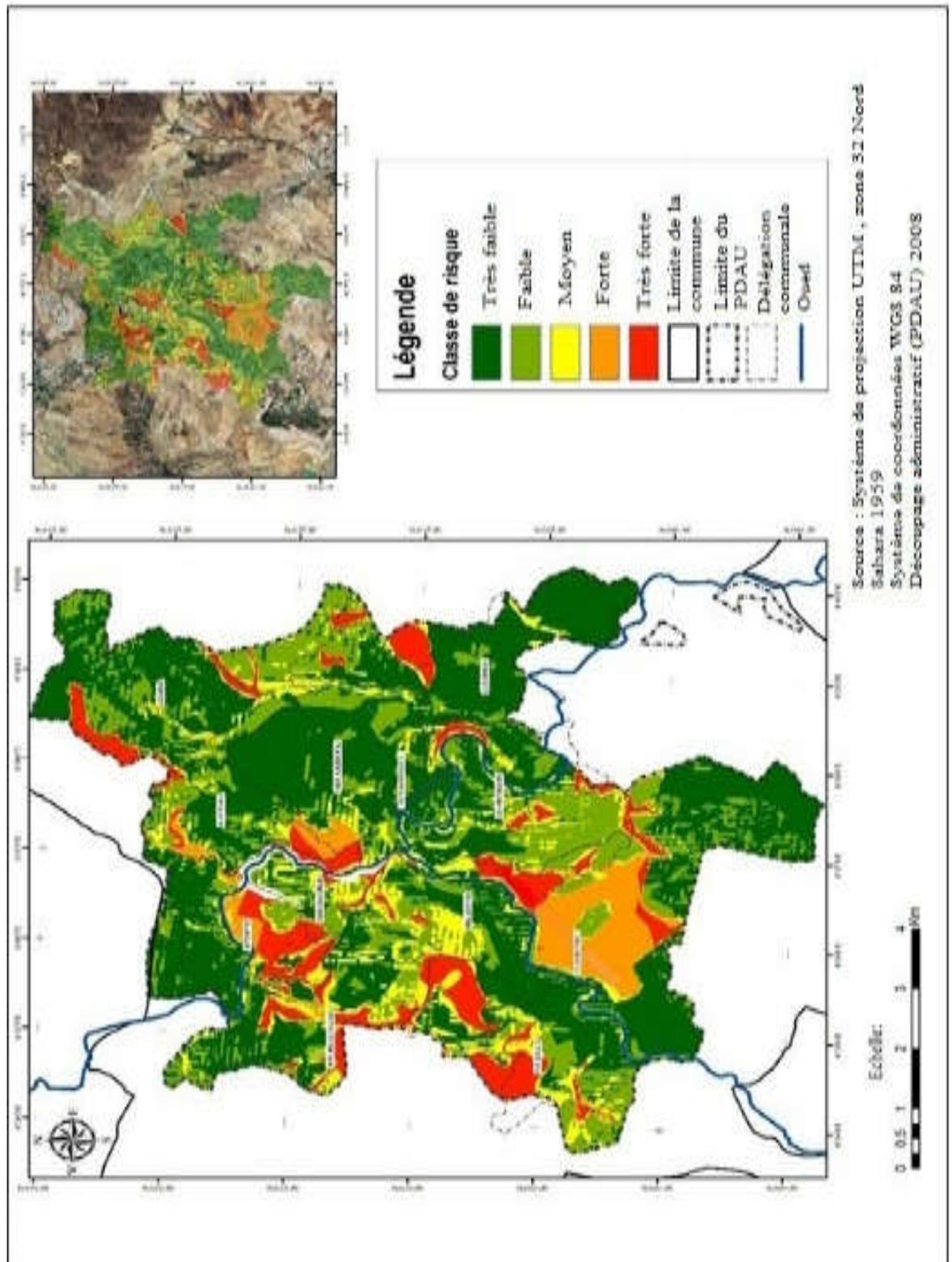
Source: MEZHOUD .L.,(2019)

Tableau n°5-9:Matrice des classes de risque glissement de terrain

| Risque | Définition |
|--------------------|--|
| Très faible | La menace sur les éléments est nulle ou très faible dont la menace sur les différents éléments est négligeable. |
| Faible | La menace est faible. La menace sur les personnes est faible ou inexistante, les constructions n'y montrent pas de dégradations liées à des mouvements de terrain. |
| Moyen | La menace sur les éléments est modérée. La menace sur les personnes est modérée à l'extérieur des bâtiments mais faible ou inexistante à l'intérieur, des dommages sérieux aux bâtiments sont à prendre en compte si le mode de construction n'est pas adapté |
| Forte | La menace sur les éléments est élevée. La menace sur les personnes est forte à l'intérieur ou à l'extérieur des bâtiments une destruction rapide des bâtiments interdiction de toute construction (zone inconstructible) |
| Très forte | La menace sur les éléments très élevée : la menace sur les personnes est très forte une évacuation immédiate (zone inconstructible) |

Source: MEZHOUD .L.,(2019)

Tableau n°5-10 : Classes de risque glissement de terrain appliquées à la ville de Constantine



Source : MEZHOUD L, (2019)

Carte n°5-7:Les risques liés aux glissements de terrain à Constantine

La figure précédente définit cinq classes :

5-4-3-1-Classe à très faible risque

Regroupent les sites à faibles pentes, les terrains correspondants sont les calcaires Néritiques crétacés, les formations telliennes Marno-calcaires et les calcaires lacustres Plio-quaternaires. Les constructions existantes ne montrent pas de dégradations liées aux glissements de terrain et aucun indice d'instabilité n'y observé sur terrain. Cette classe est localiser dans les quartiers de la partie Est de la ville : Mansourah, Sidi Mabrouk , Daksi ,Sissaoui, elle représente 90,71% de la superficie totale et 49,9% des constructions totale de la ville.

5-4-3-2-Classe à risque faible

Regroupe également des sites constructibles de moyenne à faible déclivité, elle est caractérisée par un substratum Marno-calcaire stable, peu profond, mais recouvert par des formations superficielles altérées, sensibles en présence d'eau. Cette classe est représentée par les sites non urbanisés de Sarkina à l'Est et les zones centre-Nord et Sud-ouest du PDAU.

Les études géotechniques ponctuelles, concernant cette classe, doivent être orientées, en outre la recherche des paramètres de portance et de tassement, vers la stabilité des talus de terrassement des formations superficielles.

Les sites appartenant à cette classe sont principalement les terrains Sud ouest des délégations communales 5 Juillet 1962, elle est 2,58% de la surface totale dont 25,21% du total des constructions de la ville

5-4-3-3-Classe à risque moyen

Cette classe regroupe également des terrains à déclivité moyenne (11-20%), caractérisée par un substratum constitué de terrains de qualité géotechnique médiocre : argiles rouge et marnes du Miocène et les remblais anciens, les sites appartenant à cette classe sont principalement les versants marneux de Boudraa Salah, la rive droite du Rhumel entre Boussouf et l'université Zouaghi, Belle vue, la Cité 20 Aout 1955, le terrain de la mosquée Emir Abdelkader, Campus universitaire Hamani (la faculté des sciences et technologie) et Bardo. Cette classe représente 1,07% de la surface de la ville de Constantine et 12,55% du total des constructions de la ville

5-4-3-4-Classe à forte risque

Cette classe est répandue largement dans les versants du plateau de Zouaghi, elle est reconnue dans les formations conglomératiques néogènes en limitrophe des terrains instables de Kaïdi jusqu'à la Poudrière. Cette classe représente 4,07% de la surface de la ville de Constantine et 2,60% du total des constructions de la ville.

5-4-3-5-Classe à très forte risque

Les sites de cette classe montrant de nombreux indices d'instabilité: escarpements de tête de glissements, moutonnement dans les marnes, fissuration du terrain, inclinaisons d'arbres, désordres dans les constructions existantes.

Elle regroupe les sites urbanisés qui ont fait l'objet d'une reconnaissance géotechnique spécifique : sondages équipés en piézomètres et inclinomètres, il s'agit des sites de Belouizdad Kitouni-Kaïdi, la Poudrière, chemin forestier, culée Est pont Sidi Rached, Boudraa Salah Zaouche ,Boussouf, université Mentouri (versant occidental) et Bardo.

Ces sites sont caractérisés, outre les indices d'instabilité du terrain, par une dégradation importante du bâti et des infrastructures routières, elle est ainsi largement répandue dans les formations marneuses de Bechergui ,Boudraa, le versant Sud-est de la cité Zaouche et le versant compris entre Guemmass et Benchicou et Massinissa (versant nord de Zouaghi).

Cette classe représente 1,55% de la surface total de la ville de Constantine et 10% des constructions total de la ville. Les tableaux suivants englobent les enjeux exposés aux risques glissement de terrain.(Annexe n°2)

| Les délégations communales | Très Fortes (h) | Fortes (h) | Moyennes (h) | Faibles (h) | Très Faibles (h) |
|-----------------------------------|------------------------|-------------------|---------------------|--------------------|-------------------------|
| Sidi Rached | 46 | 46 | 7 | 54 | 533 |
| Belouizdad | 139 | 282 | 52 | 42 | 1047 |
| Kantra | 36 | 14 | 54 | 58 | 2129 |
| Belle vue | 31 | 42 | 7 | 130 | 1738 |
| Sidi Mabrouk | 0 | 0 | 11 | 4 | 2404 |
| 5Juillet 62 | 4 | 21 | 21 | 18 | 1751 |
| Boudraa Salah | 38 | 231 | 43 | 67 | 1830 |
| Les Muriers | 0 | 191 | 12 | 80 | 2086 |
| El Guemmass | 5 | 0 | 9 | 72 | 1167 |
| Ziadia | 17 | 4 | 3 | 2 | 3809 |
| Ville | 316 | 831 | 219 | 527 | 18494 |

Source : MEZHOUD .L, (2019)

Tableau n°5-11: Terrains exposés aux risques glissements à travers les délégations communales

| Les délégations communales | Très Fortes | Fortes | Moyennes | Faibles | Très Faibles |
|----------------------------|-------------|--------|----------|---------|--------------|
| Sidi Rached | 34 | 4 | 38 | 44 | 26 |
| Belouizdad | 80 | 35 | 38 | 58 | 183 |
| Kantra | 21 | 29 | 30 | 89 | 140 |
| Belle vue | 60 | 5 | 110 | 169 | 186 |
| Sidi Mabrouk | 0 | 23 | 26 | 112 | 366 |
| 5Juillet 62 | 105 | 4 | 83 | 95 | 185 |
| Boudraa Salah | 63 | 8 | 82 | 66 | 152 |
| Les Muriers | 40 | 5 | 100 | 262 | 263 |
| El Guemmass | 19 | 1 | 29 | 83 | 408 |
| Ziadia | 12 | 3 | 28 | 155 | 337 |
| La ville | 434 | 117 | 564 | 1133 | 2246 |

Source : MEZHOUD .L,(2019)

Tableau n°5-12: Les constructions exposées aux risques glissements de terrain à travers les délégations communales

-La délégation communale Belouizdad-Kitouni

En absence de mesure de stabilisation sur terrain efficaces, cela peut conduire a une extension des glissements de terrain très actifs, les déplacements devenaient trop importants d'où une zone de régression pourrait s'étendre à l'amont.

L'évolution de la surface des instabilités qui couvrent actuellement 30 hectare pourrait passer à 421 hectare soit 27% de la surface totale du secteur, alors que les terrains exposés aux risques moyens est 52 hectare soit 3% de la surface totale, tandis que 1089 hectare soit 70% de la surface totale ne représentent aucun danger)(Annexe n°2)

-La délégation communale Bellevue

Au niveau du site (Belle vue - Combattants), les mesures inclinométriques disponibles montrent que le glissement localiser à l'amont de la rue Diabaoui Hada est actifs, par ailleurs l'ancienneté des constructions, leur mode de construction, le manque d'entretien sont les sources de désordres des instabilités.

En revanche, l'origine précise du glissement est inconnue, il est vraisemblable que des travaux dans la pente et ou de fortes injections d'eau ont déstabilisé le terrain en endommageant les réseaux d'eau et d'assainissement, ce qui a aggravé l'instabilité et les dégâts.

Généralement les déplacements du terrain sont lents et de faible amplitude et les zones susceptibles d'être affectées par le glissement de terrain sont représentées par une régression des désordres vers l'amont, vers le Boulevard Pasteur, secteur épargné jusqu'à présent, est toujours possible.

En ce qui concerne la cité du 20 Août 1955, les mesures inclinométriques confirment qu'il s'agit d'un glissement de terrain dont la surface de rupture se trouve à 9,5m de profondeur. Cela se traduit par un affaissement de la chaussée et les fissures au niveau du carrefour au boulevard Che Guevara.

Elles indiquent ainsi que la surface de rupture n'atteint pas les bâtiments et que le glissement se termine au pied du talus du remblai de la route situé sur le terrain du CEM Abdelmoumene, l'instabilité peut régresser vers l'amont en emportant le versant sous les châteaux d'eau.

Aucune trace d'un glissement actif profond, englobant le versant à l'amont du carrefour, l'analyse de mesures et les observations de terrain, indiquent que le versant à l'amont du carrefour est stable.

L'instabilité est limitée au carrefour et au talus aval en bordures du terrain du CEM et les bâtiments du CEM Abdelmoumene ne sont pas affectés par le glissement.

Plus au Sud à l'Ouest de l'esplanade de la Mosquée Amir Abdelkader, les dégradations qui affectent les constructions sont rares et touchent particulièrement les murs de clôture en maçonnerie.

Les maisons les plus récentes, construites en béton armé, ne montrent pas de désordres et aucun indice grave d'instabilité de pente n'est observé au niveau des chaussées et du terrain naturel.

L'ensemble de ces observations plaide en faveur de la stabilité du quartier Sud de Bellevue, vis à vis des glissements de terrain.

Les désordres constatés sur les ouvrages linéaires (murs de clôture) ont probablement pour cause, la fragilité de leur structure (en maçonnerie) qui ne tolère pas les mouvements superficiels que leur terrain de fondation (remblais) leur impose.

Les seuls désordres induits par les terrassements, concernent le sommet du talus de déblai (coté aval de la rue Zadi Abdelhamid), le long duquel quelques habitations dont une clinique et un mur de soutènement, ont été fissurés.

Le boulevard Guévara, longeant le talus aval de la Mosquée, de même que les cités Sâadane et Filali, situées en contrebas de ce boulevard, ne montrent pas de désordres significatifs.

D'autres instabilités et déformations est enregistrées au niveau de la crête du talus à l'Est de l'entrée de la Mosquée.

La surface des terrains susceptibles d'être mobilisés est 65 hectares soit 12,26% de la surface totale du secteur urbain Belle vue. (Annexe n°2)

-La délégation communale 5 juillet 1962

Les argiles miocènes qui affleurent sur de grandes surfaces à Boussouf, sont altérées, très plastiques et propices aux mouvements gravitaires, qui s'expriment sous différentes formes : glissements de terrain avec ruptures franches, solifluxion, fluage à surface de rupture complexe. Ces mouvements sont identifiables, aussi bien dans le milieu bâti, qui est alors fissuré, que dans les aires non bâties qui présentent tous les signes d'instabilité : fissuration de traction, morphologie moutonnée, le seul secteur urbanisé, épargné par ces glissements, correspond au plateau central de Boussouf.

Cette faible stabilité naturelle est accentuée par les travaux d'urbanisation : terrassements excessifs, surcharge du terrain par les remblais laissés sur place, perturbation du réseau hydrographique par des constructions en fond de thalwegs, stagnation des eaux d'origine diverse (pluviale, fuites à partir du réseau d'assainissement et d'AEP, défectueux).

La carte des risques montre que l'ensemble des versants argileux est affecté par des mouvements déclarés qui progressent vers les sites voisins que nous avons classés de faible stabilité.

Le secteur le plus vulnérable, compte tenu de son urbanisation, correspond aux versants Nord et dans une moindre mesure au versant Ouest de la même zone. Si des mesures de stabilisation ou du moins d'atténuation des mouvements, ne sont pas mises en œuvre dans les délais les plus courts.

Les désordres actuellement observés dans plusieurs constructions risquent de se propager dans les constructions collectives et individuelles, qui paraissent indemnes à ce jour sur les versants peu ou pas urbanisés, les risques sont locaux, ces versants sont peu recommandés pour la construction et les parties instables sont inconstructibles.

Les terrains classés de stabilité incertaine pourraient recevoir un habitat léger qui ne nécessite pas de terrassement important en prenant le soin de respecter le réseau de drainage naturel.

Les terrains inondables sont localisés dans les lits des thalwegs de Châabet El Merdja et Oued M'ghrouel, les premiers sont occupés par un habitat individuel qui s'est développé dans les lits des thalwegs qui forment plus en aval le cours d'eau de chaabet El Merdja.

Cette urbanisation ne permet pas d'envisager de drainage efficace afin de réduire le risque d'inondation, par ailleurs, les secondes sont liés au débordement d'un cours d'eau peu profond d'oued M'gharouel.

Les mesures à prendre sont l'interdiction formelle de toute construction nouvelle à proximité de ce cours d'eau et la surface des terrains susceptibles d'être mobilisés représente 12,17% de la surface totale du secteur urbain.

-La délégation communale Boudraa Salah

Au niveau de ce secteur les sites instables ou potentiellement instables sont: le versant rive droite d'oued el Mellah, faisant face à la cité Boudraa Salah, le versant rive gauche de Châabet el Merdja et la cité SOTRACO et le thalweg qui longe le talus aval de la route nationale n°27.

Une des origines de ces glissements est la forte érosion de pied de pente qu'exercent les oueds en période de fortes pluies. Elle provoque des instabilités locales qui se propagent ensuite vers l'amont, les talus les plus susceptibles de glisser sont ceux dont la pente est la plus forte.

Les berges des oueds et les têtes des talus dont la hauteur peut atteindre une dizaine de mètres, sont les premières concernées.

Il s'agit d'un phénomène régressif qui peut être considérablement aggravé et conduire à de grands glissements si le terrain à l'amont comporte des couches faibles comme ceci semble être le cas à la cité Boudraa Salah.

Ces ruptures peuvent être rapides et comme cela a déjà été souligné plus haut, barrer le cours de l'oued, provoquant des inondations et /ou un flot destructeur au moment de la rupture du barrage constitué par les matériaux qui ont glissé.

Ces phénomènes d'instabilités peuvent s'étendre aux faibles pentes, en effet, les mesures effectuées sur le glissement de la cité Boudraa Salah montrent qu'en raison de la présence de sols argileux, une instabilité peut se développer dans le versant avec une pente aussi faible que 7°, de la même façon, la régression des glissements actifs peut entraîner des désordres importants aux passages des zones stables / instables, où apparaissent de forts déplacements différentiels.

Les mesures inclinométriques de ce site confirment et démontrent que les mouvements très lents, imperceptibles en surface, dont la vitesse est de 2 mm/an environ, se produisent à l'amont du glissement très actif de Boudraa Salah (inclinomètre SBS5) et en SBS4 au Nord ouest de Boudraa Salah.

Ces déplacements qui doivent être confirmés, ce qui nécessite une surveillance à long terme, se produisent dans une couche argilo-graveleuse, indice probable d'une surface de glissement ancienne, d'après la carte du risque la surface des terrains susceptibles d'être mobilisés ne constituent que 8,07% de la surface totale de ce secteur urbain.(Annexe n°2)

-La délégation communale Sidi Rached

Les indices de l'instabilité enregistrés au talus aval de la culée du pont Sidi Rached, il s'agit d'une série de dommages affectant : l'ancienne culée fissurée de la première voute dont la fissuration a conduit à son sectionnement et à sa reprise par des poutres métalliques, de nombreuses constructions très dégradées situées entre les avenues de la Roumanie et Zaamouche, des murs fissurés et basculés, des arbres inclinés.

Les nombreux sondages montrent que des remblais épais, parfois supérieurs à 10m sont localisés au droit de la culée, ces anciens remblais reposent sur des marnes altérées Maestrichtiennes.

Compte tenu de la présence de la falaise à l'amont et de la faible vitesse des glissements, les limites se sont naturellement créées et ne devraient pas s'étendre à l'amont. A l'aval les bâtiments et le pont sont soumis aux poussées résultant de la lente avancée des masses de terrain en mouvement.

La zone instable se trouve naturellement limitée par la gorge du Rhumel qui constitue une limite, à l'aval et au nord la remontée du calcaire limite l'extension latérale et les terrains susceptibles d'être mobilisés ne représentent que 3,75% de la surface totale de ce secteur urbain.(Annexe n°2)

Les glissements de terrain à la ville de Constantine, constituent une menace à l'échelle urbaine ce qui a nécessité d'établir une cartographie qui permet à évaluer le niveau de risque lié au glissement de terrain à travers les quartiers instables.

En revanche, la carte de vulnérabilité réalisée par SIMECSOL - DUC (Annexe n°3), n'a pas pris en considération les facteurs socio-économiques à l'échelle du quartier afin de conduire à une réflexion sur la réduction de la vulnérabilité des biens face aux catastrophes naturelles en milieu urbain.

Conclusion

La superposition entre (alea et vulnérabilité) a donné lieu à l'élaboration d'une carte thématique regroupant les différentes classes de risque de glissement (très fort, fort, moyen et faible et très faible) dans le secteur d'étude.

Pour l'ensemble de site, environ 1147 h de la surface totale est exposée à un risque très fort à fort, 219 h à un risque moyen et 19021 h est classe parmi les endroits faiblement exposés. Cela nous a permis de mettre en relief pour l'ensemble de la ville, le nombre des constructions exposées à un risque très fort à fort 551 du nombre total, 564 constructions à un risque moyen et 3379 constructions ne risquent aucun danger. (Annexe n°2)

La carte de risque naturel lié au glissement de terrain, représente un outil d'aide à la décision relative aux choix des mesures préventives, de réduction des risques afin de minimiser l'impact de glissement de terrain de la ville de Constantine

Conclusion de la deuxième partie

La question de l'instabilité des terrains à Constantine mérite une attention toute particulière car la ville de Constantine, la métropole de l'Est, est d'une part, un lieu de très forte concentration démographique et d'autre part un creuset de culture et d'histoire. Aussi, elle représente un riche patrimoine historique, architecturale et culturel qu'il faut impérativement sauvegarder.

La prise en charge de la question des glissements de terrain suppose adopter une politique de prévention, dans le but de réaliser la carte des risques liés aux aléas de glissement de terrain à Constantine.

Notre intérêt s'est porté sur le développement d'une approche méthodologique qui fait appel à l'application d'un système d'information géographique, en utilisant l'analyse multicritère qui tient compte de divers paramètres physiques naturels de site (géologie, géomorphologie, l'hypsométrie, l'inclinaison de la pente, la géologie et la lithologie de sols) et anthropiques (occupation du sol et population).

Cela nous a permis dans un premier temps de produire la carte de susceptibilité d'aléa par une approche bivariée (GMM MATRIX), classe les différentes zones du site par rapport aux phénomènes naturels (aléa) et en second lieu l'estimation de la vulnérabilité qui est estimée par une analyse semi empirique des enjeux définis en termes de valeur relative d'éléments exposés (la vulnérabilité structurelle et la vulnérabilité corporelle).

TROISIEME PARTIE : LA GESTION DES RISQUES DES GLISSEMENTS DE TERRAIN A CONSTANTINE

**Chapitre 6 : Les techniques de confortement des sites instables appliquées
à la ville de Constantine**

Chapitre 7 : Acteurs et politiques de gestion des risques naturels en Algérie

Chapitre 8 : Quelle perception des risques naturels à Constantine ?

Introduction de la troisième partie

La gestion des risques glissement de terrain regroupe l'ensemble de moyens techniques juridiques et financiers...etc, mis en œuvre pour revenir et réduire les conséquences potentielles des catastrophes, cela inclut ainsi les moyens de limiter au mieux nos incertitudes sur ces menaces en particulier l'acquisition de connaissance, cela englobe une grande diversité de doctrines, de procédures d'outils et de méthodes dont la mise en œuvre est assurée par un multitude d'acteurs scientifiques administratifs techniques et surtout politiques. La gestion des risques, elle fait appel à des outils et méthodes et actions qui interviennent avant la catastrophe en temps normal. Elle regroupe l'ensemble des dispositions à mettre en œuvre pour réduire l'impact d'un phénomène naturel prévisible sur les personnes et les biens. En matière de mouvements de terrain, si des mesures de protection ont pu être mises en place, elles ne sont efficaces que pour un événement d'intensité limité, traiter l'aléa ne supprime pas le risque définitivement.

En conséquence, le meilleur moyen de prévention contre les risques de mouvement de terrain est d'agir sur la réduction de la vulnérabilité des enjeux.

La prévention reste l'outil le favorable pour éviter la survenance et la dangerosité du risque glissement de terrain, elle peut prendre plusieurs formes et ce à travers les mesures structurelles et de confortements, les mesures non structurelles en particulier l'information de la population, les règlements et les lois appliquées à la gestion.

Dans cette partie, nous nous intéressons à la prévention et la gestion du risque naturel, plus précisément le risque glissement de terrain dans le but d'éviter la catastrophe et réduire ses conséquences sur l'homme et leurs biens et cela par trois chapitres.

Le sixième chapitre vise à présenter les mesures structurelles de confortement, tandis que le septième chapitre vise à présenter les outils réglementaires liés à la gestion des risques naturels. Alors que, le dernier chapitre présente les résultats d'un questionnaire qui a visé 560 personnes habitant ou travaillant dans la ville de Constantine ont été interrogées entre (2016-2017).

Chapitre 6 : Les techniques de confortement des sites instables appliquées à la ville de Constantine

Introduction

Les confortements des talus au glissement sont l'ensemble des méthodes qui servent à stabiliser la masse de terrain instable, le choix de la méthode de confortement varie d'une part avec les caractéristiques et l'état de chaque site comme le type des sols, les conditions de drainage et les surcharges, et d'autre part avec le cout économique (quand il existe plusieurs solutions de confortement), l'accessibilité du site et la période de l'année choisie pour l'exécution des travaux, la cinématique du glissement, les conditions de sécurité vis-à-vis de l'environnement et notamment les risques de désordre en phase de travaux, les délais impartis à la réalisation du confortement, qui dépendent de la gravité du phénomène et de l'urgence des travaux, la pérennité du système retenu et les possibilités d'entretien et de réparation et les moyens en matériel et la technicité des entreprises locales.

L'étude du confortement constitue la phase principale certainement la plus importante puisqu'elle conditionne la réalisation des travaux.

La solution finale doit également tenir compte du fait qu'il est souhaitable de se fixer une règle de progressivité dans l'application des moyens en allant notamment des solutions les plus simples (terrassement ,drainage...),vers les solutions les plus sophistiquées (ancrages-structure rigides), d'une manière générale,les méthodes de confortement peuvent être groupées en quatre groupes : drainage,modifications géométriques (déchargement , reprofilage et substitution) et renforcement.

A travers ce chapitre nous tenons à présenter les différentes mesures structurelles de confortement proposé dans le cadre de l'étude réaliser par SIMECSOL et DUC pour stabiliser les pentes instables.

6-1-Dispositifs de drainage

L'implantation d'un dispositif de drainage est souvent moins couteuse que les autres méthodes de stabilisation. En conséquence, le drainage est souvent une méthode qui est soit utilisée seule ou conjointement avec d'autres méthodes, le drainage assure la stabilité de la pente pour deux raisons :

- Il réduit la pression interstitielle dans le sol, et ainsi d'augmenter la résistance de cisaillement du terrain.
- Il réduit les forces motrices de la pression de l'eau dans les fissures.

L'efficacité d'un système de drainage, est conditionner par plusieurs paramètres : la nature et l'hétérogénéité des terrains, la géométrie des couches aquifères, la perméabilité, l'anisotropie et fissuration des sols et les alimentations et les exutoires, mais compte tenu des difficultés de détermination de l'ensemble de ces éléments, le dimensionnement d'un système de drainage doit avoir un coefficient de sécurité plus élevé ($\Delta F / F_0$ de l'ordre de 30%).

En revanche, sur terrain cet accroissement du coefficient de sécurité est difficile à atteindre, ainsi il est indispensable de s'assurer de l'efficacité du drainage par des mesures de suivi de débits, de pressions interstitielles et de déplacement du sol, les types de drainages les plus couramment utilisés aux sites instables sont présenter comme suit :

6-1-1-Tranchées drainantes et éperons drainants

Sont des ouvrages couramment utilisés pour rabattre le niveau de la nappe, elles sont implantées sur le site de façon à recouper les filets d'eau (lignes de courant dans un horizon homogène, couche aquifère, venues d'eau ponctuelles...etc.).

Les tranchées drainantes sont des ouvrages couramment utilisés pour rabattre le niveau de la nappe. Elles sont implantées sur le site de façon à venir recouper les filets d'eau (lignes de courant dans un horizon homogène, couche aquifère, venues d'eau ponctuelles, etc.).

Le choix de l'implantation (dans le sens de la plus grande pente ou dans un sens parallèle aux lignes de niveau, ou encore en épis), de la profondeur et de l'espacement des tranchées dépend des résultats de l'étude hydrogéologique et conditionne l'efficacité du drainage.

Ces tranchées peuvent être réalisées de plusieurs façons : à la pelle mécanique, à la trancheuse et la haveuse de paroi, alors que, les éperons drainants sont des sortes de masques discontinus s'il est inutile ou difficile de réaliser un masque, on se contente de faire des saignées remplies de matériau drainant régulièrement espacées.

6-1-1-1-Site Belouizdad-Kitouni

Au site Belouizdad-Kitouni les tranchées drainantes envisagées, sont réalisées avec des matériels utilisés normalement pour construire des parois moulées dans le sol, la largeur minimale de leur excavation est de 0,80 m, leur hauteur pouvant varier de 0 à 30 m.

Le forage s'effectue sous boue biodégradable, par panneaux successifs de longueur normalement inférieure à 10 m, le remplissage final se faisant avec un matériau granulaire filtrant, avec mise en place à proximité de la base, d'un drain destiné à faciliter l'écoulement amont-aval.

Le drain devra être disposé sur 0,20 m au moins de sable lavé de granulométrie 2/4mm, et enrobé dans ce même matériau, jusqu'à 1m au-dessus de sa génératrice supérieure, le comblement jusqu'à 1m de la surface se fera avec une grave lavée 0/40 mm.

Le forage se faisant par panneaux successifs, ou alternés la technique doit assurer la continuité tout au long de la tranchée.⁴⁸

Pour limiter la vitesse de circulation des eaux à la base des tranchées, le profil de celle-ci est prévu en marches d'escalier.

-Description du dispositif

Comme pour les galeries drainantes, celui-ci est constitué par des modules indépendants, de telle façon à ce qu'un fonctionnement déficient dans une zone n'affecte pas celui des autres modules. Chaque module comportant plusieurs antennes qui convergent vers un exutoire unique, le raccordement entre antennes devant faire l'objet d'un soin particulier pour assurer la continuité.

Compte tenu de la topographie, et des niveaux d'eau connus, ceci conduit à des tranchées d'une profondeur variant de 5 à 30m. En partie basse de chaque module, un regard visitable permet le raccordement entre les tranchées et les collecteurs, ceux-ci collectent les eaux provenant des tranchées drainantes, et des collecteurs drainants qui leur sont associés et les conduisent vers les exutoires, ils sont étanches.

Le mode de rejet des eaux collectées est celui d'un déversement dans l'oued Rhumel, au niveau supérieur de la terrasse qui surplombe l'oued, au dessus de la cote atteinte par les eaux, en période de crue.

Le dispositif de rejet est intégré au dispositif de protection de berge, et donc protégé contre l'érosion, et les affouillements qui peuvent en découler.

-Phasage des travaux

Les travaux de réalisation des tranchées drainantes se dérouleront en plusieurs phases, une tranche ferme et deux tranches conditionnelles. La tranche ferme correspond, sans que la liste soit exhaustive à :

- La réalisation des tranchées drainantes de la partie amont (rameaux K,L M),
- La mise en place des collecteurs d'évacuation des eaux collectées par ceux-ci.

Leur raccordement aux dits rameaux, des regards associés, l'équipement du rejet dans l'oued Rhumel, la réservation de la possibilité de raccorder ultérieurement les collecteurs de la tranche conditionnelle au réseau de collecteurs mis en place dans le cadre de la tranche ferme y compris terrassements.

⁴⁸: ARCADIS-EEG-SIMECSOL-DUC(2005):Etude des glissements de terrain de la ville de ; Constantine Etude de confortement-Zone A-Sites Belouizdad-Kitouni-Kaidi Abdellah

La fourniture et mise en place des collecteurs drainants dans les tranchées des matériaux drainants, et des regards associés. La gestion des matériaux extraits, des boues, y compris traitement, décantation et leur évacuation en des lieux agréés par le maître d'œuvre des matériaux, les deux tranches conditionnelles correspondent, sans que la liste soit exhaustive à :

- La réalisation des tranchées drainantes en partie moyenne et basse conformément au plan,
- La réalisation de collecteurs additionnels évacuant les eaux de ces rameaux,
- Le raccordement à ceux-ci aux collecteurs de la tranche ferme, y compris terrassements fourniture et mise en place des drains, des matériaux drainants, et des regards associés, dans les mêmes conditions que celles applicables à la tranche ferme.

-Les contraintes de réalisation

Cette solution nécessite un minimum d'emprises en surface, les têtes de galeries pouvant être regroupées, ni le creusement des galeries, ni le forage des drains ne réclamant l'utilisation de très gros matériels.

De la même façon, les déblais et les matériaux nécessaires à la construction sont d'un volume limité. Ceci a pour conséquence que l'on n'a pas besoin d'emprises de chantier étendues.

Une autre caractéristique est la quasi-totalité d'indépendance des travaux par rapport aux conditions climatiques.

Leur réalisation implique nécessairement la démolition des bâtisses existantes situées dans l'emprise des travaux, mais également les ouvrages enterrés ou apparents existants, tels que les ouvrages en maçonnerie ou en béton de toute nature, les ouvrages en béton armé, les regards de visite, les grilles d'avaloirs, les caniveaux,...etc.

Par ailleurs, les travaux de réalisation des tranchées nécessiteront l'aménagement des pistes d'accès et de chantier des plates-formes de travail le long des tranchées, d'une largeur d'une vingtaine de mètres et d'installer des chantiers comprenant les bureaux, les ateliers de matériels, mais également les bacs à boues, les aires de stockage des agrégats,...etc.

Compte tenu des pentes naturelles, il est à prévoir que ceci impliquera des terrassements préliminaires importants, des libérations d'emprises, et éventuellement des déviations provisoires ou définitives des réseaux de tels, travaux ne peuvent être envisagés qu'en saison sèche, de même que les circulations d'engins.

Ainsi des coupures, ou des fermetures temporaires de voies seront nécessaires dont, il faudra également prévoir le déplacement des différents réseaux des concessionnaires : collecteurs eaux usés conduites AEP, réseau gaz primaire et secondaire, lignes PTT...

Le creusement des tranchées générera un volume important de déblais et leur remblaiement un volume équivalent de matériau drainant, donc une circulation notable de camions, ce qui peut réactiver et engendrer d'autre instabilité, d'une part et d'autre part, l'urbanisation du site, ne permet pas d'effectuer ce type d'ouvrage.

6-1-2-Galeries drainantes

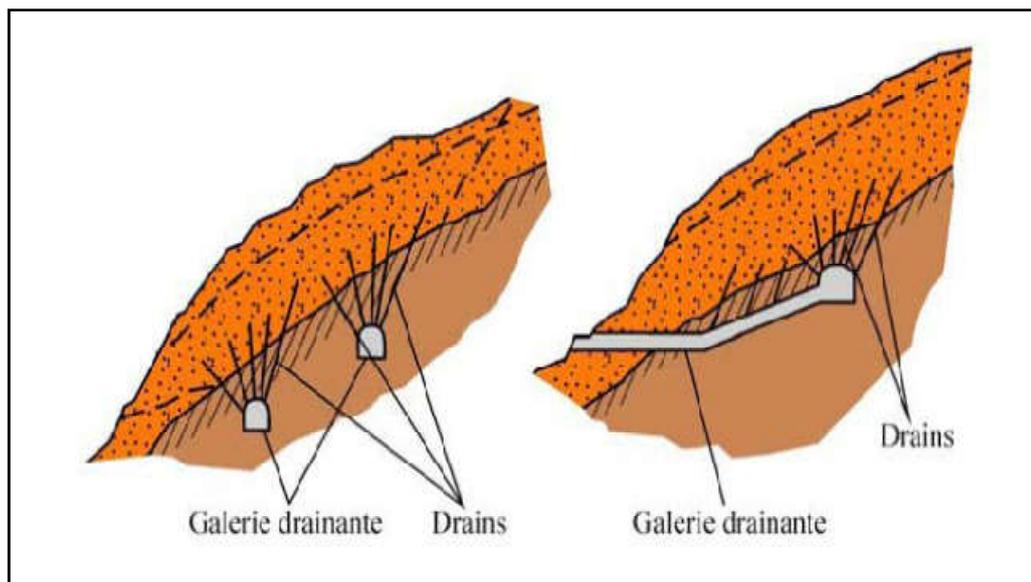
Les galeries drainantes (Figure 6-1) ont en général des sections modestes (hauteur 1.80 a 2.00 m, largeur 1 à 2 m) afin de permettre le contrôle et la maintenance des ouvrages.

La base de la galerie est positionnée a une profondeur légèrement inférieure a celle du niveau moyen des eaux souterraines, tandis que son sommet intercepte ce niveau.

Dans certains cas, un réseau de drains subhorizontaux peut être fore a partir de la galerie pour rendre le drainage plus efficace. Les galeries drainantes peuvent soit être laissées vides, soit être remplies avec du matériel drainant.

Cette solution nécessite un minimum d'emprises en surface, les têtes de galeries pouvant être regroupées, ni le creusement des galeries, ni le forage des drains ne réclamant l'utilisation de très gros matériels.

De la même façon, les déblais et les matériaux nécessaires à la construction sont d'un volume limité. Ceci a pour conséquence que l'on n'a pas besoin d'emprises de chantier étendues, une autre caractéristique est la quasi- totalité d'indépendance des travaux par rapport aux conditions climatiques.



Source : www.riskydrogeo/docs/guide_pratique/risknat.org

Figure n°6-1:Galerie drainante

6-1-2-1-Site Belouizdad-Kitouni

Parmi les dispositifs proposés, le drainage par galerie et forages drainants qui correspondent à une approche évolutive, la technique de réalisation consiste à effectuer les premiers aménagements, en réalisant les quatre (4) galeries supérieures décrites ci-dessous, on en évalue les effets, et en tant que de besoin, on les complète par la réalisation des deux galeries intermédiaires, puis après évaluation de nouveau des effets, on les complète éventuellement par les quatre (4) galeries inférieures.

En revanche, une telle approche nécessite d'une part investissements importants et d'autre part, un suivi régulier de l'efficacité du système d'évolution des pressions d'eau et des mouvements. Le paragraphe ci-dessous précise les données techniques pour pouvoir effectuer ce type d'ouvrage⁴⁹.

1-Section finie-profil en travers

-La section intérieure utile est d'environ 14 m² avec une largeur roulable de 3,72 m et une hauteur à la clé de 4,00 m.

-Les pieds droits sont verticaux et la voûte en plein cintre présente un rayon moyen d'intrados fini de 2,04 m.

-Ce gabarit intérieur a été retenu pour permettre la mise en œuvre d'un matériel de forage compatible avec la nécessité de réaliser des drains d'une longueur maximale de 50 m.

-La section intérieure est constante tout au long des galeries aux variations près de l'épaisseur du soutènement/revêtement plus au moins 4 cm.

-Le profil en travers du radier fini de la galerie présente une double pente transversale à 2% dirigée vers le caniveau central longitudinal disposé tout le long de la galerie.

2-Implantation-tracé en plan

Afin de couvrir au mieux les différentes zones de glissement et de bénéficier des escarpements naturels offerts par le versant Nord en rendant ces galeries efficaces sur terrain, elles seront réparties en trois groupes géographiques étagées entre le centre ville et la berge Sud de l'oued Rhumel, ce qui nous permet de distinguer :

- Quatre (4) galeries supérieures, sous le centre ville (Square Guessoum, ex immeuble Cadeau, une partie du quartier Maquisard, ces galeries implantées au Sud de la « barre rocheuse haute » sont repérées par G1.1/G1.2/G1.3/G1.4, d'Est en Ouest ;
- Deux (2) galeries intermédiaires sous le quartier Kaidi Abdellah, repérées d'Est en Ouest G2.1 et G2.2 ;

⁴⁹: ARCADIS-EEG-SIMECSOL-DUC(2005): Etude des glissements de terrain de la ville de Constantine Etude de confortement-Zone A-Sites Belouizdad-Kitouni-Kaidi Abdellah

- Quatre (4) galeries inférieures, implantées au Sud de la « barre rocheuse basse » et repérées d'Est en Ouest G3.1/G3.2/G3.3/G3.4.

a-Profil en long

Afin de favoriser la réalisation de ces galeries et l'écoulement gravitaires des eaux de drainage toutes les galeries présentent une pente longitudinale montante constante et identique de 3%. Le tableau précédent présente les cotes du radier à l'axe de la galerie au PM0, début de la galerie, jusqu'au PM de fin de la galerie.

Les hauteurs de couverture maximales sont comprises entre 24 m et 85 m (Tableau 6-1), les têtes de tunnel sont implantées de manière à bénéficier d'une couverture minimale de 6 m pour l'attaque de la galerie.

| Tranche du projet | Référence de la galerie | Longueur (m) | Cote radier début | Cote radier fin | Hauteur de couverture maximale |
|-------------------|-------------------------|--------------|-------------------|-----------------|--------------------------------|
| Ferme | G 1.1 | 175 m | 550 | 555.25 | 50 m |
| | G 1.2 | 175 m | 550 | 555.25 | 52 m |
| | G 1.3 | 175 m | 530 | 535.25 | 58 m |
| | G 1.4 | 175 m | 530 | 535.25 | 24 m |
| | Total TF | 700 m | | | |
| Conditionnelle 1 | G 2.1 | 225 m | 468 | 475.50 | 57 m |
| | G 2.2 | 175 m | 468 | 473.25 | 51 m |
| | Total TC1 | 400 m | | | |
| Conditionnelle 2 | G 3.1 | 175 m | 420.00 | 425.25 | 49 m |
| | G 3.2 | 325 m | 420.00 | 429.75 | 85 m |
| | G 3.3 | 125 m | 420.00 | 420.75 | 24 m |
| | Total TC2 | 625 m | | | |

Source : EEG-Simecsol, (2005)

Tableau n°6-1: Implantation tracé en plan à Belouizad-Kitouni

b-Soutènement des galeries

Le soutènement est constitué de cintres de type HEB associés à une coque continue en béton projeté, le soutènement en section courante, mis en œuvre à l'avancement, présente les caractéristiques suivantes :

Cintres type HEB160 avec un espacement de 1,20 m (rayon intérieur 2,15 m, piédroits droits de 2,00 m de hauteur), calés sur une platine métallique ;

Coque en béton projeté mis en œuvre à l'avancement d'une épaisseur moyenne comprise entre 0,18 m pour les sections entre cintres et 0,26 m au droit des cintres ;

Longrine de chaînage longitudinal en base de piédroits (cage d'armatures noyée dans le béton projeté). Cette longrine présente une largeur constante de 0,35 m pour une hauteur d'environ 0,5 m, localement ce soutènement type pourra être renforcé en fonction des faciès géotechniques et hydrogéologiques rencontrés à l'avancement, ce qui pourra se traduire par les dispositions de renforcement et les dispositions constructives suivantes :

- Réduction de l'espacement des cintres qui pourra être ramené localement à 1,00 m ;
- Excavation des travées à l'abri de profilés d'enfilage en cas d'instabilité localisée des formations en voûte, ces profilés, de type UPN 120 de quelques mètres de longueur, sont foncés au travers des cintres (au travers de lumières aménagées dans leur âme), cette disposition pouvant être complétées par des tôles d'enfilage ;
- Mise en œuvre de forages de drainage à l'avancement, à partir du front de taille, ceci afin de limiter les risques de débousses en galerie à la faveur de lentilles sableuses en charge ;
- Renforcements des épaisseurs de béton projetés ;
- Gunitage du front de taille en cas d'arrêts des phases d'excavation-soutènement ;
- Mise en œuvre de treillis soudé en parement ;
- Captages localisés des arrivées d'eau en parement excavé au moyen de demi-coquilles pour permettre une mise en œuvre correcte du béton projeté ;
- Comblements des hors-profilés avec un mortier ou un béton de bourrage (en association avec des tôles de blindage).

c-Drainage

La galerie est conçue pour contribuer en complément des drains forés auréolaires au drainage des formations traversées, ce drainage est assuré par les éléments suivants :

- Le percement au travers de l'épaisseur de béton projeté du soutènement, de barbacanes
- La mise en œuvre d'un complexe drainant disposé en nappe continue en voûte et piédroits de la galerie ;

- La réalisation d'un radier drainant sous la forme d'un tapis de matériaux drainant de type 40/80 disposés sur une épaisseur de 20 cm sous le radier de roulement en béton.

Le complexe drainant est mise en œuvre au dessus de la cote relative plus 0.40 par rapport au plan de roulement. Il est disposé à l'intrados du soutènement en béton projeté, et il est équipé en extrados d'un géotextile anti-contaminant.

En parties inférieures, pour chaque piédroit, un drain longitudinal recueille les eaux de drainage, son fil d'eau, calé à la cote relative plus 0.40 (le plan de roulement est à la cote 0.00) présente une pente identique à celle des galeries, soit 3 %.

d-Collecte des eaux de drainage

La collecte des eaux de drainage doit permettre de répondre aux critères suivants :

- Possibilité de prélèvements des eaux drainées par tranches de 25 ml de galerie (pour contrôle des débits et analyse éventuelle) ;
- Possibilité de collecte par la galerie tous les 25 mètres pour recueillir tous les débits en provenance des drains forés auréolaires, qu'il s'agisse de drains réalisés dans le cadre de la dernière étude ou de drains futurs réalisés ultérieurement en compléments dans les zones identifiées comme aquifères, le dispositif de collecte comprend donc :
- Un caniveau central longitudinal tout au long de la galerie, équipé d'une cuvette de diamètre 0,40 m et recouvert de dalles en béton armé, ce caniveau central présente une pente longitudinale de 2% pour permettre son autocurage.
- Sachant que la pente de la galerie est de 3%, une rupture du fil d'eau, de 0,50 m de hauteur, est prévue tous les 50 ml de galerie au droit d'un regard (dimensions intérieures 0,60 x 0,60 x 0,75^{ht}).
- Ce regard permet d'effectuer les prélèvements et les mesures de débit nécessaires par simple comptage (remplissage d'un seau disposé sous le fil d'eau de la canalisation supérieure) ;
- Tous les 25 ml, en base de chacun des piédroits, un regard de collecte (dimensions intérieures 0,15 x 0,60 x 0,20^{ht}) recueillant, d'une part les eaux de drainage en provenance des drains en base du complexe drainant de la voûte et d'autre part les débits apportés par les différents drains forés auréolaires canalisés par des tuyaux PVC.

Deux collecteurs de diamètre 100, noyés dans la dalle de roulement de la galerie, ramènent ainsi ces débits dans le caniveau central tous les 25 ml.

e-Revêtement des galeries

Il n'est pas prévu de revêtement structurel à proprement parler pour ces galeries. En revanche, une protection mécanique de la nappe du complexe drainant est systématiquement prévue, par

la mise en œuvre d'une épaisseur moyenne de 0,08 m de béton projeté.

Ceci définit la ligne moyenne d'intrados du revêtement avec un rayon moyen de 2,04 m. En base de piédroit, cette épaisseur moyenne de 0,08 m est portée à 0,15 m pour permettre l'enrobage correct des drains longitudinaux en base du complexe drainant.

f-Equipement en galeries

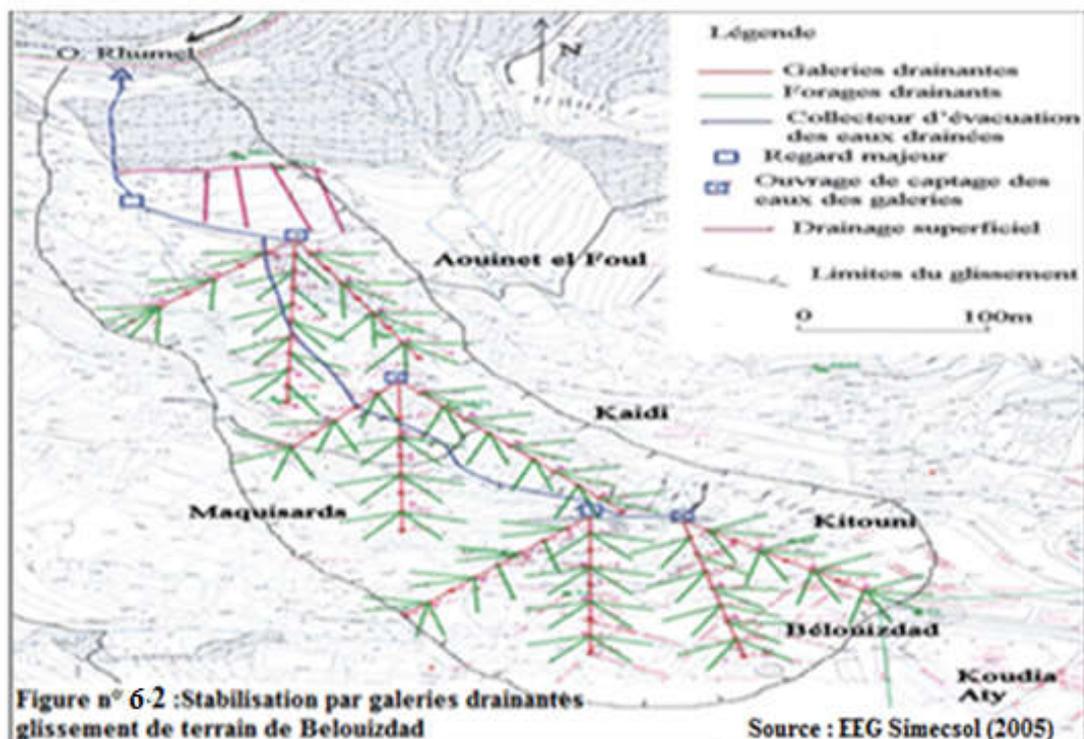
Il n'est pas prévu d'équipements particuliers en galerie (pas d'éclairage entre autres), un simple marquage des PM principaux sera effectué.

g-Caractéristiques des drains forés

Dans chaque galerie les différents forages drainants ascendants seront réalisés à partir d'auréoles de forage distantes au minimum de 25 mètres, les drains auréolaires présenteront un diamètre entre 60 mm et 70 mm, leur ouverture de filtration sera adaptée à la granulométrie des formations traversées. Il n'est pas envisagé de mettre en œuvre de chaussettes géotextiles anti-contaminantes autour des drains.

En effet, en cas d'une diminution de leur efficacité, les effets d'un nettoyage des drains sont supérieurs en l'absence de géotextile anti-contaminant.

Les débits de chaque drain seront collectés par des canalisations PVC pour être rejetés dans les regards de collecte latéraux en base de piédroits (regards implantés systématiquement tous les 25 m). Une liaison en T, branchée en tête des drains forés, permettra un accès direct dans l'alignement des drains pour faciliter leur entretien ou permettre leur inspection télévisuelle.



6-2-Clouage de la pente : clous et micro pieux

La stabilisation d'un glissement de terrain par clouage repose sur le principe suivant : la partie supérieure du massif en mouvement engendre une déformation des clous, les efforts qui en résultent sont transmis par les clous au substratum, qui s'oppose alors au mouvement.

L'efficacité du clouage réside dans la mobilisation d'efforts de traction et de cisaillement dans le clou.

Pour que ces efforts stabilisateurs soient mobilisés, il est nécessaire qu'il se produise des déplacements relatifs sol et clou. Cette technique ne peut être appliquée pour les glissements de grande ampleur, qui nécessiteraient l'introduction d'efforts considérables.

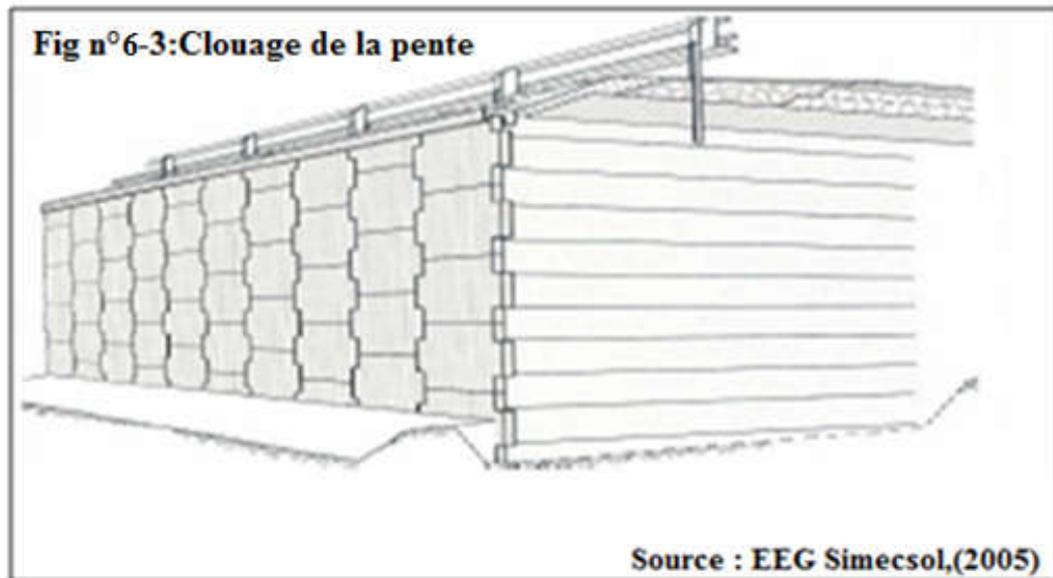
Le dimensionnement d'un ouvrage de confortement par clouage se fera en justifiant une sécurité suffisante vis-à-vis des risques de rupture, qui se situent dans le clou (barre ou tube d'acier) par traction et /ou cisaillement au contact sol/clou, dans la partie inférieure d'ancrage (arrachement du clou) dans le sol, le long de la surface de rupture par insuffisance d'efforts apportés par les clous et bien entendu dans le sol, pour des glissements en profondeur sous l'ouvrage (insuffisance de fiche des clous), ou en aval si le clouage est placé trop en amont sur le versant, ou en amont si le clouage est placé trop en aval sur le versant.

Dans ce cas le coefficient de sécurité sera 1,5 sur la résistance interne de l'armature en calculant la contrainte maximale susceptible d'être mobilisée en traction-cisaillement, on utilise des barres de section supérieure pour tenir compte d'une éventuelle corrosion.

L'effort tangentiel entre le sol et le clou (interaction sol/clou) est majoré par l'effort limite Pqs ou P est le périmètre du clou et qs le frottement latéral unitaire, lequel peut être évalué à partir d'essais d'arrachement ou d'essais pressiométriques, là encore on prendra en compte un coefficient de sécurité de 1,5.

L'évaluation de l'amélioration de la sécurité au glissement se fait en utilisant une méthode de calcul de stabilité de pente dans laquelle on introduit les efforts apportés par les clous, deux options sont possibles pour introduire les efforts résistants apportés par les clous :

- Prendre en compte les efforts maximaux admissibles pour le clou et le contact sol/clou.
- Prendre en compte les efforts engendrés dans le clou par le déplacement de sol le long de la surface de rupture, déplacement que l'on choisit tel que la structure puisse le tolérer.



6-2-1-Site Bousouf

Les calculs de stabilité effectués avec la géométrie du profil C3 conduit aux résultats indiqués dans le tableau ci dessous. Il est a signaler que si on se place dans des hypothèses de cohésion et d'angle de frottement moyen du sol, l'augmentation du coefficient de sécurité après clouage est toujours supérieur à 157% le clouage envisagé est donc très efficace.

Les coefficients de sécurité en cas de séisme est supérieur à 1,5 la stabilité est donc assurée même en cas de séisme. Cette valeur de coefficient de sécurité ne concerne que la parie supérieure des talus, elle n'a aucun effet sur la stabilité des grands glissements dans la pente ou plus à l'aval⁵⁰

-Description des travaux d'aménagement proposés

Ces propositions d'aménagement des talus du site de Bousouf ,concernent thalweg Ouest, la crête qui délimite ce thalweg au le Sud et son talus Nord (zone 1) et le talus en rive gauche de l'Oued M'gharouel (zone 2) thalweg Est, la crête des talus qui délimitent le thalweg au Sud, à l'Ouest et à l'Est et les pentes (zones 3 et 4)

Zone 1

Elle-même subdivisée en deux parties,la première partie concerne la partie du talus située à l'amont et à l'aval de l'inclinomètre SBO11.

⁵⁰ DUC-ARCADIS-EEG-SIMECSOL(2003):Etude des glissements de terrain de la ville de Constantine,Ministère de l'habitat et de la construction .Etude de confortement-Zone C-Site Bousouf

Les travaux consisteront en un reprofilage du talus amont en partant du mur de soutènement situé juste devant le bloc d'immeubles à l'aval de cet inclinomètre.

Le point de départ du nouveau profil de terrain sera à la cote 660 m (d'après le levé topographique), le profil aura une pente de 10° sur environ 85 m (jusqu'à la cote 576,5 m) puis une pente de 30° jusqu'à atteindre la bordure de la piste située derrière l'îlot de villas (cote 583 m).

La dernière partie du talus, de pente 30°, sera renforcée par 5 rangées de micro-pieux constitués d'une armature HEB 100/100 scellée avec du béton, dont les caractéristiques principales sont :

- diamètre : 150 mm
- longueur : 15 m
- renforcement : HEB 100/100
- espacement des micro-pieux : 2 m environ
- espacement des rangées : 3 m environ.

Ces travaux concerneront une bande de 120 m de long sur 12 m de large, les rangées n°1, 2, 3 et 5 (en partant de la tête de talus) seront dirigées vers l'amont du talus et inclinées de 30° par rapport à la verticale.

La quatrième rangée quant à elle sera faite de micro-pieux orientés comme précédemment alternant avec d'autres de même inclinaison mais orientés vers l'aval du talus.

Les micro-pieux comporteront une plaque de tête métallique destinée à soutenir le sol en surface du talus pendant la phase de réalisation.

Cette partie clouée du talus sera équipée d'un masque en matériaux drainants et un drain collecteur sera mis en place en pied de ce talus pour permettre la collecte et la canalisation des eaux pluviales.

Ces travaux seront impérativement réalisés par plots, suivant la hauteur et suivant la largeur, un retalutage sera proposé pour la partie glissée qui débutera à partir du haut par plot de largeur limitée, avec un décapage de hauteur limitée à celle qui permet la mise en place d'une ligne horizontale de micro-pieux.

Le décapage et l'évacuation des matériaux de la couche suivante ne seront entrepris qu'après la prise effective du coulis de scellement des micro-pieux. Le masque en matériaux drainants de bonne qualité sera mis en place au plus tôt après la réalisation du plot.

Les travaux dans la deuxième partie de cette zone consisteront en un reprofilage de la partie du talus située l'inclinomètre SBO3 et le sondage pénétrométrique PSBO11 à l'amont et de l'inclinomètre SBO2 et le sondage pénétrométrique PSBO4 à l'aval sur une bande de terrain d'environ 420 m de longueur sur 140 à 200 m de largeur, la pente obtenue sera de 10°, il n'est pas prévu de coulage dans cette partie du talus.

Tous les matériaux extraits, de mauvaise qualité en général, doivent être évacués et mis en décharge.

| Accélération horizontale (g) | Position de la nappe / TN (m) | Cohésion (kPa) et angle de frottement du sol (°) | | Coefficient de sécurité | | |
|------------------------------|-------------------------------|--|----|-------------------------|--------------|-------|
| | | | | avec clouage | sans clouage | Delta |
| 0 | TN | 0 | 20 | 2.1 | 0.7 | 201% |
| 0 | TN | 0 | 16 | 1.6 | 0.5 | 200% |
| 0 | TN | 0 | 12 | 1.2 | | |
| 0 | TN | 10 | 20 | 3.1 | | |
| 0 | TN | 10 | 16 | 2.6 | | |
| 0 | - 2 m | 0 | 20 | 2.8 | | |
| 0 | - 2 m | 0 | 16 | 2.2 | | |
| 0 | - 2 m | 0 | 12 | 1.6 | 0.6 | 179% |
| 0 | - 2 m | 10 | 20 | 3.8 | 1.5 | 161% |
| 0 | - 2 m | 10 | 16 | 3.2 | 1.3 | 157% |
| 0,1 | TN | 10 | 20 | 1.8 | | |
| 0,1 | TN | 10 | 16 | 1.5 | | |
| 0,1 | - 2 m | 10 | 20 | 2.2 | | |
| 0,1 | - 2 m | 10 | 16 | 1.9 | | |

Source : EEG- Simecsol, (2005)

Tableau n°6-2 : Stabilité du talus amont avec clouage (coefficient de sécurité en fonction de la position de la nappe et de l'accélération à Boussouf)

Ces travaux nécessiteront la démolition des villas situées à l'aval de la crête qui forme cette partie du site de Boussouf et la chaussée existante permettant d'accéder à ces villas sera elle aussi démolie et ne sera pas rétablie. L'école Saïd AZABI située en pied de talus sera démolie à son tour.

Zone 2

Elle est formée par un talus situé en rive gauche de l'oued M'gharouel et à l'aval des blocs d'immeuble qui surplombent l'oued. Ce talus a fait l'objet de travaux d'aménagements antérieurs à la présente étude, travaux qui ont consistés en la réalisation de banquettes.

Les travaux consisteront en un retalutage du terrain pour atteindre une pente d'environ 13° et sa végétalisation.

Zone 3

Elle est formée par la langue de terrain qui sépare le Thalweg-Est du Thalweg-Ouest, les travaux consisteront en un reprofilage du terrain pour obtenir des pentes de 9° à 10°.

Ces travaux nécessiteront le déplacement de l'école Abdallah TENIOU, la démolition d'un groupe de trois immeubles en cours de construction et des deux immeubles qui les surplombent.

Il n'est pas prévu de clouer les talus après reprofilage, il n'est pas prévu de démolir les chaussées existantes et qui permettent la desserte des immeubles non concernés par les travaux.

Zone 4

Elle est formée par le talus rive droite du Thalweg-Est et délimité à l'Est par la RN5, les travaux consisteront en reprofilage léger du terrain et l'enlèvement des remblais qui forment la tête de talus.

Il est impossible de négliger le rôle et l'importance des fortes pluies, ce qui entraînerait des inondations et en raison des très nombreux remblais d'argile déconsolidée, fissurée, disséminés sur le site, font redouter des instabilités de type coulée de boue, déjà observées à petite échelle, mais qui pourraient se révéler dangereuses si elles prenaient de l'ampleur.

Le risque est particulièrement important au confluent des thalwegs Est et Ouest, à l'aval où ont été construites de grandes villas qui barrent physiquement l'écoulement naturel de l'oued.

Des aménagements hydrauliques avec pour objectif de maîtriser les écoulements sont envisageables sous la forme de caniveaux, cunettes, fossés drainants, canalisations.

La réalisation de ces aménagements est particulièrement aisée pour l'oued M'gharouel, dont les berges sont peu urbanisées.

En revanche, l'aménagement des thalwegs Ouest et Est nécessitent des travaux important en site urbanisé.

6-3-Modification des profils

La pente du talus et la présence des sols de mauvaises caractéristiques sont les principaux facteurs dans la mobilisation du glissement de terrain.

Pour cela, la modification géométrique et morphologique s'impose en premier lieu, elle peut être envisagée par plusieurs méthodes selon la nature du problème, parmi ces méthodes appliqué.

6-3-1-Site Boussouf

Il s'agit de protéger dans la mesure du possible les habitations et les immeubles situés à la limite des zones instables, de l'effet de la régression des instabilités, cela consiste à augmenter le coefficient de sécurité de la partie supérieure des talus.

Ces talus souvent constituées de remblais en matériau pris sur place, c'est-à-dire de l'argile qui est déconsolidée et profondément fissurée en période sèche.

Ces remblais surchargent la tête du talus et augmente sa pente localement, ce qui ne peuvent que déstabiliser la pente.

-Evacuation des remblais et adoucissement des pentes

Pour augmenter localement le coefficient de sécurité et éviter la régression des instabilités, il s'agit d'évacuer les remblais et d'adoucir les pentes pour leur faire retrouver une pente voisine de 10°.

Ces confortations concernent une zone de grande superficie indiquée ,elles entraînent le déplacement de deux écoles, la démolition de plusieurs immeubles habités dans le thalweg Est et de plusieurs villas au Sud-ouest.

Pour limiter les démolitions, nous proposons de mettre en œuvre un clouage en tête de talus après l'adoucissement de sa pente.

6-4-Protection des berges

6-4-1-Site Belouizdad-Kitouni

Celles-ci sont destinées à prévenir l'érosion sapant l'extrémité Nord de la zone instable, et qui contribue à l'évolution de celle-ci.

Cette protection est constituée par des éléments de type enrochement, ou gabion, d'une taille et/ou d'un poids tel, qu'ils ne puissent être mobilisés par le flot auquel ils seront soumis. En outre, ils doivent :

- Etre agencés, de telle sorte qu'ils ne soient pas affouillables,
- Ne pas réduire la section d'écoulement de l'oued,

○ Etre résistants à la corrosion, dans le cas d'une solution impliquant la mise en place de gabions.

La largeur en tête sera au minimum de 1m, avec une pente intérieure de 1H / 1V et une pente extérieure de 3H / 2V.

Pour lutter contre les affouillements, les enrochements (ou gabions) seront mis en œuvre dans le lit de l'oued sur une distance de quatre mètres et une épaisseur de un mètre, ces travaux seront programmés en période d'étiage de l'oued.

6-4-2-Site Bousouf

L'érosion des berges est un facteur initiateur et aggravant des instabilités ,la protection des berges, localement réalisée doit être généralisée près des zones instables ou potentiellement instables.

La technique proposé est celle de l'enrochement qui paraît suffisamment efficace d'après le comportement des quelques sections ainsi dotées,de l'oued el Mellah et de Châabet El Merdja.

-Propositions de confortement pour le thalweg qui longe le talus aval de la route nationale n° 27

L'approfondissement par érosion de ce thalweg augmente les risques d'instabilité des talus et menace la route nationale n°27, les solutions proposés pour stopper cette évolution et de stabiliser cette zone en comblant le thalweg.

Un ouvrage-cadre entouré d'un matériau drainant assurera la collecte et l'évacuation des eaux anthropiques et de drainage.

Le matériau de comblement pourra être du matériau argileux trouvé localement, il sera traité et compacté de façon à éviter tout tassement significatif du corps du remblai. Un réseau de collecte des eaux pluviales devra être installé en surface et une attention particulière, doit être apportée à l'évacuation des eaux pluviales de surface pour empêcher l'érosion de la partie supérieure du remblai qui resterait le chemin d'écoulement normal des eaux de surface.

6-5-Reboisement et plantation d'arbres

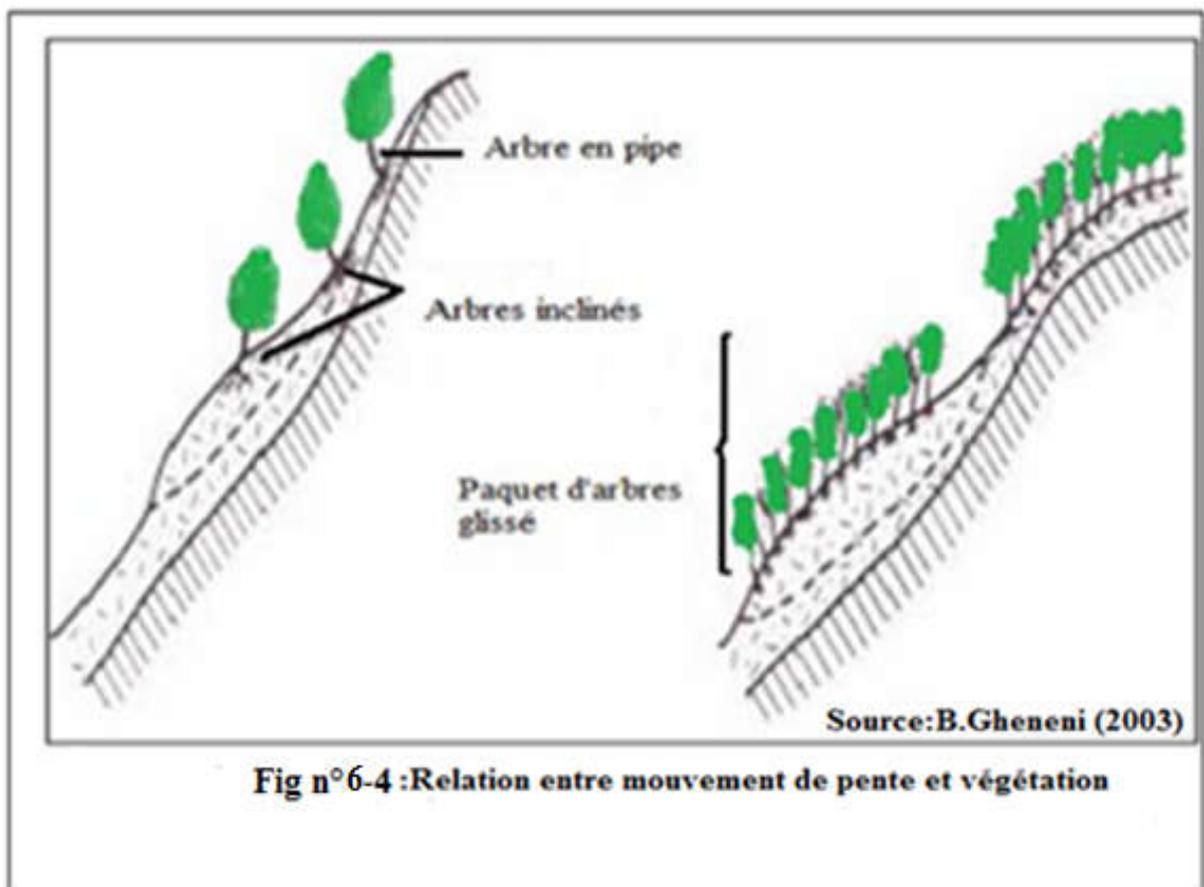
La végétation a un rôle non négligeable car elle intervient d'une part au niveau des échanges d'eau (évapotranspiration) et d'autre part au niveau de la cohésion et de la fixation du sol due aux racines, elle permet aussi de diminuer l'érosion du sol, d'autre part lorsque le couvert végétal est très dense, le poids est plus important, ce qui augmente les forces motrices qui provoque l'instabilité du talus.

Les forêts interceptent les eaux de pluie, contribuant ainsi à diminuer les volumes et les vitesses d'écoulements sur les versants et augmenter la cohérence du sol, mais si la végétalisation des sols peut jouer parfois un rôle significatif sur la réduction du risque

inondation en atténuant les crues, elle ne permet pas de stabiliser réellement des versants affectés par des glissements profonds. En revanche, les racines des végétaux ont pour effet d'ancrer le sol dans les premiers mètres, la présence d'une forêt, régulièrement entretenue et renouvelée, peut donc contribuer à stabiliser des glissements superficiels.

La correction torrentielle peut venir compléter les autres mesures de stabilisation des versants lorsqu'ils sont bordés en aval par un cours d'eau.

L'objectif est de limiter l'action érosive des écoulements sur les berges, pour éviter que leur sapement n'entraîne l'effondrement du pied de versant, puisque celui-ci peut assumer en partie la stabilité de la masse située en amont. Dans cette optique, il suffit de buser les écoulements pour permettre à des débits très élevés de s'écouler sans conséquences sur les rives. Si cela n'est pas possible, il faut installer des seuils afin de réduire la puissance des écoulements et donc leur action érosive.



6-5-1-Site Boussouf

La végétalisation des talus et la plantation d'arbres ont pour effet de participer à la stabilisation des terrains superficiels et à la maîtrise des eaux pluviales, cette solution devrait être envisagée pour tous les talus du site de Boussouf.

Il est indispensable de végétaliser les talus par des espèces adaptées aux conditions locales de climat et de nature du sol et comprenant : des espèces arbustives atteignant à l'âge adulte une hauteur et une extension latérale minimales de 1,50 m avec une densité d'un arbuste minimum pour 15 m² des arbres à haute tige, hydrophiles (eucalyptus par exemple), à raison d'un pied pour 250m².

6-5-2-Site Benchergui

La stabilisation de la falaise instable de ce site n'est pas réaliste en raison de la morphologie du site et de son étendue. Toutefois, des mesures urgentes consisteraient à neutraliser une bande de terrain en crête de falaise d'une largeur à définir, d'au moins 50 m, en évacuant les constructions existantes et en supprimant les réseaux éventuellement existants.

Cette action doit impérativement être complétée par un léger remodelage éventuel des terrains en pied de la falaise ainsi une protection des berges à réaliser dans les mêmes conditions que celles prévues pour la berge coté El Menia, complétée par une surveillance visuelle de la régression de la falaise.

6-6-Pont Sidi Rached

6-6-1-Remplacement des joints et appuis du tablier et de la culée Est du pont

Le dispositif de surveillance et l'observation visuelle des déplacements des joints ont démontré que la culée Est se déplace, non seulement dans l'axe du tablier mis en place, mais aussi transversalement de ce fait, la solution retenue consiste à améliorer ce système en :

- Remplaçant le joint existant par un nouveau type de joint grande course, qui permettra d'absorber le déplacement, en biais, de la culée ;
- L'équipement du tablier d'appuis coulissants grande course ;
- La réalisation d'un mur garde-grève démontable en deux éléments (un par demi-chaussée).

6-6-1-1-Remplacement des joints

Actuellement, le tablier métallique est équipé de deux joints à peigne, l'un côté pile n°1 (côté Oued Rhumel), l'autre côté culée-Est (côté gare ferroviaire), les deux joints sont à remplacer.

Le premier joint sera un joint à peigne mais dont les doigts ne doivent pas s'entrecroiser, ceci pour absorber tout déplacement en biais du tablier à ce niveau.

De ce fait, le joint aura un souffle nominal de 110 mm et doit être bien adapté au biais, le deuxième joint à mettre en place aura les caractéristiques techniques suivantes :

-Un souffle longitudinal minimal de 250 mm, permettant d'absorber la composante longitudinale du déplacement de la culée.

-Un souffle transversal minimal de 35 mm, permettant d'absorber la composante transversale du déplacement de la culée, ce joint sera posé et calé de telle façon, qu'en fin de course, il puisse absorber un déplacement total équivalent au double de son souffle transversal.

Une fois arrivé en fin de course, il sera recalé comme lors de la pose, si la déformation transversale du joint est limitée, son système de fixation devra permettre d'effectuer périodiquement, dans un délai raisonnable, son démontage et son recalage transversal.

6-6-1-2-Construction d'un mur garde grève

Le mur garde grève sera construit sur la culée Est du pont, il sera ancré à la dalle sous-jacente à l'aide de fixations scellées, ce dispositif permettra le démontage et le déplacement du mur garde grève lors de chaque changement de joint.

6-6-1-3-Equipement du tablier métallique d'appuis coulissants

Pour absorber une partie des déplacements de la culée Est du pont, il est prévu d'équiper le tablier métallique actuel d'appuis coulissants grande course, permettant d'absorber des déplacements de l'ordre de 200 à 300 m. Ces appuis, aussi, seront ancrés à la dalle de béton sous-jacente, il est prévu d'équiper le tablier de huit appuis, quatre appuis fixes côté pile n°1 et quatre appuis coulissants grande course côté culée.

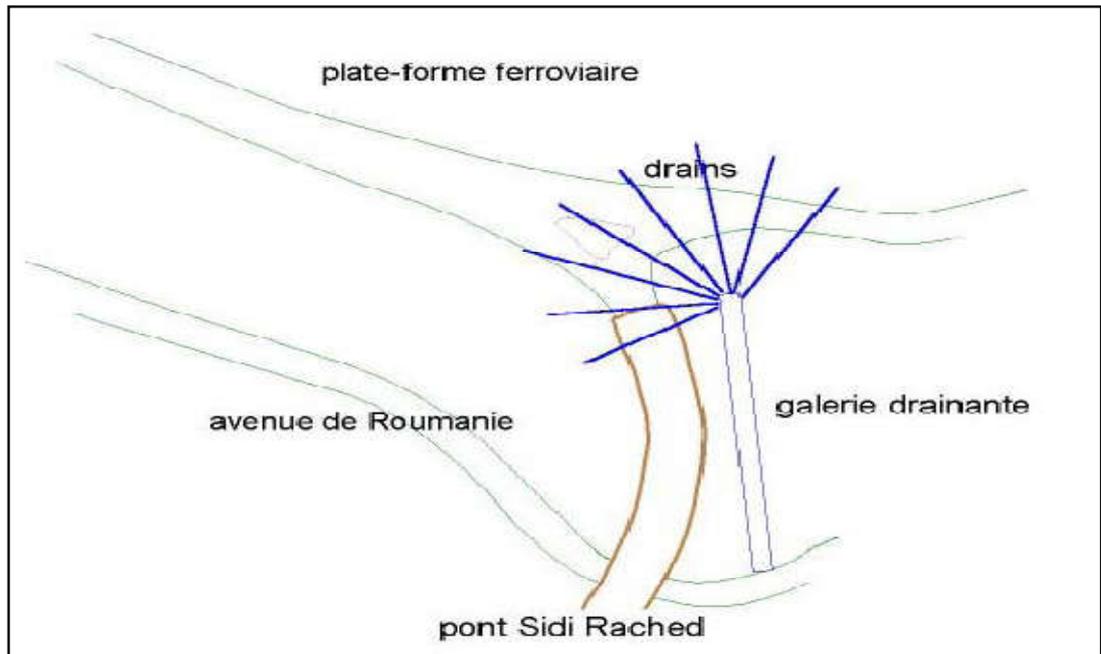
Ce choix des joints, des appuis et de leur disposition permettra au tablier métallique d'absorber à la fois, le mouvement de la culée-Est dû à la poussée permanente de terrains glissants et le mouvement occasionnel de l'ensemble lors d'un séisme⁵¹.

6-6-1-4-Fonctionnement de l'ensemble du système

Lorsque le déplacement de la culée par rapport au tablier aura fermé le joint, les travaux consisteront à :

- Dégager le mur garde grève d'une demi chaussée et démonter le joint de la demi chaussée ;
- Déplacer les appuis correspondant de 200 à 300 mm et le mur garde grève de 200 à 300mm ;
- Fixer les appuis et le mur garde grève sur les fixations scellées dans la dalle décalées de 200 à 300 mm par rapport aux fixations précédentes ;
- Rétablir la demi-chaussée puis renouveler l'opération sur l'autre demi chaussée.
- Un mur séparateur pourra être réalisé à mi-chaussée entre les deux éléments de mur garde grève pour soutenir alternativement la demi chaussée sur laquelle on pourra circuler.

⁵¹ : ARCADIS-EEG-SIMECSOL-DUC(2005):Etude des glissements de terrain de la ville de Constantine - Etude de Confortement-Zone D-Sites du chemin forestier et du pont Sidi Rached.



Source : EEG-Simecsol, (2005)

Figure n°6-5: Schéma du drainage proposé pour limiter la remontée de nappe

6-7-Démolition des constructions

Les glissements de terrain étant souvent peu rapides, les victimes sont fort heureusement, peu nombreuses. Ces phénomènes sont souvent très destructeurs, car les aménagements humains y sont très sensibles et les dommages aux biens sont considérables et souvent irréversibles.

Les bâtiments s'ils peuvent résister à de petits déplacements, subissent une fissuration intense en cas de déplacement de quelques centimètres seulement.

Les désordres peuvent rapidement être tels que la sécurité des occupants, ne peut plus être garantie et que la démolition reste la seule solution.

6-7-1-Site Belouizdad-Kitouni

Ce site peut être classé comme présentant un danger élevé, l'intérieur comme l'extérieur des bâtiments présente un danger pour les personnes et deviennent inhabitables et l'éventualité d'une destruction rapide des constructions n'est pas à écarter.

Les bâtiments classés en rouge et concernés par la démolition, présentent un risque majeur d'effondrement.

Etant situé en site urbain, la démolition doit prendre en charge les précautions particulières de façon à ne pas constituer un risque d'aggravation de la situation, du fait de l'enchevêtrement des constructions adjacentes.

Les principes de démolition sont basés sur des prescriptions techniques particulières donnant une description aussi complète que possible des travaux à exécuter, dans le but de permettre de préciser la nature des travaux à exécuter.

Ces prescriptions, ne peuvent prétendre à une description complète et parfaite des travaux, il convient de souligner que cette description, n'a pas un caractère limitatif (démolitions complémentaires éventuelles, travaux pouvant échapper à la description...).

- Un cordon de sécurité doit être installé au préalable autour de la zone considérée.
- La circulation des personnes doit être minimisée au voisinage du chantier.
- Avant d'entamer les travaux, les coupures de l'électricité, du gaz et de l'eau seront effectués.
- Les étapes de la démolition seront définies.
- Les mesures de sécurité à prendre seront définies.
- L'évacuation des gravats est programmée systématiquement.
- Définition de la méthode de démolition en fonction de la structure résistante de l'ouvrage.
- La solution démolition avec ou sans reconstruction tiendra compte de la gravité du glissement.

La reconstruction ne peut être envisagée dans les sites où le glissement ne peut être maîtrisé, les difficultés liées à la démolition, seront rencontrées dans l'adaptation des techniques de démolition au type de structures endommagées (désordres localisés, bâtiments sévèrement touchés...) et à la mitoyenneté avec des ouvrages souvent restés intacts.

6-7-2-Site Benchergui

Les constructions classées en rouge et concernées par la démolition, présentent un risque majeur d'effondrement aux constructions adjacentes.

A cet effet la démolition doit prendre en charge les précautions particulières de façon à ne pas constituer un risque d'aggravation de la situation, du fait de l'enchevêtrement des constructions.

Les principes de démolition sont basés sur des techniques particulières donnant une description aussi complète que possible des travaux à exécuter.

Ces descriptions, ne peuvent prétendre à une estimation complète et parfaite des travaux, il convient de souligner que cette description n'a pas un caractère limitatif (démolition complémentaire éventuelle, travaux pouvant échapper à la description...). Les constructions en bidonvilles se trouvant sur ce site sont anarchiques et occupées irrationnellement.

La démolition doit se faire mécaniquement à l'aide de pelles et de rétrochargeuses pour l'évacuation des gravats.

La reconstruction ne peut être envisagée que dans les sites où le glissement sera maîtrisé. Les difficultés liées à la démolition seront rencontrées dans l'adaptation des techniques de démolition au type de structures endommagées (désordres localisés, construction sévèrement touchés) et à la mitoyenneté avec les ouvrages souvent intacts.

La gestion des zones à risques de glissements de terrain par les autorités locales consistait depuis longtemps en une prise en charge des familles sinistrées dans des cités édifiées aux alentours de la ville de Constantine puis vers la nouvelle ville Ali Mendjeli.

Face à cela, la gestion des risques prends forme d'éradication des bidons villes, suite au programme présidentiel, l'ensemble des sites à été évacués mais on ne connaît pas actuellement les nouvelles affectations de ces sites récupérés. (Tableau n°6-3)

Les sites sont ainsi abandonnés sans mesure de travaux de confortement et de stabilisation des terrains instables où les glissements restent très actifs au jour d'aujourd'hui et dont l'évolution menacent les habitations limitrophes.

| Année d'évacuation | Programme | Quartier | Nombre de bâtisses | | Observation |
|--------------------|---------------|-----------------------|--------------------|------------|-------------------------------------|
| | | | démolis | à démolir | |
| 1995 | APC | Kitouni | 03 | - | Achevées |
| 1998 | APC | Belouizdad | 01 | - | Achevées |
| 2001-2002 | 511 logements | Bellevue | 05 | | Achevées |
| | | Belouizdad | 10 | 03 | 10 Achevées 03 Squattées |
| | | Kitouni | - | 12 | Squattées |
| | | Maquisards | - | 39 | Squattées |
| 2003 | 300 logements | Bellevue | - | 01 | Local commercial non évacué |
| | | Belouizdad | 23 | 03 | 23 Achevées 03 Squattées |
| | | Kitouni | 04 | 03 | 04 Achevées 03 Squattées |
| | | Poudrière | 65 | | Achevées |
| | | Moulin Lavie | 12 | 03 | 12 Achevées 02 Squattées |
| 2004 | 250 logements | Bencherghi | 10 | | Achevées |
| | | Chalets SOTRACO | 45 | 13 | 45 Achevées 13 Squattées |
| | | Poudrière | 80 | - | Achevées |
| 2004-2005 | 550 logements | Boudraa Salah | 80 | - | En cours d'achèvement |
| | | Bencherghi | - | 50 | Opération de relogement non entamée |
| | | Poudrière | 90 | - | Achevées |
| | | Chalets SOTRACO | - | 75 | Opération de relogement non entamée |
| | | S /Total | 428 | 201 | |
| Total | | 1611 logements | 629 | | |

Source : Schéma de Cohérence Urbaine de la wilaya de Constantine (SCU).

Tableau n°6-3: Les actions prise par les autorités lors des glissements de terrain (1995-2005).

Conclusion

Les principaux outils de la prévention des risques naturels « glissements de terrains » s'articulent autour de : la maîtrise de l'urbanisation, maîtrise de l'aménagement, informations préventives des populations et la construction adaptée.

La prévention reste l'outil le favorable pour éviter la survenance, et la dangerosité du risque glissement de terrain. Elle peut prendre plusieurs formes et ce à travers les mesures structurelles et de confortements, les mesures non structurelles en particulier, l'information et la cartographie sur les zones affectées par l'aléa, et les terrains exposés au risque glissement de terrain, les règlements et les lois appliquées à la gestion.

En matière de mouvements de terrain, si des mesures de protection ont pu être mises en place, elles ne sont efficaces que pour un événement d'intensité limité, traiter l'aléa ne supprime pas le risque définitivement.

A Constantine ces mouvements ont pris une grande ampleur dans l'espace urbain, portant essentiellement atteinte à l'économie, nécessitant la destruction de plusieurs constructions et le relogement de nombreuses familles.

En conséquence, le meilleur moyen de prévention contre les risques de mouvement de terrain est d'agir sur la réduction de la vulnérabilité des enjeux.

Chapitre 7 : Acteurs et politiques de gestion des risques naturels en Algérie

Introduction

Dans notre pays la succession des événements naturels catastrophiques, ont incité le gouvernement à mettre en place des plans et des stratégies de réduction et d'atténuation des effets dommageables de ces calamités.

En réalité l'idée de prévention des risques majeurs a réellement émergée à la suite du séisme du 10 octobre 1980 d'El Asnam renommé Chlef aujourd'hui.

Depuis, sur insistance des pouvoirs publics, le législateur algérien a élaboré et adopté un certain nombre de textes dans lesquels on retrouve les dispositions relatives à la prévention des risques majeurs.

Dans ce présent chapitre nous présentant, la politique nationale de la prévention des risques naturels, nous abordons les décisions prise sur le plan institutionnel et opérationnel dans notre pays.

7-1-Institutions et acteurs de gestion des risques naturels

7-1-1-Délégation Nationale aux risques majeurs

La loi 04-20 du 25 décembre 2004⁵¹ relative à la prévention des risques et la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable, a redéfini les bases de la politique nationale de gestion des risques, qui doit être gérée par la délégation nationale aux risques majeurs, sous l'autorité du Chef du Gouvernement (Article 68)

Cette autorité coordonne et évalue les actions des différents acteurs liés à la gestion des risques dont la mise en place d'un « *plan général de prévention des risques majeurs* », pour tout aléa identifié parmi les actions préconisées par ce plan ; la mise en place d'un système d'alerte et un système de veille, ainsi que l'identification des zones vulnérables.

Les missions de la Délégation nationale étaient donc de donner des conseils, l'évaluation et la coordination des actions visant à réduire l'impact des catastrophes majeures sur l'économie du pays et de la sécurité des personnes et des biens. (Annexe n°5)

7-1-2-Protection Civile

Sous l'autorité du ministre de l'intérieur et désigné au niveau de chaque wilaya, la protection civile est chargée des interventions de secours des populations sinistrées.

⁵¹ : Journal officiel, n° 84 du 29 Décembre 2004,

Son rôle de prévention se limite à la consultation de ces services lors de l'élaboration des PDAU et POS, ainsi que lors de la délivrance des actes d'urbanisme, cependant son rôle de prévention se limite à la consultation de ces services lors de l'élaboration des PDAU et POS, ainsi que lors de la délivrance des actes d'urbanisme, cependant son rôle est prééminent dans l'identification des risques liés à l'urbanisation.

7-1-3-Organismes publics

Pour palier aux lacunes enregistrées en matière de gestion de risques, l'Algérie a tenté de créer plusieurs institutions autonomes chacune dans ses propres fonctions, parmi lesquelles nous citons :

1-Les organismes de recherche en matière de construction

CTC: le Contrôle Technique de la construction, un organisme qui assure la conformité technique des ouvrages publics ou accueillant du public.

CNERIB: le Centre National d'Etudes et de recherches intégrées du bâtiment établit des études ayant trait aux techniques de construction et produit des documents techniques, fixant les normes de construction avec la prise en compte des réactions des structures face aux aléas.

LNHC: le Laboratoire National de l'Habitat et la Construction est sous autorité du ministre de l'habitat, sa principale mission et la réalisation d'études géotechniques pour les sites appelés à recevoir de grands projets de construction.

2-Les organismes de recherche en matière de risque sismique

CGS : le Centre National de recherche appliquée en génie sismique s'occupe essentiellement du règlement parasismique Algérien (RPA) et de ses actualisations successives.

CRAAG : le Centre de Recherche en Astronomie, Astrophysique et Géophysique, a pour missions, la surveillance et prévision du territoire, l'élaboration des cartes de sismicité que l'évaluation des risques sismiques et géologiques, les organismes de recherche en matière de construction

3-Les organismes de recherche en matière d'inondation

-ANRH : placée sous la tutelle du ministère chargé de l'hydraulique, l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques est un établissement public administratif, à vocation scientifique et technique. Parmi les missions qui lui sont attribuées, c'est d'étudier les phénomènes hydrogéologiques sur les bassins expérimentaux et de mettre en place et de gérer un réseau de prévision des crues.

-ONM : l'Office National de Météorologie est aussi un établissement public, à caractère industriel et commercial sous la tutelle du ministère des transports, il a pour mission la mise en œuvre de la politique nationale dans le domaine de la météorologie.

7-2-Les outils réglementaire et juridique

Après le séisme du 10 octobre 1980 à Chlef, la volonté de mettre en place une organisation de la prévention et de la prise en charge des catastrophes naturelles ou industrielles a été décidée et a conduit les pouvoirs publics à promulguer en 1985 deux décrets portant sur la Prévention des Catastrophes et l'Organisation des Secours (décrets 85-231 et 85-232).

Depuis, sur insistance des pouvoirs publics, le législateur algérien a élaboré et adopté un certain nombre de textes dans lesquels on retrouve les dispositions relatives à la prévention des risques majeurs».

Après le séisme de Boumerdès du 21 mai 2003 et devant l'importance des risques, que le Président de la République a instruit le Gouvernement d'inscrire comme priorité la nécessité de préparer le pays à une meilleure appréhension des catastrophes à travers une politique de prévention.

En 2004, le pays a adopté la loi sur la prévention des risques Majeurs et la Gestion des Catastrophes, et le Schéma National d'Aménagement du Territoire (SNAT), qui a été mis à jour en 2010 pour inclure des prescriptions importantes pour l'aménagement du territoire et la planification urbaine.

Depuis 2009, l'engagement de haut niveau politique, les programmes de développement des capacités, la participation dans des formations et les campagnes à une échelle internationale et régionale, ont contribué à la réduction des risques et catastrophes en Algérie et démontre son engagement technique et financier en faveur de la réduction des risques et catastrophes, néanmoins, des défis sociaux et institutionnels demeurent.

A travers le paragraphe suivant, nous présentons les principaux outils réglementaires, lois et décrets relatives à la prévention des catastrophes et risques en Algérie

7-2-1-Les règlements parasismiques

La réglementation parasismique Algérienne (RPA) est le document technique et réglementaire qui fixe les règles de conception et de calcul des constructions en zones sismiques visant à assurer une protection acceptable des vies humaines et des constructions vis-à-vis des effets des actions sismiques par une conception et un dimensionnement appropriés.

Les objectifs ciblés à travers l'élaboration d'une réglementation portant sur la construction dite parasismique, peuvent être résumés à trois objectifs principaux, dans le cas d'un séisme de faible intensité, la construction ne doit subir aucun dommage, dans le cas d'un séisme de moyenne intensité, la construction ne subira que des dommages structurels légers, et dans le cas d'un séisme d'intensité élevée, la construction ne doit pas s'effondrer.

Historiquement les premières mesures parasismiques sont celles prises par le Dey Chaouch d'Alger, après le séisme d'Alger de 1716. L'évolution de la réglementation parasismique en Algérie a connu succinctement :

1-Le Règlement ASS 55

Suite au séisme d'Orléans ville le 9/9/1954 de magnitude 6,8, l'autorité coloniale a établi le premier code parasismique en Mai 1955.

Ces recommandations ont été appliquées pour la construction de la ville après le séisme, ainsi qu'un zonage sismique été établie. (Annexe n°4).

2-Le Règlement PS 69

Les règles PS69 ont été élaborées après le tremblement de terre d'Agadir du 29 Février 1960.

3-Le Règlement parasismique Algérien RPA version 1980

Mise en place de la réglementation parasismique par la mise en œuvre de la carte microsismique de l'Algérie de (1976-1978), préparation du 1^{er} RPA 80 avec l'université de Sandford professeur CHAH.

Après le séisme de Chlef du 10 Octobre 1980, il a été élaboré le premier RPA 80 qui va cohabiter avec PS 69 qui reçoit l'addenda 82

4-Le Règlement parasismique Algérien RPA version 1983

Le RPA version 83 est un document qui a été élaboré sur l'étude de sismicité de l'Algérie et du projet de règlement en collaboration de l'université de Sanford et des remarques des experts de Socotec , BRI ,Japon ,CSTB, de Roumanie et de la Yougoslavie.

5-Le Règlement parasismique Algérien RPA version 1988 (DTR B-C2-48)

Est érigé par arrêté n°61, portant approbation du règlement parasismique Algérien version 1988(RPA 88). (Annexe n°4)

6-Le Règlement parasismique Algérien RPA version 1999

Le RPA 99, il a été élaboré suite au séisme d'Ain Temouchent 1999. (Annexe n°4)

7-Le Règlement parasismique Algérien RPA version 2003

Cette version a été révisée après le séisme de Boumerdès de 2003 et a donné lieu aux RPA 99 version 2003 avec la nouvelle classification des zones sismiques. (Annexe n°4).

Notant que les règles parasismiques algériennes ne sont devenues obligatoires pour les maisons individuelles que depuis 2003, de ce fait la plupart des maisons individuelles construites avant 2003 ne sont pas basés sur une conception résistante contre le séisme la propriété privée dépassant deux niveaux sont principalement renforcées par une structure en voiles en béton armé. (Annexe n°4)

-Evolution des zones sismiques

Les trois révisions apportées à la RPA, donnent naissance chaque fois à de nouvelles classifications des wilayas selon leur degré d'exposition au risque sismique.

Passant de deux zones sismiques définies par le AS 55, zone A de faible sismicité et la zone B de forte sismicité. Dans la RPA 99 le territoire algérien est divisé en 4 zones de sismicité croissante:

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

Le zonage sismique des RPA 99 a été modifié d'abord il a apporté des précisions particulièrement dans les wilayas du nord et son tracé suit moins systématiquement les limites de wilayas.

Ensuite le nouveau zonage compte cinq degrés d'exposition à l'aléa sismique, selon cette version, le territoire algérien est divisé en cinq zones sismiques croissantes :

- Zone 0 : sismicité négligeable;
- Zone I : sismicité faible;
- Zone II a et II b : sismicité moyenne;
- Zone III : sismicité élevée.

Notant que l'amélioration de la classification des zones sismiques peut se faire à priori grâce à l'identification des failles actives et a posteriori par les séismes enregistrés.

-Le micro zonage sismique

La survenance d'un séisme peut affecter le fonctionnement d'une ville, voire d'un pays, et perturber également l'organisation des secours si les lieux de commandement sont altérés.

C'est pourquoi les approches à retenir en matière d'aménagement du territoire et d'urbanisme sont celles qui se basent sur des cartes régionales comportant les zones sismiques et les niveaux d'accélération aux sols prévisibles et sur des cartes de microzonage à l'échelle urbaine définissant différentes microzones en fonction des aléas géologiques susceptibles d'y avoir lieu.

Le microzonage sismique est l'ensemble des représentations cartographiques aux échelles infra régionales de l'intensité des phénomènes sismiques et de leurs effets induits.

Les résultats seront utilisés pour l'amélioration de la planification et de la consolidation de la capacité de gestion des catastrophes sismiques.

Le zonage sismique établit une hiérarchie entre les diverses zones géographiques et qualifie le niveau sismique à prendre en compte dans chacune de ces zones. (Annexe n°4)

7-2-2-Le dispositif juridique

L'évolution des textes de lois en Algérie reflète un intérêt grandissant pour les problématiques ayant trait aux thématiques de développement durable du renouvellement urbain et de la gouvernance territoriale.

1-La loi 01-20 du 12/12/2001 relative à l'Aménagement et au développement durable⁵²

Elle retient comme l'une des finalités de la politique nationale d'aménagement et du développement durable du territoire. Elle prévoit dans son article n°4, la protection du territoire et des habitations des risques et des aléas naturels et cela pour un développement harmonieux et durable de l'espace pour chaque zone du territoire national.

2-La loi 04-05 du 14/08/2004 relative à l'intégration de la gestion des risques dans les plans d'urbanisme et d'Aménagement du territoire⁵³

A la suite des inondations tragiques de Bab El Oued de 2001, et le séisme dévastateur du 21 Mai 2003, le gouvernement a mis à jour de renforcer la politique nationale et les programmes d'actions et le cadre juridique; de ce fait, les règles générales de la politique d'occupation du sol sont prévues par cette loi modifiant et complétant la loi 90-29 du 1^{er} décembre 1990 relative à l'aménagement et à l'urbanisme qui a pour objectif d'organiser les sols urbanisables, la formation et la transformation du bâti dans le cadre de la gestion économe des sols.

Cette loi s'est présentée comme une mesure réactionnelle par rapport à une urgence contient également des éléments qui visent à intégrer pleinement la gestion du risque dans l'établissement des plans d'urbanisme du territoire.

On peut lire dans l'article 11 : «...*Dans ce cadre, les terrains exposés aux risques résultant des catastrophes naturelles ou au glissement de terrain sont identifiés au moment de l'élaboration des instruments d'aménagement et d'urbanisme et font l'objet de mesures de limitation ou d'interdiction de construire qui sont définies par voie réglementaire...* ».

Elle réaffirme, ainsi le rôle des instruments d'urbanisme dans leur identification spatiale des risques naturels et souligne la nécessité de procéder à une identification des zones soumises à aléas avant de fixer les règles d'usages des sols, ces sites devront faire l'objet de mesures de limitation ou d'interdiction des constructions.

⁵²: Journal officiel, n°77 du 15 Décembre 2001

⁵³: Journal officiel, n°51 du 15 Août 2004

Ainsi cette loi impose des mesures strictes pour toute nouvelle édification, elle impose le visa d'un architecte et d'un ingénieur pour toutes les constructions, édicte l'obligation de contrôle des travaux en conformité avec le permis de construire, impose des infractions et même des démolitions en cas de non- conformité. (Annexe n°5)

3-La loi 04-20 du 25/12/2004 relative à la prévention des risques majeurs et de gestion des catastrophes naturelles dans le cadre du développement durable⁵⁴

En Algérie le risque géologique fait partie des dix risques majeurs présents sur le territoire et cités par cette loi , relative à la prévention des risques majeurs et la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable (J.O.R.A.,2004). (Annexe n°5)

Sachant qu'on ne peut pas et c'est le cas pour la plupart des désastres d'origine naturelle-agir sur la probabilité d'occurrence du désastre, mais on peut en réduire les conséquences en agissant sur les éléments qui augmentent le risque soit sur l'importance et la densité des populations menacées, soit sur la vulnérabilité des constructions et des infrastructures.

Il y est explicitement recommandé la prise en compte des risques et la réduction de la vulnérabilité dans l'utilisation des sols en ciblant prioritairement leurs causes plutôt que leurs effets.

L'article 7 de cette loi précise : « Le système de prévention des risques majeurs et la gestion des catastrophes » a pour objectifs :

- L'amélioration de la connaissance des risques, le renforcement de leur surveillance et de leur prévision ainsi que le développement de l'information préventive sur ces risques.
- La prise en compte des risques dans l'utilisation des sols et dans la construction ainsi que la réduction de la vulnérabilité des personnes et des biens aux aléas.
- La mise en place de dispositifs ayant pour objectifs la prise en charge cohérente, intégrée et adaptée de toute catastrophe d'origine naturelle ou technologique.

Cette démarche conforme à la stratégie internationale de réduction des catastrophes naturelles confortée par la récente procédure d'élaboration des POS désormais obligés de transcrire sous forme de périmètres de protection de servitudes ou de mesures constructives les zones et terrains exposés selon leur degré de vulnérabilité.(Annexe n°5)

L'article 19 de cette loi, annonce l'interdiction de la construction dans les zones à risque comme suit : sans préjudice des dispositions législatives en vigueur en matière de construction d'aménagement et d'urbanisme, sont strictement interdites pour risque majeur les constructions et notamment dans les zones à risques suivantes : les zones de failles sismiques jugées actives, les terrains à risque géologique et les terrains inondables, les lits

⁵⁴ : Journal officiel, n° 84 du 29 Décembre 2004

d'oued et l'aval des barrages en-dessous du seuil d'inondabilité fixé conformément aux dispositions de cette loi.

Cette loi constitue une avancée importante dans le domaine de la gestion du risque, dont le texte de la loi se compose d'une série de mesures qui, tout simplement à mieux gérer le risque et ses effets potentiellement dévastateurs qui en découlent, la présente loi s'articule autour de trois principaux axes quadrillage informatif et intelligible (de type SIG) du territoire, sensibilisation et éducation aux risques et organisation des secours.

-Le quadrillage territorial

-La mise en place d'un plan général de prévention pour chaque type de risque.

-Mise en place d'un système national de veille (à l'échelle des villes, villages, aires métropolitaines).

-La sensibilisation et l'éducation

Mise en place d'un système national de la gestion des catastrophes. Il est constitué par :

-Une planification des secours et interventions : plan ORSEC.

-Des mesures structurelles pour la prise en charge des catastrophes : constitution des réserves stratégiques et système de prise en charge des dommages.

Ainsi, la nouvelle loi modifie fondamentalement notre approche du risque, car il s'agit de prévenir pour prémunir et changer les comportements.

Enfin, en amont, la confection des plans PER (plan d'exposition aux risques) et PPR (plan de prévention contre les risques) dans les zones urbaines doit être prévue, afin de permettre l'établissement des règlements urbains de protection pour les zones à risques et la proposition des actions de renouvellement urbain en cas de constat d'un degré de vulnérabilité très élevée.

Dans ce sens le dernier PDAU pour la wilaya de Constantine ne tenaient pas compte des rubriques principales imposées par les lois de 2004: approche globale critères d'environnement développement durable et risques naturels et technologiques.

On peut aussi le faire, en organisant la prévention, en améliorant l'information du public et en préparant les systèmes de secours en cas de catastrophes. (Annexe n°5)

7-3-Assurances et réassurances

Pour illustrer le développement et l'évolution historique du secteur d'assurance des risques et catastrophes en Algérie, nous mettrons en relief tout d'abord les mutations du marché d'assurance ensuite l'évolution de couverture Cat-Nat

7-3-1-La période coloniale

Durant cette période, l'Algérie était considérée comme étant une partie intégrante du territoire français et part conséquent la législation applicable aux compagnies d'assurance en France était applicable à leurs agences en Algérie.

Le gouverneur général se contentait de donner son avis sur les agréments des agences principales et de publier un rapport annuel sur l'industrie des assurances.

Au cours des années 1950, deux assurances obligatoires ont été instituées, l'une relative aux accidents de travail en 1950 et l'autre relative à l'automobile en 1958, le marché des assurances a connu une certaine expansion qui incita les sociétés mères à ouvrir des agences en Algérie, dont plus de 160 compagnies d'assurances étrangères étaient en activités⁵⁵.

En quittant le pays ces compagnies étrangères qui étaient 296 sociétés ont laissé des engagements qui ont été pris par le marché algérien pour régler les indemnisations de leurs assurés.

7-3-2-La période post coloniale

En Algérie le marché d'assurance est passé par deux phases bien distinguées, la première l'état Algérien à opter pour la nationalisation de l'activité du marché d'assurance et à la spécialisation des compagnies d'assurance, par ailleurs, la deuxième période qui été tout a fait contraire à la première, elle été caractérisée par la déspecialisation et de l'ouverture progressive du marché⁵⁶.

7-3-2-1-La première phase (1962-1989)

Au lendemain de l'indépendance, le législateur Algérien a reconduit par la loi 62-157 du 12/12/1962, tous les textes en attendant la mise en place d'une réglementation afin de sauvegarder les intérêts de la nation.

En fait deux projets de loi ont été élaborés au mois de Décembre 1962, le premier ayant trait à la création de la CAAR (Compagnie Algérienne d'assurance et de réassurance), d'où les compagnies d'assurances étrangères se sont ainsi vues notifiées l'obligation de céder 10% (cession légale) de leurs portefeuilles au profit de la CAAR⁵⁷

Le second était relatif aux obligations et garanties exigées des entreprises d'assurance qui exerçaient une activité en Algérie. Ces deux projets de loi sont devenus par la suite, les lois 63 /197 concernant la création de la CAAR et 63/201 concernant les obligations et garanties des entreprises d'assurance, ces deux lois constitueront les premiers instruments concernant le contrôle du marché des assurances en Algérie.

⁵⁵: ALGEREASS, Bulletin de la Compagnie Centrale de Réassurance, 1er semestre 2012, N°9.

⁵⁶: Tafiani, Les assurances en Algérie, OPU et ENAP, Alger, 1987.p22.

⁵⁷: ALGEREASS, Bulletin de la Compagnie Centrale de Réassurance, 1^{er} semestre 2012, N°9.

7-3-2-2-La deuxième phase après 1989

Le pays connaît une série de réformes très importantes visant à introduire la transition, d'une économie de marché. La parution des textes relatifs à l'autonomie des entreprises publiques entraîne la déspecialisation et le secteur des assurances entame à partir de 1995 une nouvelle phase, qui a instauré un nouveau cadre juridique par le secteur.

1-L'ordonnance n°95-07 du 25 Janvier 1995

Cette ordonnance est promulguée afin que le secteur d'assurance s'adapte à la nouvelle situation sociopolitique du pays, qui abandonne le système de planification pour entrer dans une économie de marché, elle a pour objectif⁵⁸:

- La promotion et le développement du marché des assurances;
- L'augmentation de l'épargne et son orientation;
- L'amélioration de la prestation de services rendus en matière d'assurance;

Cette loi assure le libre exercice du métier d'assureur et disparition du monopole de l'état, elle a permis la création du conseil national d'assurance. Elle a donné la liberté pour les entreprises d'assurances de pratiquer les opérations d'assurance et ou de réassurance, et elle a permis la réduction des obligations d'assurances pour certains risques dans le but d'instaurer une liberté contractuelle qui caractérise l'économie de marché.

2-Le décret exécutif n°09-375 du 16 Novembre 2009

Ce décret a fixé le capital social ou fonds d'établissement minimum des sociétés d'assurance et ou de réassurance.

7-3-2-3-Genèse de la couverture des catastrophes naturelles CAT-NAT

Avant 1980 les catastrophes naturelles étaient considérées comme non assurables, c'est à la suite du séisme d'EL Asnam du 10 /10/1980, que l'idée de se protéger des risques majeurs a émergé et le législateur algérien à élaborer la première loi 80-07 du 09 Août 1980⁵⁹

3-La loi 80-07 du 09/08/1980

Relative aux assurances qui est considérée comme la première loi qui a introduit la couverture des catastrophes naturelles dans le cadre du contrat incendie.

⁵⁸:Kerker N,S/Dde la réglementation, ministère des finances. Premier forum des assurés.CNA.P19.In SADI.N.H L'EVOLUTION DU SECTEUR DES ASSURANCES EN ALGERIE DEPUIS L'INDEPENDANCE, Colloque International cinquante ans d'expériences de développement Etat-Economie-Société-Alger 2012.

⁵⁹:Journal officiel n°33 du 12 Août 1980.

Cette loi autorisait les assureurs à octroyer la garantie contre les catastrophes naturelles en extension au contrat incendie à la demande de l'assuré. Cette garantie était annexée au risque incendie moyennant une prime additionnelle, les capitaux assurés étaient limités à 50% de ceux couverts en incendie.

4-Fonds d'indemnisations des victimes des calamités naturelles et des risques technologiques FCD en 1990

Il a été créé par le décret exécutif n°90-du 15 /12/1990⁶⁰, il est se chargera de l'indemnisation des victimes intempéries, les personnes éligibles a cette indemnisation comprend toute personne n'ayant pas souscrit une assurance tous risques ou n'ayant pas contacté une quelconque assurance, par ailleurs, les personnes assurées le contrat doit obligatoirement prévue la garantie catastrophe naturelle et inondation, pour se faire indemniser.

Tout assuré disposant d'un contrat d'assurance prévoyant cette garantie peut la mettre en œuvre en revanche, les victimes qui ne disposent d'aucun contrat d'assurance peuvent se faire indemniser dans le cadre de décret exécutif n°90-402 du 15/12/1990.

Les compagnies d'assurances prennent aussi en charge l'indemnisation des habitations assurées et les commerçants disposant d'une assurance multirisques professionnelle.

La gestion de ce fond est assurée par des organes constitués d'une commission nationale, d'une commission de wilaya et une autre de la commune, tandis que, l'ordonnateur principal du fonds est le Ministère chargé des collectivités locales, lequel en collaboration avec le Ministère chargé des finances qui déclarent par arrêté conjoint le territoire concerné par le sinistre a partir de la le fonds est mis en application,l'alimentation du fonds est assurée par les compagnies d'assurance et de réassurance qui participent par une contribution mensuelle de 1% du montant des primes encaissés et par le versement de 10% des résultats annuels après impôts.(Annexe n°5)

5-L'ordonnance 95-07 du 25 Janvier 1995,la prise en charge du risque catastrophique Naturelle⁶¹

Cette ordonnance a donnée la possibilité de couvrir les risques de catastrophes naturelles à l'ensemble des contrats d'assurance (dommage) de couvrir tous les risques de catastrophes naturelles sans se limiter au contrat incendie comme étant le cas dans la loi 80-07.

⁶⁰: Journal officiel n° 55 du 19 Décembre 1990.

⁶¹ : Journal officiel, n°13 du 8 Mars 1995.

6-L'article 41 de l'ordonnance 95-07 du 25/01/1995

Comprend l'ensemble des risques de catastrophes naturelles concerner : « les pertes et dommages résultant d'événements de calamités naturelles telles que le tremblement de terre, inondation, raz de marée ou autre cataclysme sont couverts, totalement ou partiellement, dans le cadre des contrats d'assurance dommages, moyennant une prime additionnelle ».

Il est à signaler que dans cette loi l'octroi de la couverture catastrophes naturelles reste conditionné par souscription d'un contrat de base.

En Algérie l'assurance contre les effets des catastrophes naturelles est obligatoire depuis la promulgation de l'ordonnance n°03-12 du 26 Août 2003. Cette ordonnance a été suivie par la publication de cinq décrets exécutifs (JO-RADP n°55 du 1^{er} Septembre 2004), les divers textes qui fixent les règles de fonctionnement du régime Cat-Nat

7-L'ordonnance n° 03-12 du 26 Août 2003 relative à l'Obligation d'Assurance des catastrophes naturelles et à l'indemnisation des victimes⁶²

L'ordonnance n°03-12 du 26 Août 2003 relative à l'obligation d'assurance des catastrophes naturelles et à l'indemnisation des victimes. Cette ordonnance concerne les biens immobiliers construits en Algérie (immeubles, constructions individuelles, bâtiments à usage professionnel) les installations industrielle et commerciales y compris leur contenu c'est-à-dire les biens immobiliers ainsi que les équipements, matériels, marchandises et autres biens contenus.

De même, il concerne toute à l'obligation deux catégories de personnes : tout propriétaire de biens immeubles construits situés en Algérie et les personnes physiques et morales qui exercent une activité industrielle ou commerciale.

Tout propriétaire personne physique ou morale, autre que l'Etat d'un bien immobilier construit situé en Algérie est tenu de souscrire un contrat d'assurance de dommages garantissant ce bien contre les effets des catastrophes naturelles (Article n°1).

Les effets des catastrophes naturelles sont les dommages directs causés aux biens suite à la survenance d'un événement naturel d'une intensité anormale (Article n°2).

Cet article de l'Ordonnance prévoit : « *Les effets des catastrophes naturelles comme étant des dommages directs causés aux biens à la suite de la survenance d'un évènement naturel d'une intensité anormale tel que le tremblement de terre, les inondations, les tempêtes ou tout autre cataclysme* » Les événements qui pourraient être retenus, sont ceux auxquels le pays est le plus exposé et pouvant donner lieu à une catastrophe naturelle: les tremblements de terre, les inondations et coulées de boues, les tempêtes et vents violents et les mouvements de terrain.

⁶²Canevas « Assurance obligatoire des effets des Cat-Nat », CAAT janvier 2005, p2.

Conclusion

En réalité la politique nationale de prévention et de gestion des catastrophes s'appuie principalement sur les institutions nationales et locales et concerne les deux domaines de la prévention des risques et de l'organisation des interventions et des secours.

Les objectifs de la politique nationale de prévention : renforcement de la connaissance, l'identification et l'évaluation des aléas et des risques, l'information et l'éducation du public, le renforcement des capacités des institutions, l'encouragement d'une politique de collaboration et de concertation entre les institutions et les organismes concernés autour des objectifs assignés, la promotion et le développement d'une coopération multiforme aux échelles régionale et internationale.

En ce qui concerne le volet de « la gestion des risque » proprement dit, nous avons pu constater que les différentes institutions liées aux risques sont autonomes, chacune dans ses propres fonctions.

L'absence d'un processus continu et coordonné dans une optique de gestion du risque génère des fonctions éparses et diffuses. En effet, hormis la gestion du plan ORSEC, aucun processus administratif désigne avec précision les acteurs qui doivent intervenir en cas de survenance d'une catastrophe, ni leurs prérogatives respectives.

Néanmoins, le dispositif législatif, tel que nous avons détaillé, a le mérite d'exister, cependant toutes ces situations chaotiques en matière d'urbanisme, que nous observons aujourd'hui sont les conséquences de décisions et actions engagées sous le sceau de l'urgence du à des priorités conjoncturelles.

L'absence des plans d'exposition aux risques et de protection contre les risques confirme davantage le degré d'insouciance sur le terrain.

En matière de mouvements de terrain, si des mesures de protection ont pu être mises en place, elles ne sont efficaces que pour un événement d'intensité limitée, traiter l'aléa ne supprime pas le risque définitivement. En conséquence, le meilleur moyen de prévention contre les risques de mouvement de terrain est d'agir sur la réduction de la vulnérabilité des enjeux.

Il convient de rappeler également qu'il est souvent fait mention du concept de vulnérabilité dans les textes législatifs, des actions précises et ciblées mais qui se retrouvent uniquement citées dans les textes, elles restent cependant, totalement occultées dans la réalité.

Pourtant la prise en compte de la vulnérabilité offre en aval une opportunité certaine de limitation des effets des risques majeurs, certes l'évaluation de la vulnérabilité exige un savoir-faire et des moyens importants.

Chapitre 8 : Quelle perception des risques naturels à Constantine ?

Introduction

L'enquête par questionnaire menée pour la ville de Constantine a visé la population la plus menacée par les aléas (glissement de terrain et séisme), l'intérêt s'est porté sur le niveau de conscience de la population 560 personnes habitant ou travaillant dans la ville de Constantine ont été interrogées entre (2016-2017).

Nous avons construit l'échantillon en nous fondant sur les sites les plus exposés aux glissements de terrain, en particulier les délégations communales de la partie Sud et Sud ouest de la commune de Constantine : Belouizdad, Bellevue, Boudraa Salah et 5 Juillet 1962.

Parmi les personnes interrogées 60% du total de l'échantillon de Belouizdad et seulement 6,6% du total de l'échantillon représente Boudraa Salah, alors que, Belle vue et 5 Juillet 62 constituent respectivement 18,57% et 14,82% du total de l'échantillon, la composition de l'échantillon est décrite en Annexes n°(6-7)

8-1-Les principaux résultats de l'enquête

8-1-1-Le sentiment d'exposition au risque naturel

Q1-1-Notre enquête est particulièrement orientée sur le risque naturel. Pour vous, qu'est ce qu'un risque naturel, définissez en donnant 2 ou 3 mots.

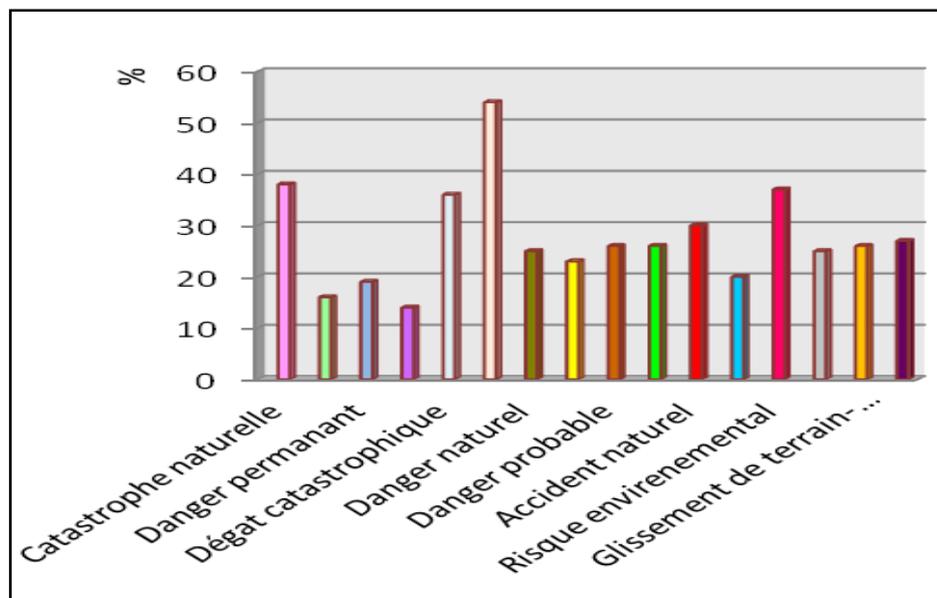


Figure n°8-1 : Définition du risque naturel chez la population enquêtée

Q1-2-Choisissez le(s) risque(s) naturel(s) auxquels vous sentez personnellement le plus exposé(e) sur votre lieu d'habitat / de travail.

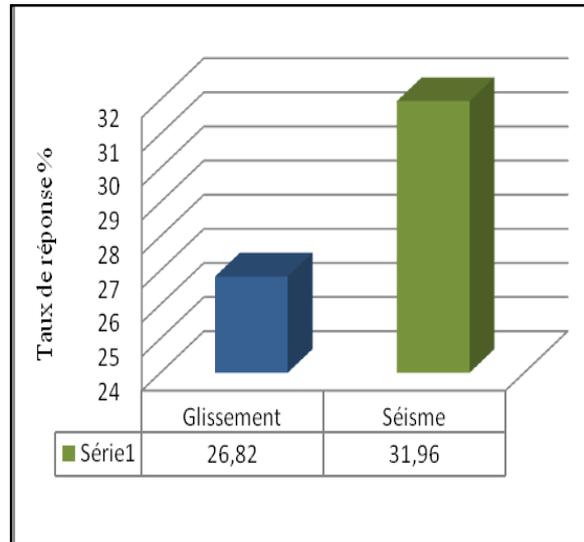


Figure n°8-2 : Le sentiment d'exposition aux risques naturels par la population à Constantine

Q1-3-Comment vous sentez vous exposé(e) a ces risques naturels (glissement de terrain, séisme):

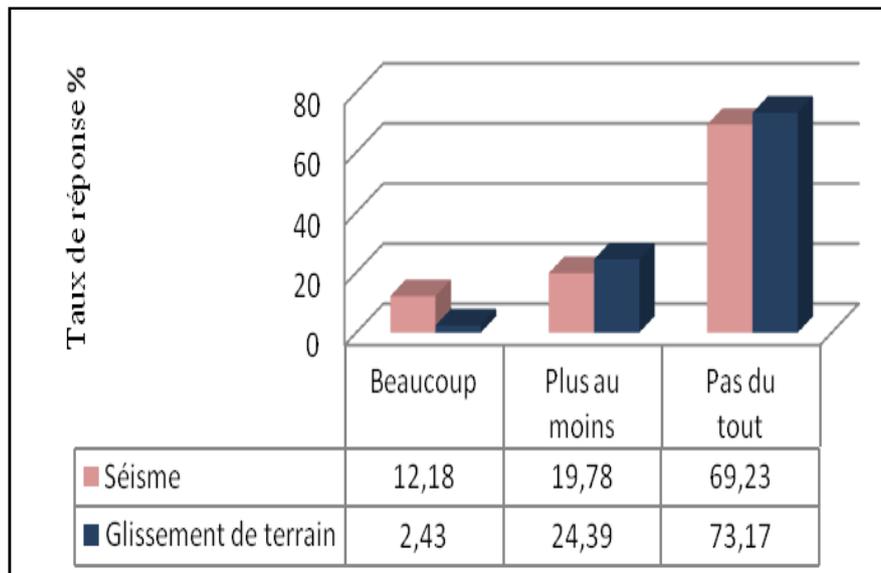


Figure n°8-3 : Le niveau d'exposition aux risques naturels à Constantine

Q1-4-L'état de votre bien immobilier, face au(x)risque(s) naturel(s) liées au glissement de terrain et au séisme.

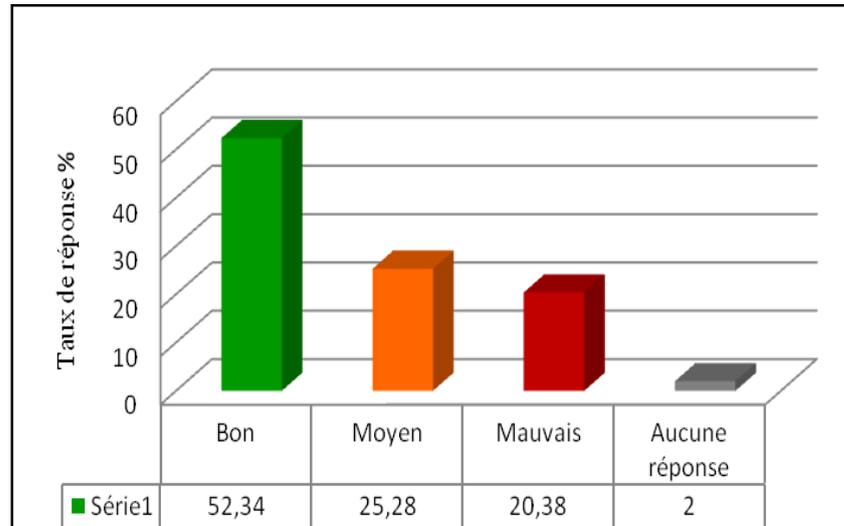


Figure n°8-4 : Estimation de l'état des constructions face aux risques naturels

La population enquêtées sent être exposé aux risques sismiques par rapport aux risques liés aux glissements de terrain ,cela apparait également lorsque on demande aux personnes interrogées : quels sont les risques auxquels elles se sentent exposées elles font référence au séisme qui arrive en première position des risques données avec un taux 51,25% de la population enquêtés, tandis que, les glissements de terrain ne semblent inquiétés 48,75%, par ailleurs, près de 71% des enquêtés ne se sentent exposé à aucun risque naturel.

Le sentiment de ne pas être exposé aux risques peut provenir d'un manque d'information, dont les résultats reflètent que 69,23% ne sentent pas être exposé aux séismes et 73,17% de la population enquêtés ne sentent pas exposé aux glissements de terrain, près de 46% de la population enquêtées estiment que leurs biens immobiliers est exposé aux risques naturels, tandis que 52,34 % n'a pas le même avis.

8-1-2-La population face aux catastrophes naturelles

Q2-1-Si une catastrophe naturelle devait se produire à Constantine à laquelle pensez-vous ?

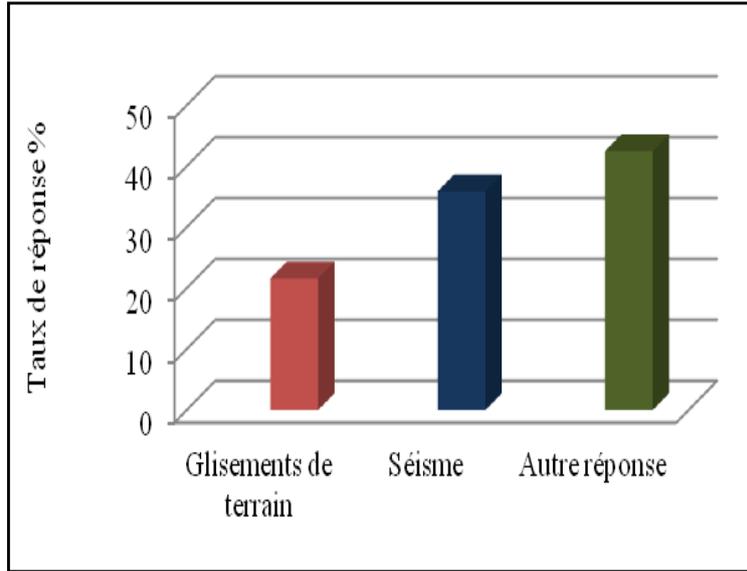


Figure n°8-5 : Les catastrophes naturelles les plus redoutées à Constantine

Q2-2-A votre avis personnel, qu'est ce qui serait l'élément le plus affecté ?

Q2-3- Quelle conséquences pensez-vous ? (cocher les réponses proposés)

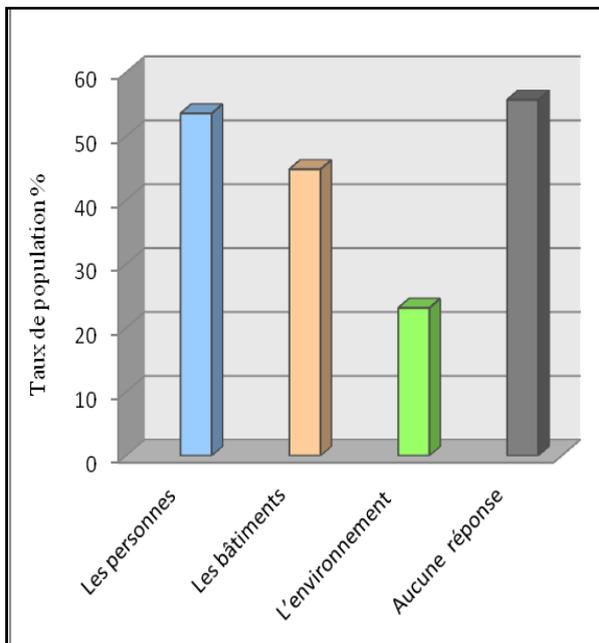


Figure n°8-6 : Les éléments probables exposés aux catastrophes naturelles à Constantine

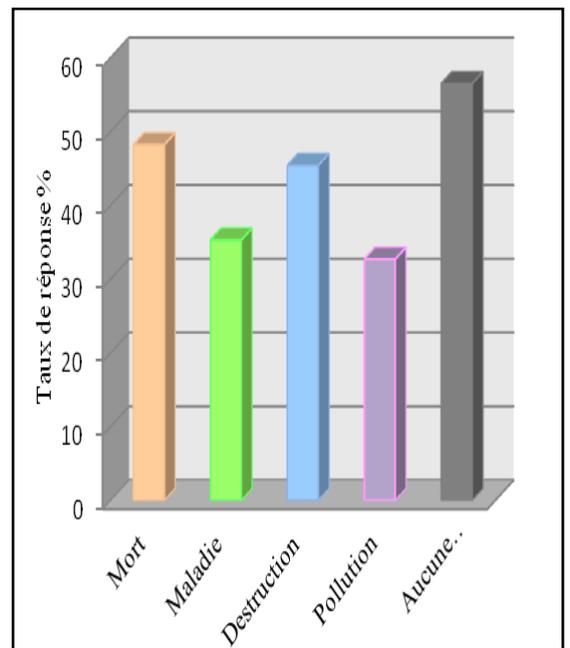


Figure n°8-7: Les conséquences probables en cas d'une catastrophe naturel à Constantine

Concernant la question sur la catastrophe naturelle qui pourrait se produire à Constantine la population interrogées citent en premier lieu d'autres phénomènes :(pollution, inondation, érosion) 42,5% puis les tremblements de terre 35,89% puis les glissements de terrain 21,6 %. Les résultats indiquent que la population classent les éléments exposés selon leurs vulnérabilité dont on distingue : 53,57 % personnes, 44,84% constructions, 23,14% environnement et 55,7% n'ont données aucune réponse, par ailleurs, les conséquences représentent 48,22 % mort, 35,30 % maladie 45,42% destruction,32 ,7% pollution et 56,2% ont données une réponse négatif.

Q2-4-Connaissez vous les consignes à suivre si une catastrophe naturelle se produisait à Constantine ?

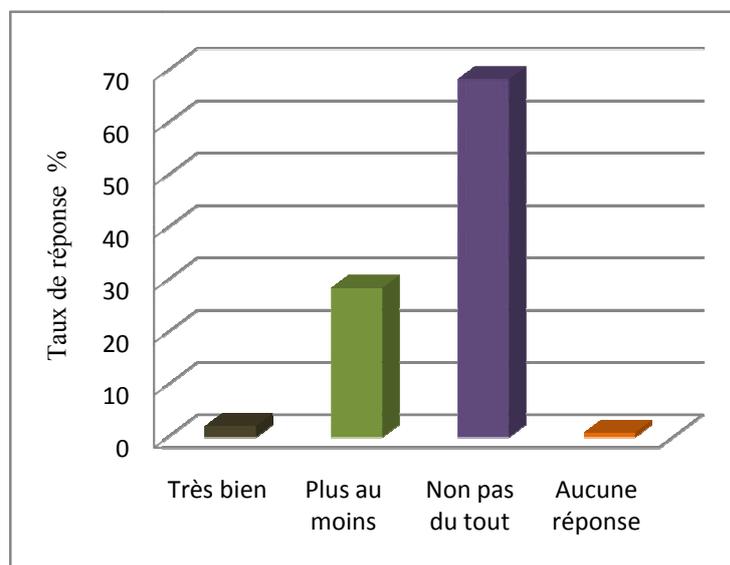


Figure n°8-8 : Connaissance des consignes à suivre en cas de catastrophe naturelle

D'après les résultats d'enquête mener auprès de la population, sur leurs connaissances sur les consignes à suivre en cas de catastrophe naturelle, on constate que la population se sentent peu informée et qui ne connaît pas les consignes.

En effet, lorsque on demande aux populations enquêtées s'ils se sentent bien informés seulement 2,14% donnent une bonne réponse, 28,57% sentent plus au moins bien informés, tandis que 68,39% des enquêtés ont répondu par une réponse négatif, cela démontre un déficit d'information .

8-1-3- La population et les méthodes de prévention

Q3-1-En général connaissez-vous des méthodes particulières pour la prévention des risques naturels notamment le glissement de terrain et le séisme.

Q3-2-Si oui d'où provient votre information

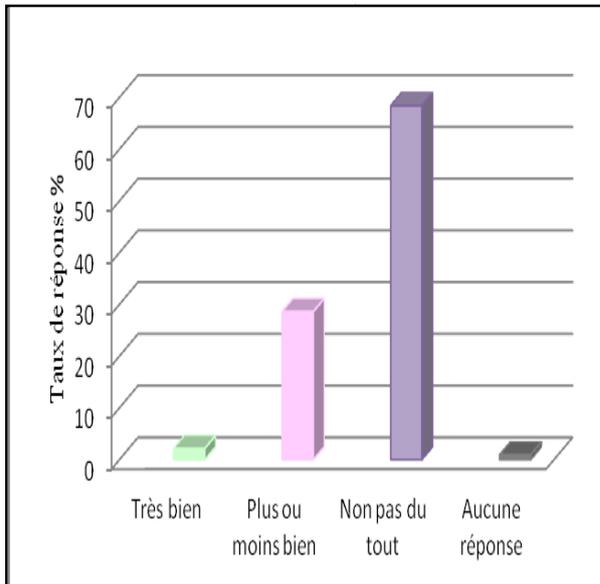


Figure n°8-9: Connaissance des méthodes de prévention des risques naturels

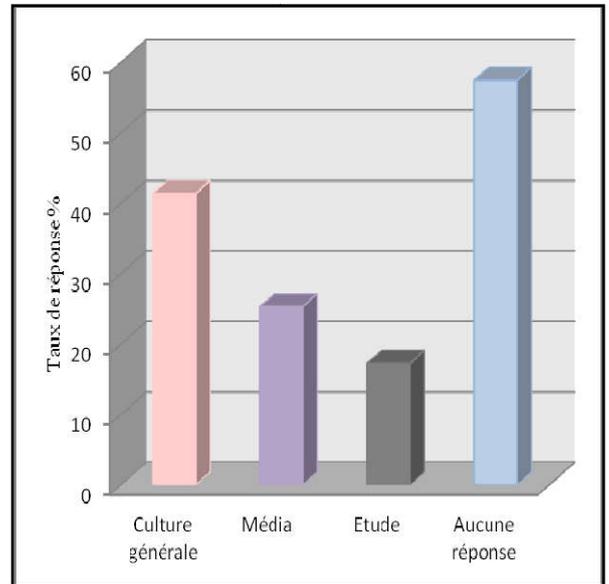


Figure n°8-10: Source d'information sur la prévention chez la population enquêtée

Q3-3-Vous estimez vous suffisamment informée sur les risques naturels

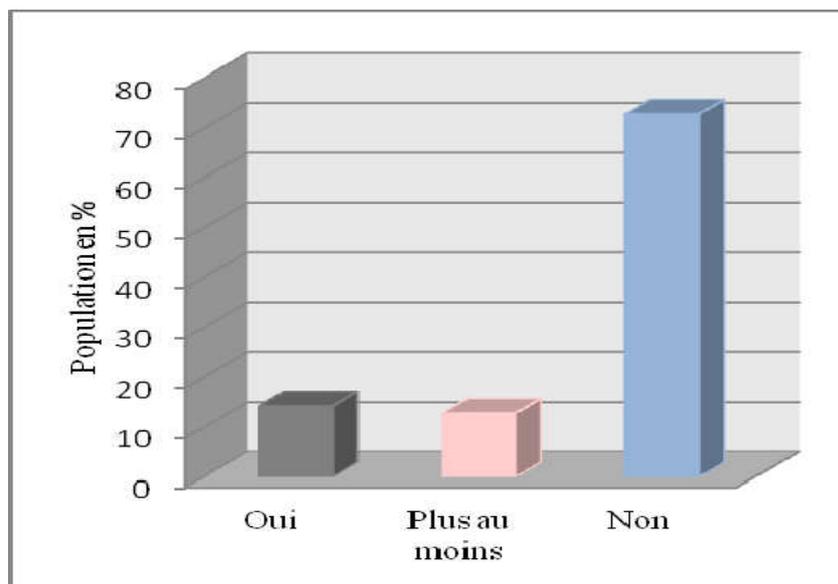


Figure n°8-11: L'information sur la prévention chez la population enquêtée

Q3-4-D'après vous, qui est censé vous informer sur les risques naturels auxquels vous êtes exposée ?

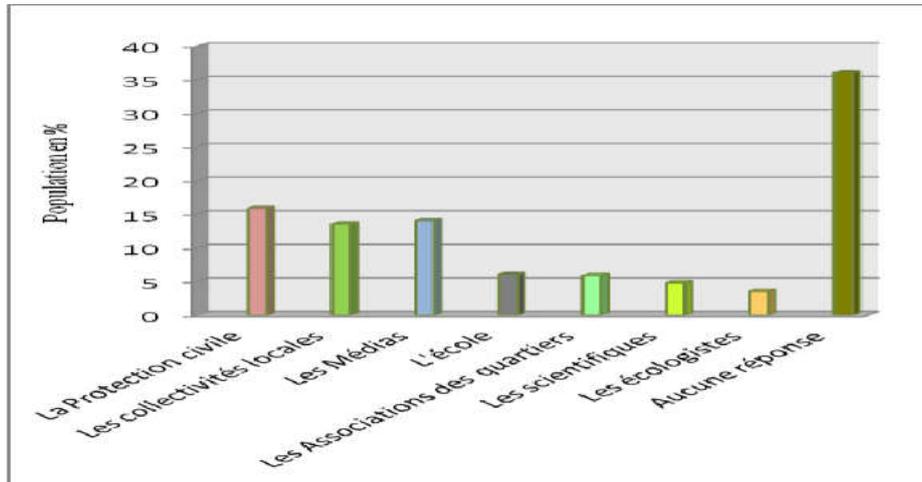


Figure n°8-12 : Les éléments de la prévention chez la population enquêtée

Q3-5-Souhaitez-vous améliorer votre sécurité face aux risques naturels ? Comment ?

Q3-6- Pour diminuer les risques naturels auxquels vous vous sentez exposé(e) d'après vous, que faut-il améliorer ?

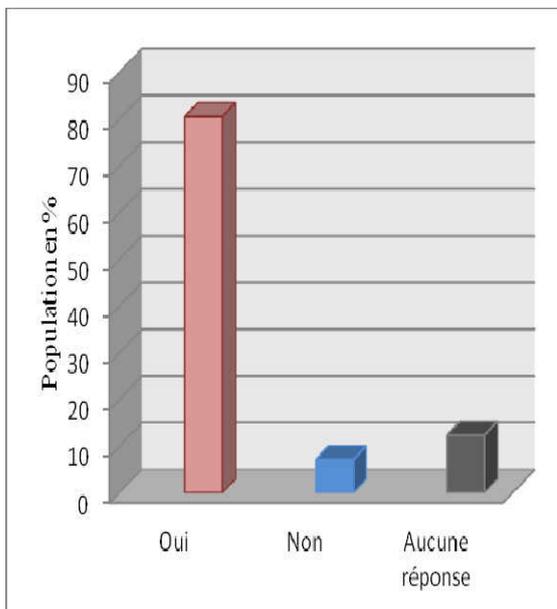


Figure n°8-13 : La sécurité face aux risques naturels chez la population enquêtée

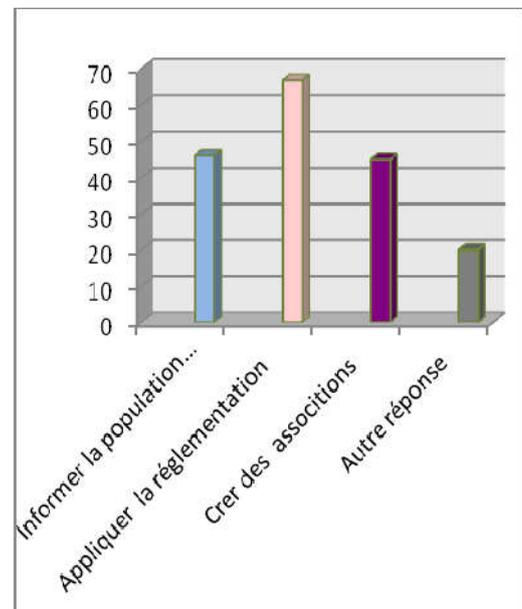


Figure n°8-14 : Les mesures pour améliorer la sécurité de la population enquêtée

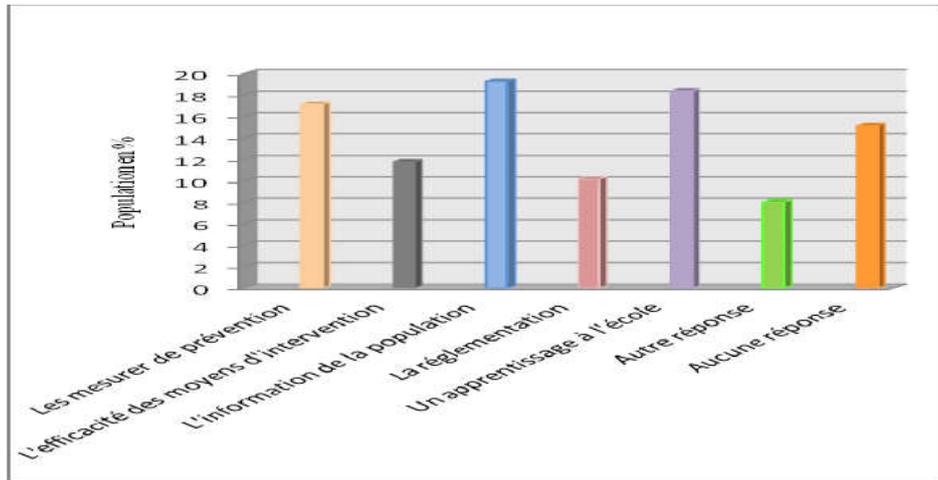


Figure n°8-15: Les méthodes de prévention chez la population enquêtée

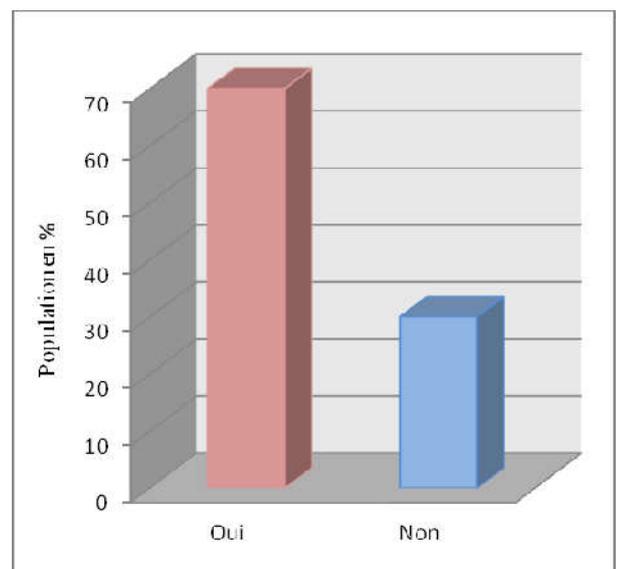
D'après les résultats d'enquête mener auprès de la population, sur la question concernant les méthodes de prévention sur des risques naturels liés aux séismes et aux glissements de terrain 73% de la population enquêtée ne connaisse pas les différents méthodes de prévention, a l'opposés seulement 15% de la population enquêtée sentent avoir une bonne connaissance sur la prévention, cette connaissance est issue principalement de 41,37% d'une culture générale, 25,28% des médias et 17,24% des études, tandis que, 57,47% étaient des réponses erronés.

Ainsi que 80% de la population enquêtée souhaite améliorer leurs sécurités face aux risques naturels par l'application des mesures de prévention 17,14%, l'information de la population 19,28% et par un apprentissage à l'école 18,39%.

8-1-4-L'expérience et le retour d'expérience:

Q4-1-Avez-vous vécu le séisme du (27 /10 /1985) ?

Figure n°8-16 : La population enquêtée face au séisme du (27 /10 /1985)



Q4-2-Quelle a été votre réaction immédiate et qu'avais vous fait ?

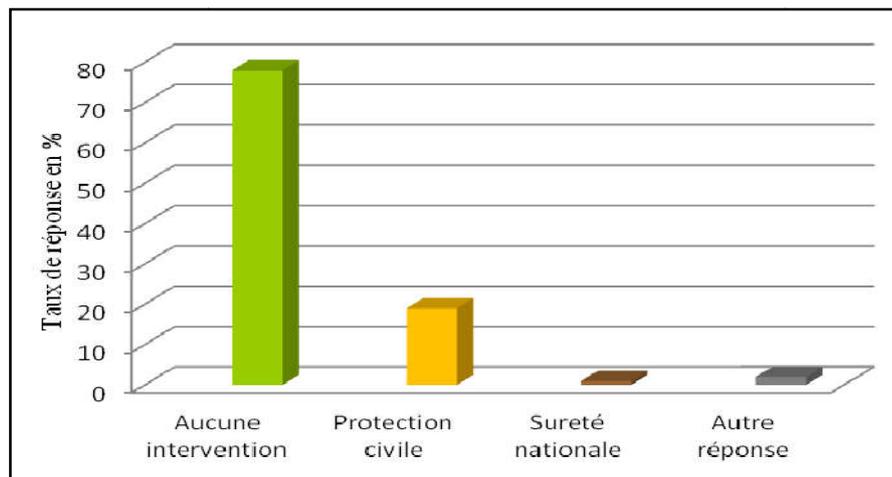


Figure n 8-17: La réaction de la population enquêtée lors de la secousse principale lors du séisme (27/10/1985)

Q4-3-Suite a cet  v nement, préciser les services qui ont intervenu.

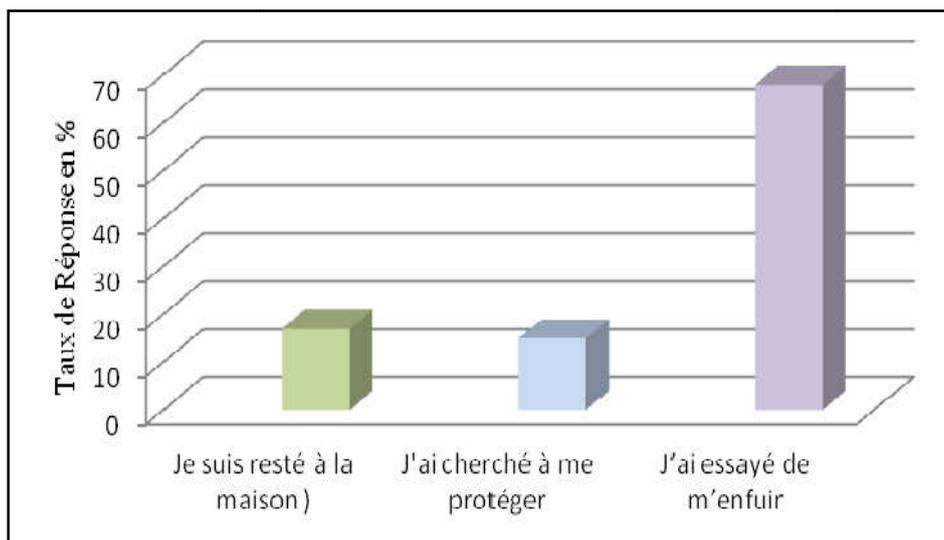


Figure n 8-18 : La réponse des services locaux lors du séisme (27 /10/1985)

Q4-4-Lors des répliques après la secousse principale, ou vous avez trouvé refuge?

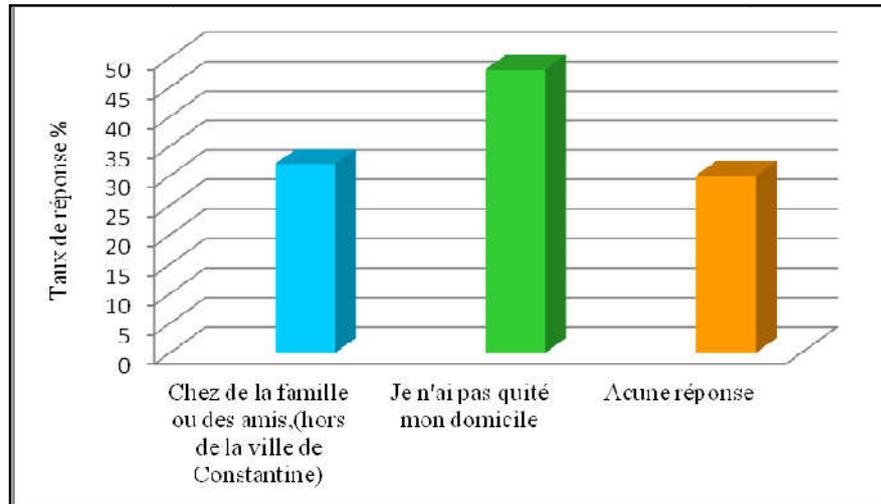


Figure n°8-19 : Comportement de la population enquêtée après les répliques du séisme (27/10/1985)

L'analyse des réponses nous a permis de mettre en valeur ce qui suit, 70% de la population enquêtée ont vécu le séisme 27/10/1985 et lors de la première secousse, elle avait un comportement spontané reflète un sentiment de peur.

L'intervention des services en particulier la protection civile et la sûreté nationale étaient très limitées par près de 20% à l'opposé de plus de 75% de la population totale confirme qu'aucun programme d'accompagnement et de sensibilisation n'a été appliqué lors de cet événement.

8-1-5-Prise de conscience et assurance :

Q5-1-Au niveau de votre quartier, existe un programme ou une campagne de sensibilisation liée (s) au(x) risque(s) naturel(s) ?

Q5-2-Existe-t il des mesures de confortement et de protection contre le(s) risque(s) naturel(s) ?

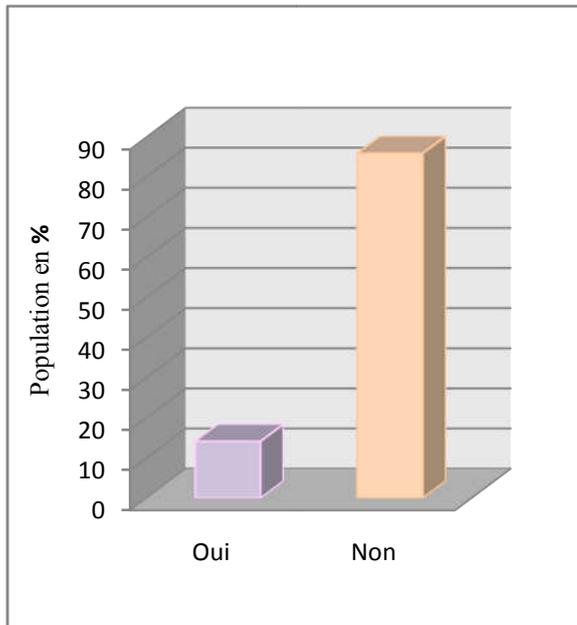


Figure n°8-20: La sensibilisation de la population enquêtée

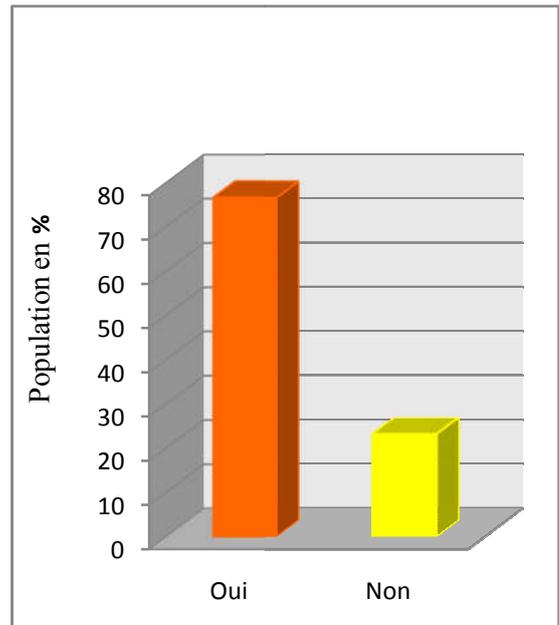


Figure n°8-21: L'application des mesures de confortement et de protection à travers les sites instables

Q5-3-Assurance des biens immobiliers:

Q5-3-1-Avez-vous contacté une police d'assurance pour assurer votre bien immobilier?

Q5-3-2-S'avez-vous que la CAT-NAT est obligatoire ?

Q5-3-3-Etes Vous prêts à souscrire une CAT-NAT si vous ne l'avez pas fait ?

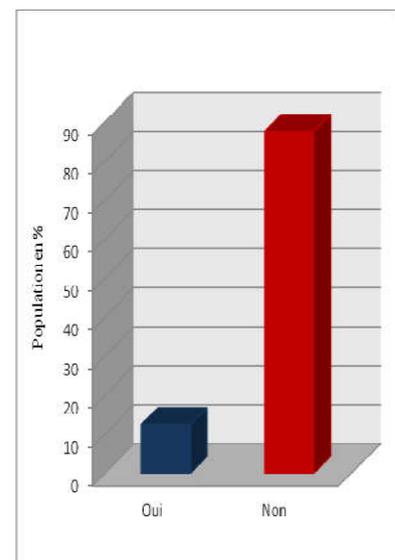
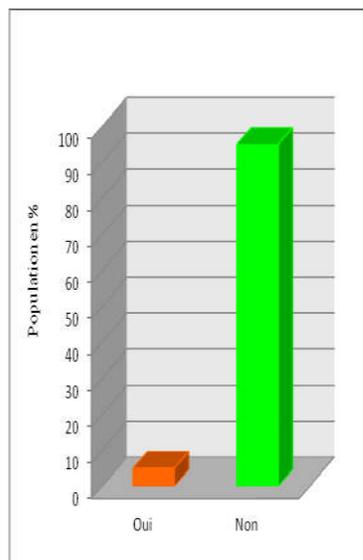
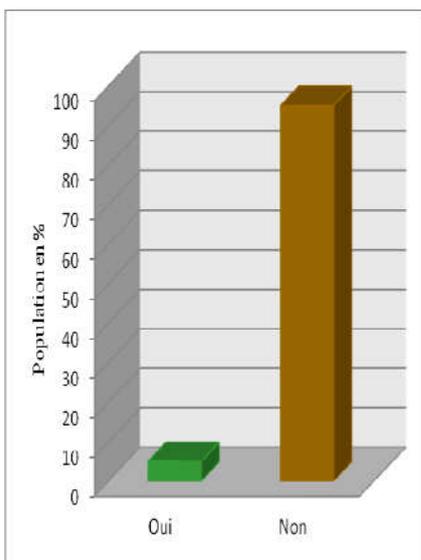


Figure n°8-22 : L'assurance des biens immobiliers à travers les sites instables

Les résultats confirment que 95% de la population enquêtée, qu'aucun programme de sensibilisation, aucune mesure de confortement étaient appliqués sur terrain à travers les quartiers exposés aux risques naturels.

En outre 86% de la population enquêtée n'ont pas assuré leurs biens immobiliers, et ne savent pas que la Cat-Nat est obligatoire, à l'opposé 77%, ont déclaré qu'ils ont prévu de souscrire une Cat-Nat dans le futur.

Malheureusement, la population enquêtée n'est pas consciente aux risques naturels (glissement de terrain et séisme), car la majorité des personnes enquêtées, n'a aucune culture sur les risques naturels qui menacent le tissu urbain, les résultats d'enquête illustrent bien cet état de fait.

Conclusion

L'analyse des résultats obtenue par le questionnaire nous a permis de conclure que la population ne se sent pas encore vraiment impliquée dans la gestion des risques, cela nécessite de mettre en urgence un plan qui permettrait d'inclure la population dans les politiques de prévention. Ainsi que, les résultats démontrent un déficit en matière d'information et de formation

Information : malgré de nombreuses actions, en particulier en direction des écoles et collèges, l'information concernant les risques naturels (mouvements de terrain, séisme et inondation, ...etc.), n'est pas encore divulguée de façon systématique.

La création d'une « Commission de communication » en 2004 n'a pas permis une meilleure information sur les risques naturels.

Formation : elle manque actuellement à tous les niveaux et en particulier dans les écoles et dans tous les domaines de la construction : maîtres d'ouvrages, architectes, bureaux d'étude, entrepreneurs, assurances, etc.

Tous ces premiers éléments d'analyse conduisent à la nécessité absolue d'agir dans tous les domaines, afin de réduire systématiquement la vulnérabilité en particulier lié au glissement de terrain et au séisme, il faut mettre l'accent sur la prévention.

Conclusion de la troisième partie

La complexité géologique des terrains concernés rend parfois délicat le diagnostic du phénomène et la prévention des risques et la protection des populations nécessitent au moins pour les sites les plus menaçants, des mesures de confortements et des études et reconnaissances délicates et coûteuses ne peuvent être appliquées sur terrain.

La prévention des glissements de terrain à Constantine doit prendre en considération ces éléments :

1-La maîtrise de l'urbanisation :

S'exprime à travers des plans de prévention des risques naturels, prescrits et élaborés par l'État.

Dans les zones exposées au risque de glissements de terrain, il faut prescrire ou recommander des dispositions constructives, telles que l'adaptation des projets et de leurs fondations au contexte géologique local, des dispositions d'urbanisme, telles que la maîtrise des rejets d'eaux pluviales et usées, ou des dispositions concernant l'usage du sol.

2-La construction adaptée :

La diversité des glissements de terrain implique que des mesures très spécifiques soient mises en œuvre à titre individuel.

Certaines de ces mesures sont du ressort du bon respect des règles de l'art, d'autres, au contraire, nécessitent des investigations lourdes et onéreuses.

La protection contre le retrait ou gonflement des argiles nécessite des mesures relativement simples d'adaptation du bâtiment au contexte local.

Généralement, le fait de descendre les fondations au-delà de la zone sensible à la dessiccation du sol suffit, le renforcement de la structure du bâtiment limite également le risque de fissuration des murs.

Il est possible d'agir sur l'évaporation de l'eau du sol en améliorant les réseaux d'alimentation et d'assainissement, en aménageant le réseau de un trottoir bétonné en périphérie du bâtiment ou en supprimant la végétation à proximité des fondations

3-L'information du citoyen :

Chaque citoyen doit prendre conscience de sa propre vulnérabilité face aux risques et pouvoir l'évaluer pour la minimiser, pour cela il est primordial de se tenir informé sur la nature des risques qui nous menacent, ainsi que sur les consignes de comportement à adopter en cas d'événement.

4-La surveillance et l'alerte :

Lorsque les mouvements de terrain déclarés présentent un risque important pour la population des mesures de surveillance doivent être mises en œuvre.

Ces mesures permettent de contrôler l'évolution du phénomène les ruptures qui peuvent avoir des conséquences catastrophiques, sont en général précédées d'une période d'accélération des déplacements.

En plus en cas d'événement majeur, la population doit être avertie au moyen d'un signal d'alerte, généralement à Constantine la prise en charge des glissements de terrains s'est faite souvent de manière laxiste et les quelques interventions ponctuelles et limitées dans le temps répondent beaucoup plus à un volontarisme du moment qu'à une politique réfléchie intégrant l'ensemble des éléments constitutifs de la problématique des glissements de terrains.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Constantine est l'une des villes en Algérie confrontée aux risques naturels avec en particulier les glissements de terrain les séismes et les crues et les inondations, ces risques se manifestant de façon inquiétante constituent ainsi une contrainte majeure pour le développement urbain économique et social de la ville.

À Constantine plusieurs quartiers sont régulièrement menacés par ces risques naturels, dont les effets sont souvent intensifiés par une urbanisation anarchique située sur des terrains instables très accidentés. La réduction des dommages causés par ces risques nécessite d'abord une parfaite identification des zones présentant le risque et des facteurs de l'ampleur des dégâts et des pertes engendrées par ses aléas.

Ce travail porte sur l'apport de l'aléa et de la vulnérabilité dans l'estimation et la cartographie des risques liés aux aléas de glissement de terrain à Constantine. En effet, les glissements de terrain à Constantine sont des mouvements anciens qui se sont manifestés depuis le début du siècle dernier, les premières manifestations avaient été observées au début du 20^{ème} siècle, en 1910 le glissement du pont de Sidi Rached (Benazzouz 1991).

En 1911 une avalanche de terrain a emporté 200 000 m³ de terre au bas versant Nord face au Moulin Carbonnel (Benazzouz 1991).

En 1972 le glissement du quartier Kaidi Abdellah, a engendré l'évacuation de 1543 familles vers d'autres sites (Benazzouz 1991).

Ces dernières décennies le phénomène a pris de l'ampleur dans plusieurs quartiers de la ville, aujourd'hui, la ville est classée comme une zone exposée aux sérieux problèmes liés aux glissements de terrain, les désordres affectent une superficie du tissu urbain de 120 ha et menace un patrimoine immobilier qui représente l'équivalent de 15000 habitations endommagées et menacées de ruines abritant près de 100 000 habitants (Benazzouz 2001).

Le problème des glissements de terrain à Constantine, semble dû à la conjonction des facteurs naturelles et anthropiques : la topographie accidentée du site, la prédominance d'affleurement tendre du Miocène, l'infiltration des eaux dues essentiellement à la vétusté du réseau d'alimentation en eau et l'urbanisation anarchique.

L'évolution urbaine qui s'est étendue sur tous les terrains sans prendre en considération leur stabilité, cette urbanisation anarchique continue, conquies les sites les plus vulnérables (les terrasses inondables et les terrains très accidentés et peu stables).

Les investigations observations sur terrain ont permis de mettre en évidence la dynamique des terrains est plus importante en périodes humides qu'en périodes sèches la présence et l'action de l'eau des pluies ne constituent que l'une des causes du déclenchement et de l'accélération des glissements de terrain.

La complexité des sols argileux leur pouvoir de saturation l'altération des roches et leur dégradation rapide par les eaux d'infiltration dans ces zones sont autant de facteurs favorables au déclenchement et à l'accélération des glissements de terrain.

L'action humaine constitue une autre cause de l'instabilité, en effet, durant les travaux de terrassements des grands projets : routes, institut islamique, lotissements,...etc.

D'importants mouvements de terre ont été provoqué dans les secteurs de fortes pentes, la question de l'instabilité des terrains à Constantine mérite une attention toute particulière et la prise en charge de la question des glissements de terrain suppose adopter une politique de prévention qui doit prendre en considération l'urbanisation à travers la réalisation des plans de prévention des risques naturels et de ce fait l'étude et la cartographie du risque du glissement de terrain, présentent un intérêt capital dans les actions préventives contre ces processus complexes, d'où l'intérêt d'établir des cartes de risque de glissement de terrain de la ville de Constantine.

Notre étude vise principalement à développer une approche méthodologique menant à l'élaboration d'un document cartographique identifiant les zones soumises au risque, en appliquant une méthodologie simple à l'aide d'un système d'information géographique (SIG) sous Arc View.

Dans le but de réaliser la carte des risques liés aux glissements de terrain à Constantine, notre intérêt s'est porté sur le développement d'une approche méthodologique qui fait appel à l'application d'un système d'information géographique (SIG), en utilisant l'analyse multicritère qui tient compte de divers paramètres physiques naturels et anthropiques cela nous a permis dans un premier temps de produire la carte de susceptibilité d'aléa par une approche bivariée (GMM MATRIX).

En second lieu l'estimation de la vulnérabilité qui est estimée par une analyse semi-empirique des enjeux définis en termes de valeur relative d'éléments exposés.

La superposition entre l'aléa et la vulnérabilité a donné lieu à l'élaboration d'une carte thématique regroupant les différentes classes de risque de glissement (très fort, fort moyen et faible et très faible) dans le secteur d'étude.

Pour l'ensemble de site, environ 1147 ha de la surface totale est exposée à un risque très fort à fort, 219 ha à un risque moyen et 19021 ha est classée parmi les endroits faiblement exposés. Ainsi cette carte nous a permis de mettre en relief pour l'ensemble de la ville, le nombre des constructions exposées à un risque très fort à fort 551 du nombre total et 564 constructions à un risque moyen et 3379 constructions ne risquent aucun danger.

La carte de risque naturel lié au glissement de terrain, représente un outil d'aide à la décision relative aux choix des mesures préventives de réduction des risques afin de minimiser l'impact de glissement de terrain de la ville de Constantine

Chaque citoyen doit prendre conscience de sa propre vulnérabilité face aux risques et pouvoir l'évaluer pour la minimiser.

Pour cela nous avons mené une enquête par questionnaire qui a visé la population la plus menacée par les glissements de terrain, l'intérêt s'est porté sur le niveau de conscience de la population, 560 personnes ont été interrogées entre (2016-2017).

Nous avons construit l'échantillon en nous fondant sur les sites les plus exposés aux glissements de terrain, en particulier les secteurs urbains de la partie Sud et Sud Ouest de la commune de Constantine : Belouizdad ,Bellevue ,Boudraaa Salah et 5 Juillet1962, parmi les personnes interrogées,

L'analyse des résultats obtenue par le questionnaire nous a permis de conclure que la population ne se sent pas encore vraiment impliquée dans la gestion des risques, cela nécessite de mettre en urgence un plan qui permettrait d'inclure la population dans les politiques de prévention.

Les résultats de l'enquête confirment que 95 % de la population enquêtée, qu'aucun programme de sensibilisation et aucune mesure de confortement étaient appliqués sur terrain à travers les quartiers exposés aux risques naturels. En outre 86 % de la population enquêtée n'ont pas assuré leurs biens immobiliers et ne savent pas que l'assurance Cat-Nat est obligatoire, à l'opposé, 77 % ont déclaré qu'ils sont prêt de souscrire une Cat-Nat dans le futur.

La population enquêtée n'est pas consciente aux risques naturels, glissement de terrain et séisme, et les résultats d'enquête illustrent bien cet état de fait.

Le thème de glissement de terrain continue à faire de l'actualité dans la ville de Constantine, plusieurs études ont proposé des solutions de confortement et de maîtrise de terrains instables mais l'ensemble de ces recommandations, ne semble pas avoir été pris en charge par les autorités locales et l'urgence de l'heure traduit un engouement fort pour l'urbanisation des villes nouvelles de Constantine. Toutes les études qui ont été réalisées n'ont pas abouti à des applications pour la maîtrise des glissements de terrain de la ville de Constantine.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Références Bibliographiques

- 1-Antoine ,P.,(1992):Les problèmes posés par l'instabilité des versants de grande ampleur Aspects géologiques. Bull. Ass. Int. Géol. Ing. (AIGI), n°45.
- 2-ARCADIS-EEG-SIMECSOL-DUC.,(2003):Etude des glissements de terrain de la ville de Constantine, Géologie de la ville de Constantine et de ses Alentours, Ministère de l'habitat et de la construction .Direction de l'urbanisme et de la construction -wilaya de Constantine 29 p.
- 3-ARCADIS-EEG-SIMECSOL-DUC.,(2003):Etude des glissements de terrain de la ville de Constantine, géomorphologie de la ville de Constantine et de ses Alentours, Ministère de l'habitat et de la construction. Direction de l'urbanisme et de la construction -wilaya de Constantine 19 p.
- 4-ARCADIS-EEG-SIMECSOL-DUC.,(2003):Etude des glissements de terrain de la ville de Constantine, hydrogéologie des glissements de terrain, Ministère de l'habitat et de la construction.Direction de l'urbanisme et de la construction -wilaya de Constantine -69 p.
- 5-Balegamire, C., Michellier C.,Berckmans Muhigwa J., Delvaux D.,Imani G & Dewitte O., (2017) :Vulnérabilité du bâti face aux glissements de terrain : analyse spatio-temporelle à Bukavu (RD Congo),Geo-Eco-Trop., 41, 2, n.s.:263-278.
- 6-Beck, E.,(2006):Approche multi-risques en milieu urbain.Le cas des risques sismiques et technologiques dans l'agglomération de Mulhouse, Thèse de doctorat, Université Louis Pasteur, Strasbourg 1, 282 p.
- 7-Benazzouz, M T.,(1987):Anthropical effets and landslides in Constantine area, Frist international Congress of geohydrology, Firenze 2-5Décembre 1987.
- 8-Benazzouz, M T.,(1991):L'évaluation de l'aléa géomorphologique et des coûts des risques naturels à Constantine. Z-Geomorph NF suppl Bd 83, pp-63-70 Berlin Stuttgart August 1991.
- 9-Benazzouz, M T et al.,(2003):Etude de glissement de terrain et évaluation de leur impact dans la ville de Constantine ; Revue du Laboratoire d'Aménagement du territoire n°1(2003), Université Mentouri Constantine.
- 10-Benazzouz, M T et al.,(2009):Evaluation du risque des glissements de terrain en milieu urbain appliquée à la ville de Constantine : les causes et les conséquences ; Atelier International de Formation sur les Risques Majeurs et les Catastrophes Naturelles Stratégies de prévention et de protection, Centre de Recherche Scientifique et Technique sur les régions arides, CRSTRA,Biskra,16-17Décembre2009.
- 11-Benazzouz,M T et al.,(2013):La vulnérabilité de la ville de Constantine, face aux risques naturels, Réduction des vulnérabilités et des risques-plan national de recherche PNR5 : prévention des catastrophes naturelles et protection contre les risques majeurs. Laboratoire d'Aménagement du territoire LAT .Université frères Mentouri, Constantine 1.
- 12-Benaïssa, A.,(1989):Contribution à l'étude des glissements de terrain dans la région de Constantine, thèse doctorat UJF,Grenoble.
- 13-Benaïssa, A.,(2003):Glissements terrain, calcul de stabilité, Office des Publication Universitaires,92 p.

- 14-Benabbas,C.,(2006):Evolution moi-pliocène quaternaire des bassins continentaux de l'Algérie nord oriental : Apport de la photogéologie et analyse morpho structurale, Thèse de Doctorat.Université de Constantine.
- 15-Benouis, D.E.,(2010):Etude d'un glissement de terrain par différentes méthodes, Mémoire d'ingénieur , ingénieure d'état en génie civil,option : construction civil et industrie.Université de Saida ,13-21p.
- 16-Bétard François., Delbart Nicolas et Clément Piel .,(2014):Cartographie de la susceptibilité aux glissements de terrain dans la région de Nova Friburgo (État de Rio de Janeiro, Brésil). Une étape vers l'évaluation et la gestion du risque. Bulletin de l'Association de géographes français 276-288 p.
- 17-Bougdal, R.,(2007):Urbanisation et mouvements de versants dans le contexte géologique et géotechnique des bassins néogènes d'Algérie du Nord ,thèse de doctorat, Spécialité : Géologie appliquée.Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene ,203p.
- 18-Boufenara,K .,(2008):La Réhabilitation comme processus du projet urbain cas de Constantine magistère.Univrsité Mentouri Constantine,242 p.
- 19-Carrara, A., Cardinali, M., Guezzetti, F., Reichenbach, P.,(1995):GIS technology in mapping landslide hazard.Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards, Carrara A., Guzzetti F., Eds., Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, The Netherlands, 135 -175p.
- 20-Carrara,A., Bittelli,G., Carla, R.,(1997):Comparison of techniques for generating digital terrain models from contour lines. International Journal of Geographical Information Science, 11,5, 451-473p.
- 21-Centre de génie parasismique C.G.S.,(2003):Etude de l'aléa sismique de la région de Constantine. Rapport final du 20/11/2003.
- 22-Chardon ,A.C.,(1991):Vulnérabilité de la ville de Manizales-Colombie et de sa population face aux risques naturels. Le passé et le présent l'attestent : l'aléa a fait place au risque. Mémoire de DEA, IGA-Grenoble 1,104 p.
- 23-Coiffait, P.E.,(1992):Un bassin post-nappes dans son cadre structural : l'exemple du bassin de Constantine (Algérie Nord-Orientale).Thèse Doctorat Es-Sciences, Paris.
- 24-Côte ,M.,(2005):Constantine, cité antique et ville nouvelle,Média plus,117 p.
- 25-Dauphiné , A.,(2004):Risques et catastrophes : Observer, spatialiser, comprendre, gérer. Armand colin,284 p.
- 26-Dubois-Maury, J et Chaline,C.,(2002):Les risques urbains, collection U, Armand Colin.
- 27-D'Ercole,R .,(1994):Les vulnérabilités des sociétés et des espaces urbanisés : concepts, typologie, modes d'analyse. Revue de Géographie Alpine, n°4, tome LXXXII, 87-97p.
- 28-Direction de la protection civile et la direction des ressources en eau -Constantine - Plan ORSEC(2015)

- 29-Flageollet, J.-C., (1989): Mouvements de terrain et leur prévention, Collection géographique; Masson Paris.
- 30-Glade, T., (2003): Vulnerability assessment in landslide risk analysis. *Die Erde*, vol. 134, 121-138 p.
- 31-Glade, T., Crozier, M. J., (2005): The nature of landslide hazard impact. *Landslide Hazard and Risk*. Wiley, Chichester, p 43-74.
- 32-Guide technique., (1998): Stabilisation des glissements de terrain, sous la direction de Gilles Seve (LCPC) et Pierre Pouget (LRPC de Clermont - Ferrand).
- 33-Guide technique., (1994): Surveillance des pentes instables, sous la direction de Jean-Louis Durville (LCPC), Thierry Gouin (LRPC de Lyon), Pierre Pouget (LRPC de Clermont-Ferrand), Gilles Seve (LCPC).
- 34-Hafiane, A., (1989): Les défis à l'urbanisation: l'exemple de l'habitat illégal à Constantine, édition Alger, des publications universitaires.
- 35-Hafiane, A., (1980): Dynamique urbaine et planification l'habitat légal dans l'évolution de Constantine, Thèse de magister, Option urbanisme. Université Mentouri Constantine.
- 36-Hioul, S., (2009): Mutation fonctionnelles d'un village colonial dans la logique de la croissance urbaine de Constantine cas El Khroub, Thèse de magister. Université Constantine, 201p.
- 37-Leone, F., Meschin, F., Richemond Freddy et Vinet., (2010): Aléas naturels et gestion des risques, presses universitaires de France Puf, 1^{ère} édition, PUF, 284p.
- 38-Leone, F., (1996): Concept de vulnérabilité appliqué à l'évaluation des risques générés par les phénomènes de mouvements de terrains. Thèse de doctorat. Université Joseph Fourier, Grenoble 1, ANRT, 274p.
- 39-Leone, F., (2008): Caractérisation des vulnérabilités aux catastrophes « naturelles » : contribution à une évaluation géographique multirisque mouvements de terrain, séismes, tsunamis, éruptions volcaniques, cyclones. HDR. Université de Montpellier 3, Montpellier, France, 330 p.
- 40-Leone, F., Aste, J.P., Leroi, E., (1996): L'Évaluation de la vulnérabilité aux mouvements de terrains pour une meilleure quantification du risque. *Revue de géographie alpine*, 84, 35-46 p.
- 41-Leone, F., (2004): Une Approche quantitative de la cartographie des risques naturels : application expérimentale au patrimoine bâti de la Martinique Antilles françaises. *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, 10, 2, 117-126p.
- 42-Leroi, E., (1996), Landslide hazard, Risk maps at different scales: objectives, tools and development. ISL 96, 7th International Symposium on Landslides, 17-21 June 1996, Trondheim, Norway, in Senneker eds, *Landslides*, Rotterdam, A.A. Balkema Publisher, 35-51p.

- 43-Levasseur, M., (2003): Contribution des systèmes d'information géographique à l'analyse quantitative de l'aléa « glissement de terrain », Exemple d'application au secteur de ville de la Baie, Québec. Mémoire présenté pour l'obtention du grade de Maître es sciences (M.Sc.). Université du Québec INRS-E.T.E.
- 44-Malet, J.P., (2003): Les Glissements de type écoulement dans les marnes noires des Alpes du Sud. Morphologie, fonctionnement et modélisation hydro-mécanique. Thèse de Doctorat, Université Louis Pasteur - Strasbourg I, 364 p.
- 45-Manche, Y., (2002): Analyse spatiale et mise en place de système d'information pour l'évaluation de la vulnérabilité des territoires de Montagnes face aux risques naturels. Thèse de Doctorat en géographie. Université J Fournier, Grenoble.
- 46-Maquaire, O., (2002): Aléa géomorphologique (mouvement de terrain), faculté de géographie - Université Louis Pasteur Strasbourg, Mémoire de recherche, 223p.
- 47-Marrouk, M., (2010) : Recherches pour un Atlas de Constantine : Approche statistique et thématique. Thèse de Doctorat. Université Constantine, 268p.
- 48-Malet, J-P., Thiery, Y., Maquaire, O. & Puissant, A., (2006): Analyse spatiale, évaluation et cartographie du risque "glissement de terrain", Revue Internationale de Géomatique, vol. 16, n°3-4, 499-525p.
- 49-Malet, J.P., Hartig, S., Calais, E., Maquaire, O., (2000): Apport du GPS au suivi en continu des mouvements de terrain. Application au glissement-coulée de Super-Sauze, Alpes de Haute Provence, France. Compte rendu de l'Académie des Sciences, Sciences de la Terre et des planètes, 331, p. 175-182.
- 50-Maquaire, O. & al (2016): Évaluation et cartographie par SIG du risque glissement de terrain. Application aux Alpes du Sud. Interactions Nature-Société. Analyse et Modèles. UMR CNRS 6554 LETG.
- 51-Mezhoud, L., (2007): La vulnérabilité aux glissements de terrain et les enjeux dans la partie ouest et sud ouest de la ville de Constantine. Mémoire de Magistère. Université Mentouri Constantine 149 p.
- 52-Mezhoud, L.; Benazzouz, M T., (2018): Évaluation de la susceptibilité à l'aléa « glissement de terrain » par l'utilisation SIG-Application à la ville de Constantine (Algérie). Science & technologie D - Revue semestrielle de l'université Frères Mentouri-Constantine 1 n°47-91-103p.
- 53-Nait Amar Nadra., (2005): Une solution à la question de la congestion de Constantine ville nouvelle Ali Mendjeli. Thèse de Magister. Université Constantine, 377p
- 54-Ozer, P., (2003) : Introduction aux risques naturels, notes de cours. Université de Liège, 60p.
- 55-Paulsen S., Krauter E., Hanisch J., (1999): Rapport d'expertise sur les glissements de terrain de la ville de Constantine (Algérie). Institut Fédéral des Géosciences et des ressources naturelles Hanovre, N° arch. 117989, 42 p R.F.A.
- 56-Puissant A., Malet J.P., Maquaire O., (2006): Mapping landslide consequences in mountain areas: a tentative approach with a semi-quantitative procedure. 12p.

- 57-Pierre Martin., (2007):Ces risques que l'on dit naturels, géotechnique, édition EYROLLES 506 p.
- 58-Rapport du schéma de cohérence urbaine le diagnostic prospectif du grand Constantine, 58p
- 59-Rapport de l'agence nationale pour l'aménagement du territoire -ANAT-(1994)
- 60-Rapport de l'office national des statistiques : Recensement général de la population et de l'habitat RGPH (2008)
- 61-Ronte,C .,(2003):Etude et analyse critique des méthodes d'évaluation des risques naturels par l'exploitation des SIG, dirige par Regis Caloz et Sandrine Durler, Application au bassin versant de l'Avancon (Aigle, Vaud, Suisse),Mai-Septembre .
- 62-Stieltjes ,L.,(2004):Evaluation du risque mouvements de terrain Etat de l'art sur l'aléa mouvements de terrain,Analyse du risque mouvements de terrain ,BRGMC/RP-53005-FR
- 63-Thiery, Y.,(2007):Susceptibilité du bassin de Barcelonnette (Alpes du sud, France) aux "mouvements de versant" : cartographie morphodynamique, analyse spatiale et modélisation probabiliste. Thèse de doctorat, université de Caen Basse-Normandie, 443 p.
- 64-Thiery, Y., & al.,(2005): Analyse spatiale de la susceptibilité des versants aux glissements de terrain Comparaison de deux approches spatialisées par SIG, Revue Internationale de géomatique, vol 15, n°2,227-245p.
- 65-Thiery ;Y.,Malet,J-P,Sterlacchini,S.,Puissant,A.&Maquaire,O.,(2007) : Landslide susceptibility assessment by bivariate methods at large scales : application to a complex mountainous environment geomorphology , vol. 92, n°1-2, 38-59p
- 66-Thierry ,P , F Rivet et E Vanoudheusden.,(2008) : Scénarios risque mouvements de terrain (y compris effondrement de cavités) dans les agglomérations urbaines : développement méthodologique . Avenant n°1/2006 de la convention n° CV0500195 -Rapport final BRGM / RP-56243-FR-Mars 2008.Centre scientifique et technique service ARN .101p.
- 67-Thierry ,P., Rivet ,F et Vanoudheusden ,F.,(2008) : Scénarios risque mouvements de terrain y compris effondrement de cavités) dans les agglomérations urbaines: développement méthodologie (Avenant n°1/2006 de la convention n°CV0500195)-Rapport final BRGM/RP-56243-FR-Mars-2008.
- 68-Thouret , J C.,(1995):Vulnérabilité aux risques naturels en milieu urbain : effets, facteurs et réponses sociales. Soumis aux cahiers des sciences humaines, ORSTOM, Paris.
- 69-Thouret , J C.,(1994):Prévision des menaces et évaluation des risques volcaniques, IV, in J L Bourdier, éditeur, le volcanisme, Manuels et Méthodes 25. Editions BRGM,Orléans. 267-283p,
- 70-Thouret , J C.,(1990):Les risques volcaniques et volcano-glaciaires dans les montagnes peuplées: identification, cartographie, évaluation. Bull. Assoc. Géogr. Fra., 2.133-148p.
- 71-Thouret , JC et al.,(1994):Les vulnérabilités des sociétés et des espaces urbanisés, concepts typologie, mode d'analyse, Revue de géographie alpine, tome 82 n°4,87-96p.

- 72-URBACAO.,(2010):Révision du PDAU intercommunal de Constantine.
- 73-URBACAO.,(2011):Evaluation territoriale et diagnostic, tome 1-géographie de la wilaya de Constantine et développement future.
- 74-URBACAO.,(2011):Evaluation territoriale et diagnostic, tome 2-activités économiques et structuration du territoire de la wilaya de Constantine
- 75-URBACO.,(2013):Schémas prospectif d'aménagement et de développement durable PATW. Phase I-II
- 76-Varnes, D.J.,(1984):Landslide Hazard Zonation : A Review of Principles and Practice, Natural Hazards. UNESCO, Paris.
- 77-Veyret, Y et al.,(2003) :Les risques, dossier des images économiques du monde, édition Sedes,256 p.
- 78-Veyret, Y.,(2004) : Géographie des risques naturels en France, Paris, Hatier,251 p.
- 79-Vila ,J-M.,(1980):La chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins algéro-tunisiens. Thèse, Université Pierre et Marie Curie, Paris VI, 2 vol., 665 p.
- 80-Zêzere, JL.,(2002):Landslide susceptibility assessment considaring landslide typology, Aase study in the area north of lisbon (Portugal), Natural Hazards and Earh system sciences, vol 2,73-82p.
- 81-Zêzere,JL,Garcia,Rac et Oliveira,Sc.,(2008):Probalistic landslide risk analysis considering direct costs in the area north of lisbon (Portugal),Geomorphology Elsevier,2008 Vol 94,467-465p.

Articles et publications disponibles sur sites web

1-Butara ;S et al .,(2015) : Susceptibilité aux glissements de terrain : cas de la commune d'ibanda Bukavu République démographique du Congo .International Journal of Innovation and Applied Studies, ISSN 2028-9324 Vol. 11 No. 1 Apr. 2015, pp. 129-147,© 2015 Innovative Space of Scientific Research Journals <http://www.ijias.issr-journals.org/>

2-Conseil national économique et social : l'urbanisation et risques naturels et industriels en Algérie, Inquiétude actuelles et futures 22^{ème} session plénière,publication du conseil national économique et social Mai.,(2003),<http://www.cnes.dz>

3-Galland ,F.,(2012) : Résilience urbaine face aux catastrophes naturelles en Méditerranée Institut de prospective économique du monde méditerranéen IPEMED.www.ipemed.coop ; 28p.

4-Mesrar ,H.& al.,(2015):Apports de la Géomatique pour la modélisation du risque glissements de terrain,cas du risque du bassin versant de l'oued Larbaa (Nord Taza), Research Gate <https://www.researchgate.net/publication/282662348>.

5-Metzger ,P.,D'Ercole,R.,(2011):Les risques en milieu urbain : éléments de réflexion, Echo Géo,<http://journals.openedition.org/echogeo/12640> ;DOI 10 .4000./echogeo.12640

6-November.,V : Risques naturels et croissance urbaine : réflexion théorique sur la nature et le rôle du risque dans l'espace urbain. In: Revue de géographie alpine, tome 82, n°4, 1994. pp.113-123;doi : <https://doi.org/10.3406/rga.1994.3778> https://www.persee.fr/doc/rga_0035-121-1994-num-82-4-3778

7-Petley, D.N.,(2013):Global losses from landslides associated with dams and reservoirs. In: Genevois, R. and Prestininzi, A.(eds) *International Conference on Vajont – 1963-2013*. Thoughts and analyses after 50 since the catastrophic landslide. Italian Journal of Engineering and Environment – Book Series N. 6, pp 63-72.

Cartes

1-Coiffait, P.E.,Vila J.M.,Guellal S.,(1977) : Carte géologique d'El Aria à 1/50 000,

2-CNRP : Secrétariat d'état au plan.

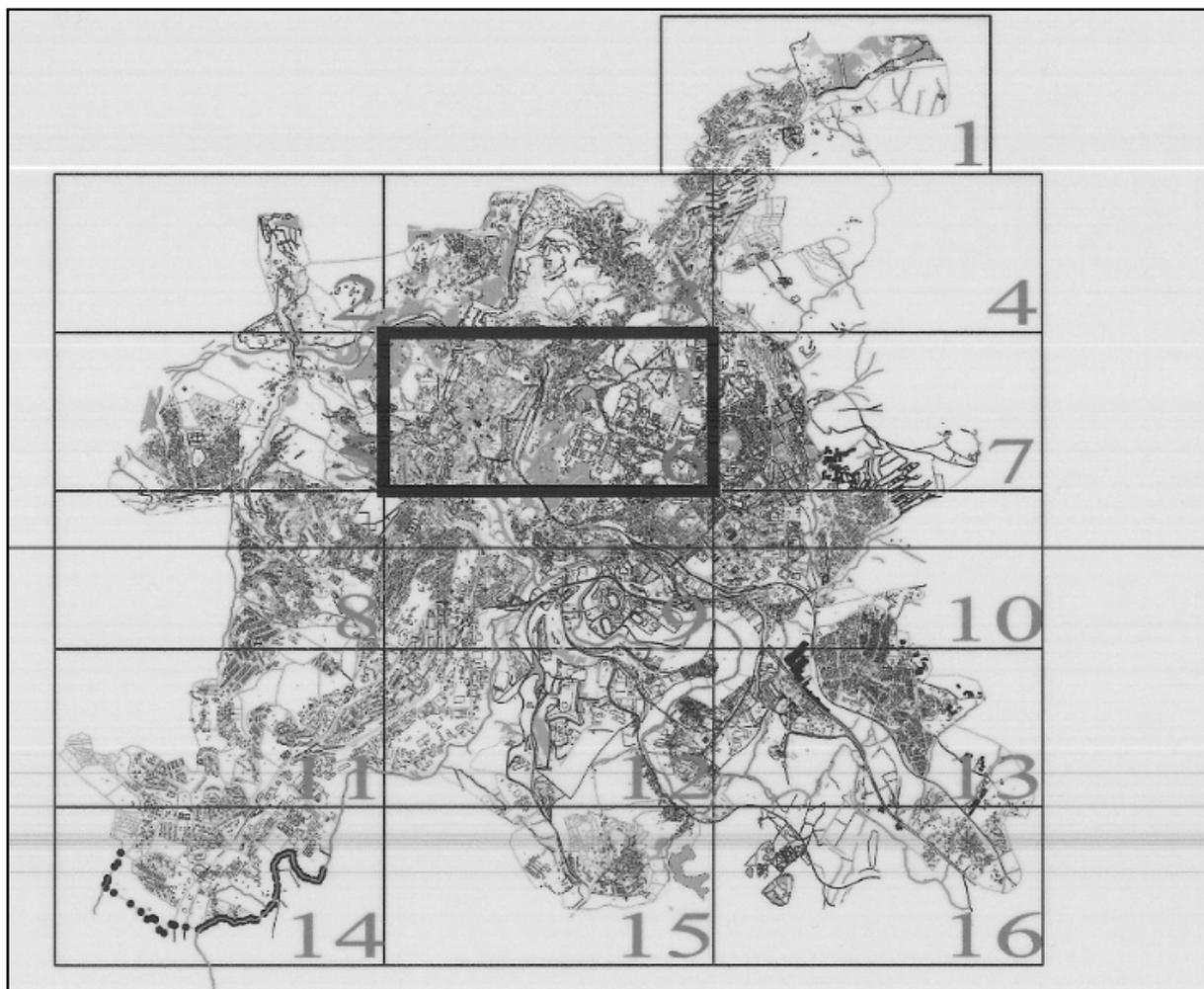
3-Vila, J.M.,(1977):Carte géologique de Constantine à 1/200 000.Service carte géologique.
Algérie.

ANNEXES

Annexe n°1 : Données de population par districts

| Secteurs Urbains | N° districts |
|------------------|---|
| Bellevue | de (85 à 135) |
| Boudraa Salah | de (162 à 214) + (12) + (13) |
| Kitouni | de (136 à 161) |
| Kantara | de (492 à 536)+(294) |
| Sidi Rached | de (42 à 84) tandis que (67 appartient au secteur de Ziadia) |
| 5 juillet1962 | de (215 à 252)+ (de 37 à 41) |
| Les Muriers | de (253 à 297) et de (15 à 36) tandis que (294 appartient au secteur Kantara) |
| Ziadia | de (435 à 491) + 67 |
| El Guemmas | de (298 à 348)+(14) |
| Sidi Mabrouk | de (349 à 434) |

Source : RGPH (2008)

Tableau n°1:Données par districts

Source : ONS –RGPH (2008)

Figure n°1:Carte de districts

Annexe n°2: La superficie des terrains exposé aux risques des glissements de terrain à travers les délégations communales

Figure n°1: La superficie des terrains exposer aux risques des glissements de terrain « Sidi Rached »

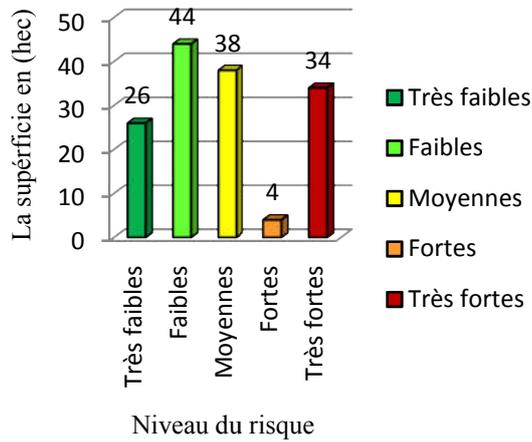


Figure n°2: La superficie des terrains exposer aux risques des glissements de terrain «Kitouni Abdelmalek»

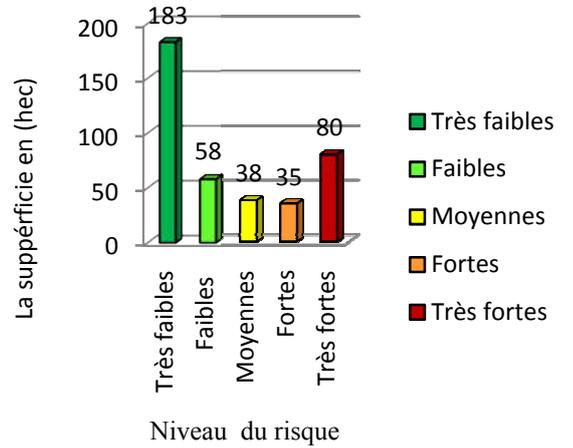


Figure n°3: La superficie des terrains exposer aux risques des glissements de terrain «El Kantra»

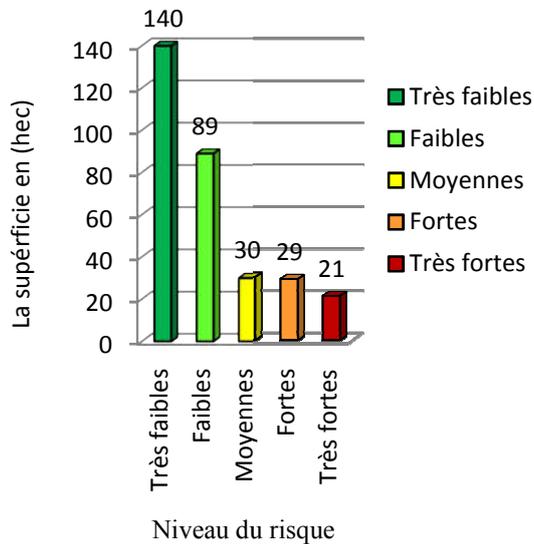
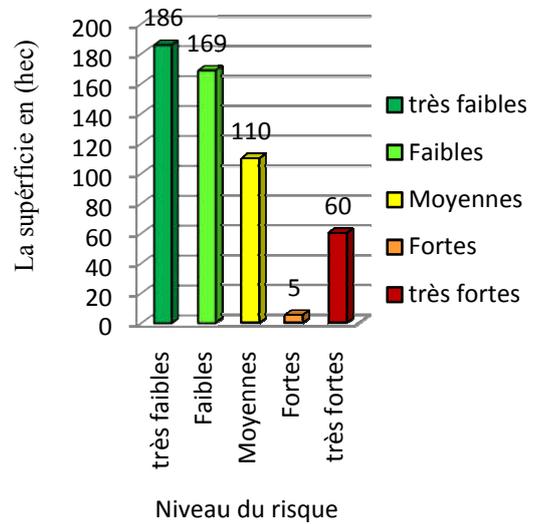


Figure n°4: La superficie des terrains exposer aux risques des glissements de terrain « Belle vue »



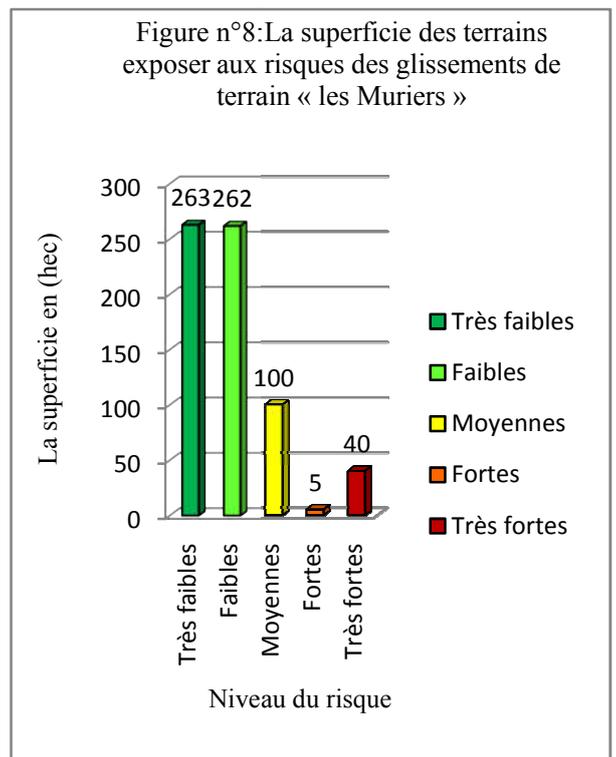
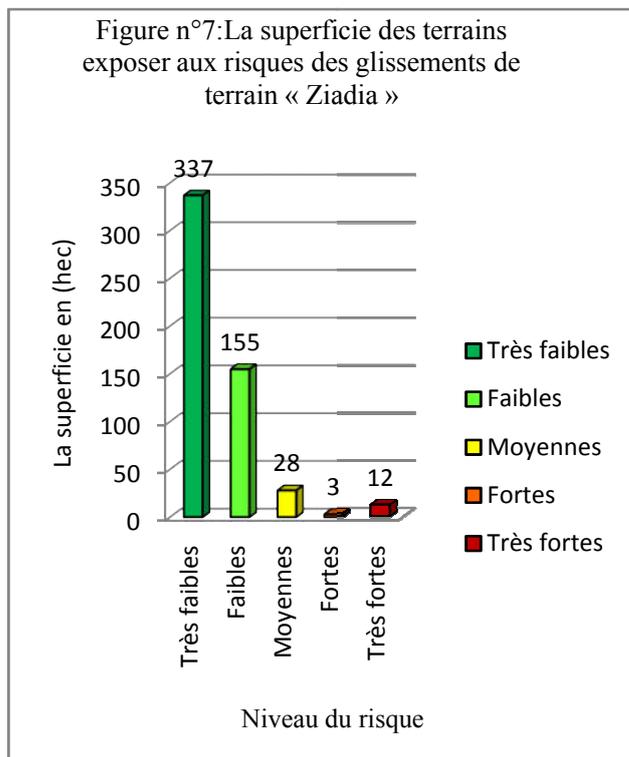
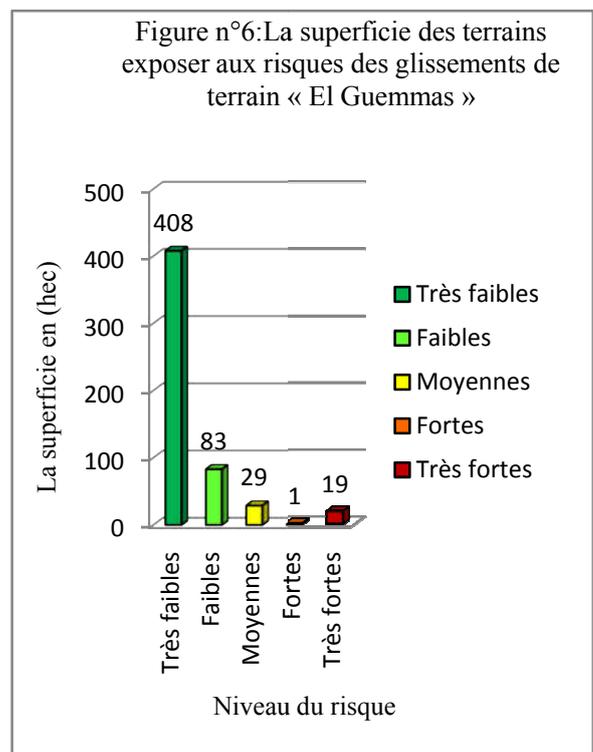
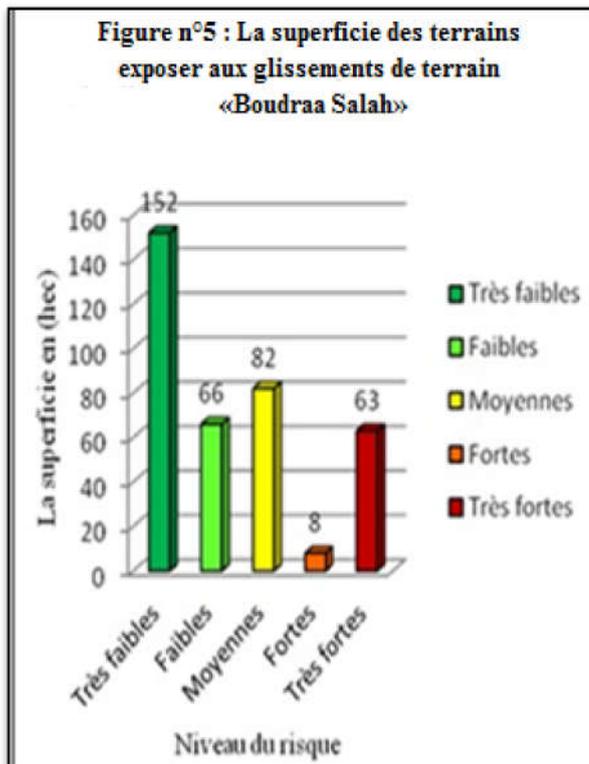


Figure n°9 : La superficie des terrains exposer aux risques des glissements de terrain : « 5 juillet 62 »

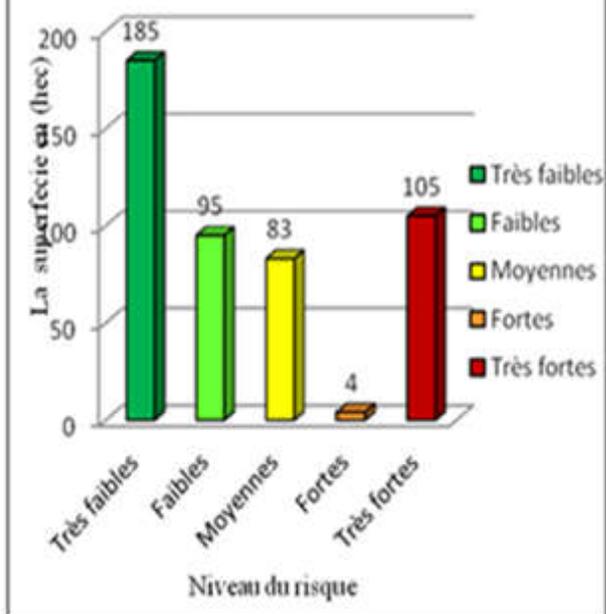
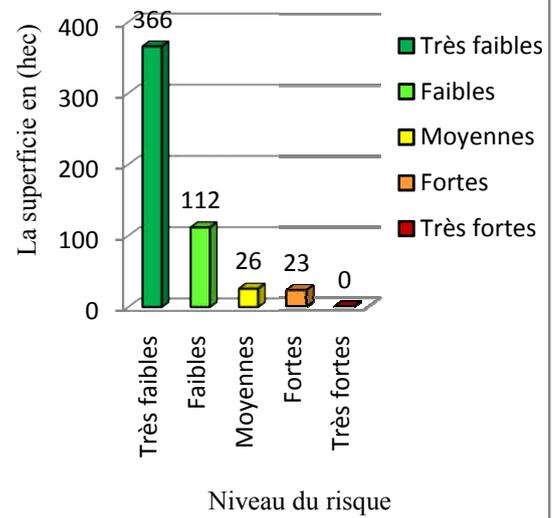
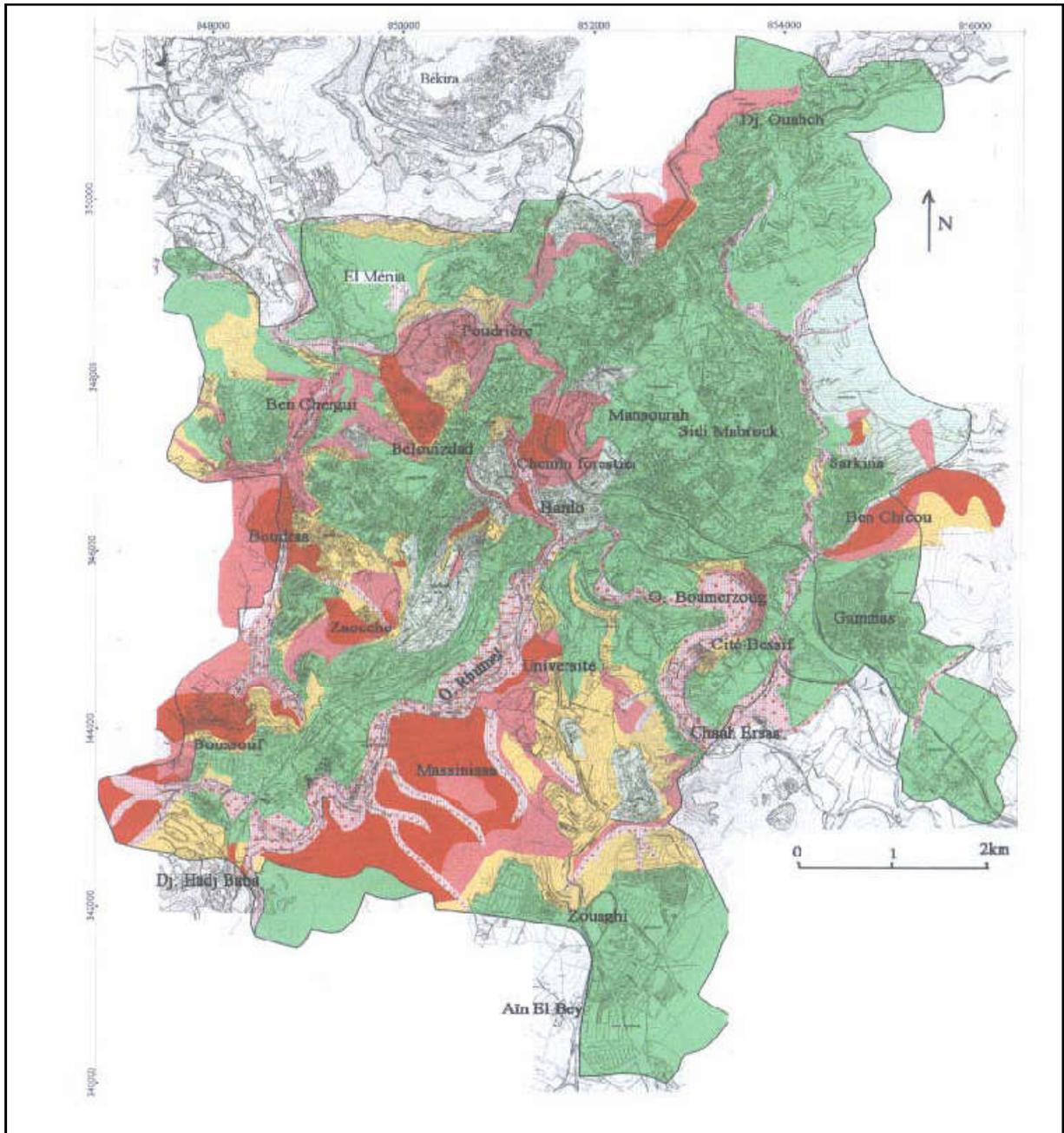


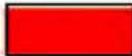
Figure n°10: La superficie des terrains exposer aux risques des glissements de terrain: « Sidi Mabrouk »

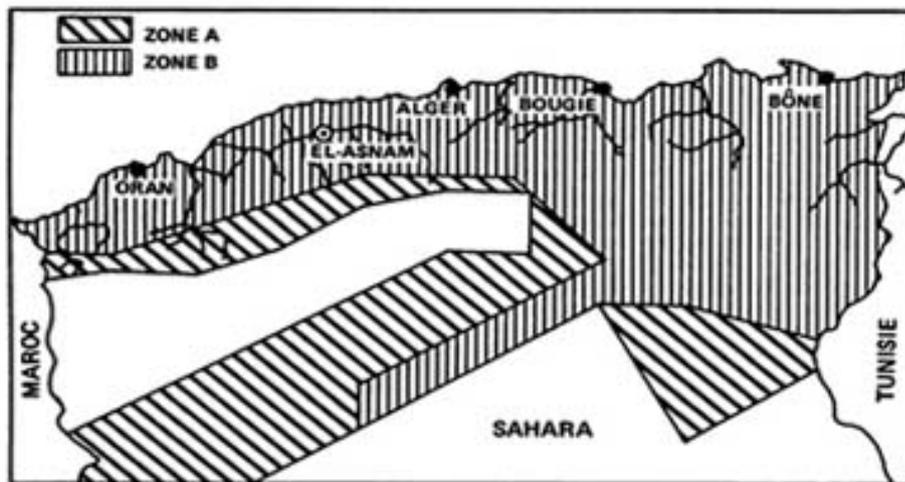


Annexe n°3 : Carte de la vulnérabilité aux glissements de terrain de la ville de Constantine

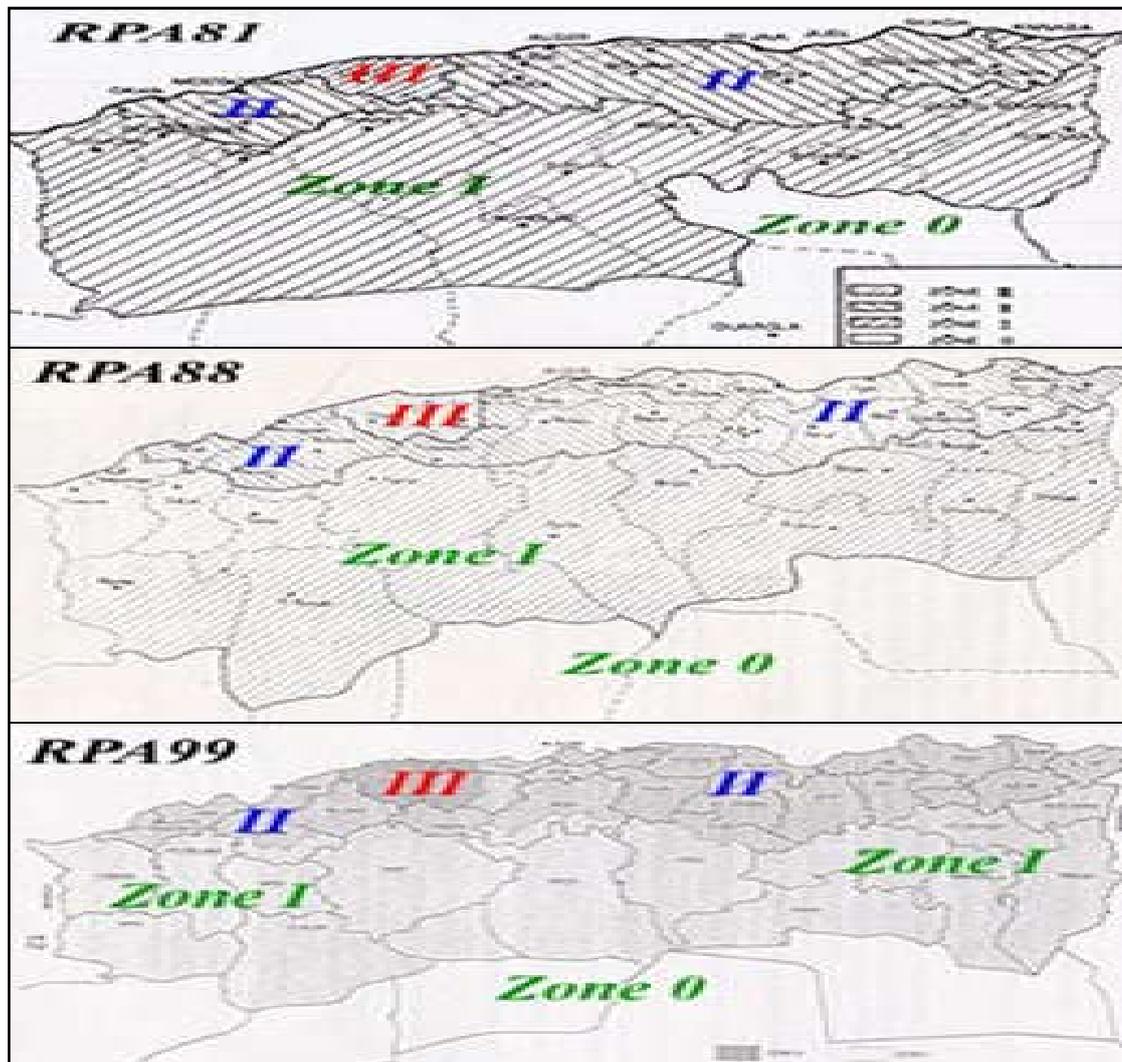


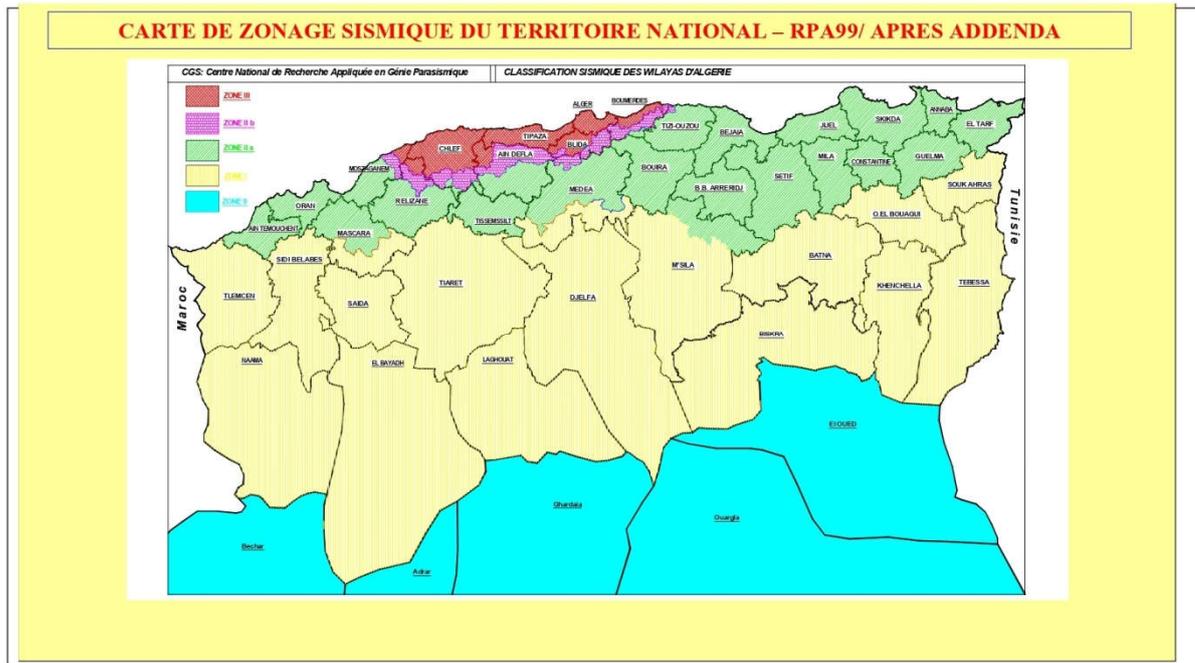
Source : ARCADIS-EEG-SIMECSOL(2004)

| | |
|---|--|
|  | Classe 1 : Zone favorable à la construction. Pentes stables, de faible déclivité. Terrains dominants: calcaires néritiques et lacustres, marno-calcaires telliens, alluvions graveleuses |
|  | Classe 2 : Zone constructible à substratum marno-calcaire stable, peu profond. Formations superficielles sensibles au ravinement |
|  | Classe 3 : Zone de stabilité incertaine. Terrains dominants de caractéristiques géotechniques médiocres (marnes miocènes, remblais anciens, marno-calcaires telliens) |
|  | Classe 4a : Zone instable, non constructible, à fréquents indices d'instabilité. Terrains dominants: Marnes et conglomérats miocènes, marno-calcaires telliens |
|  | Classe 4b : Zone instable, non constructible. Glissements de terrains avérés, actifs |
|  | Classe 5 : Zone non constructible à érosion active sur berges de talwegs. Terrains dominants: Marnes miocènes et marno-calcaires telliens. Risques d'écroulement à El Ménia |
|  | Classe 6 : Zone non constructible, exposée au risque d'inondation. Basses terrasses alluviales |
|  | Classe 7 : Zone exceptionnellement inondable (risque à évaluer plus précisément). Terrasses d'altitude moyenne (5-6m) |

Annexe n°4 : Cartes du zonage sismique du territoire national

Carte n°1 : Zonage sismique ASS 55

Carte n°2: Zonage sismique du territoire national
version (RPA 81-RPA 88-RPA 99)



Source : CGS

Carte n°3 :Zonage sismique national (RPA 1999 version 2003)

Annexe n°5 : Outils réglementaires et juridiques

1-Loi n°04-05 du 27 Joumada Ethania 1425 correspondant au 14 août 2004 modifiant et complétant la loi n°90-29 du 1er décembre 1990 relative à l'aménagement et l'urbanisme.

2-La loi n°01-20 du 12/12/2001 relative à l'Aménagement et au développement durable.

3-La loi n°04-05 du 14/08/2004 relative à l'intégration de la gestion des risques dans les plans d'urbanisme et d'Aménagement du territoire.

4-La loi n°04-20 du 25/12/2004 relative à la prévention des risques majeurs et de gestion des catastrophes naturelles dans le cadre du développement durable.

5-La loi n°80-07 du 09 août 1980 relative aux assurances.

6-L'ordonnance n°03-12 du 26 août 2003 relative aux assurances.

7-Décret n° 85-232 du 25 août 1985 relatif à la prévention des risques de catastrophe.

8-Décret n°85-231 du 25 août 1985 relatif à l'organisation des interventions et des secours en cas de catastrophe.

9-Décret n°16-258 du 8 Moharram 1438 correspondant au 10 Octobre 2016 définissant les modalités de création et de délimitation des délégations communales et fixant les règles d'organisation et de fonctionnement des délégations et des antennes communales.

10-Les Recommandations ASS-55

11-Le Règlement PS-69

12-Le Règlement parasismique Algérien RPA version (1980)

13-Le Règlement parasismique Algérien RPA version (1983)

14-Le Règlement parasismique Algérien RPA version (1988) (DTR B-C2-48)

15-Le Règlement parasismique Algérien RPA version (1999)

16-Le Règlement parasismique Algérien RPA version (2003)

Annexe n°6: Questionnaire de l'enquête

République Algérienne Démocratique et Populaire
 Ministère de L'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
 Université frères Mentouri Constantine 1
 Faculté des Sciences de la Terre, de la géographie et de l'Aménagement du territoire
 Département d'Aménagement du territoire

Je vous prie de bien vouloir répondre au présent questionnaire qui entre dans le cadre de la préparation d'une thèse de doctorat intitulée: **La vulnérabilité face aux risques naturels ;Etude de cas la ville de Constantine ,** en aménagement du territoire.

Je vous remercie pour votre collaboration et je vous assure que les informations données sont confidentielles.

Questionnaire

Pouvez-vous, SVP, Nous indiquer :

-Age : 20-30ans 30-40ans 40-50ans 50-60 ans plus de 60 ans

-Sexe : M F

-Quelle est votre situation familiale : Marié(e) Célibataire

-Avez-vous des enfants : Oui Non

-Profession /occupation :

.....

-Sans profession :

-Adresse :

.....

| | |
|--------------|--------------------------|
| Location | <input type="checkbox"/> |
| Propriétaire | <input type="checkbox"/> |

-Depuis quand résidez-vous et ou travaillez-vous dans ce quartier ?

I- EXPOSITION AU RISQUE NATUREL :

1-1-Pour vous, qu'est ce qu'un risque naturel, définissez en donnant 2ou 3mots :

.....

.....

1-2-Déterminez les risques naturels auxquels vous sentez personnellement le plus exposé (e) sur votre lieu d'habitat / travail

-Séisme

-Glissement de terrain

2-3-Comment vous sentez vous exposé(e) a ces risques naturels :

-Beaucoup

-Plus au moins

-Pas du tout

2-4-L'état de votre bien immobilier, face au(x) risque(s) naturel(s) :

-Bon

-Moyen

-Mauvais

2-LA CATASTROPHE NATURELLE

2-1-Si une catastrophe naturelle devait se produire à Constantin à laquelle pensez-vous ? (donnez une seule réponse)

-Séisme

-Glissement de terrain

2-2-Pourquoi cette catastrophe naturelle en particulier :.....

.....

2-3-A votre avis personnel, qu'est ce qui serait l'élément le plus affecté par les d'une catastrophe naturelle ?

-Les personnes

-Les bâtiments

-L'environnement

-Autres réponses

-Préciser :

.....

2-4- Quelle conséquences pensez-vous ? (cocher les réponses proposés) :

- Mort

-Maladie

-Destruction

-Pollution

-Autres réponses, préciser :.....

.....

2-5-Connaissez vous les consignes à suivre si une catastrophe naturelle se produisait à Constantine ?

-Très bien

-Plus ou moins bien

-Non pas du tout

2-4-Si oui, pouvez vous citez la marche à suivre ?

.....

.....

3- LA PREVENTION

3-1-Connaissez-vous des méthodes particulières pour la prévention des risques naturels

-Oui

-Non

3-2-Si oui d'où provient votre information :

.....

3-3-Vous estimez- vous suffisamment informée sur les risques naturels :

-Oui

-Non

3-4- D'après vous, qui est censé vous informer sur les risques naturels auxquels vous êtes exposée ?

.....

.....

3-5-Souhaitez-vous améliorer votre sécurité face aux risques naturels ?

-Oui

-Non

3-6-Comment ?.....

.....

3-7- Pour diminuer les risques naturels auxquels vous vous sentez exposé(e) d'après vous, que faut-il améliorer :

-Les mesures de prévention

- Aucune réponse

-L'efficacité des moyens d'intervention

-L'information de la population

-La réglementation

-Un apprentissage à l'école

-Autres, préciser :.....

.....

4-L'EXPERIENCE ET LE RETOUR D'EXPERIENCE :

4-1-A Constantine, avez-vous vécu le séisme (27 /10 /1985) :

Oui

Non

4-2-Quelle a été votre réaction immédiate et qu'avais-vous fait ?

4-2-1-Je suis resté à la maison

4-2-2-J'ai cherché à me protéger

4-2-3-J'ai essayé de m'enfuir

4-3-Suite à la secousse principale précisez les services qui ont intervenu

4-3-1-Protection civile

4-3-2-Sûreté nationale

4-3-3-Gendarmerie nationale

4-3-4-Autres réponses :.....

.....

4-4-Après la secousse principale et lors des répliques, où vous avez trouvé refuge ?

.....
.....

5-PRISE DE CONSCIENCE ET ASSURANCE :

5-1-Au niveau de votre quartier, existe un programme ou une campagne de sensibilisation liée (s) au(x) risque(s) naturel(s) ?

Oui Non

5-2-Existe -t-il des mesures de confortement et de protection contre le(s) risque(s) naturel(s) ?

Oui Non

5-3-Sécurité des biens immobiliers :

5-3-1-Avez - vous contacté une police d'assurance pour assurer votre bien immobilier ?

Oui Non

5-3-2-S'avez -vous que la CAT-NAT est obligatoire ?

Oui Non

5-3-3- Etes-vous prêts à souscrire une CAT -NAT si vous ne l'avez pas fait ?

Oui Non

Merci

Annexe n° 7 : Composition de l'échantillon de population enquêtée

| Age | 20- 30 | 30-40 | 40- 50 | 50-60 | 61 et plus |
|-----|--------|-------|--------|-------|------------|
| % | 14,46 | 15,53 | 39,82 | 20,53 | 9,64 |

| Sexe | Féminin | Masculin |
|------|---------|----------|
| % | 41,07 | 58,92 |

| Situation familiale | En famille | Célibataire |
|---------------------|------------|-------------|
| % | 63,39 | 36,6 |

| Situation (enfant) | Avec enfants | Sans enfants |
|--------------------|--------------|--------------|
| % | 51,78 | 48,21 |

| Situation Professionnelle | Avec profession | Sans profession et retraités | Autres |
|---------------------------|-----------------|------------------------------|--------|
| % | 55,35 | 35,35 | 9,28 |

| Les délégations communales | Belle vue | Belouizdad | 5juillet1962 | Bourdaa Salah |
|----------------------------|-----------|------------|--------------|---------------|
| % | 18,57 | 60 | 14,82 | 6,6 |

| Année de résidence | Plus de 10ans | Moins de10 ans |
|--------------------|---------------|----------------|
| % | 78,57 | 21,42 |

| Type de propriété | location | propriété |
|-------------------|----------|-----------|
| % | 18,21 | 81,78 |

Annexe n°8 : Les articles de presse nationale**Glissement de terrain à Constantine : grande menace sur la ville**

Selon le rapport Simecsol un ensemble de 15 000 habitations abritant près de 100 000 personnes sont menacées par le glissement de terrain, et pas moins de 1 790 constructions individuelles et collectives sont condamnées à la démolition.

C'est dire que le phénomène du glissement est devenu une hantise pour les habitants concernés et autant de soucis pour les autorités locales qui doivent prendre des mesures urgentes. Mais comme le phénomène du glissement n'est pas nouveau, force est d'admettre que beaucoup reste à faire pour y faire face. C'est ainsi, avons-nous appris que le nouveau wali a instruit son administration pour engager dans les plus brefs délais une expertise sur le phénomène des glissements de terrain qu'il a dû percevoir au niveau de la ville de Constantine.

C'est en fait le Centre national de recherche appliquée en génie parasismique (CGS), qui devrait être saisi afin d'établir l'expertise, sans quoi, aucune solution appropriée ne peut être proclamée. Et pourtant, beaucoup a été dit et écrit sur ce phénomène et plusieurs travaux universitaires sur le sujet ont été élaborés dont le fameux rapport du bureau d'étude français Simecsol. D'ailleurs plus près de nous les 600 logements Cnep en attente d'attribution depuis 15 ans à Boussouf renseignent à ne pas en douter sur l'ampleur du phénomène qui touche des cités récemment construites. Le rapport en question achevé début 2005, a donné froid au dos chez beaucoup de Constantinois, l'expertise mentionne : 12 zones étalées sur environ 120 ha sont affectées et 15 000 habitations abritant 100 000 personnes sont menacées et enfin près de plus de pas moins de 1 800 constructions individuelles et collectives sont condamnées à la démolition. Des sites comme Boussouf et Aouinet El Foul sont déclarés inconstructibles. Et malgré cela, l'administration n'a pas tenu compte de ce rapport et on a continué à construire sur ces zones sujettes aux glissements.

Toutefois, des habitants du quartier Belouizdad sont évacués de sites où vont naître des parkings. Mais ce n'est pas tout, l'étude française a été occultée par les responsables qui persistent à croire qu'il n'existe pas de glissement de terrain, mais ce sont des réseaux endommagés d'adduction d'eau et d'assainissement qui seraient à l'origine de l'instabilité du sol. Entre-temps, on a laissé faire et de nombreux lotissements anarchiques, prolifèrent impunément, notamment à Boussouf, déclaré pourtant zone rouge. Et comme si de rien n'était, la médina tombe en ruine de jour en jour sous les yeux ébahis des Constantinois, et le désintéressement coupable de ses responsables. Constantine, ville millénaire méritait mieux, beaucoup mieux...

Mâalem Abdelyakine

Immeubles menaçant ruine au quartier Belouizdad (Constantine) : L'attentisme des autorités inquiète les riverains

Depuis une année, aucune mesure n'a été prise pour entamer l'opération de démolition tant annoncée. Il est difficile de comprendre la façon avec laquelle les autorités continuent de traiter le problème des immeubles menaçant ruine dans le quartier de Belouizdad, au centre-ville de Constantine. Il y a presque une année, le 21 octobre 2018 vers 15h, un pan du mur d'une bâtisse située à la rue Kerrouche Abdelmadjid s'est effondré.

L'incident, qui a provoqué une frayeur parmi les passants, n'a pas causé de dégâts dans une rue qui connaît une grande fréquentation. Dans une première réaction à cette époque, l'alerte a été donnée, la rue Kerrouche fermée à la circulation, un périmètre de sécurité a été mis en place par des clôtures métalliques, les occupants évacués dans l'expectative, alors que l'on a même annoncé la future démolition de l'immeuble.

Les riverains avaient vite cru à une mesure salutaire tant attendue, car elle devrait être prise il y a au moins une dizaine d'années, tant la bâtisse présentait une menace sérieuse. Il n'en fut rien. À peine quelques semaines après, les autorités ont, semble-t-il, oublié les lieux, comme si préserver la vie des citoyens ne figurait plus dans leur liste des priorités.

«A chaque fois que je passe par cette rue, je sens que quelque chose va arriver, car le danger plane toujours; c'est aberrant que les responsables de la ville n'aient pas songé à une solution radicale, se contentant d'attendre que des victimes soient enregistrées pour agir avec vigueur», s'indigne Tahar, un habitant du quartier.

Seulement, les craintes de notre interlocuteur se sont vite vérifiées. Au mois d'août dernier, d'autres pans de cet immeuble ont cédé. On assistera à la même réaction et aux mêmes gestes de la part des autorités, avec des clôtures installées pour interdire le passage des véhicules, sans plus.

Pour rappel, le problème avait fait déjà l'objet de plusieurs articles dans la presse depuis plus de dix ans, mais les autorités n'ont pas jugé utile de prendre des mesures strictes, se contentant de mettre une plaque pour avertir les passants et les automobilistes. «A chaque fois qu'un pan s'écroule, ils viennent installer des barrières métalliques et partir, ensuite ces mêmes barrières seront retirées jusqu'au prochain effondrement, comme dans un feuilleton à rebondissements», ironise un commerçant.

Des zones classées «rouge» depuis 2002

La même situation prévaut également dans d'autres bâtisses d'une zone classée «rouge» depuis 2002. Ainsi en 2012, un pan d'une bâtisse située en contrebas de la rue Abdelaziz Bouhafs, dans la partie basse du quartier de Belouizdad s'est effondré, sans causer, heureusement, de dégâts.

Pourtant, il s'agit d'une construction classée en zone rouge qui n'a encore fait l'objet d'aucune mesure de démolition, alors qu'elle est attenante à plusieurs autres maisons. Les habitants continuent de vivre avec la peur d'un éventuel effondrement pouvant survenir à n'importe quel moment.

Même situation aussi dans plusieurs immeubles du même quartier depuis plus de dix ans, en dépit des expertises réalisées par la direction de l'urbanisme de la wilaya.

Cette dernière avait même marqué certaines constructions de croix rouges géantes, mais elles sont toujours occupées, alors que d'autres ont été évacuées, mais le risque sur les passants et les riverains est toujours présent. Le cas de l'immeuble situé au n°2 de la rue Kerrouche, illustre le statu quo qui frappe ce quartier depuis plus de 15 ans.

Pour rappel, cette bâtisse a été évacuée de ses habitants en 2003. Le site appartenant à la zone A, sérieusement affectée par le phénomène des glissements de terrain, a été classé dans la liste des bâtisses à démolir en 2002, mais il ne sera jamais touché. Ce danger concerne aussi d'autres constructions dans le même quartier, comme c'est le cas de la bâtisse de la rue Lemissi Said, se trouvant un peu plus bas.

En 2007, ses habitants avaient attiré l'attention des autorités de la wilaya sur son état de délabrement. Une expertise réalisée en juin 2007 par les services de la DLEP a donné lieu à un constat accablant. Dans une lettre adressée aux autorités de l'époque, les résidants notaient que les conclusions de cette expertise ont confirmé ces dangers.

Les concernés ont rappelé que ce rapport d'expertise a été transmis aux services du cabinet du wali le 16 juin 2007. A l'entrée de l'immeuble, l'on est frappé par l'état de dégradation des murs, du plafond et des escaliers.

Pour l'histoire et au motif de menace d'effondrement, les autorités de l'époque avaient tout fait pour démolir, en 1998, le fameux immeuble dit «Cadeau» situé non loin des bâtisses en question. Une opération ayant coûté plusieurs milliards, et qui a été menée avec une grande célérité.



L'édifice menacé par un glissement de terrain

Alerte, le Trans-rhumel bouge !

🕒 09 Mar 2017 📁 Actualité



Le trans-rhumel serait menacé par un glissement de terrain. C'est TSA qui rapporte l'information, en citant une source proche de ce « dossier » qui avait fait couler beaucoup d'encre bien avant le lancement du chantier. Déjà complètement absorbée par des problèmes du même genre concernant le vieux pont mythique Sidi Rached, la direction des Travaux publics de la wilaya de Constantine fait face aujourd'hui à de sérieuses complications touchant une partie du pont « géant » baptisé à la surprise générale du nom de Hadj Ahmed Bey, alors qu'il était prévu de l'appeler « pont de l'indépendance ». Inauguré par Abdelmalek Sellal en juillet 2014, le viaduc réalisé par le groupe brésilien Andrade Gutierrez pour un montant dépassant 18 milliards de dollars a commencé à donner du souci aux autorités locales, quelques mois seulement après sa mise en service. La direction des Travaux publics, qui a annoncé avoir pris toutes les dispositions d'urgence pour consolider cet imposant ouvrage d'art dont l'étude et les travaux ont été lancés du temps où Abdelmalek Boudiaf était encore wali de Constantine, a détecté l'origine du « mouvement » anormal d'un des appuis du pont. La nature du sol fragilisé par le ruissellement des eaux souterraines sont les causes directes de cette instabilité. Le site sur lequel a été bâtie cette immense infrastructure aux allures futuristes avait déjà été classé parmi les zones à risques au début des années 2000, mais Abdelmalek Boudiaf n'avait pas tenu compte des résultats des expertises. L'actuel ministre de la Santé qui s'accrochait à son plan de modernisation comme à la prunelle de ses yeux a fini par suivre les avis les moins catastrophistes. Quelques mois après l'inauguration en grandes pompes de cette monumentale réalisation et dont certaines extensions n'ont pas été achevées pour des raisons liées au glissement du terrain, les premières anomalies sont apparues. Et le diagnostic établi par les spécialistes avait fait ressortir les mêmes symptômes relevés au niveau du pont Sidi Rached.

Cette situation vient détruire tous les arguments fournis par les Brésiliens qui ont « gagné » par la suite le marché juteux. Mais après quoi ? Après que l'Algérie ait dépensé des sommes colossales pour se retrouver ensuite confrontée aux conséquences des études bâclées et expédiées. A Constantine, le problème des glissements de terrain est récurrent et « endémique ».

Hormis le Plateau du Mansourah, une partie de Sidi Mabrouk et les hauteurs de la ville, toutes les zones comportent des risques majeurs. L'opinion le sait et tous les walis qui se sont succédé à Constantine le savent, mais rares ont été les responsables qui ont fait preuve d'intransigeance et de rigueur face à une menace réelle que certaines populations constantinoises vivent avec la peur au ventre. Un autre édifice qui constitue aujourd'hui un des symboles de la ville des ponts n'est pas épargné non plus. Il s'agit de la mosquée Emir Abdelkader, inaugurée en 1994 par Mokdad Sifi, alors chef de gouvernement. A l'époque déjà, le choix du site allant accueillir l'université des sciences islamiques et l'université avait fait l'objet de critiques, mais les pouvoirs publics ont préféré accorder leur attention au son qui convenait à leurs oreilles. Partiellement handicapée par l'état dégradé du centenaire Sidi Rached, Constantine se trouve aujourd'hui dans l'obligation de faire appel à des experts étrangers pour le cas du viaduc. Le gâchis n'est-il pas le fruit de l'inconscience ?

Mohamed Mebarki



Pr Mohamed-Tahar Benazzouz. Professeur en géomorphologie

«Il y a tellement de mémoires et de thèses sur les glissements de terrain, mais ils ne sont jamais utilisés»

YOUSRA SALEM

05 JANVIER 2019 À 11 H 06 MIN

640

Le président de l'APC de Constantine, Nadjib Arab, remet en cause l'étude de Simecsol sur les glissements de terrain et vient d'annoncer le lancement d'une nouvelle étude. Qu'en pensez-vous ?

Si monsieur le maire a des prérogatives et des indications sur l'étude, je peux comprendre. Mais lorsqu'il annonce que l'étude Simecsol est nulle et que nous avons besoin d'en lancer une nouvelle et toute de suite, je lui rappelle que l'étude Simecsol n'est pas venue du néant.

Auparavant, il y avait de récurrents glissements de terrain à Constantine, notamment à Aouinet El Foul, Boussouf, du côté de Aïn El Bey, et au centre-ville, à proximité du remblai.

Les autorités intervenaient ponctuellement comme des pompiers pour évacuer les familles sinistrées. Mais elles n'avaient pas pensé à se doter d'une étude sérieuse.

On s'est contenté de faire venir le laboratoire des travaux publics pour faire des sondages sur la profondeur des glissements, sans plus. J'avais suivi régulièrement les glissements de ces sites et je suis arrivé à la conclusion qu'il faut absolument établir une étude et un diagnostic global sur tout Constantine pour comprendre exactement ce qui se passe et voir ce qu'on peut récupérer du tissu urbain de la ville.

Nous avons réussi à convaincre les autorités locales, à l'époque, pour débloquer un grand budget. Pour ce faire, il fallait établir une expertise internationale et convaincre de l'importance du risque. Effectivement, pour une première fois, les autorités avaient fait appel à un expert américain, membre de l'Union scientifique de géologie américaine.

Cet expert, que j'ai assisté en collaboration avec la direction de l'urbanisme de wilaya, a visité tous les sites touchés par le mouvement du sol et fourni par la suite un rapport dans lequel il est souligné qu'il faut entamer une étude globale.

Puis, le wali de Constantine, à l'époque Mohamed El Ghazi, avait fait venir un géomorphologue canadien et lui a présenté l'une de mes publications sur les glissements à Constantine, avant de m'appeler pour l'assister encore une fois. Le rapport avait conclu aussi à l'urgence de faire un diagnostic global.

Et puis, ensuite, des experts allemands, dont Edmond Krauter, expert en glissements de terrain et connu dans le monde entier, sont restés à Constantine durant une semaine et ont remis un rapport.

C'est à la suite des trois expertises internationales que le gouvernement a débloqué un crédit et engagé une étude globale sur les glissements de terrain à Constantine. Voici l'histoire qui a conduit à l'étude Simecsol, avec l'aval des autorités locales et nationales.

Mais le maire a dit que «cette étude nous cause des problèmes»...

Je me demande sur quelle base la décision du maire de lancer une nouvelle étude a été prise. Quelles sont les insuffisances de l'étude de Simecsol ? Ont-ils étudié ces insuffisances site par site ? J'aimerais connaître aussi quels types de problèmes a-t-elle causés. Il y a aussi une étude de microzonation qui est en train de se réaliser sur les wilayas de Constantine, Alger, Oran et je crois même Annaba.

C'est une étude de microzonation face à l'aléa sismique. Comment veut-on superposer une étude de glissements de terrain au moment où plusieurs travaux ont été faits dans ce sens ? En plus, l'étude établie par Simecsol n'est pas superficielle.

Il y avait des sondages carottés, des études d'observation et d'inclinométrie pour voir si le glissement est actif ou non. Monsieur le maire sait-il que ce travail a mobilisé le gouvernement et que l'Etat s'était pleinement impliqué en dépensant beaucoup d'argent ?

Avez-vous été associé au travail mené par le bureau Simecsol ?

Il y a eu une convention entre les autorités et l'université de Constantine, où on m'a demandé d'assister ce bureau d'études étranger. C'était l'une des rares fois, si ce n'est pas l'unique, où les autorités ont fait appel à l'université pour assister la wilaya dans une contre-expertise de l'étude remise par Simecsol.

J'avais rédigé à l'époque l'avis d'appel d'offres, en exigeant aussi l'établissement d'une étude de l'aléa sismique de la ville de Constantine.

C'est-à-dire comment la ville de Constantine peut résister à un séisme majeur. Et quels sont les quartiers vulnérables qui risquent de disparaître suite à un séisme. Donc, cette étude a été commandée par Simecsol et réalisée par le Centre de génie parasismique (CGS).

On comprend par là qu'il y a eu une contre-expertise du travail mené par Simecsol. A quoi a conclu cette contre-expertise ? Est-ce que les résultats ont été remis en cause ?

Il y avait un planning tracé par les parties participant à ce travail. Après l'achèvement de chaque phase du travail sur terrain, le bureau d'études remettait douze exemplaires de son rapport à toutes les directions de wilaya, notamment celles de l'urbanisme, des travaux publics, des ressources en eau et un exemplaire à la mairie.

A ce moment, nous faisons des contre-expertises, où l'université donne son avis scientifique sur les rapports et émet des réserves que le bureau d'étude prend en considération. L'étude a été bien cadrée scientifiquement et encadrée par les services techniques de la wilaya.

Je rappelle aussi qu'avant le lancement de l'étude Simecsol, il y avait une autre expertise réalisée et financée par le CTC une première fois en 1992 sur la stabilité du bâti touché par le glissement. L'objectif était de voir si on pouvait le récupérer ou non.

Est-ce que le P/APC vous a sollicité cette fois-ci, en tant qu'universitaire, pour encadrer la nouvelle étude ?

Non ! Il ne nous a pas sollicités. Moi, ce je ne comprends pas comment cette transmission de la mémoire n'a pas été faite. Comment ces études et ces connaissances sur les glissements n'ont pas été transmises aux différentes autorités qui se sont succédé à Constantine !

C'est comme si l'université algérienne n'a rien formé. Pourtant, il y a tellement de mémoires et de thèses sur les glissements de terrain, mais ils ne sont jamais utilisés.



Glissement de terrain à Zouaghi

S. A. 13 AVRIL 2005 À 0 H 00 MIN 0

L'affaissement du sol, qui a eu lieu aux environs de la base de vie d'une entreprise italienne suite à des travaux de rénovation suivis par des chutes importantes de pluie dans la nuit de samedi, a surpris les nombreux automobilistes et les transports en commun qui se sont trouvés coincés sur la route.

Selon les témoignages des riverains, il était pratiquement difficile de rejoindre le chemin menant au centre-ville à partir de l'aéroport Mohamed Boudiaf, alors que les étudiants de la cité universitaire Zouaghi Slimane ont été obligés de se rendre à pied à l'université de Constantine.

Il a fallu l'intervention des services de la Gendarmerie nationale pour réorganiser la circulation par des détours à travers les cités de Zouave et Bouamama. Une opération qui n'est pas passée sans difficulté en raison des travaux menés sur les mêmes lieux pour la réalisation d'un échangeur.

TABLE DES MATIERES

| | Pages |
|-----------------------------------|----------|
| DÉDICACES | i |
| REMERCIEMENTS | ii |
| SOMMAIRE | iii |
| INTRODUCTION GENERALE..... | 1 |
| -Concepts et notions..... | 2 |
| -Problématique..... | 9 |
| -Choix de la zone d'étude..... | 11 |
| -Hypothèses de travail | 11 |
| -Objectifs de la recherche..... | 11 |
| -Méthodologie..... | 12 |
| -Structure de la thèse..... | 12 |

***PREMIERE PARTIE : LES ALEAS NATURELS A CONSTANTINE
FACE A UN MILIEU PHYSIQUE DIFFICILE***

| | |
|--|-----------|
| Introduction de la première partie..... | 14 |
|--|-----------|

Chapitre 1 : Les caractéristiques physiques de la ville de Constantine

| | |
|---|-----------|
| Introduction..... | 16 |
| 1-1- Les caractéristiques topographiques | 16 |
| 1-2-Des ensembles géologiques complexes | 23 |
| 1-3-Des variétés lithologiques | 28 |
| 1-4-Les effets d'une tectonique récente..... | 31 |
| 1-5-La ville et la confluence importante..... | 33 |
| 1-6-Les caractéristiques et les éléments climatiques..... | 35 |
| Conclusion..... | 43 |

Chapitre 2 : Constantine face a l'occurrence des glissements de terrain

| | |
|--|-----------|
| Introduction..... | 44 |
| 2-1-Généralité sur les glissements de terrain..... | 44 |
| 2-2-Les villes algériennes face aux glissements de terrain..... | 50 |
| 2-3-Constantine est une ville exposée aux risques naturels | 55 |
| 2-3-1-Des inondations qui menacent d'une façon inquiétante..... | 55 |
| 2-3-2-Une activité sismique modérée | 61 |
| 2-3-3-Des instabilités de versant fréquentes par glissements de terrain | 68 |
| 2-4-Les caractéristiques des glissements de terrain à travers la ville de Constantine | 70 |
| 2-4-1-Les glissements complexes actifs à Belouizdad..... | 70 |
| 2-4-1-1-Les caractéristiques géologiques..... | 70 |
| 2-4-1-2-La tectonique | 74 |
| 2-4-1-3-Hydrogéologie du site..... | 74 |
| 2-4-1-4-Les caractéristiques géotechniques des formations..... | 77 |
| 2-4-1-5-Analyse des glissements de terrain..... | 79 |
| 2-4-1-6-Analyse de stabilité..... | 82 |

| | |
|---|------------|
| 2-4-2-La menace d'un glissement profond contre la culée | |
| Est du pont Sidi Rached | 86 |
| 2-4-2-1-Géomorphologie | 86 |
| 2-4-2-2-Géologie | 87 |
| 2-4-2-3-Les données hydrogéologique | 89 |
| 2-4-2-4-Les caractéristiques géotechniques des formations | 90 |
| 2-4-2-5-Analyse des glissements de terrain | 90 |
| 2-4-2-6-Analyse de stabilité | 94 |
| 2-4-3-Glissements actifs dans les marnes et argiles Miocènes à Boussouf | 98 |
| 2-4-3-1-L'urbanisation du site et histoire des désordres | 98 |
| 2-4-3-2-Géomorphologie et géologie du site | 100 |
| 2-4-3-3-Les caractéristiques hydrogéologiques | 106 |
| 2-4-3-4-Les caractéristiques géotechniques des formations | 107 |
| 2-4-3-5-Analyse des mouvements | 110 |
| 2-4-3-5-1-Les données inclinométriques | 110 |
| 2-4-3-5-2-Les mesures topographiques | 113 |
| 2-4-3-6-Analyse de stabilité | 116 |
| 2-4-4-Glissements dans les conglomérats Miocènes à Benchergui | 120 |
| 2-4-4-1-Contexte géologiques et hydrogéologiques | 121 |
| 2-4-4-2-Caractéristiques géotechniques des formations | 124 |
| 2-4-4-3-Analyse des mouvements | 126 |
| 2-4-4-4-Analyse de stabilité | 128 |
| Conclusion | 130 |
| Conclusion de la première partie | 131 |

***DEUXIEME PARTIE:IDENTIFICATION DES ELEMENTS DU RISQUE
GLISSEMENTS DE TERRAIN DANS LA VILLE DE CONSTANTINE***

| | |
|---|------------|
| Introduction de la deuxième partie | 132 |
|---|------------|

**Chapitre 3:La difficulté de l'urbanisation, l'attractivité de la ville
et l'évolution de la population**

| | |
|--|------------|
| Introduction | 133 |
| 3-1-L'analyse urbaine | 133 |
| 3-1-1-La ville de Constantine à travers les différents civilisations | 133 |
| 3-1-2-Dynamique spatiale de la ville de Constantine | 134 |
| 3-1-3-Typologie et état de l'habitat | 141 |
| 3-1-4-Densité des constructions | 143 |
| 3-2-L'analyse démographique | 144 |
| 3-2-1-Evolution de la population et mouvements migratoires | 145 |
| 3-2-2-Répartition de la population | 148 |
| 3-2-3-Densité de population à travers la ville | 150 |
| Conclusion | 152 |

Chapitre 4 : Analyse de la vulnérabilité structurelle à travers les sites exposés aux glissements de terrain

| | |
|---|------------|
| Introduction | 153 |
| 4-1-Les désordres enregistrés dans le tissu urbain colonial..... | 153 |
| 4-1-1-Site Belouizdad-Kitouni..... | 153 |
| 4-1-1-1-Identification et repérage des désordres..... | 154 |
| 4-1-1-2-Classement par degré de gravité des désordres..... | 155 |
| 4-1-1-3-Evaluation et analyse des causes des dommages..... | 155 |
| 4-1-1-4-Evaluation des dommages..... | 158 |
| 4-1-2-Le pont Sidi Rached..... | 167 |
| 4-1-2-1-Histoire des désordres..... | 167 |
| 4-1-2-2-Identification des désordres..... | 169 |
| 4-1-2-3-Les causes probables des désordres..... | 171 |
| 4-2-L'apparition des désordres à travers l'urbanisation planifiée..... | 172 |
| 4-2-1-Site Boussouf..... | 172 |
| 4-2-1-1-Lotissement Boussouf..... | 173 |
| 4-2-1-1-1-Repérages des désordres apparents..... | 173 |
| 4-2-1-1-2-Evaluation et analyse des causes des dommages..... | 173 |
| 4-2-1-1-3-Evaluation des dommages..... | 176 |
| 4-3-Les désordres enregistrés dans l'urbanisation parallèle et spontanée..... | 178 |
| 4-3-3-Site Benchergui..... | 178 |
| 4-3-3-1-Evaluation et analyse des causes des dommages..... | 178 |
| 4-3-3-2-Bilans des dommages..... | 179 |
| Conclusion | 181 |

Chapitre 5 : Essais de cartographie appliquée aux risques glissements de terrain

| | |
|--|------------|
| Introduction | 182 |
| 5-1-Evaluation et cartographie d'aléa « glissement de terrain »..... | 183 |
| 5-1-1-Les principales méthodes..... | 184 |
| 5-1-1-1-Méthodes qualitatives..... | 186 |
| 5-1-1-2-Méthodes semi-quantitatives..... | 188 |
| 5-1-1-3-Méthodes quantitatives..... | 189 |
| 5-2-Evaluation et cartographie de la vulnérabilité..... | 194 |
| 5-2-1-Les approches d'évaluation de la vulnérabilité..... | 194 |
| 5-2-1-1-Approche Analytique..... | 194 |
| 5-2-1-2-Approche Systémique..... | 194 |
| 5-2-2-Analyse de la vulnérabilité en milieu urbain..... | 195 |
| 5-2-2-1-Approche de la vulnérabilité urbaine..... | 195 |
| 5-2-2-1-1-Approche classique : l'endommagement..... | 196 |
| 5-2-2-1-2-Approche nouvelle : les facteurs de vulnérabilités..... | 196 |
| 5-2-3-La vulnérabilité de glissement de terrain..... | 199 |
| 5-3-Les méthodes d'évaluation du risque « glissement de terrain »..... | 200 |
| 5-3-1-Approche analytique qualitative (experte)..... | 200 |
| 5-3-2-Approche analytique semi empirique et semi quantitative..... | 200 |
| 5-3-3-Approche analytique quantitative..... | 200 |

| | |
|--|------------|
| 5-4-Application à la ville de Constantine | 201 |
| 5-4-1-La susceptibilité d'aléa lié aux glissements de terrain | 201 |
| 5-4-1-1-Approches et méthodologie | 202 |
| 5-4-1-1-1-L'approche bivariée | 202 |
| 5-4-1-1-1-1-Théorie de l'évidence | 202 |
| 5-4-1-1-1-2-La méthode GMM-Martix | 209 |
| 5-4-2-Cartographie de la vulnérabilité liée aux glissements de terrain | 218 |
| 5-4-2-1-Méthode et approche | 218 |
| 5-4-2-2-La vulnérabilité totale | 218 |
| 5-4-2-2-1-La vulnérabilité structurelle | 218 |
| 5-4-2-2-2-La vulnérabilité corporelle | 222 |
| 5-4-3-Cartographie du risque glissements de terrain | 225 |
| 5-4-3-1-Classe à très faible risque | 227 |
| 5-4-3-2-Casse à faible risque | 227 |
| 5-4-3-3-Classe à risque moyen | 227 |
| 5-4-3-4-Classe à forte risque | 228 |
| 5-4-3-5-Classe à très forte risque | 228 |
| Conclusion | 234 |
| Conclusion de la deuxième partie | 235 |

***TROISIEME PARTIE : LA GESTION DES RISQUES DES
GLISSEMENTS DE TERRAIN A CONSTANTINE***

| | |
|--|------------|
| Introduction de la troisième partie | 236 |
|--|------------|

**Chapitre 6: Les techniques de confortement des sites instables
appliquées a la ville de Constantine**

| | |
|---|------------|
| Introduction | 237 |
| 61-Dispositifs de drainage | 237 |
| 6-1-1-Tranchées drainantes et éperons drainants | 238 |
| 6-1-1-1-Site Belouizdad-Kitouni | 238 |
| 6-1-2-Galeries drainantes | 241 |
| 6-1-2-1-Site Belouizdad-Kitouni | 242 |
| 6-2-Clouage de la pente : clous et micro pieux | 247 |
| 6-2-1-Site Boussouf | 248 |
| 6-3-Modification des profils | 252 |
| 6-3-1-Site Boussouf | 252 |
| 6-4-Protection des berges | 252 |
| 6-4-1-Site Belouizdad-Kitouni | 252 |
| 6-4-2-Site Boussouf | 253 |
| 6-5-Reboisement et plantation d'arbres | 253 |
| 6-5-1-Site Boussouf | 255 |
| 6-5-2-Site Benchergui | 255 |

| | |
|--|------------|
| 6-6-Pont Sidi Rached..... | 255 |
| 6-6-1-Remplacement des joints et appuis du tablier et de la culée Est du pont..... | 255 |
| 6-6-1-1-Remplacement des joints..... | 255 |
| 6-6-1-2-Construction d'un mur garde grève..... | 256 |
| 6-6-1-3-Equipement du tablier métallique d'appuis coulissants..... | 256 |
| 6-6-1-4-Fonctionnement de l'ensemble du système..... | 256 |
| 6-7-Démolition des constructions..... | 257 |
| 6-7-1-Site Belouizdad-Kitouni..... | 257 |
| 6-7-2-Site Benchergui..... | 258 |
| Conclusion..... | 261 |

Chapitre 7 : Acteurs et politiques de gestion des risques naturels en Algérie

| | |
|--|------------|
| Introduction..... | 262 |
| 7-1-Institutions et acteurs de gestion des risques..... | 262 |
| 7-1-1-Délégation Nationale aux risques majeurs..... | 262 |
| 7-1-2-Protection Civile..... | 262 |
| 7-1-3-Organismes publics..... | 263 |
| 7-2-Les outils réglementaires et juridiques..... | 264 |
| 7-2-1-Les règlements parasismiques..... | 264 |
| 7-2-2-Le dispositif juridique..... | 267 |
| 7-3-Assurances et réassurances..... | 269 |
| 7-3-1-La période coloniale..... | 270 |
| 7-3-2-La période post coloniale..... | 270 |
| 7-3-2-1-La première phase (1962-1989)..... | 270 |
| 7-3-2-2-La deuxième phase après 1989..... | 271 |
| 7-3-2-3-Genèse de la couverture des catastrophes naturelles CAT-NAT..... | 271 |
| Conclusion..... | 274 |

Chapitre 8 : Quelle perception des risques naturels a Constantine ?

| | |
|---|------------|
| Introduction..... | 275 |
| 8-1-Les principaux résultats de l'enquête..... | 275 |
| 8-1-1-Le sentiment d'exposition aux risques naturels..... | 275 |
| 8-1-2-La population face aux catastrophes naturelles..... | 278 |
| 8-1-3-La population et les méthodes de prévention..... | 280 |
| 8-1-4-L'expérience et le retour d'expérience..... | 282 |
| 8-1-5-Prise de conscience et assurance..... | 284 |
| Conclusion..... | 287 |
| Conclusion de la troisième partie..... | 288 |
| CONCLUSION GENERALE..... | 290 |
| REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES..... | 293 |
| ANNEXES..... | 301 |
| TABLE DES MATIERES..... | 324 |
| LISTE DES ABREVIATIONS..... | 330 |

| | |
|--------------------------------|------------|
| LISTE DES CARTES..... | 331 |
| LISTE DES FIGURES..... | 332 |
| LISTE DES TABLEAUX..... | 335 |
| LISTE DES PHOTOS..... | 338 |
| LISTE DES ANNEXES | 339 |
| RESUMÉ | |
| ملخص | |
| ABSTRACT | |

LISTE DES ABREVIATIONS

ANAT : Agence Nationale pour l'aménagement du territoire.
APC : Assemblée Populaire Communale.
CADAT : Caisse Algérienne d'Aménagement du Territoire.
CGS : Centre National de Recherche Appliquée en Génie Parasismique.
CFGF : Comité Français de Géologie de l'Ingénieur et de l'Environnement.
CNA : Conseil national des assurances.
CRAAG : Centre de Recherche en Astronomie, Astrophysique et Géophysique.
CTC : Contrôle Technique de la Construction.
D.H.W : Direction des ressources en eau.
D.T.P : Direction des travaux publics.
DPAT : Direction de la Planification et de l'Aménagement du Territoire de la wilaya.
DUC : Direction de l'Urbanisme et de la Construction.
DTP : Direction des Travaux Publics.
DDRM : Dossier Départemental sur les risques majeurs.
DTP : Direction des Travaux Publics.
DNRM : Délégation Nationale aux risques majeurs.
LCTP : Laboratoire central des travaux publics.
LTP Est : Laboratoire des Travaux Publics Est.
MATE : Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement.
OMM : L'organisation Météorologique Mondiale.
ONM : Office National de la Météorologie.
ONS : Office National des statistiques.
OPGI : Office de Promotion et de Gestion Immobilière.
PDAU : Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme.
POS : Plan d'Occupation des Sols.
PUD : Plan d'Urbanisme Directeur.
RGPH : Recensement Général de la Population et de l'Habitat.
R.P.A : Règlement parasismique Algérien.
URBACO : Bureau d'Études d'Urbanisme de Constantine.
USGS : United States Geological Survey.
UNISDR : Bureau des nations unies pour la réduction des risques de catastrophes.
ZERMOS : Zones exposées à des risques liés aux mouvements du sol et du sous sol.
ZHUN : Zone d'Habitat Urbaine Nouvelle.

LISTE DES CARTES

PARTIE I

Pages

Chapitre 1

| | |
|--|----|
| Carte n°1-1:Situation de la ville de Constantine | 19 |
| Carte n°1-2:Les classes de pente de la ville de Constantine | 21 |
| Carte n°1-3:Les classes d'altitude de la ville de Constantine..... | 22 |
| Carte n°1-4:Cadre géologique du bassin de Constantine (PE Coiffait 1992)..... | 23 |
| Carte n°1-5:Géologie de Constantine | 26 |
| Carte n°1-6:Les caractéristiques lithologiques de la ville de Constantine..... | 30 |
| Carte n°1-7:Le réseau hydrographique de la ville de Constantine..... | 34 |

Chapitre 2

| | |
|--|----|
| Carte n°2-1-Les zones exposées aux inondations et aux glissements de terrain à la ville de Constantine..... | 59 |
| Carte n°2-2:Les isoséistes du séisme du 04 Août 1908 | 64 |
| Carte n°2-3:Les isoséistes du séisme du 06 Août 1947 | 65 |
| Carte n°2-4:Les isoséistes du séisme du 27 Octobre1985..... | 68 |

PARTIE II

Chapitre 3

| | |
|---|-----|
| Carte n°3-1 : Evolution de l'emprise artificialisé de la ville de Constantine (1837-2030)..... | 139 |
| Carte n°3-2:Les délégations communales de la ville de Constantine | 140 |
| Carte n°3-3 : Densité de Construction à travers les délégations communales | 144 |
| Carte n°3-4 : Répartition de la population à travers les délégations communales | 149 |

Chapitre 5

| | |
|--|-----|
| Carte n°5-1 : La susceptibilité d'aléa « glissement de terrain » par la théorie de l'évidence à Constantine | 211 |
| Carte n°5-2 : La géomorphologique de Constantine..... | 213 |
| Carte n°5-3 : La susceptibilité à l'aléa « glissement de terrain » par la méthode « GMM-Matrix» à Constantine | 217 |
| Carte n°5-4 : La vulnérabilité structurelle à Constantine | 221 |
| Carte n°5-5 : La vulnérabilité corporelle à Constantine..... | 223 |
| Carte n°5-6 : La vulnérabilité totale à Constantine | 224 |
| Carte n°5-7 : Les risques liés aux glissements de terrain à Constantine | 226 |

LISTE DES FIGURES

PARTIE I**Chapitre 1**

Pages

| | |
|--|----|
| Figure n°1-1:Les précipitations annuelles moyennes de l'Est Algérien..... | 35 |
| Figure n°1-2:Les variations des précipitations moyennes annuelles durant (1970-2010) à la station d'Ain El Bey..... | 36 |
| Figure n°1-3:Les variations des précipitations moyennes saisonniers durant la période (1970-2010) à la Station d'Ain El Bey..... | 37 |
| Figure n°1-4:Les variations des précipitations moyennes mensuelles durant la période (1970-2010) à la Station d'Ain El Bey..... | 37 |
| Figure n°1-5:Les variations des températures moyennes annuelles durant la période (1970-2010) à la Station d'Ain El Bey..... | 38 |
| Figure n°1-6:Les variations des températures moyennes saisonnières durant la période (1970-2010) à la Station d'Ain El Bey..... | 38 |
| Figure n°1-7:Les variations des températures moyennes saisonnières durant la période (1970-2010) à la Station d'Ain El Bey..... | 39 |
| Figure n°1-8:La direction et la vitesse du vent pour la période (1983-2003) à la station d'Ain El Bey..... | 39 |
| Figure n°1-9:Les variations des vitesses moyennes mensuelles du vent durant la période (1983-2003) à la Station d'Ain El Bey..... | 40 |
| Figure n°1-10:L'humidité moyenne mensuelle durant la période (1983-2003) à la Station d'Ain El Bey..... | 41 |
| Figure n°1-11:L'insolation moyenne mensuelle durant la période (1983-2003) à la Station d'Ain El Bey..... | 41 |
| Figure n°1-12:Courbe Ombrothermique Gaussien de la station d'Ain El Bey (1970-2010)..... | 42 |

Chapitre 2

| | |
|--|-----|
| Figure n°2-1:Principaux types de glissements..... | 45 |
| Figure n°2-2:Les facteurs déclenchant de glissement..... | 50 |
| Figure n°2-3:Coupe du glissement Belouizdad-Kitouni-Kaidi..... | 73 |
| Figure n°2-4:Coupe hydrogéologique synthétique de Belouizdad..... | 76 |
| Figure n°2-5: Diagramme de Casagrande des sols du site Belouizdad..... | 79 |
| Figure n°2-6:Schéma les surfaces de rupture prises en compte dans les calculs des glissements Guessoum 1 2 et 3 (de haut en bas)..... | 83 |
| Figure n°2-7:Glissement Pont Sidi Rached..... | 86 |
| Figure n° 2-8:Coupe géologique (AB) du versant rive droite du Rhumel..... | 88 |
| Figure n°2-9:Mesures piézométriques et pluviométrie..... | 93 |
| Figure n°2-10:Schéma de la surface de glissement de type 1..... | 94 |
| Figure n°2-11:Schéma de la surface de glissement de type 2..... | 95 |
| Figure n°2-12:Schéma de la surface de glissement de type 3..... | 95 |
| Figure n°2-13:Coupes géologiques et instabilités à Boussouf (Coupes A,B,C)..... | 103 |
| Figure n°2-14:Coupes géologiques et instabilités à Boussouf (Coupes D,E)..... | 104 |

| | |
|---|-----|
| Figure n°2-15:Coupes géologiques et instabilités à Boussouf (Coupes F,G)..... | 105 |
| Figure n°2-16:Diagramme de Casagrande des sols du site Boussouf..... | 109 |
| Figure n°2-17:Position des inclinomètres et vecteurs déplacement à Boussouf..... | 115 |
| Figure n°2-18:Profil P 3 surface de rupture (nappe à 2m hors séisme F=0,98)..... | 117 |
| Figure n°2-19:Profil P 3 surface de rupture (hors nappe hors séisme séisme F=2)..... | 117 |
| Figure n°2-20:Profil P 3 surface de rupture (nappe au terrain naturel hors séisme F=0,99)..... | 117 |
| Figure n°2-21 : Coupes géologiques du glissement ancien à Benchegui (rive gauche d'oued el Mellah)..... | 123 |
| Figure n°2-22:Coupes géologiques schématique à la hauteur de Benchegui..... | 123 |
| Figure n°2-23:Diagramme de Casagrande des sols remblais | 124 |
| Figure n°2-24:Diagramme de Casagrande des sols marne du miocène | 126 |
| PARTIE II | |
| Chapitre 3 | |
| Figure n°3-1:La ville de Constantine à l'époque Romaine | 134 |
| Figure n°3-2:La ville au moment de la prise plan de 1837 | 135 |
| Figure n°3-3:Evolution de l'urbanisation de Constantine à partir de 1837 | 137 |
| Chapitre 4 | |
| Figure n°4-1:La vulnérabilité structurelle à travers le site Belouizdad-Kitouni | 159 |
| Figure n°4-2:La vulnérabilité structurelle à travers le site Belouizdad-Kitouni (partie1)..... | 160 |
| Figure n°4-3:La vulnérabilité structurelle à travers le site Belouizdad-Kitouni (partie 2) | 161 |
| Figure n°4-4:La vulnérabilité structurelle à travers le site Belouizdad-Kitouni (partie 3) | 162 |
| Figure n°4-5:La vulnérabilité structurelle à travers le site Belouizdad-Kitouni (partie 4) | 163 |
| Figure n°4-6:La vulnérabilité structurelle à travers le site Belouizdad-Kitouni (partie 5) | 164 |
| Figure n°4-7:La vulnérabilité structurelle à travers le site Belouizdad-Kitouni (partie 6) | 165 |
| Figure n°4-8:La vulnérabilité structurelle à travers le site Belouizdad-Kitouni (partie 7) | 166 |
| Figure n°4-9:La vulnérabilité structurelle à travers Boussouf (lotissement) | 176 |
| Figure n°4-10:La vulnérabilité structurelle à travers le site Benchegui..... | 180 |
| Chapitre 5 | |
| Figure n°5-1:Classification des principales approches d'évaluation de l'aléa | 186 |
| Figure n°5-2:Méthodologie d'analyse d'aléa | 203 |

PARTIE III**Chapitre 6**

| | |
|---|-----|
| Figure n°6-1:Galeries drainantes | 241 |
| Figure n°6-2:Stabilisation par galeries drainantes à Belouizdad | 246 |
| Figure n°6-3:Clouage de la pente | 248 |
| Figure n°6-4:Relation entre mouvement de pente et végétation..... | 254 |
| Figure n°6-5:Schéma du drainage proposé pour limiter la remontée de nappe | 257 |

Chapitre 8

| | |
|--|-----|
| Figure n°8-1:Définition du risque naturel chez la population enquêtée..... | 275 |
| Figure n°8-2:Le sentiment d'exposition aux risques naturels par la population à Constantine..... | 276 |
| Figure n°8-3:Le niveau d'exposition aux risques naturels à Constantine | 276 |
| Figure n°8-4:Estimation de l'état des constructions face aux risques naturels | 277 |
| Figure n°8-5:Les catastrophes naturelles les plus redoutés à Constantine..... | 278 |
| Figure n°8-6:Les éléments probables exposés aux catastrophes naturels à Constantine | 278 |
| Figure n°8-7:Les conséquences probables en cas d'une catastrophe naturel à Constantine..... | 278 |
| Figure n°8-8:Connaissance des consignes à suivre en cas d'une catastrophe naturelle..... | 279 |
| Figure n°8-9:Connaissance des méthodes de prévention des risques naturelles | 280 |
| Figure n°8-10:Source d'information sur la prévention chez la population enquêtée | 280 |
| Figure n°8-11:L'information sur la prévention chez la population enquêtée..... | 280 |
| Figure n°8-12:Les éléments de la prévention chez la population enquêtée | 281 |
| Figure n°8-13:La sécurité face aux risques naturels chez la population enquêtée..... | 281 |
| Figure n°8-14:Les mesures pour améliorer la sécurité de la population enquêtée..... | 281 |
| Figure n°8-15:Les méthodes de prévention chez la population enquêtée | 282 |
| Figure n°8-16:La population enquêtée face au séisme du (27/10/1985)..... | 282 |
| Figure n°8-17:La réaction de la population enquêtée lors de la secousse principale lors du séisme (27/10/1985)..... | 283 |
| Figure n°8-18:La réponse des services locaux lors du séisme (27/10/1985)..... | 283 |
| Figure n°8-19:Comportement de la population enquêtée après les répliques du séisme (27/10/1985)..... | 284 |
| Figure n°8-20:La sensibilisation de la population enquêtée | 285 |
| Figure n°8-21:L'application des mesures de confortement et de protection à travers les sites instables | 285 |
| Figure n°8-22:L'assurance des biens à travers les sites instables | 285 |

LISTE DES TABLEAUX

| PARTIE I | Pages |
|--|-------|
| Chapitre 1 | |
| Tableau n°1-1:La précipitation moyenne saisonnière à Constantine (1970-2010)..... | 36 |
| Tableau n°1-2:La précipitation moyenne mensuelle à Constantine (1970-2010)..... | 37 |
| Tableau n°1-3:La vitesse moyenne mensuelle du vent à Constantine (1970-2010)..... | 39 |
| Tableau n°1-4:La vitesse moyenne et la direction du vent durant la période (1970-2010) | 40 |
| Tableau n°1-5:Humidité moyenne mensuelle pour la période (1983-2003)..... | 40 |
| Tableau n°1-6:Insolation moyenne mensuelle à la station Ain El Bey (1983-2003)..... | 41 |
| Chapitre 2 | |
| Tableau n°2-1:Classification d'après la profondeur de la surface de glissement | 46 |
| Tableau n°2-2:Classification selon l'activité en fonction de la vitesse moyenne de glissement | 46 |
| Tableau n°2-3:Les inondations et les événements historiques | 58 |
| Tableau n°2-4:Les zones exposées aux inondations | 60 |
| Tableau n°2-5:Les quartiers exposés aux inondations..... | 60 |
| Tableau n°2-6:Les événements sismique importants pour la période post (1900-2002)..... | 62 |
| Tableau n°2-7:Principales caractéristiques du séisme de 1908..... | 62 |
| Tableau n°2-8:Les dommages et les dégâts du séisme 4 Août 1908..... | 63 |
| Tableau n°2-9:L'intensité maximale du séisme 4 Août 1908 | 63 |
| Tableau n°2-10:Principales caractéristiques du séisme de 1947 | 65 |
| Tableau n°2-11:Principales caractéristiques du séisme de 1985 | 66 |
| Tableau n°2-12:La porosité théorique par puits | 78 |
| Tableau n°2-13:Les mesures inclinométriques synthèse | 80 |
| Tableau n°2-14:Les mesures inclinométriques profondeur des ruptures | 81 |
| Tableau n°2-15:Hypothèses des calculs | 82 |
| Tableau n°2-16:Paramètres géomécaniques pris en compte dans les calculs..... | 84 |
| Tableau n°2-17:Valeur de l'accélération horizontale et variation du coefficient de sécurité..... | 85 |
| Tableau n°2-18:Mesures inclinométriques profondeur des ruptures..... | 93 |
| Tableau n°2-19:Coefficient de sécurité en fonction de l'angle de frottement et de l'accélération..... | 96 |
| Tableau n°2-20:Drainage-Coefficient de sécurité en fonction de la position de la nappe et de l'accélération | 97 |
| Tableau n°2-21:Limites d'Atterbeg : formation quaternaire et remblais..... | 108 |
| Tableau n°2-22:Limites d'Atterberg : formations Miocène | 108 |
| Tableau n°2-23:Caractéristiques de cisaillement du site de Boussouf | 109 |
| Tableau n°2-24:Les essais triaxiaux au site de Boussouf..... | 109 |

| | |
|--|-----|
| Tableau n°2-25:Les résultats des essais au pénétrömètre statique Gouda à Boussouf..... | 112 |
| Tableau n°2-26:Mesures inclinométriques synthèse..... | 113 |
| Tableau n°2-27:Mesures inclinométriques profondeur des ruptures..... | 114 |
| Tableau n°2-28:Profil P3-Paramètres géomécaniques pris en compte dans les calculs..... | 116 |
| Tableau n°2-29:Mesures inclinométriques synthèse au site Benchergui..... | 127 |
| Tableau n°2-30:Mesures inclinométriques profondeur des ruptures..... | 127 |

PARTIE II

Chapitre 3

| | |
|--|-----|
| Tableau n°3-1:Densité des constructions par délégation communale..... | 143 |
| Tableau n°3-2:Evolution démographique de la ville de Constantine..... | 145 |
| Tableau n°3-3: Evolution de la population de la ville de Constantine par dispersion..... | 147 |
| Tableau n°3-4:Répartition de la population par délégation communale..... | 148 |
| Tableau n°3-5: Densité de la population par secteur urbain..... | 150 |

Chapitre 4

| | |
|---|-----|
| Tableau n°4-1:Récapitulatif des dommages du site Belouizdad-Kitouni..... | 159 |
| Tableau n°4-2:Récapitulatif des dommages du site Belouizdad-Kitouni (partie 1)..... | 160 |
| Tableau n°4-3:Récapitulatif des dommages du site Belouizdad-Kitouni (partie 2)..... | 161 |
| Tableau n°4-4:Récapitulatif des dommages du site Belouizdad-Kitouni (partie 3)..... | 162 |
| Tableau n°4-5:Récapitulatif des dommages du site Belouizdad-Kitouni (partie 4)..... | 163 |
| Tableau n°4-6:Récapitulatif des dommages du site Belouizdad-Kitouni (partie 5)..... | 164 |
| Tableau n°4-7:Récapitulatif des dommages du site Belouizdad-Kitouni (partie 6)..... | 165 |
| Tableau n°4-8:Récapitulatif des dommages du site Belouizdad-Kitouni (partie 7)..... | 166 |
| Tableau n°4-9:Récapitulatif des dommages du lotissement Boussouf..... | 176 |
| Tableau n°4-10:Récapitulatif des dommages du site Benchergui..... | 179 |

Chapitre 5

| | |
|--|-----|
| Tableau n°5-1:Degré de susceptibilité des glissements de terrain par rapport aux classes des pentes..... | 204 |
| Tableau n°5-2:Degré de susceptibilité des glissements de terrain par rapport à l'orientation des pentes..... | 205 |
| Tableau n°5-3:Degré de susceptibilité des glissements de terrain par rapport aux classes d'altitude..... | 206 |
| Tableau n°5-4:Degré de susceptibilité des glissements de terrain par rapport aux formations lithologiques..... | 207 |
| Tableau n°5-5:L'indice d'exposition en fonction des zones..... | 219 |
| Tableau n°5-6:L'indice d'intérêt en fonction des zones..... | 219 |
| Tableau n°5-7:L'indice potentiel en fonction des zones..... | 219 |
| Tableau n°5-8:Indice de dommage potentiel en fonction des zones..... | 222 |
| Tableau n°5-9:Matrice des classes de risque glissement de terrain..... | 225 |

| | |
|---|-----|
| Tableau n°5-10:Classe de risque glissement de terrain appliquées à la commune de Constantine..... | 225 |
| Tableau n°5-11:Les terrains exposés aux risques glissements de terrain à travers les secteurs urbains | 228 |
| Tableau n°5-12:Les constructions exposées aux risques glissements de terrain à travers les secteurs urbains | 229 |

PARTIE III

Chapitre 6

| | |
|---|-----|
| Tableau n°6-1:Implantation tracé en plan à Belouizdad-Kitouni..... | 243 |
| Tableau n°6-2:Stabilité du talus amont avec clouage : coefficient de sécurité en fonction de la position de la nappe et de l'accélération à Boussouf..... | 250 |
| Tableau n°6-3:Les actions prise par les autorités lors des glissements de terrain (1995-2005) | 260 |

LISTE DES PHOTOS

| PARTIE I | Pages |
|---|--------------|
| Chapitre 2 | |
| Photon°2-1:A Boussouf l'urbanisation récente en fond de vallée inondable perturbe le drainage naturel des eaux météoriques | 60 |
| Photo n°2-2:Extension du glissement en aval de deux bâtiments de construction ancienne (E : Escarpement du glissement) | 106 |
| Photon°2-3:Glissement superficiel encombrement du RDC par les matériaux glissés à Boussouf | 106 |
| Photon°2-4:Déstabilisation des talus de terrassement et recours au soutènement le suintement d'eau soulignant la saturation des argiles miocènes | 119 |
| Photon°2-5:Boussouf : dégradation de la chaussée en hiver | 120 |
| Photon°2-6:Le réseau hydrographique est entièrement perturbé à Boussouf , sur un versant initialement de faible stabilité | 120 |
| Photon°2-7:Bencherghi vu de l'ancienne décharge, recul de falaise | 121 |
| Photon°2-8:Glissement dans les colluvions limono-graveleuses, rouges rive gauche d'oued El Mellah, l'enrochement est entièrement recouvert par la masse glissée | 121 |
| Photo n°2-9:Eroulement dans les conglomérats massifs pliocènes à Bencherghi | 125 |
| PARTIE II | |
| Chapitre 4 | |
| Photo n°4-1: Mur de soutènement fissuré à Belouizdad-Kitouni | 157 |
| Photo n°4-2 : Façade très endommagée à Belouizdad | 157 |
| Photo n°4-3 : Dégradation du bâti dans le quartier Belouizdad-Kitouni | 157 |
| Photo n°4-4: Le pont de Sidi Rached en rive droite du Rhumel | 170 |
| Photo n°4-5: Fissuration de la culée Est du pont de Sidi Rached voûte fissurée, sectionnée en clé | 170 |
| Photo n°4-6: Dégradation de maisons et de murs de soutènement côté aval du pont de Sidi Rached | 170 |
| Photo n°4-7:Mur en béton armé,fissuré et basculé en aval de la culée du pont de Sidi Rached | 171 |
| Photo n°4-8:Retenue d'eau d'origine diverse au pied du glissement de terrain à Boussouf | 177 |
| Photo n°4-9: Fissure verticale au niveau d'un mur de soutènement à Boussouf | 177 |
| Photo n°4-10:Versant instable morphologie ondulé cela traduit le mouvement en fluage | 177 |

LISTE DES ANNEXES

| | Pages |
|--|-------|
| Annexe n°1 : Données de population par districts..... | 301 |
| Annexe n°2 : La superficie des terrains exposé aux risques des glissements de terrain à travers les délégations communales | 302 |
| Annexe n°3 : Carte de la vulnérabilité aux glissements de terrain de la ville de Constantine | 305 |
| Annexe n°4 : Cartes du zonage sismique du territoire national..... | 307 |
| Annexe n°5 : Outils réglementaires et juridiques | 309 |
| Annexe n°6 : Questionnaire de l'enquête | 310 |
| Annexe n°7 : Composition de l'échantillon de population enquêtée..... | 315 |
| Annexe n°8 : Les articles de presse nationale..... | 316 |

RESUMÉ :

Ce travail porte sur l'apport de la susceptibilité d'aléa et de la vulnérabilité dans la cartographie des risques liés aux aléas de glissement de terrain à Constantine , pour cela notre intérêt s'est porté sur le développement d'une approche méthodologique, qui fait appela l'application d'un système d'information géographique (SIG),en utilisant l'analyse multicritère qui tient compte de divers paramètres physiques naturels de site : (géologie et lithologie de sols, géomorphologie, l'hypsométrie, l'inclinaison de la pente) et anthropiques : (occupation du sol et population),

Cela nous a permis dans un premier temps de produire la carte de susceptibilité d'aléa par une approche bivariée (GMM MATRIX),elle classe les différentes zones du site par rapport aux phénomènes naturels (alea) et en second lieu l'estimation de la vulnérabilité qui est estimée par une analyse semi empirique des enjeux définis en termes de valeur relative d'éléments exposés (la vulnérabilité structurelle et la vulnérabilité corporelle).

La superposition entre ces derniers (Aléa et vulnérabilité) a donné lieu a l'élaboration d'une carte thématique regroupant les différentes classes de risque de glissement : très fort, fort, moyen, faible et très faible dans le secteur d'étude.

Pour l'ensemble de site, environ 1147h de la surface totale est exposée a un risque très fort a fort, 219 h a un risque moyen et 19021 ha est classe parmi les endroits faiblement exposes Ainsi cette carte nous a permis de mettre en relief pour l'ensemble de la ville, le nombre des constructions exposées à un risque très fort à fort 551 du nombre total 564 constructions à un risque moyen et 3379 constructions ne risque aucun danger.

Enfin le résultat de ce travail la carte de risque naturel lié au glissement de terrain, représente un outil d'aide à la décision relative aux choix des mesures préventives de réduction des risques afin de minimiser l'impact de glissement de terrain de la ville de Constantine.

Mots clés :

Glissement de terrain, Risque, Système d'information géographique,Constantine, Aléa et vulnérabilité, Approche bivariée, Semi empirique.

ملخص:

يركز هذا العمل على مساهمة قابلية التعرض للخطر والضعف في إنجاز خرائط المخاطر المرتبطة بأخطار الانزلاقات الارضية في مدينة قسنطينة ولهذا السبب، تركز اهتمامنا على وضع منهجية باستخدام تطبيق نظام المعلومات الجغرافية تعمدت على تحليل متعدد العناصر التالية: الجيولوجيا الليتولوجيا الجيومورفولوجيا، الارتفاع مما أتاح لنا وضع في البداية خريطة قابلية التعرض للخطر باستخدام ثنائي المتغيرات أي مصفوفة الرصد مما سمح بتصنيف المناطق حسب درجة تعرضها للانزلاقات الارضية.

المرحلة الثانية كانت تهدف إلى تقدير مدى ضعف العناصر المكونة للمجال من إطار مبني و إطار غير مبني من جهة ومن جهة أخرى العنصر البشري وذلك بالإعتماد على تحليل شبه تجريبي للعناصر المحددة من حيث القيمة النسبية للعناصر المعرضة للخطر بتحديد الضعف الهيكلي الخاص بالبناء والضعف البشري.

التطابق بين العناصر السابقة أدى إلى وضع خريطة موضوعية تجمع بين مختلف فئات أخطار الانزلاقات الارضية: (عالية جدا، عالية، متوسطة، ضعيفة، وضيقة جدا) لمجال الدراسة بحيث تم تحديد أنه هناك احتمال تعرض 1147 هكتار من المساحة الاجمالية للمخاطر عالية جدا الى عالية و 219 هكتار يمكن أن تصنف ضمن المخاطر المتوسطة في حين المساحة المحتملة أن تكون ضمن الاخطار الضعيفة والضعيفة جدا تشكل 19021 هكتار بالإضافة لماسبق سمحت لنا خريطة الأخطار إلى تحديد عدد المنشآت والمباني المحتمل تعرضها لخطر شديد 551 مبني و 564 مبني تنطوي على أخطار متوسطة و 3379 مبني لا تشكل أي خطر.

نتائج العمل جاءت لمساعدة المهتمين بتسيير الاخطار الطبيعية في إتخاذ القرارات الخاصة المرتبطة بالتدابير الوقائية للحد من أثر الانزلاقات الارضية على مدينة قسنطينة

الكلمات المفتاحية:

الانزلاقات الارضية، المخاطر، نظام المعلومات الجغرافية، قسنطينة، المخاطر والتعرض للخطر، نهج ثنائي المتغيرات، شبه تجريبي.

ABSTRACT :

This work focuses on the contribution of hazard susceptibility and vulnerability to mapping risks related to the landslide hazard in Constantine.

For this purpose, our interest was focused on the development of a methodological approach which uses the application of a Geographic Information System (GIS), using multi-criteria analysis that takes into account various natural physical parameters of the site:(geology and or lithology of soils, geomorphology, hypsometry, slope inclination) and anthropogenic : (land use and population), this first allowed us to produce the hazard susceptibility map using a bivariate approach (GMM-MATRIX).

It classifies the different areas of the site in relation to natural phenomena (alea) and secondly the vulnerability estimate, which is estimated by a semi-empirical analysis of the issues defined in terms of the relative value of exposed elements (structural vulnerability and physical vulnerability).

The superimposition between the latter (alea and vulnerability) has led to the elaboration of a thematic map grouping the different classes of landslide risk (very high, high medium and low and very low) in the study area.

For the site as a whole, about 1147 h of the total area is exposed to a very high to high risk 219 h to a medium risk and 19021 h is classified as low risk.

Thus this map allowed us to highlight for the whole city, the number of constructions exposed to a very strong risk to strong 551 of the total number, 564 constructions has an average risk and 3379 constructions does not risk any danger.

Finally, the result of this work (the landslide natural risk map, represents a decision support tool for the choice of preventive measures to reduce the risks in order to minimize the landslide impact of the city of Constantine).

Key words:

Landslide, Risk, Geographic Information System, Constantine, Alea and vulnerability, bivariate approach, Semi-empirical.



LA VULNERABILITÉ FACE AUX RISQUES NATURELS

ETUDE DE CAS LA VILLE DE CONSTANTINE

Résumé :

Ce travail porte sur l'apport de la susceptibilité d'aléa et de la vulnérabilité dans la cartographie des risques liés aux aléas de glissement de terrain à Constantine.

Pour cela notre intérêt s'est porté sur le développement d'une approche méthodologique qui fait appel à l'application d'un système d'information géographique (SIG), en utilisant l'analyse multicritère qui tient compte de divers paramètres physiques naturels de site : (géologie, géomorphologie, l'hypsométrie, l'inclinaison de la pente, la géologie et la ou lithologie de sols) et anthropiques : (occupation du sol et population), cela nous a permis dans un premier temps de produire la carte de susceptibilité d'aléa par une approche bivariée (GMM MATRIX), elle classe les différentes zones du site par rapport aux phénomènes naturels (alea) et en second lieu l'estimation de la vulnérabilité qui est estimée par une analyse semi empirique des enjeux définis en termes de valeur relative d'éléments exposés (la vulnérabilité structurelle et la vulnérabilité corporelle).

La superposition entre ces derniers (Alea et vulnérabilité) a donné lieu à l'élaboration d'une carte thématique regroupant les différentes classes de risque de glissement (très fort, fort moyen et faible et très faible) dans le secteur d'étude.

Pour l'ensemble de site, environ 1147 h de la surface totale est exposée à un risque très fort à fort, 219 h à un risque moyen et 19021 h est classé parmi les endroits faiblement exposés.

Ainsi cette carte nous a permis de mettre en relief pour l'ensemble de la ville, le nombre des constructions exposées à un risque très fort à fort 551 du nombre total, 564 constructions à un risque moyen et 3379 constructions ne risquent aucun danger.

Enfin le résultat de ce travail (la carte de risque naturel lié au glissement de terrain, représente un outil d'aide à la décision relative aux choix des mesures préventives de réduction des risques afin de minimiser l'impact de glissement de terrain de la ville de Constantine.

Mots clés :

Glissement de terrain, Risque, Système d'information géographique, Constantine, Semi empirique, Aléa et vulnérabilité
Approche bivariée.

Abstract :

This work focuses on the contribution of hazard susceptibility and vulnerability to mapping risks related to the landslide hazard in Constantine.

For this purpose, our interest was focused on the development of a methodological approach which uses the application of a Geographic Information System (GIS), using multi-criteria analysis that takes into account various natural physical parameters of the site: (geology, geomorphology, hypsometry, slope inclination, geology and or lithology of soils) and anthropogenic : (land use and population), this first allowed us to produce the hazard susceptibility map using a bivariate approach (GMM MATRIX).

It classifies the different areas of the site in relation to natural phenomena (alea) and secondly the vulnerability estimate which is estimated by a semi-empirical analysis of the issues defined in terms of the relative value of exposed elements (structural vulnerability and physical vulnerability).

The superimposition between the latter (alea and vulnerability) has led to the elaboration of a thematic map grouping the different classes of landslide risk (very high, high medium and low and very low) in the study area.

For the site as a whole, about 1147 h of the total area is exposed to a very high to high risk, 219 h to a medium risk and 19021 h is classified as low risk.

Thus this map allowed us to highlight for the whole city, the number of constructions exposed to a very strong risk to strong 551 of the total number, 564 constructions has an average risk and 3379 constructions does not risk any danger.

Finally, the result of this work (the landslide natural risk map, represents a decision support tool for the choice of preventive measures to reduce the risks in order to minimize the landslide impact of the city of Constantine).

Key words :

Landslide, Risk, Geographic Information System , Constantine, Semi-empirical, Alea and vulnerability, bivariate approach.