

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

CENTRE UNIVERSITAIRE LARBI BEN M'HIDI

OUM EL BOUAGHI

DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL

N° d'ordre :

N° de section /

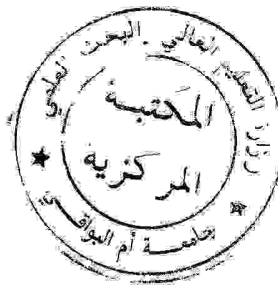
1^{er} Exp 32-36

32.

MEMOIRE DE MAGISTER

FILIERE : GENIE CIVIL

OPTION : GENIE CIVIL



INTITULE

PLAN DE PREVENTION DES RISQUES LIES

AUX GLISSEMENTS DE TERRAINS :

CAS DE LA VILLE DE CONSTANTINE

Présenté par :

MERFEDJ DENFIR NASSIRA

Soutenu le : 19. /10. / 2008.

Devant le jury :

Président : Dr : BOUDAUD ZINEDINE.....Mc Centre Universitaire d'Oum Elbouaghi.
Rapporteur : Dr : BELOUAR ABDELGHANI Mc.Université Mentouri Constantine.
Examineurs : Dr : BENAÏSSA ABDELKADERMc.Université Mentouri Constantine.
Dr : BELABED LAZHARMc.Université de Guelma.
Invité : Mr : GAHMOUS LARBI.....Chef de département Genie civil, C.U.Oum El Bouaghi.

11/A
01

Remerciements

Je tiens à remercier tous ceux qui m'ont aidé à la réalisation de ce modeste travail, et plus particulièrement :

- Dr BELOUAR ABDELGHANI pour son encadrement et son aide exceptionnelle toute au long de cette thèse, pour les moyens qu'il a mis à ma disposition et qui m'ont été essentiels à l'accomplissement de ce travail, qu'il trouve ici l'expression de toute ma gratitude.
- Je tiens à remercier sincèrement Mr BOURAS ; Directeur du centre Universitaire d'Oum El Bouaghi ; ainsi que Mr A. DIB ; Directeur chargé de la post graduation et de la Recherche Scientifique.
- Je remercie également le chef de département de génie civil : Mr GAHMOUS.
- Ma sincère reconnaissance va au Docteur BOUDAOUZ ZINE EDDINE, pour m'avoir fait l'honneur d'être le président de mon jury de soutenance.
- Un grand Merci aux membres de jury :
 - BENAÏSSA ABDEL KADER.
 - BELABED LAZHAR.

d'avoir accepté d'examiner ce travail, qu'ils trouvent ici ma profonde Gratitude.

Dédicace

dédie ce modeste travail à :

Ma mère.

Les deux chers enfants : Imène et Khaled.

Mes sœurs surtout : Zahri, et mon beau frère Harouni Brahim.

Les nièces, mes neveux, Mon frère et ma belle sœur.

Tous mes amis (ies).

RESUME

La ville de CONSTANTINE souffre depuis plusieurs décennies de graves problèmes de glissements de terrain. Ce phénomène assez complexe affecte plus des deux tiers (2/3) de la ville, soit cent vingt hectares (120 ha) de sa superficie et menace quinze milles (15 000) habitations abritant cent milles (100 000) personnes. Le glissement, phénomène naturel à Constantine dont l'évolution remonte aux années 1970 a été aggravé par l'intervention de l'homme et ce, par une urbanisation anarchique ; D'autres facteurs d'aggravation du risque tels : Les séismes, les spécificités du sol, les déperditions hydriques en eau potable et parfois celles des eaux usées sont aussi à l'origine du problème. A titre d'exemple une déperdition en eau potable de l'ordre de 50% à Constantine où le débit est évalué à : 1 000 L /s. est évoquée.

Pour faire face à ce phénomène qui menace la ville de Constantine un diagnostic concernant ce problème des mouvements de terrains doit être bien étudié afin de pouvoir comprendre les causes et puis décider des solutions de prévention, confortements, et de stabilité.

On représente dans cette thèse un plan de prévention des risques liés aux glissements de terrains en se basant sur certaines caractéristiques telles que les cartes : géographiques, géomorphologiques, hydrogéologiques, et de vulnérabilités, pour éventuellement aboutir à un zonage du risque qui sera pris en considération pour l'intégrer dans le Plan directeur de l'Aménagement Urbain (PDAU) et le plan d'Occupation du sol (POS) et d'apporter une aide aux décisions prises par les autorités locales pour le choix des sites.

Mots clés : Glissement de terrains, Aléa, Enjeu, Risque, Désordres, Coupes Géologiques, Cartes Géologique, Carte hydrogéologique, Carte géomorphologique, Carte de Vulnérabilité, Plan de Vulnérabilité, Plan de Prévention des Risques.

ABSTRACT

The town of Constantine suffers since years from serious problems of landslide .This complicated phenomenon affected more than two third's (2/3) of the city, about 120 ha of the area, and 15000 of inhabitations are threaten, in which there are 100 000 person.

The slide, a natural phenomenon in Constantine, which occurs since 1970, has been aggravated by man by building anarchic constructions. Other factors of the aggravation of the risk like: Earthquake, soil specificity, the loss of water either drinking or the used one are also the main problem.

As an example, the drinking water loss in Constantine is evaluated at 50 % in which the debit is about 999, 98 l / S.

For facing this slide problem, which put the city of Constantine in danger, a diagnosis must be studied for understanding the causes, and then decide the adequate solution for prevention, comfort, and stability.

In this Thesis a planning of prevention is presented, based on some characteristics like: geological, hydro geological, geomorphologic and vulnerability maps so as finally we could have a zoning of the risk to be introduced in the Directory Plan of Buildings, and in the Occupied Plan of the soil and to give a help to the authorities decisions of the city for the choice of the sites.

Key Words: Landslides, hazards, Stakes, disorders, Risk, Geological cut, geological Map, Hydrogeology map, Geomorphologic map, Vulnerability map, Vulnerability Plane, Vulnerability's Prevention Plane.

ملخص

مدينة قسنطينة تعاني منذ عشرات السنين من خطر مشكل الانزلاقات في التربة, و هذه الظاهرة المعقدة تمس أكثر من ثلثي المدينة, اي حوالي 120 هكتار من المساحة وبالتالي يهدد 15000 مسكن و 100000 شخص . فالانزلاق هو ظاهرة طبيعية تطورت في قسنطينة منذ سنة 1970 و قد ازدادت خطورته بسبب الانسان عن طريق إنجاز البناء الفوضوي .بالإضافة إلى بعض العوامل الأخرى من بينها الزلازل, خصائص التربة , تسرب مياه الشرب و حتى المياه المستعملة والتي تمثل المشكل الرئيسي. و على ذكر هذا فان تسرب المياه بمدينة قسنطينة يقدر بحوالي 50٪ وسعته 1000 ل/ثا .

و لمواجهة خطورة انزلاق التربة الذي يهدد مدينة قسنطينة يجب تشخيص ظاهرة حركة التربة بدقة لفهم المسببات ثم تقرير الحلول , و إيجاد الوقاية و التوازن والاستقرار .

في هذا العمل نقدم مخطط الوقاية ضد خطورة انزلاق التربة لمدينة قسنطينة معتمدين على بعض الخصائص مثل الخرائط الجيولوجية و الجيومورفولوجية و الهيدرولوجية للمدينة و خريطة الخطورة للانزلاق و هذا للحصول على خريطة تصنيف كل المناطق المعرضة للانزلاق في المدينة حسب درجات الخطورة كي تدمج في المخطط الإداري للتهيئة العمرانية و مخطط الملكية كما تقدم المساعدة لآخذ القرارات الخاصة باختيار الموقع.

الكلمات الأساسية : انزلاق التربة , الخطورة , الأماكن المعرضة للخطر , النتائج المترتبة , المقطع الجيولوجي , الخريطة الجيولوجية , الخريطة الجيومورفولوجية , الخريطة الهيدرولوجية , خريطة الخطورة الحالية , مخطط الخطورة , مخطط الوقاية من خطورة الانزلاق .

SOMMAIRE

Liste des notations	
Liste des figures	
Liste des tableaux	

Introduction Générale

1- Introduction	1
2-Contenu de la thèse.....	1
Chapitre I : Géologie et Historique du glissement de Constantine	
I- 1 – Introduction.....	3
I- 2- Historique Géologique.....	3
I- 3- Lithostratigraphie	4
I-3-1-Trias.....	4
I-3-2-Jurassique.....	4
I-3-3-Cretacés inférieurs et moyens.....	4
I-3-4-Cretacés supérieurs.....	4
I-3-5-Cretacés inférieurs.....	4
I-3-6-Nappe néritique Constantinoise.....	5
I-3-7-Miocène et Pliocène.....	5
I-3-8-Quaternaire.....	5
I- 4 –Conclusion.....	6
Chapitre II : Certains glissements de terrain à travers le monde	
II-1- Introduction.....	8
II-2-Exemple de différents glissements de terrain à travers le monde.....	8
II-3- Facteurs aggravant le glissement.....	14
II-3-1-Characteristique des terrains.....	14
II-3-2- L'eau, une menace permanente.....	15
II-3-3- Le risque sismique.....	16
II-3-4- Action de l'homme : Danger et Prévention	17
II – 4 – Classification des glissements de terrains.....	19
II-4-1-Différents types de mouvements des terres	19
II-4-1-1- Les glissements de terrains.....	20
II-4-1-2-Chutes des blocs et éboulements.....	20
II-4-1-3- Coulées et boues.....	21
II-4-1-4- Effondrements.....	22
II-4-1-5- Erosion de Berges	22
II – 5 –Conclusion.....	23
Chapitre III : Synthèse générale du glissement de Constantine	
III – 1 – Introduction.....	25
III - 2 –Différents types de glissements et leurs typologies.....	27
III – 2 – 1 – Glissement de Belouizded –Kitouni – Kaidi	27
III – 2 – 1 – 1 – Géomorphologie du site.....	29
III – 2 – 1 – 2 – Géologie.....	30
III – 2 – 1 – 3 – Stratigraphie.....	30
III –2 – 1 - 4 - Tectonique.....	32
III – 2 – 1 -5 - Hydrogéologie.....	32
III – 2 – 2 –Site de la Poudrière	33
III – 2 – 2-1- Description	33
III – 2 – 2 – 2 –Coupe géologique.....	34
III – 2 – 3 – Site de l'Ancienne Décharge Publique	35
III – 2 – 4 – La route nationale RN 27.....	36

2 – 5 – L'Hôpital El-Bir	36
2 – 6 – Site de Bardo	37
2 – 7 – La Mosquée Emir Abdelkader.....	38
2 – 8 – site du Ciloc.....	38
2 – 9 – site de Boussouf.....	41
2 – 10 – Le Pont Sidi Rached	42
2 – 11 – Université Mentouri.....	43
III – 3 – Les Désordres observés dans les sites de glissement	44
III – 4 – Analyse du risque géotechnique.....	59
4 – 1 – Les Causes du glissement.....	59
4 – 2 – Les Facteurs aggravant le problème :	59
4 – 2 – 1 – Facteurs géologiques et structurels.....	59
4 – 2 – 2 – Facteurs Pluviométriques.....	60
4 – 2 – 3 – Facteurs de constructions anarchiques non contrôlées sur des pentes instables.....	63
III – 5 – Essais géotechniques et Sondages.....	64
III – 6 – Etude et Essais de Laboratoires.....	73
Chapitre IV : Analyse de la Stabilité	
IV – 1 – Introduction.....	79
IV – 2 – Méthodes d'analyse globales.....	79
IV – 3 – Synthèse de calcul de stabilité	80
IV – 3 – 1 – Définition du coefficient de sécurité.....	80
IV – 3 – 2 – Cas de ruptures planes (glissement plan).....	80
IV – 3 – 3 – Cas des ruptures circulaires (glissement circulaires).....	80
IV – 3 – 4 – Cas des ruptures quelconques (glissement non circulaires).....	81
IV – 4 – Hypothèses diverses utilisées dans la méthode des tranches.....	81
IV – 5 – Méthode faisant appel à des hypothèses sur la valeur des efforts intertranches.....	82
5-1- Méthode de Bishop généralisée.....	82
5-2- Méthodes simplifiées.....	85
5-2-a) Méthode de Bishop simplifiée.....	85
5-2-b) méthode de Fellenius.....	85
IV – 6 – Méthodes faisant des hypothèses sur la ligne de Poussée.....	86
IV – 6-1- Méthode de Janbu approchée.....	86
IV – 6-2- Méthode de Janbu simplifiée.....	86
IV – 7 – Méthode faisant des hypothèses sur la répartition des contraintes le long de la ligne de glissement.....	88
IV – 8 – Effets de la pression interstitielle.....	88
IV – 8-1 Généralités.....	88
IV – 8-2- Equilibre d'une tranche de talus en présence d'eau.....	90
IV – 9- Conclusion.....	91
Chapitre V: Plan de prévention des risques du glissement de Constantine et cartographie	
V-1- Introduction.....	92
V-2- Prévention et mesures prises vis-à-vis des glissements.....	93
V-2-1- Utilisation de la Cartographie pour valoir le risque du glissement.....	94
V-2-1-1) La carte des phénomènes naturels.....	95
V-2-1-2) La carte des aléas.....	95
V-2-1-3) Le zonage réglementaire.....	99
V-2-2-Utilisation des SIG pour cartographier les niveaux de Susceptibilité des Mouvements de terrains (NSMT).....	99
V-3- Rapport des cartographies à l'élaboration de l'Aléa et le risque.....	99
V-3-1- Carte de vulnérabilité glissements de terrain de la ville de Constantine.....	99
V-3-2- Analyse globale de la carte de vulnérabilité.....	102
V-4- Plan de vulnérabilité aux glissements de terrain de la ville de Constantine.....	103
V-4-1- Introduction.....	103
V-4-2- Classification.....	104

V-5- Carte de zonage.....	108
V-5-1- Carte d'aléa.....	110
V-5-2- Carte des enjeux.....	115
V-5-3- Carte de risque ou zonage.....	116
V-6- Conclusion.....	118
Chapitre VI: Confortement et recommandations	
VI-1- Introduction.....	121
VI-2- Terrassements.....	122
VI-2-1 Remblai de pied.....	122
VI-2-2 Allègement en tête.....	123
VI-2-3 Reprofilage.....	123
VI-2-4 Purge.....	123
VI-2-5 Substitution total ou partielle.....	124
VI-3- Dispositifs de drainage.....	124
VI-3-1 Collecte et canalisation des eaux de surface.....	124
VI-3-2 Tranchées drainantes.....	125
VI-3-3 Drains subhorizontaux.....	125
VI-3-4 Marques et éperons drainant	126
VI-3-5 Drains verticaux.....	126
VI-4-Eléments résistants.....	126
VI-4-1 Ouvrages de soutènement.....	126
VI-4-2 Tirants d'ancrages.....	127
VI-4-3 Le clouage.....	128
VI-5- Cas des remblais sur sols mous.....	129
Chapitre VII: Conclusion Générale	
VII- Conclusion générale.....	133

Bibliographie

LISTE DES NOTATIONS

- τ_{\max} : la résistance au cisaillement du sol
 τ : la contrainte de cisaillement mobilisée le long de la courbe de rupture
 F : Le coefficient de sécurité
 L : désigne la longueur du talus
 α : la pente du talus
 w : le poids des terres en mouvement
 U : la résultante des pressions interstitielles éventuelles
 c : la cohésion effective
 ϕ : l'angle de frottement interne effectif.
 F_f, F_B : Coefficient de sécurité
 W_i : Poids des terres de la tranche i
 b_i : Largeur de la tranche i
 h_i : Distance verticale entre le point considéré et la ligne du glissement
 $V_i; V_{i+1}$: Efforts verticaux inter tranches
 $H_i; H_{i+1}$: efforts horizontaux inter tranches
 N_i : Effort normal sur la courbe de rupture dans une tranche i
 x_i : La pente du talus de la tranche i
 F_s : Coefficient correcteur empirique
 d : Profondeur de la surface de glissement
 L : Longueur de la surface de glissement
 N_{io} : Effort normal (valeur approchée)
 P : Terme de perturbation
 μ_1 et μ_2 : Paramètres de perturbation
 $\delta(M_i)$: Fonction de perturbation au point M_i
 c : Cohésion
 ρ : Angle de frottement interne
 $\bar{\sigma}$: Contrainte normale
 $\bar{\sigma}'$: Contrainte effective (inter granulaire)
 u_i : Pression interstitielle a la base de la tranche i
 ρ_u : Angle de frottement interne apparent
 γ_{sat} : poids volumique du sol saturé

LISTE DES FIGURES

Fig-I-1-Carte de la ville de Constantine avec les principales zones de glissement.....	7
Fig-II-1-Eléments descriptifs d'un glissement de terrain.....	8
Fig-II-2-La Clapière (France), vallée de la Tinée (Alpes-Maritimes).....	9
Fig-II-3-Valtellina, le nord d'Italie.....	9
Fig-II-4-"Langhe " hills, Piemonte, nord d'Italie.....	10
Fig-II-5-Une vue de la route endommagée.....	10
Fig-II-6-Une vue sur une pente (les décombres couvrent les maisons).....	11
Fig-II-7-Siano (SA), Campania centre d'Italie.....	11
Fig-II-8-Glissement de terrain en Chartreuse (France).....	12
Fig-II-9-Etat de la Clapière en 1992.....	13
Fig-II-10-Evolution du glissement de la Clapière (en 1976 et 1994).....	13
Fig-II-11-Activation du glissement de la Clapière (2004) Détachement d'une grande masse de terre...14	14
Fig-II-12-shématisation : pluviométrie / années.....	16
Fig-II-13-Types de glissements.....	20
Fig-II-14-Types d'écoulements et chutes de blocs.....	21
Fig-II-15-coulée de boues.....	21
Fig-II-16-Effondrement d'une cavité.....	22
Fig-II-17-Erosion ou détachement de matériaux.....	22
Fig-II-18-Formes de glissements.....	23
Fig-II-19-fluage : glissement d'El biar.....	24
Fig-III-1-Principales zones de glissements dans le périmètre urbain de Constantine.....	25
Fig-III-2-Zone probable de rupture : centre ville.....	27
Fig-III-3-Coupe géologique du glissement : Site de la Poudrière.....	35
Fig-III-4-Glissement : Route nationale 27.....	36
Fig-III-5-Ligne de rupture probable pour le glissement du Bardo.....	37
Fig-III-6-Ligne du glissement d'Emir Abdelkader.....	38
Figure-III-7-Représentation des lignes de rupture probables pour le site du Ciloc avec les travaux de confortements (dalle en B.A plus les pieux).....	39
Fig-III-8-Coupes selon les sondages (Site du Ciloc).....	40
Fig-III-9-Plan d'implantation des sondages sur le site des Ciloc.....	40
Fig-III-10-Ligne de rupture régressive du contournement Ain El Bey - Boussouf.....	41
Fig-III-11-Différents glissements encourus à Constantine.....	42
Fig-III-12-La ligne de rupture : site Université Mentouri	43
Fig-III-13-vue d'ensembles du glissement de Bélouizded –Kitouni –Kaïdi.....	45
Fig-III-14-Glissement de Kitouni (conglomérats pliocène et niveau argileux).....	46
Fig-III-15-A-conglomérat (Cg) et argiles (AR) sous jacentes, imperméables.....	47
Fig-III-15-B-conglomérat (cg) et niveau sableux (sg) pliocène - route du 20 août	47
Fig-III-16-A- Colluvions argilo graveleuses -route du 20 août	48
Fig-III-16-B-Remblai du terrain Amirouche, en aval de la route du 20 août.....	48
Fig-III-17-Affaissement de la chaussée du site instable de Kitouni	49
Fig-III-18-Fissuration observées dans les maisons des sites Kitouni- Bélouizded.....	50
Fig-III-19-A-Désordres divers dans la zone instable de Kitouni.....	51
Fig-III-19-B-quartier instable de Kaïdi Abdellah.....	51
Fig-III-20-A-Quartier instable de Kaïdi.....	52
Fig-III-20-B-Première falaise conglomératique, et maison fissurée située au dessus.....	52
Fig-III-21-glissement de Bélouizded en aval du talus.....	53
Fig-III-22-A-Talus instable dans les Maquisards, en avant plan, avec maisons détruites et basculées...54	54
Fig-III- 22-B-Ecroulement de la base falaise de Belouizdad (hiver 2003).....	54
Fig-III-23-A-Glissement récent (G), de la route du 20 août.....	55
Fig-III-23-B-Quartier instable de Kaïdi Abdellah.....	55
Fig-III-24-A-Quartier instable de Kaïdi Abdellah.....	56
Fig-III-24-B-replat argilo graveleux instable, au pied de la basse falaise.....	56

Fig-III-25-Désordres et glissement de Belouizded.....	57
Fig-III-26-Affaissement de la chaussée au niveau du remblai, autour des Amphithéâtres.....	58
Fig-III-27-Dégradation du dallage et Fissuration du mur : université Mentouri.....	58
Fig-III-28-cumule : pluviométrie durant une vingtaine d'années.....	62
Fig-III-29-Diagramme pluviometrie-cumule du mois de décembre en fonction des années suscitées.....	62
Fig-III-30-Diagramme pluviometrie-cumule du mois de juillet en fonction des années Suscitées.....	63
Fig-III-31-vue aérienne du site du Ciloc.....	65
Fig-III-32-Diagnostic du site du Ciloc.....	66
Fig-III-33-Carte de vulnérabilité du bâti.....	67
Fig-III-34-Positions de différents sondages : Ciloc.....	68
Fig-III-35-Coupe Géologique avec plantation des sondages (site du Ciloc vers La Mosquée).....	69
Fig-III-36-Site du Ciloc : Profils montrant le glissement et la nappe (Bâtiment B).....	70
Fig-III-37-Site du CILOC : Profil PO montrant les points de sondage.....	71
Fig-III-38-Reconnaissance et diagnostic avec bâti du site de Bardo.....	72
Fig-III-39-Topographie accidentée –de la ville de Constantine.....	73
Fig-III-40- Coupe géologiques tirées de la carte des instabilités : site Bardo et Krikri.....	75
Fig-III-41- courbe Granulométrique : classification des tamisas du sondage SB1.....	75
Fig-III-42-Courbe Granulométrique : Classification des Tamisas du sondage SB2.....	76
Fig-III-43- Courbe Granulométrique : Classification des Tamisas du sondage SB3.....	76
Fig-III-44-Courbe Granulométrique : Classification des Tamisas du sondage SB4.....	77
Fig-III-45-Plan de Recollement des Sondages : Site de Bardo.....	78
Fig-IV-1- Glissement circulaire : méthode des tranches.....	84
Fig-IV-2-Abaque du coefficient correcteur de Junbu.....	87
Fig-V-1- Site de Belouizded : implantation des galeries drainantes.....	96
Fig-V-2- Carte des instabilités Sites Bardo et Krikri.....	97
Fig-V-3- Carte des instabilités du site de Ciloc.....	98
Fig-V-4- Exemple de cartographie utilisée par le système SIG.....	109
Fig-V-5- carte géologique de constantine.....	110
Fig-V-6-Légende de la carte géologique.....	111
Fig-V-7-Carte de Géomorphologie de Constantine.....	112
Fig-V-8- Légende de la Carte de Géomorphologie.....	113
Fig-V-9- Carte d'hydrogéologie de Constantine.....	114
Fig-V-10 carte de Vulnérabilité de constantine.....	115
Fig-V-11- Carte de Zonage de la ville de Constantine.....	116
Fig-V-12-Légende de carte de Zonage.....	117
Fig-VI-1-Dispositif de fondation sur pieux dans un terrain de glissement déclaré.....	121
Fig-VI-2-Terrassement et profilage d'une pente.....	122
Fig-VI-3-Chargement en pied d'un talus.....	123
Fig-VI-4-Techniques de purges.....	123
Fig-VI-5-Drains subhorizontaux.....	125
Fig-VI-6-Utilisation du Mur de soutènement.....	127
Fig-VI-7-Les tirants d'Ancrage.....	128
Fig-VI-8-Confortement d'un talus par rabattement du niveau de la nappe.....	129
Fig-VI-9-Talutage et béton projeté.....	130
Fig-VI-10-Stabilisation de différents talus par clouage(différents cas de construction et stabilisation).....	132

LISTE DES TABLEAUX

Tableau-III-1- relevé pluviométrique de la ville de Constantine (Période 1984-2005).....	61
Tableau-III-2-Relevé des mesures piezométriques du site Bélouizded –Kitouni Kaidi.....	74
Tableau-III-3- récapitulation des essais au laboratoire des différents sondages.....	74
Tableau-V-1-Les quatres grandes phases de l'élaboration d'u Plan de Prévention des Risques du.....	109
Tableau-V-2-Classification et zonage de Constantine.....	120

INTRODUCTION GENERALE

mouvements de terres, on doit tout d'abord connaître son état géologique.

- * Dans le deuxième chapitre, une étude bibliographique exhaustive des différents glissements qui ont eu lieu à travers le monde est présentée.
- * Le troisième chapitre présente une synthèse détaillée de glissement de Constantine en se basant sur les cartes : géologique, géomorphologique, hydrogéologique, et de vulnérabilités.
- * Le quatrième chapitre est consacré à l'étude de la stabilité par certaines méthodes de calcul.
- * Le cinquième chapitre présente le plan de prévention des risques et une cartographie pour la ville de Constantine. La méthodologie proposée est basée sur une approche d'étude de l'aléa et de l'enjeu pour aboutir à un zonage détaillé spécifiant les instabilités d'où la déduction d'une carte de risque;
- * Le sixième chapitre s'appuie sur la carte de zonage déduite, pour apporter une mesure confortative tout en comparant à d'autres exemples à travers le monde, en essayant d'introduire un système de gestion par surveillance.
- * On termine ce mémoire par une conclusion générale et des recommandations Pour la suite de ce travail.

Chapitre I
Géologie Et Historique du Glissement de
Constantine

I-1- Introduction :

La ville de Constantine très touchée par le phénomène des mouvements de terrains a été longtemps le siège des préoccupations majeures des autorités. Les zones sont répertoriées sur la figure 1.1 et c'est pour cette raison qu'une étude géologique adéquate doit être menée.

I-2-Historique géologique :

Selon les travaux stratigraphiques de Deleau [1], du site Constantinois plusieurs détails constructifs ont été donnés et concernent Djebel Oum Settas, puis une série de carte de Constantine établit par Vila [2] .

Plusieurs autres études sur le site ont été faites durant ces dernières années, tout en sachant que le Rhumel entoure la ville comme un bracelet ; aussi, La majeure partie du bassin de Constantine s'étend de l'Ouest à l'Est entre la chaîne des Mouaï et du Sidi Driss au Nord, et les chaînons du Chettaba, au Sud. Ces derniers sont rocheux, et courts.

Sur une superficie de (15 km²) environ s'étend la ville de Constantine avec sa morphologie accidentée et limitée par des reliefs très variés et dissymétriques. L'altitude de la région varie de 300 m (niveau cours d'eau) jusqu'à 800 m au sommet des buttes conglomératiques avec une irrégularité des pentes allant de 12° à 35°.

Grâce à une structure tectonique dominée par des nappes, la ville se caractérise d'une part par une sédimentation néritique ayant produit des marnes et des calcaires jusqu'au crétacé puis de type flysch (Poudingues et argiles sableuse) au tertiaire, et d'autre part par un style tectonique de plis souples et amples affectés de plusieurs failles ; Vila [3] développe l'idée d'allochtonie sur le mole néritique Constantinois, ensuite Lahondere [4] et Chadî [5] remettent en cause l'allochtonie des massifs néritique du Constantinois et font ressortir une évidence sur la continuité dans la sédimentation du crétacé. Coiffait [6] a apporté d'autres faits nouveaux concernant la région sur le plan stratigraphique et structural.

La plus récente étude a été faite par Aris [7] concernant la tectonique et qui a visé à retracer les différentes phases de déformation.

I-3 – Lithostratigraphie :

3-1 Trias :

C'est le plus ancien terrain affleurant constitué d'argiles rougeâtres à gypse avec quelques cristaux de Quartz. Ils existent localement des calcaires jaunâtres à grisâtres en forme de plaquettes.

Les calcaires dolomitiques triasiques se présentent en gros bancs calcaires au Kef Talaa à la pointe Nord-Ouest de l'affleurement du Chettaba.

3-2 Jurassique :

N'affleurant nulle part dans la région, il est considéré comme une lacune stratigraphique.

3-3 Crétacés inférieurs et moyens :

Le crétacé inférieur et moyen se présente sous deux aspects qui témoignent de sédimentation d'origines différentes:

- Des dolomies et des calcaires récifaux épais.
- Des marnes, des marnes schisteuses et des marno-calcaires se sont déposés sur la partie centrale des monts de Constantine, des sédiments uniquement calcaires ou dolomitiques passant latéralement à des marnes au Nord - Ouest, Nord - Est et Sud - Est, vers le Sud les formations hétérogènes calcaires, marno - calcaires et calcaires noduleux.

3-4 Crétacé supérieur et éocène :

Série épaisse à dominance marneuse issue du sillon tellien. On peut voir des argiles verdâtres à grisâtres alternant des marnes et des grès. Ce sont des nappes telliennes qui affleurent à la base du massif Numidien au Nord et sont de type marno-calcaires débuté au Crétacé supérieur.

Le Sénonien inférieur est marneux grisâtre avec de minces intercalations de marno-calcaires.

- Le Sénonien supérieur est marneux calcaire.

- Le Paléocène est un ensemble d'alternance de marnes noires et marnes calcaires sombres.

- Ypresien et le Lutélien inférieur sont représentés par des calcaires noirs.

3-5 Crétacé inférieur :

C'est une alternance de pelites, de marne et de micrites puis d'un important banc de marne silteux (environ 100 m).

- Cénoomanien : il s'agit de marne, le passage au Turanien est calcaire

- Turanien : il commence par un repère à silex noir en petit bancs.
- Sénonien inférieur : est conglomératique.
- Senonien supérieur : est calcairifaire.

3-6 Nappe Néritique Constantinoise :

C'est le spécifique « Rocher de Constantine » constitué par un relief de calcaire. Les affleurements les plus importants correspondent aux Djebels "Grouz et Djafia" aux reliefs isolés de la plaine de Teleghma.

Cette série commence avec les ères suivantes:

- Trias : calcaire – pelitique
- Malm : carbonaté, forme de dolomies noires largement cristallisées, sont surmontés par un banc de calcaire massif.
- Néocomien : formé de calcaire fin et de marne rose suivi de calcaire à silex
- Barrémien : série très épaisse de calcaire dolomitique
- Aptien : commence par du calcaire massif puis du calcaire micritique noir.
- Albien marneux et calcaire: cette dernière ne dépasse jamais 100 m.
- Cénomaniens : calcaire épais, en bancs bien réglés formant la base du Rocher.
- Turanien : série de calcaires rubanés formant l'assise supérieure des bancs du Rocher de Constantine.

3-7 Miocène et Pliocène :

C'est un conglomérat rougeâtre marquant la base du Miocène inférieur marin représenté par des marnes brunes. Le Miocène moyen laguno- lacustre (argiles grises à gypses affleure surtout dans la dépression séparant Constantine de la chaîne Numidique et le Miocène continental formé de dépôts détritiques rougeâtres quelque fois sableuses et des calcaires Benaïssa [8] et [9].

3-8 Quaternaire :

Ce sont des alluvions anciennes des vallées (il s'agit de galets mêlés d'argiles ou terres rouges) sont bordant la vallée du Rummel, dont elles dominent le lit de 30 à 35 mètres ; Les alluvions récentes surtout argileux dans les grandes plaines du Sud et même souvent gypseuses. Les alluvions récentes limoneuses occupant la vallée du Rummel et de ses principaux affluents.

Les alluvions actuelles sont des dépôts de graviers et de sables sur les rives du Rummel, en aval de Constantine.

I- 4 - Conclusion :

Comme déduction de ce qui a été suscités, la géologie de la région de Constantine est formée de :

- Couches appelées terrasses alluviales limoneuses du Quaternaire.
- Des Formations argileuses contenant des passages lenticulaires de sables du Pliocène favorisant le développement des pressions hydrostatiques.
- Couches de gypse qui par dissolution contribue à modifier les caractéristiques mécaniques des argiles .
- Des conglomérats et galets à blocs arrondis à prédominance gréseuse du Mio-pliocène
- Des marnes grises du Crétacé.
- Des formations due à l'activité néotectonique très développée qui pourrait contribuer à un véritable détachement des versants si les facteurs de pluviométrie sont présents.

Ville de Constantine. Principaux sites de glissements

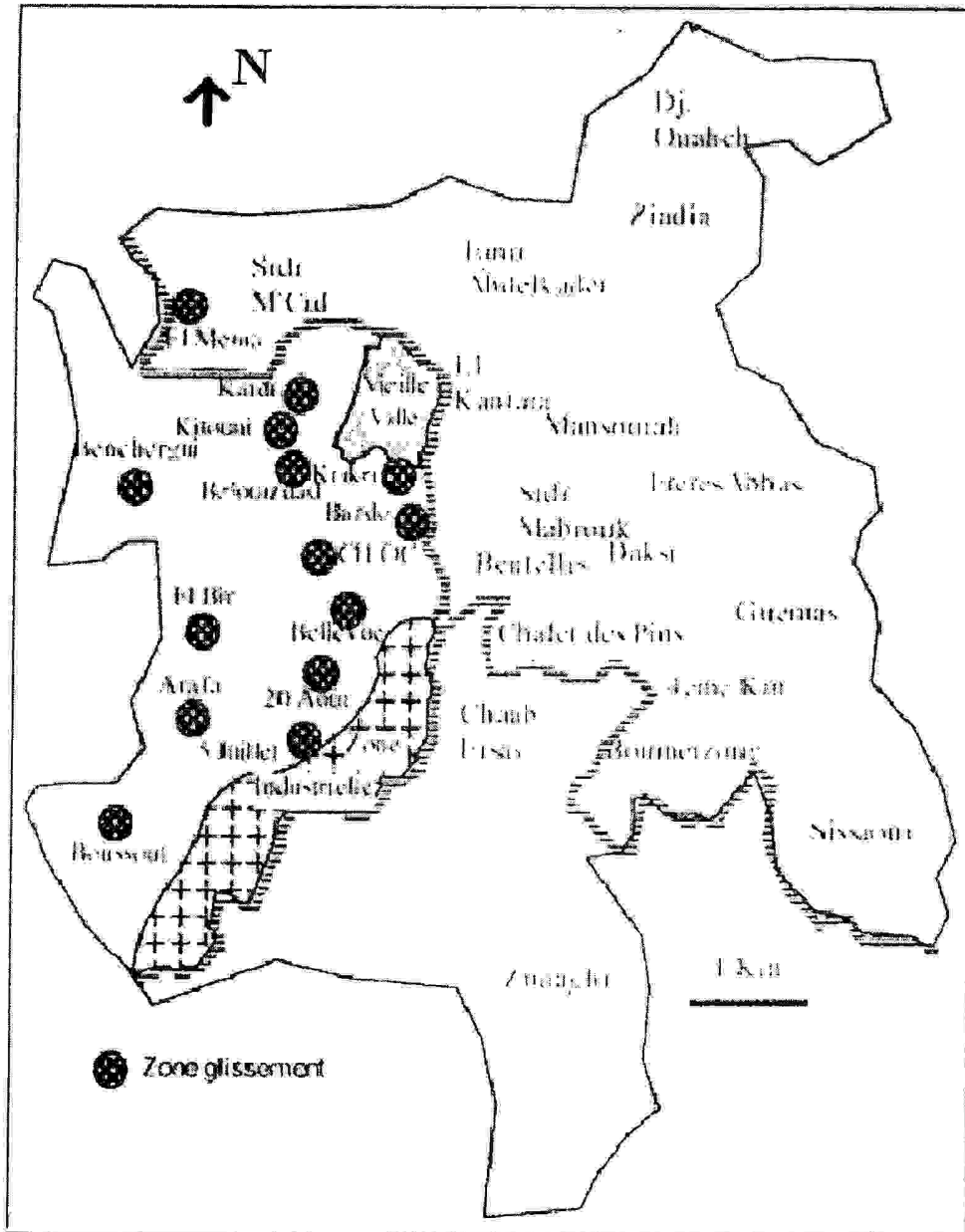


Fig. I - 1. Carte de la ville de Constantine avec les principales zones de glissement.

(Source DTP : Direction des Travaux Publics)

Chapitre II
Certains Glissements de terrains
A Travers Le Monde

II – 1 -Introduction :

Depuis ces dernières dizaines d'années on assiste à une forte augmentation des catastrophes naturelles d'origine climatiques, et environnementales dans le monde ; et plus de 200 millions de personnes par an sont touchés par ces fléaux naturels, ou par des accidents technologiques, et plus de 60 000 personnes sont tuées selon la croix rouge. L'un des exemples le plus frappant reste cependant: Le Tsunami engendré par un séisme sous-marin majeur, qui a touché les pays sud Est de l'Asie et dont le bilan compte plus de 225 000 personnes tuées. Les glissements, quand à eux, ont fait des tas de dégâts à travers le monde.

En général on distingue deux types de glissements :

- Glissement de terrain rapide (éboulements).
- Glissements de terrain lents (mouvements lents qui peuvent durer des jours ou des années, correspondant au détachement d'une grande masse de terrain sur une couche stratigraphique particulièrement plastique).

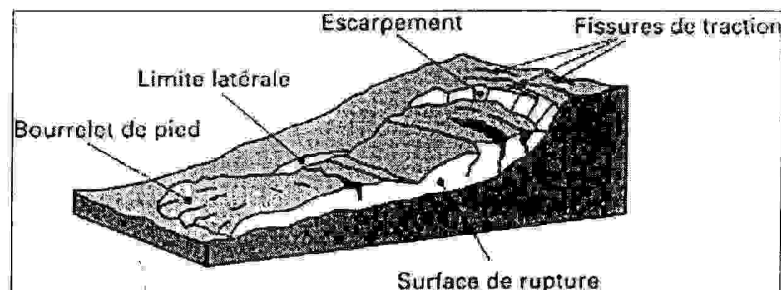


Fig. II – 1 - Eléments descriptifs d'un glissement de terrain.

II – 2- Exemple de différents glissements de terrain a travers le monde :

- La Clapière, vallée de la Tinée (Alpes-Maritimes), la route est coupée par un glissement de terrain actif qui se déplace lentement.

*A titre indicatif on cite certains glissements de terrains encourus à travers le monde notamment en France Blandeau [10], et Block [11].

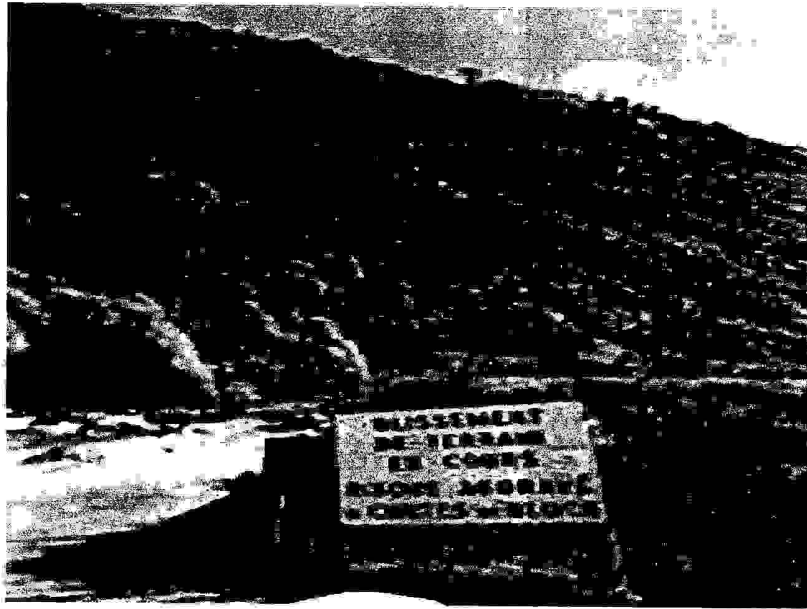


Fig. II. 2-La Clapière (France), vallée de la Tinée (Alpes-Maritimes),
(La route est coupée par un glissement de terrain actif qui se déplace lentement)

- Ecoulement de débris qui apparaissent Durant une période de pluie intense.

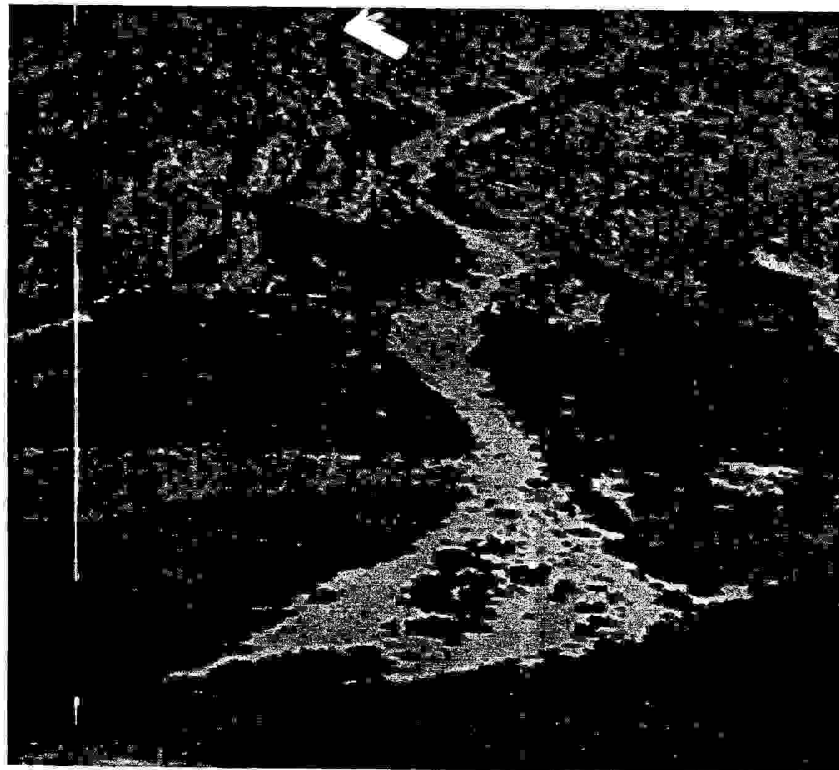


Fig. II. 3-Valtellina, le nord d'Italie.

- Le glissement de terrain qui apparaît durant l'inondation qui frappe la région de Piemonte sachant que la lithologie est une altération d'argile et de grès.

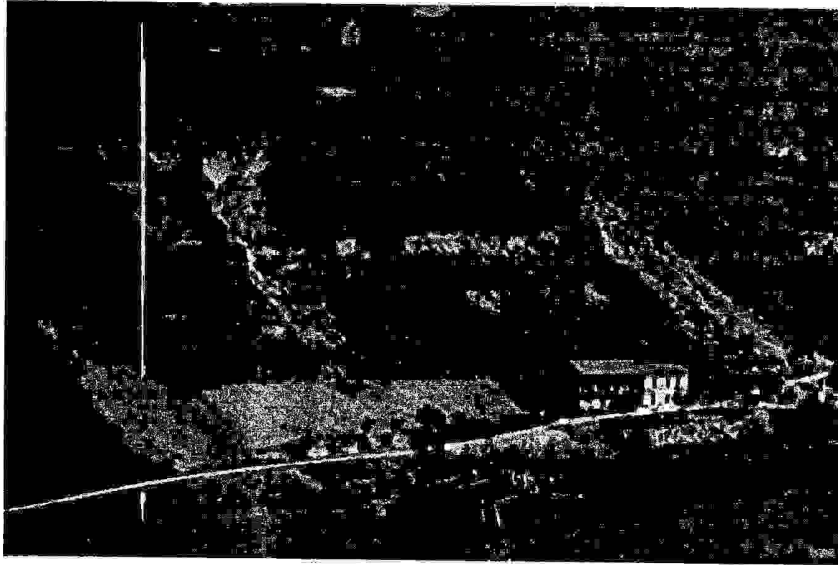


Fig. -II. 4-"Langhe " hills, Piemonte, nord d'Italie

- La photo ci-dessous montre les déformations induites par un large glissement plan sur une route secondaire; La distance de l'escarpe principale est d'environ 500 mètres.



Fig.- II .5 Une vue de la route endommagée.

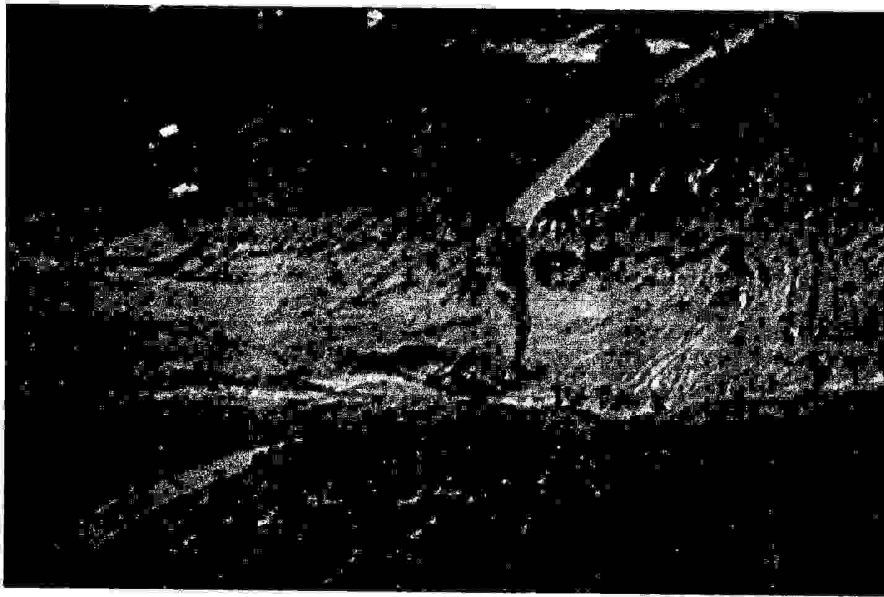


Fig. - II - 6 Une vue sur une pente (on peu voir les décombres qui couvrent les maisons)

- Une vue depuis l'amont d'un talus ou le glissement affecte le village (les maisons sont détruites mais leur présence arête l'écoulement).

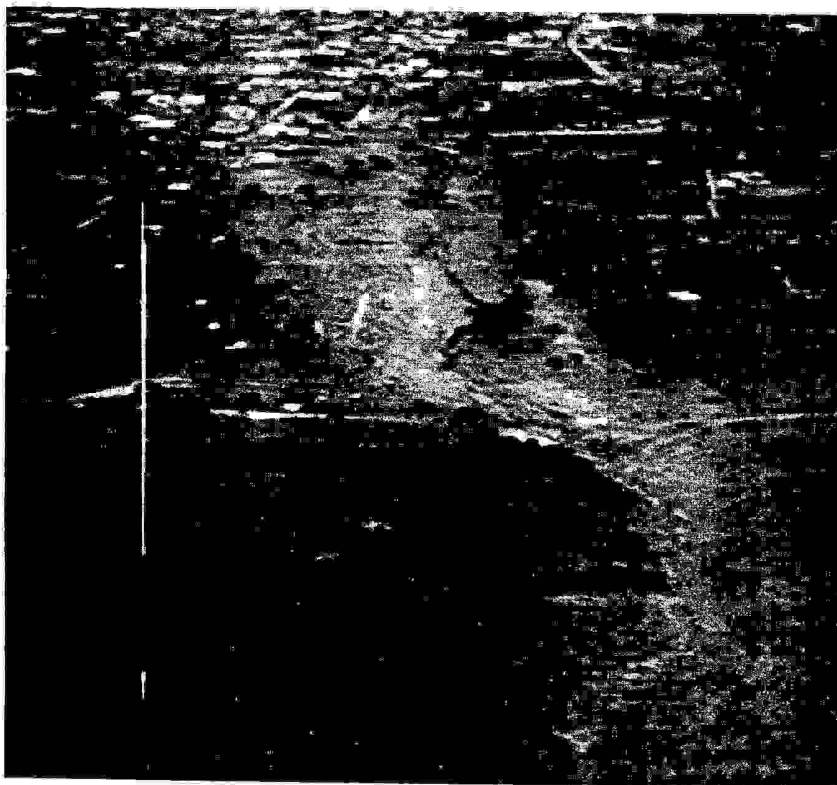


Fig. -II -7-Siano (SA), Campania centre d'Italie.



Fig II – 8- Glissement de terrain en Chartreuse (France).

- Le glissement de la Clapière, est l'un des plus rapides glissements de terrains dans le monde.

Ceux-ci complexes et difficilement prévisibles, capables de provoquer des catastrophes majeures, ils nécessitent des mesures de prévention. Ainsi, le glissement de La Clapière est particulièrement surveillé depuis 1970, par le Centre d'Etudes Techniques de l'Équipement d'Aix-en-Provence. Ce phénomène atteint une hauteur de plus de 650 mètres, ce qui fait de lui le plus grand glissement actif d'Europe. L'écoulement, amorcé depuis quelques années, est dû à une masse instable, de l'ordre de 50 millions de m³, qui glisse de 1 à 10 m par an. Spectaculaire et très connu dans la région, il est susceptible de barrer la vallée de la Tinée. Il provoquerait alors l'inondation en amont de la ville de Saint-Étienne-de-Tinée et, en cas de rupture de ce barrage instable, la destruction, par la vague déferlante, des villages situés en aval.

Comme tout événement naturel, les mouvements de terrain peuvent avoir des causes diverses, parfois complexes et soumises à l'activité humaine. Ils sont répartis en deux grandes catégories. La première, les détachements en masse, sont des ruptures sèches de la masse rocheuse. Elles se réalisent particulièrement dans des terrains sédimentaires comme les massifs rocheux de calcaire Jurassique présents dans le Sud-est de la France. Par l'influence de la tectonique des plaques, donc les joints se courbent et présentent alors un pendage (un plan incliné) favorisant le glissement de masses rocheuses.

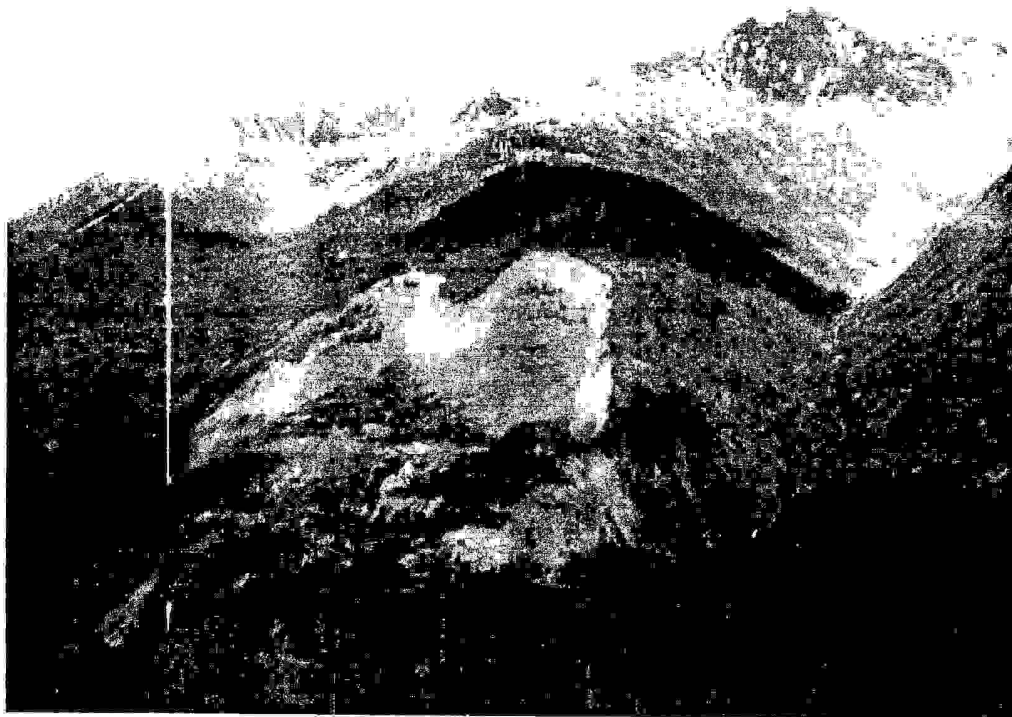


Fig. -II .11- Activation du glissement de la Clapière : (2004)
Détachement d'une grande masse de terre

Parallèlement à ces mouvements relativement rapides, on observe aussi les "glissements en solifluxion". assimilables à des écoulements boueux, ces phénomènes sont plus lents. Ils se déclenchent lorsque le terrain entier est gorgé d'eau, et partent à partir de la niche de décollement.

Le paramètre principal du glissement est l'eau,

II- 3 -Facteurs aggravant le glissement de terrain :

II – 3 -1 Caractéristiques des terrains :

En premier lieu, on trouve bien entendu la configuration topographique et tectonique de l'endroit, plus la pente d'un versant est forte, plus le risque de glissement est grand.

Il faut considérer le pendage des couches. En effet, si les couches stratifiées sont dirigées selon la pente des versants, l'instabilité est plus grande car les joints de stratification sont autant de zones de moindre cohérence, donc plus sensibles au déséquilibre.

Par ailleurs, l'existence de discontinuités, de fractures, au sein d'un massif est aussi responsable d'éboulements.

Dans ces zones de fragilisation (failles, fractures, fissures, cavités, diaclases, etc...), l'instabilité est importante. Et, selon l'orientation et le pendage des discontinuités, associés à la géométrie du versant et la nature des roches, ces plans de fragilisation peuvent être les frontières des glissements ou éboulements.

Enfin, les formations rocheuses répondent à diverses caractéristiques géo mécaniques : la roche peut être cassante, fragile, ductile, avec une tendance à la plasticité ou à l'élasticité. Ainsi, l'argile est une roche fortement ductile qui aura tendance à se déformer en glissant. Les glissements de terrain sont donc beaucoup plus fréquents dans le cas de sols argileux.

II – 3- 2 L'eau, une menace permanente :

L'eau est un paramètre principal provoquant les mouvements de terrain. Ce liquide a une double action : chimique et mécanique.

Différents phénomènes d'altération chimique peuvent conduire aux glissements de terrain.

- L'hydratation des minéraux : les roches sont composées de minéraux dont certains peuvent "boire" l'eau ; c'est-à-dire incorporer des molécules d'eau dans leur réseau cristallin. Cela a pour conséquence de faire gonfler la structure cristalline, puis de la briser, et donc d'altérer la roche.

Le gonflement des cristaux peut aussi se faire par l'oxydation du fer existant dans la structure minérale.

- La décarbonatation : il s'agit d'un phénomène de solubilisation du calcaire, par la dissolution du CO₂, Cela produit du carbonate de calcium, et surtout altère la roche.
- L'hydrolyse : est une réaction chimique entre le minéral et l'eau ; elle donne un nouveau composé plus petit. C'est de cette façon que la roche est le plus souvent altérée.

L'action mécanique est essentiellement produite par le ruissellement ; il use et désagrège la roche qui peut conduire à une déstabilisation de la masse rocheuse. Cette action explique que les glissements sont favorisés lors de pluies diluviennes ou de la fonte des neiges ; ceci est caractérisé par la mise en évidence des relations entre pluviosité, fonte des neiges, et vitesse sur le glissement de terrain ; comme exemple, on site celui de Dumière et Rabuons (France) date du 1^{er} juillet 1993 au 30 juin 1994.

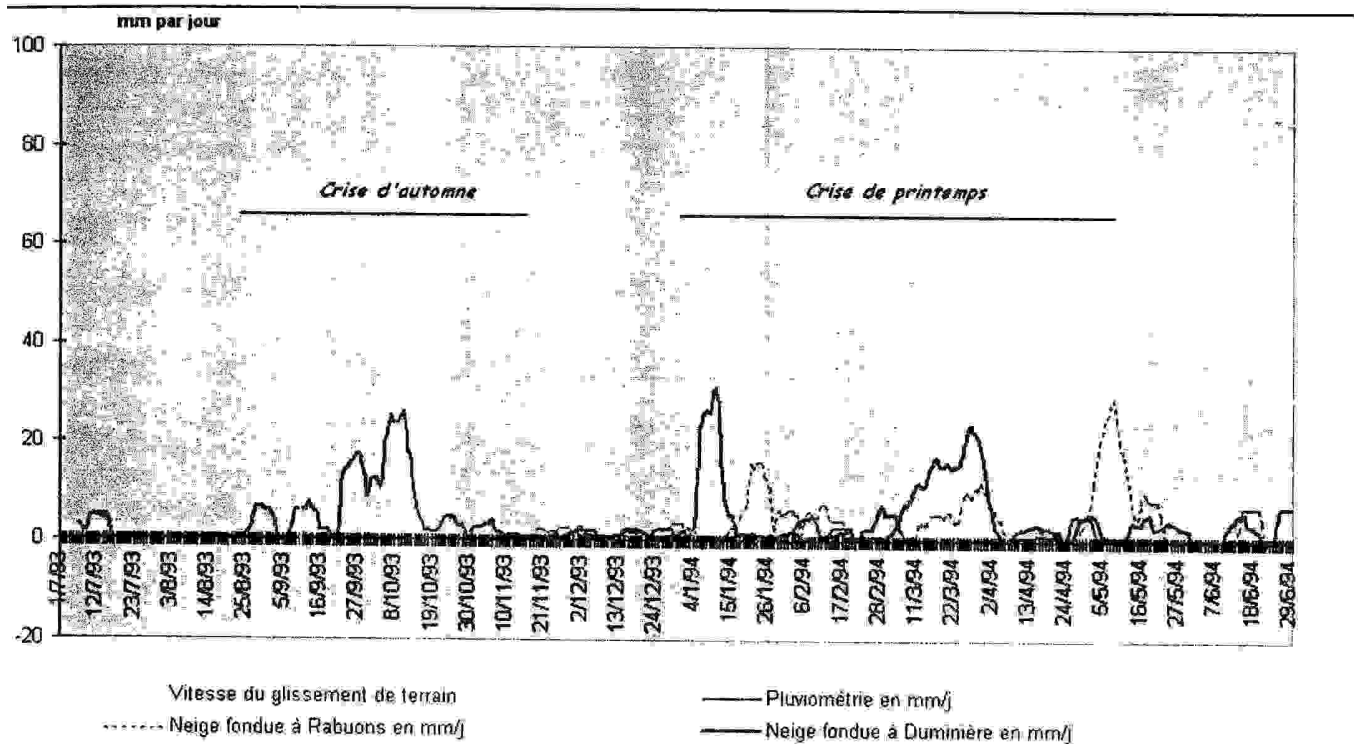


Fig. - II -12-shématisation : pluviométrie / années

II- 3 -3 Le risque sismique :

Le séisme, est la manifestation du passage d'ondes dans le sol. Par l'action de ces vibrations, les différents terrains ondulent selon leurs propres caractéristiques. Mais si l'énergie du séisme est supérieure à la capacité de vibration du terrain, celui-ci devient instable. D'où la création de nouvelles fractures qui peuvent amener à des glissements de terrain.

Toutefois, ce sont les fractures déjà existantes qui sont les plus grandes zones de faiblesse lors d'un séisme. Ce sont aussi des zones qui ont tendance à canaliser les ondes sismiques lorsque se produisent des séismes.

C'est pourquoi on observe souvent des glissements de terrain dans les zones où il existe de nombreuses discontinuités.

Il faut aussi analyser le comportement du terrain face aux ondes sismiques. En effet, si le terrain est granuleux avec une forte concentration en eau, l'action des ondes sismiques provoque un phénomène de liquéfaction. Le sol va alors se comporter comme un fluide et cela donnera lieu à un glissement de terrain si la pente du versant est suffisante.

II – 3- 4 L'action anthropique : dangers et prévention :

Les glissements de terrain peuvent aussi être engendrés par l'homme.

Différents cas sont possibles, parmi eux on peut citer :

- suite à un déboisement, les sols n'étant plus retenus par les racines des arbres, l'ensemble du versant est déstabilisé.
- une mauvaise gestion de l'eau peut aussi être à l'origine de glissements : l'eau peut s'accumuler dans les terrains jusqu'à provoquer une avalanche de boue, rapide, destructrice et incontrôlable.
- la construction d'une infrastructure routière doit faire l'objet d'une étude géologique préalable, car le déblaiement de la base d'un versant pour la construction d'une route peut déstabiliser toute la partie supérieure, et provoquer des chutes de blocs et des glissements.

Cette liste n'est pas exhaustive, c'est pourquoi des Plans de Prévention des Risques Naturels sont faits afin d'éviter des catastrophes naturelles majeures.

Si l'action de l'homme peut provoquer des glissements de terrain, elle peut aussi assurer sa sécurité et ses biens. En effet, dans la majorité des cas, les grands mouvements sont peu rapides

et donc les victimes rares. Mais, en cas de glissements soudains, comme les coulées

boueuses, les populations sont plus vulnérables. Par ailleurs les aménagements humains sont

endommagés dans les deux cas : de la simple fissure dans le mur, à la destruction complète du

bâti. Enfin, des effets secondaires, comme les pollutions, peuvent survenir, rendant la situation

d'autant plus critique. Afin de réduire ces effets et d'éviter des dommages, les états doivent mener

une politique de prévention qui prend en considération ces risques dans l'aménagement du territoire et les décisions d'urbanisme.

Face à ces dangers, des techniques de prévention et de protection existent, et même si aucune n'est totalement sûre, elles ont le mérite de limiter l'ampleur des dégâts. En effet, une fois le glissement de terrain déclenché, sa force d'inertie et la masse de matériaux déplacés sont tels qu'il est très difficile de le canaliser. Parmi les techniques de prévention, on notera :

la maîtrise de l'urbanisation, l'adaptation des constructions aux risques, la surveillance et l'information des populations.

Qu'en est-il des techniques de protection ? Elles vont du drainage à la construction de murs de soutènement au pied des zones potentielles de glissement (limiter les dégâts et atténuer la force de la coulée ainsi que son développement.), en passant par une reprise des fondations des bâtiments de lutte contre la dessiccation des sols, d'une correction torrentielle, etc.

Toutefois, la plus naturelle des solutions reste la végétalisation des versants, qui permet de réduire la quantité de matériaux mobiles, par conséquent l'intensité du glissement.

Il existe donc de multiples facteurs susceptibles d'engendrer le glissement d'un versant, à des échelles très variables, et le risque est très fréquent dans plusieurs régions du monde.

Comme un cas d'exemple :

Pour mesurer et surveiller l'évolution du glissement de la Clapière, trois géomètres ont installés des balises placées l'une à une hauteur de 1,10 m d'altitude, l'autre sur le toit d'un garage ; chacune contient des émetteurs qui envoient des signaux au satellite pour l'observation de la terre (SPOT2) ; Les balises émettent à tour de rôle pendant une dizaine de secondes chacune permettant de mesurer avec une précision de l'ordre de 1,5 millimètre la distance qui les sépare ; celle installée en ville étant fixe, l'autre se trouvant sur la Clapière (terrain instable et actif) bougera alors selon Les mouvements observés. Sachant que ce glissement s'active de plus en plus en automne, et en hiver ; il est même arrivé à ce qu'il atteigne un pic de 20 cm / jour en septembre 94 et qui est une vitesse de glissement spectaculaire. Un programme de recherche Franco-italien a été lancé pour tenter de percer l'énigme des glissements notamment ceux de : La Clapière en France, et Grand Paradis en Italie.

II- 4 CLASSIFICATION DES GLISSEMENTS DE TERRAIN

La classification des mouvements de terrain repose sur la vitesse avec laquelle ils se produisent. La première catégorie regroupe les mouvements lents et continus, tels que les affaissements, les tassements et les glissements. En s'accélération, ces derniers peuvent alors être rattachés, tout comme les effondrements, à la seconde catégorie : les mouvements rapides et brusques.

Les conséquences de ces catastrophes peuvent être multiples :

évacuation de bâtiments, ensevelissements et destructions d'habitations, perte de vies humaines....

Face à ces phénomènes souvent imprévisibles dans l'état actuel des connaissances, les autorités développent l'information du public sur les zones à risque. Elles communiquent également sur les mesures de prévention et les consignes propres à limiter l'exposition des populations à ces dangers.

Comme exemple on peut citer :

- les Ruine de la commune de Sechilliène ou à l'extrémité Sud du massif de Belledonne, la rupture d'un pan de la montagne est inéluctable. 'Un éboulement d'environ 40 000 m³ sur le site n'est pas d'une qualité parfaite mais montre la puissance de ce type de phénomène.

- Glissement de terrain et coulée de boue aux Philippines :

En février 2006, des pluies torrentielles et un léger séisme ont déclenché un glissement de terrain meurtrier sur l'île de Leyte, près de la ville de Saint-Bernard.

En décembre 2006, une coulée de boue ravageait l'Est de la France.

- Un Aléa dit de sécheresse peut aggraver le risque ; car le retrait -gonflement des argiles déstabilise le terrain.

II- 4-1 Différents types de mouvements :

On distingue cinq types de mouvement des terres.Ivaldi et Block [12] :

- Glissements de terrain
- Chutes de blocs et éboulement
- Coulées de boue
- Effondrements
- Erosions de berges

II-4-1 .1 Les Glissements de terrains :

Par définition un glissement de terrain correspond au déplacement de terrains meubles ou rocheux le long d'une surface de rupture ;

Et comme Facteurs de prédisposition, Les Sols - et Massifs fracturés – les formations meubles et la géométrie des discontinuités par rapport à la topographie.

Et comme Facteurs aggravants : Action de l'Eau – Action Anthropique - Séisme et les occupations du sol.

En sachant que l'intensité est de moyenne à majeure ; et la cinématique est lente à moyenne ; la gravité sera moyenne, et devient un grand risque à l'accroissement des facteurs précédents.

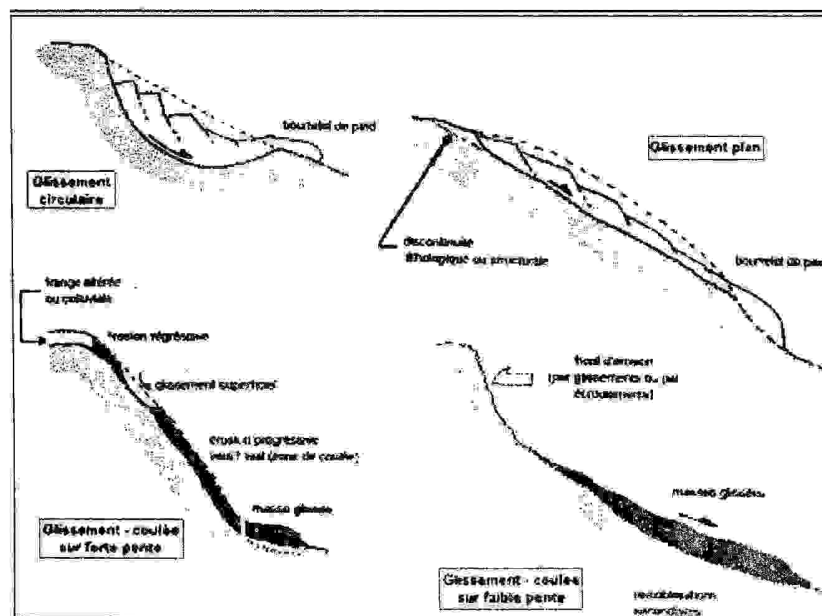


Fig. -II -13- Types de glissements.

II – 4 -1. 2 Chutes de blocs et éboulements :

a/ Les éboulements sont des phénomènes rapides ou événementiels mobilisant des éléments rocheux plus ou moins homogènes avec peu de déformation préalable d'une pente abrupte jusqu'à une zone de dépôt.

b/ Massifs rocheux – Conglomérats avec :

- Discontinuités : stratigraphiques, tectoniques, hétérogénéités...

- Géométrie des discontinuités par rapport à la topographie.

Et comme facteurs aggravant: Eau - Anthropique - Gel/dégel

Séisme - Occupation du sol (végétation)

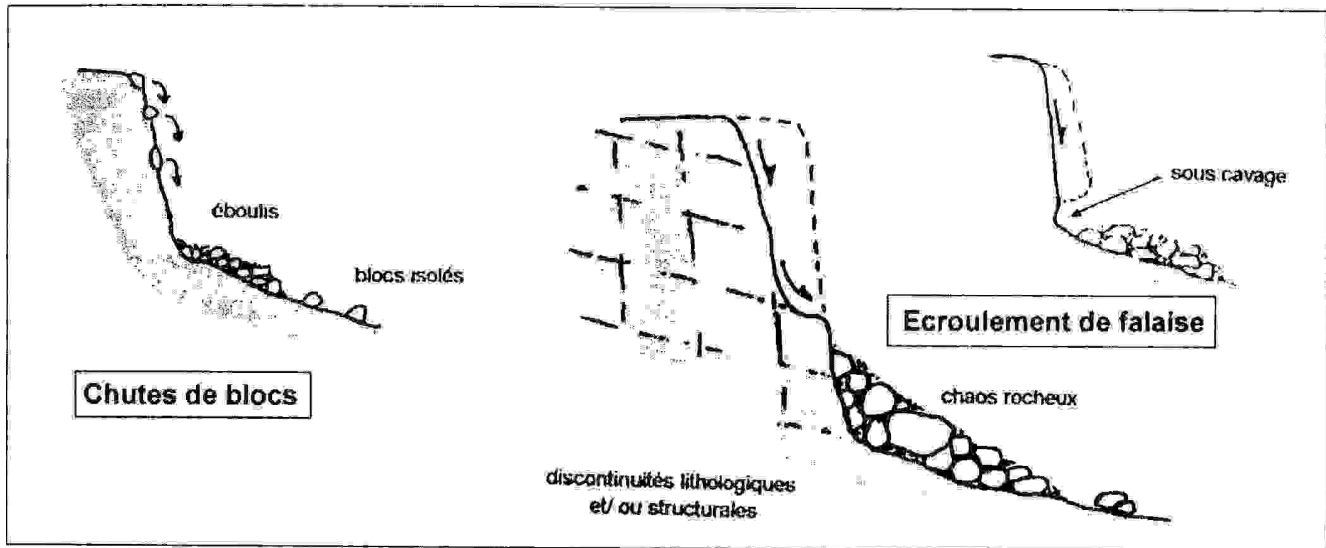


Fig -II -14- Types d'écoulements et chutes de blocs.

II - 4 -1.3 Coulées de Boues :

Par définition : Les coulées de boue constituent le type de glissement de terrain le plus liquide. Dans les régions montagneuses, elles sont souvent provoquées par des pluies torrentielles. Elles peuvent atteindre une vitesse de 90km/h.

Comme facteurs de prédisposition : Les matériaux (très) remaniés

Et comme facteurs aggravant : Eau - Séisme (tectoniques ou volcaniques)



Fig II- 15-coulée de boues

II – 4- 1. 4 Effondrements : Un effondrement est un désordre créé par la rupture du toit d'une cavité souterraine (dissolution, mine,... .) ;

Comme facteurs de prédisposition : Existence de cavité (extraction, dissolution, etc.)

Proximité surface.

Et comme facteurs d'aggravation : Eau, séisme, anthropique.



Fig II – 16- Effondrement d'une cavité

II – 4-1. 5 Erosion de Berges :

Par définition : Une érosion de berges est un phénomène régressif d'ablation de matériaux, dû à l'action d'un écoulement d'eau turbulent (fluvial ou marin)

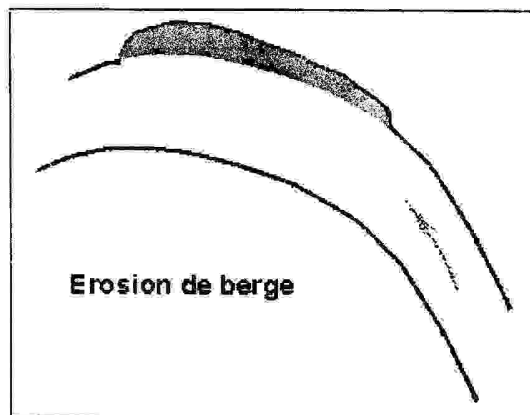


Fig II- 17- Erosion ou détachement de matériaux

II – 5 – CONCLUSION :

Trois familles principales de phénomènes, à l'origine de déplacements importants de matériaux sur les talus et versants, peuvent être donc distinguées :

- les glissements en terrain meuble, caractérisés par la formation d'une surface de rupture le long de laquelle se produisent les déplacements ;
- les éboulements en terrain rocheux, engendrés par le détachement rapide, en général le long de discontinuités préexistantes, d'une masse de rocher qui se disloque lors de sa propagation vers le pied du versant ;
- les coulées boueuses, assimilables à l'écoulement d'un fluide visqueux charriant des éléments de tailles diverses (depuis les fines jusqu'aux blocs) sur des distances parfois importantes.

REMARQUES :

* En considérant la longueur de glissement **L** et son épaisseur **D**, Paulsen [13] et Benaissa [18] :

On définit un critère pour différencier les glissements plans des glissements rotationnels :

- Si $D / L < 0.15$ C'est le glissement de translation qui prédomine.
- Si $0.15 < D/L < 0.35$ On considère que la rupture a lieu par rotation

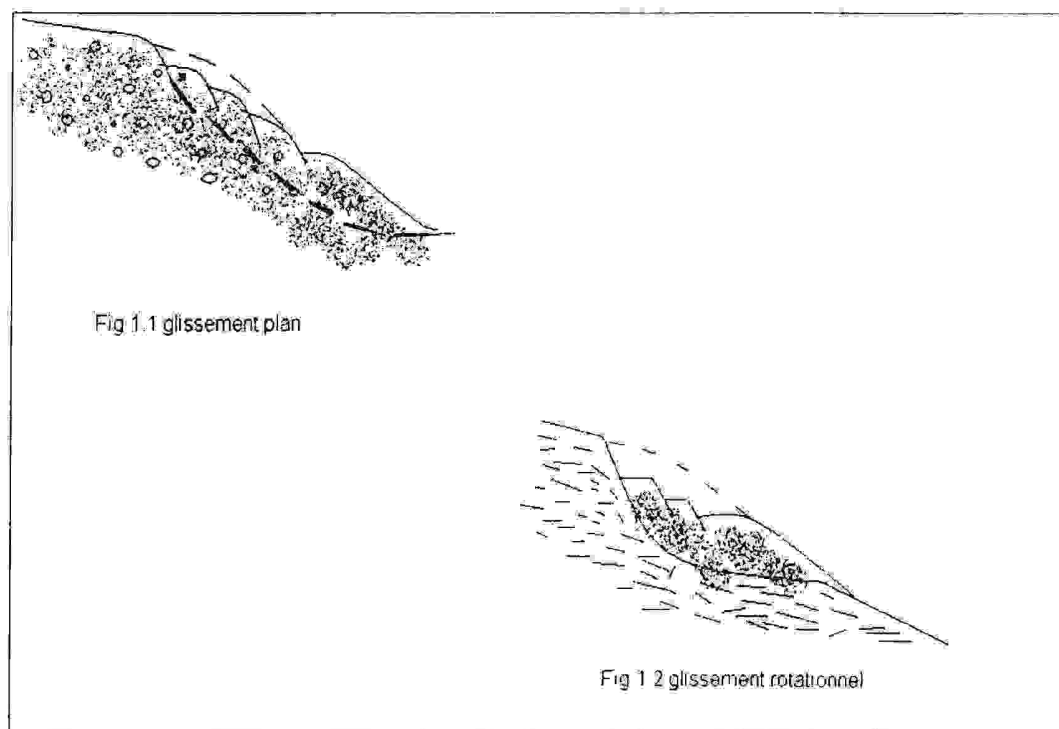


Fig. -II -18 Formes de glissements.

***Les Fluages** : sont des mouvements qui amènent à la solifluxion qui est essentiellement due aux climats périglaciaires, dont lesquelles la teneur en eau après dégel du matériau croît et accélère les mouvements superficiellement comme le montre la figure suivante :

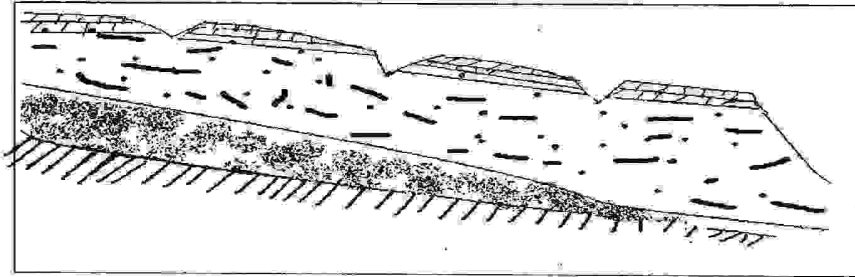


Fig. II-19 fluage : glissement d'El biar.

Chapitre III
Synthèse Générale du Glissement
De la ville de Constantine

III-1 INTRODUCTION :

Plusieurs sites de Glissements de terrains recensés à travers la ville de Constantine ont fait l'objet de plusieurs études principales et très approfondies .

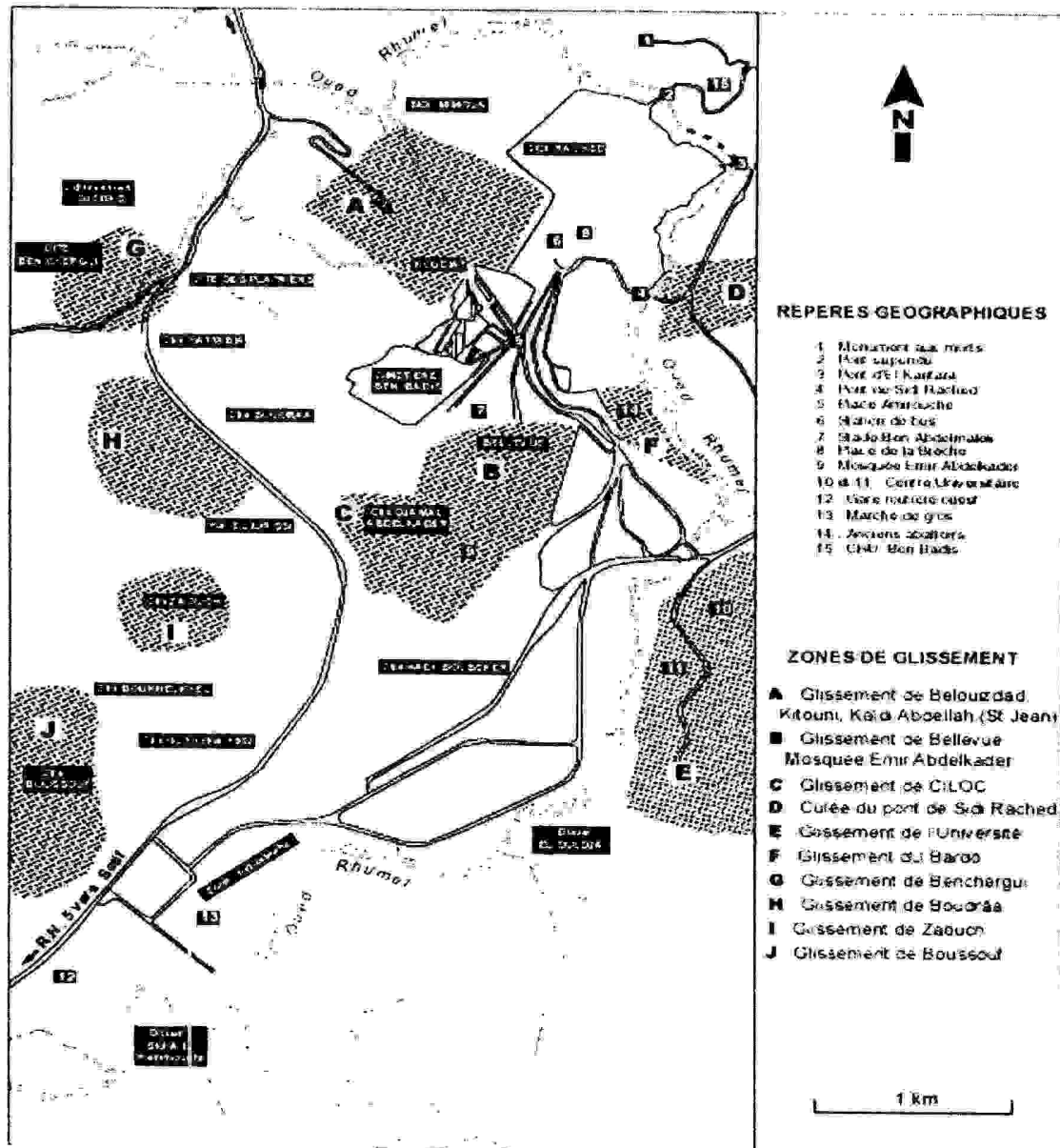


Fig. III – 1: Principales zones de glissements localisées dans le périmètre urbain de la ville de Constantine (source Belouar 2005).

Il s'agit principalement de :

- zone A (Belouizdad –Kitouni –Kaidi –Abdellah -Ancienne décharge publique)
- zone B (Bellevue Mosquée Emir Abdelkader)
- Zone C (Ciloc)
- Zone D (Culée du pont de Sidi Rached)
- Zone E (Université de Constantine)
- Zone F (Glissement du Bardo)
- Zone G (Glissement de Ben Chergui)
- Zone H (glissement de Boudrâa)
- Zone I (Glissement de Zaouch)
- Zone J (Glissement de Boussouf)

Les habitants de la ville sont toujours inquiets et s'interrogent quant aux solutions probables qui leur éviteraient un jour de voir leurs maisons s'écrouler comme des châteaux de cartes.

Les 60 000 personnes qui résident, travaillent ou vont à l'école dans les secteurs Belouizdad, Kitouni, Kaidi n'ont aucune certitude concernant l'avenir de leurs quartiers. Le boulevard Belouizdad (ex-Saint-Jean), qui existait déjà en 1473 et qualifié de "doyen" de la ville européenne, montre des signes de délabrement avancés, se reflétant au niveau du bâti qui présente bon nombre de fissures et même des cages d'escaliers penchées pour la plupart. A cet effet, l'on a appris que les mouvements du sol dans cette région ont été enregistrés vers 1935, bien avant l'urbanisation qui a réactivé les glissements de terrain. Mais les véritables grands dommages ont commencé en 1972, dans le quartier de Kaidi Amirouche, quand le processus d'urbanisation, enclenché pendant cette décennie, s'est accru et souvent de façon anarchique. Au lieu de se stabiliser, les déplacements du sol ont connu un regain d'activité avec l'effondrement en décembre 1993 d'une soixantaine de maisons dans le secteur Kitouni et Kaidi après la période qui était particulièrement pluvieuse Benaïssa [8] ; Paulsen [13] et Evans [14].

III – 2- LES DIFFERENTS GLISSEMENTS DE CONSTANTINE ET LEURS TYPOLOGIES :

Les glissements de terrain encourus à Constantine ont marqués la ville par certains désordres allant d'une fissuration à un effondrement total de certaines habitations ; cela nous oblige à bien étudier ce phénomène de tous les cotés, voir faire un diagnostic, en se basant sur les données géotechniques et surtout sur la cartographie globale de la ville. Pour cela, on a essayé de rassembler différentes cartes concernant cette région spécifiant : la géologie, l'hydrogéologie, la géomorphologie, et la carte de glissement montrant toutes les localités atteintes.

On a constaté que chaque site a son propre type, et l'aggravation du problème diffère d'un site à l'autre ainsi on a pu établir une typologie comme suit :

III – 2- 1 Site de Bélouizded - Kitouni – Kaidi Abdellah :

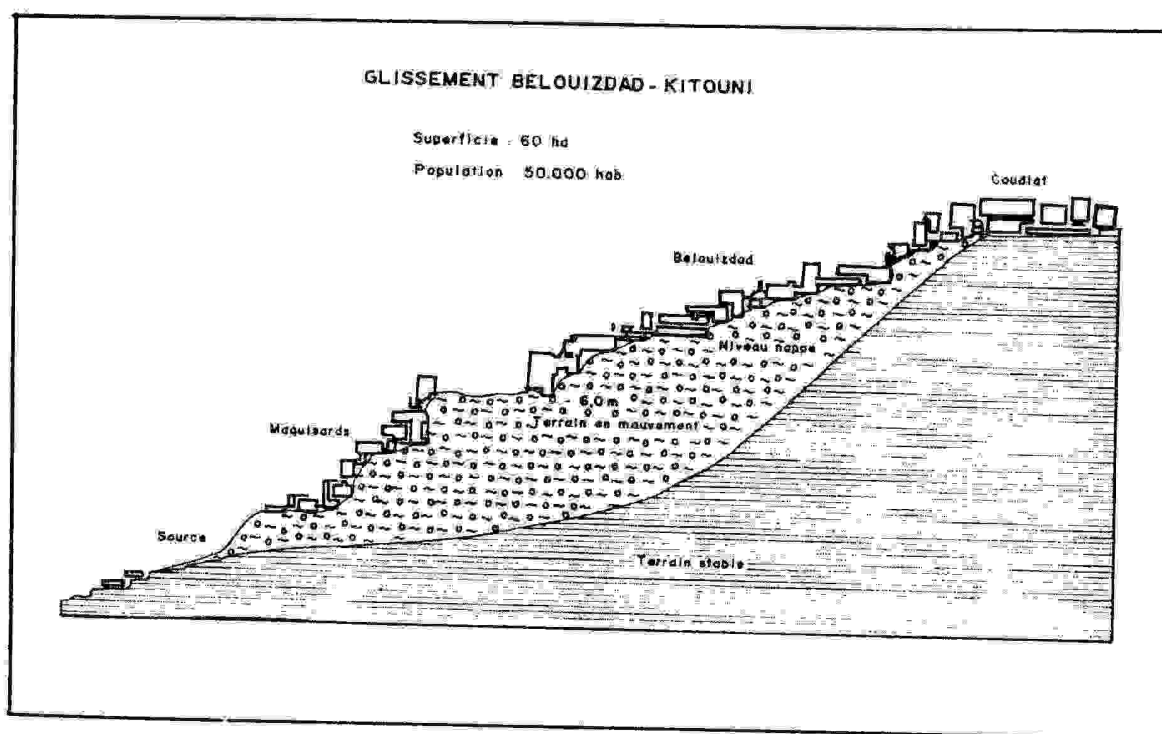


Fig. -III – 2 Zone probable de rupture ; centre ville. (Belouar 2005)

L'instabilité des sites de Bélouizdad-Kitouni-Kaidi Abdallah est la plus préoccupante de ces mouvements gravitaires qui affectent la région, de part :

- sa situation en plaine zone urbaine.
- l'importance des désordres induits.
- son extension.
- la menace qu'il constitue sur le bâti limitrophe.

Elle couvre une surface d'environ trente hectares (30 ha) et s'étend entre le boulevard Belouizdad, en amont et la rive gauche du Rhumel en aval. Dans cette direction, les quartiers et lotissements les plus affectés sont : Belouizdad, Kitouni, Maquisards, terrains Sabatier et Kaidi Abdallah. Les désordres se manifestent par une fissuration plus ou moins importante du cadre bâti, suivant que celui-ci est situé à l'intérieur de la zone instable ou sur ses limites. Il en est de même de l'état de fissuration et déformation des routes d'accès qui relient ces quartiers.

L'instabilité de ces zones est connue depuis au moins le début des années 1970.

Il apparaît cependant très vraisemblable que, compte tenu de la morphologie de la zone, les phénomènes ont une origine très ancienne ; et ont du se trouver réactivés périodiquement par les évolutions climatiques, et plus récemment par l'urbanisation dont on ne peut exclure qu'elle ait, pour des raisons seront évoquées par la suite, terrassement, non maîtrise des réseaux, entraîné une accélération des phénomènes, Il apparaît également que cette urbanisation a probablement joué au moins en partie basse un rôle de révélateur. Là où des glissements ont pu se produire dans le passé, dans des zones agricoles, les conséquences étaient mineures, elles deviennent majeures dans les zones habitées.

Des études ont été menées, par sondage profond (90 à 110 m) sur la partie haute du glissement,

Les présentes études sont menées sur la base :

- de la consultation des études antérieures.
- d'une cartographie géologique et géotechnique au 1/2000.
- d'un inventaire des points d'eau (sources captées, émergences, fuites d'eau notables).
- d'une investigation par sondage carottés, équipés en piézomètres et inclinomètres.

III-2-.1-1 Géomorphologie du site :

La zone d'instabilité couvre une surface d'environ 30 hectares, entre le Boulevard Belouizdad et L'oued Rhumel. En forme d'une langue, elle affecte une distance de 1100 m de longueur et de 200 à 400 m de Largeur en étant élargie a l'amont, et rétrécissant à l'aval. En prenant toute une altitude variant entre 370 et 610 m, soit une dénivelée de 240m environ dont la pente est de 23% de l'ordre de 13°.

Cette présentation du site ressemble à une gouttière car il comporte une succession de pentes escarpées et de pentes plus douces, qu'on peut décrire en allant vers la partie la plus profonde :

- Berge du Rhumel avec escarpement de 5 à 10 m de hauteur.
- Pente de 18% de l'ordre de 10° sur 250 m environ.
- une barre de roche conglomératique dénommée:barre basse et d'environ 15 m de hauteur et 50° environ entre les côtes de 415 et 430 .
- une pente de 15% sur 140m de longueur et qui s'accroît jusqu'à 25% pour atteindre l'avenue du 20 Août.
- une pente régulière de 200m de longueur, qui s'accroît ensuite jusqu'à environ 25% pour atteindre l'avenue du 20 août, vers la côte 487, en moyenne.
- une pente de nouveau relativement régulière, sur environ 200m de longueur, avec une pente dans l'ordre de 20%, s'accroissant vers la fin pour atteindre 25%.
- une seconde barre rocheuse, qui sera par la suite dénommée barre haute, d'une hauteur variable, pouvant atteindre une quinzaine de mètres.
- au dessus de la barre, la pente reste forte, de l'ordre de 20% et plus, jusqu'à l'avenue Kitouni, mais difficile a apprécier, car l'on rentre dans une zone de constructions détruites, endommagées, ou existantes, qui ont entaillé le talus.
- au dessus de l'avenue Kitouni, totalement urbanisé, qui est également dans le même cas, où la pente moyenne atteint couramment 30%, et peut atteindre, voire dépasser 45%.

Transversalement, on retrouve un fond relativement peu accidenté, bordé par des rives abruptes.

En conclusion : le glissement de Belouizded est situé sur un versant de pente moyenne 20% orienté

Nord Ouest vers l'oued Rhumel avec des pentes plus fortes (supérieures parfois à 30 %) existantes entre ces deux points extrêmes. Cette déclivité est interrompue par deux niveaux de côte en contrebas des quartiers de Kitouni-Maquisards. La deuxième moins haute (10 m) est située à la côte de la partie aval du glissement, à 250 m du Rhumel. L'urbanisation qui date du début du vingtième siècle a par ailleurs, induit une modification morphologique intense, par suite des travaux de terrassements et de l'ouverture des routes d'accès. Les talus conglomératiques taillés à la verticale, le long des boulevards (Belouizded-Kitouni), en sont les témoins de ces anthropiques. L'ensemble des zones instables présente une forme allongée, suivant une sorte de gouttière évasée dans sa partie haute qui est en outre la plus urbanisée (Belouizdad, Kitouni, Maquisard). Cette morphologie favorise la convergence d'eau d'origine diverse : météorique, fuites d'eau potable et usée et douteux dans la mesure où l'on dit par la suite que ceci est lié à la granulométrie.

III -2 -1-2 géologie :

Du point de vue géomorphologique, le glissement de Bélouizdad est situé sur un versant de pente moyenne 20%, orienté Nord Ouest vers l'oued Rhumel avec des pentes plus fortes (supérieures parfois à 30%) existantes entre ces deux points extrêmes. Cette déclivité est interrompue par deux niveaux de falaises abruptes : la première falaise, la plus haute (20m) et la plus élevée est située à la côte 530 dans la partie aval du glissement, à 250m du Rhumel, sur sa rive gauche. L'urbanisation qui date pour l'essentiel du début du 20ème siècle, a par ailleurs, induit une modification morphologique intense, par suite des travaux de terrassement et de l'ouverture des routes d'accès. Les talus conglomératiques taillés à la verticale, le long des boulevards (Bélouizdad, Kitouni), en sont les témoins de ces actions anthropiques. L'ensemble des zones instable présente une forme allongée, suivant une sorte de gouttière évasée dans sa partie haute qui est en outre, la plus urbanisée (Bélouizdad, Kitouni, Maquisard). Cette morphologie favorise la convergence d'eau d'origine diverse (météorique, fuites d'eau potable et usée) et douteux dans la mesure où l'on dit par la suite que ceci est lié à la granulométrie.

III -2-1-3 Stratigraphie :

Du point de vue lithologique, les formations prédominantes sont représentées par une alternance d'argiles et conglomérats, rouges, mio-pliocènes. Dans le détail, la série stratigraphique est la suivante

de la base, vers le sommet :

- **les marnes grises feuilletées** : cette formation n'affleure pas sur le site du glissement de Bélouizdad ni à sa périphérie. Elle a été par contre, recoupée à grande profondeur (90-100m), par d'anciens sondages réalisés dans la zone instable (sondage SC1) et en amont de celle-ci (sondage SC3). Les coupes de sondages relèvent des surfaces lustrées et striées caractérisant ces marnes. Cette description correspond, sans doute, aux formations crétacées telliennes qui affleurent plus au NE du glissement de Bélouizdad, en rive droite du Rhumel.
- **Les conglomérat de base, d'âge miocène** : il affleure très localement dans le terrain Amirouche, en dehors de la limite Est du glissement de Bélouizdad. Il est représenté par une brèche à éléments anguleux de taille centimétrique, bien cimentés. Cette brèche renferme des passées plus cohérentes sablo argileuses, compactes, et quelques lentilles de poudingues peu épaisses. Elle affleure largement à l'Ouest de la ville de Constantine (Dj Chettabah) où elle est plus homogène et épaisse (plus de 100m). A Bélouizdad, elle est recoupée par la plupart des sondages carottés (SB1, SB2, SB3) qui montrent qu'elle est assez continue suivant une épaisseur moyenne de 50 à 70m.
- **Le conglomérat et les argiles rouges** : cette formation, complexe dans sa géométrie, et dans laquelle il est pratiquement impossible d'établir une continuité des divers types de dépôts sur plus de quelques dizaines de mètres, est la plus développée sur le site de Bélouizdad et ses environs. Elle est représentée par les argiles rouges limoneuses et des niveaux plus grossiers, parfois franchement conglomératiques. La forme lenticulaire des niveaux conglomératiques qui peuvent néanmoins, atteindre 10 à 20m d'épaisseur, laisse penser beaucoup plus à des chenaux de dépôts grossiers, dans un environnement argilo limoneux, plutôt qu'à une simple alternance entre les deux pôles lithologiques.

Du point de vue stratigraphique, les travaux antérieurs datent indifféremment, les formations Conglomératiques (brèches et poudingues) du même âge : le Miocène supérieur, ou bien le Mio-Pliocène. D'après les différences notables de faciès et de structure, les conglomérats et argiles rouges seraient plus récents et d'âge probable Pliocène ;
- **les colluvions argilo graveleuses** .Elles recouvrent largement les formations sous-jacentes et

résultent des conglomérats et argiles rouges du site de Bélouizdad, dont elles ne se distinguent que par son aspect plus remanié et moins dense (photo 5) avec une épaisseur de quelques mètres.

- **La terrasse alluviale du Rummel.** Elle est de nature limoneuse et sableuse, et forment une bande étroite sur la rive gauche du Rummel qu'elle domine sur 5 à 8m. Son Talus qui forme les berges du cours d'eau, est exposé à l'érosion par le flot de l'oued et à des ruptures fréquentes lors des crues d'hiver.
- **Les remblais.** Ils sont de nature hétérogène et sont difficilement distingués sur le terrain par suite de l'urbanisation et de la terre végétale qui les recouvre sur les talus non construits. Ils occupent en particulier l'espace aval de la première falaise jusqu'à la route menant vers l'oued El Mellah, à l'est du terrain Sabatier. Des remblais de nature argilo graveleuse forment les terrains vers le NE en extension de la Poudrière et Amirouche. (Photo 6). Ces dépôts épais (plus de 5 m) sont anciens, d'après certaines cartes topographiques datant des années 1950, et qui résultent probablement des travaux de terrassement et d'urbanisation de l'époque Française ou Turque. Sur le talus aval instable du quartier des Maquisards sont également reconnus des remblais épais, sachant que de nombreuses maisons fissurées sont construites sur ces remblais.

III -2-1.4 Tectonique :

Dans le site de Bélouizdad, les arguments qui militent en faveur d'accidents associés aux deux falaises de Bardo et de Bélouizdad sont :

- leur proximité de la grande faille verticale qui met en contact, suivant un rejet de plusieurs dizaines de mètres, le massif néritique et les conglomérats pliocènes ;
- son âge récent, quaternaire, qui conserve une bonne relation entre la tectonique et la morphologie ;
- l'irrégularité du toit de la brèche et du substratum tellien.

L'espace Kaïdi Abdallah Sabatier, compris entre les deux falaises (c'est-à-dire les deux failles), est probablement très remanié ; ce qui expliquerait en partie, la mobilité particulièrement active de cette section de versant.

III -2-1.5 Hydrogéologie :

Dans les formations conglomératiques mio-pliocènes, la présence d'eau souterraine est mise en

évidence par de nombreuses sources dont certaines sont exploitées depuis longtemps. Ces sources, de faible débit en général, sont toutefois généralement pérennes, et sont localisées préférentiellement dans les niveaux conglomératiques grossiers pliocènes, la localisation des sources inventoriées dans le cadre de cette étude fait l'objet d'une analyse hydrogéologique spécifique.

Il est toutefois utile de signaler ici, qu'une humidité particulière est observée, même en saison sèche, à la base des deux falaises et que de nombreuses sources émergentes en contrebas de celles-ci. Compte tenu de ces observations, une analyse comparative de la série stratigraphique, sur le plan de la perméabilité, permet les commentaires suivants :

- les eaux souterraines sont contenues dans la brèche miocène et les niveaux conglomératiques grossiers ;
- les niveaux argilo limoneux roux et dense, renferment une proportion en fines suffisamment élevée qui leur confère une très faible perméabilité. Le sondage carotté SB3, artésien, situé dans la partie aval du glissement de Bélouizdad, confirme cette différence de perméabilité entre les niveaux conglomératiques aquifères, saturés et sous pression et les horizons argileux imperméables qui les rend captifs.

III -2- SITE DE LA POUDRIERE :

III -2-2 -1 description :

La poudrière est un lotissement situé au nord du terrain Amirouche, sur le versant rive droite du Rummel. Un habitat dense y est développé, sans viabilisation, sur un replat limité dans sa partie orientale, par un thalweg profond (25 à 30m) de pente raide (100%).

Un glissement de terrain récent s'est produit brutalement, à la faveur des pluies intenses tombées en hiver 2003. Les ruptures induites en surface dessinent un arc de cercle recoupant à ses extrémités les pentes raides du thalweg. La superficie mise en mouvement est de l'ordre de 8000m² dont près de 6000m² environ sont urbanisée.

De nombreuses maisons et une école, ont été détruites dans le détail, le glissement s'est manifesté par :

- un escarpement de tête de talus, parallèlement suivi d'un effondrement bien visible dans l'école.

- une série de fissures secondaires, parallèles à l'escarpement principal et en aval de celui-ci, ayant pour effet cumulé, l'affaissement de la masse glissée .
- une déstabilisation du talus rive gauche du thalweg entraînant la dégradation d'une route d'accès menant vers le Rhumel, et l'inclinaison d'arbres.

L'observation du talus déstabilisé montre qu'il est constitué dans sa partie supérieure, par un remblai épais (plus de 8m) de nature argilo graveleuse, et à sa base par des colluvions de même nature (Fig. III -3). La distinction entre les deux terrains n'est pas toujours aisée.

Les facteurs qui ont contribué au déclenchement de ce glissement de terrain sont variés. Il s'agit en particulier :

- de la faible stabilité naturelle des remblais déposés sur des pentes accentuées. Ces remblais épais, forment sans doute le terrain de fondation de la quasi-totalité des constructions de la poudrière.
- du réseau d'assainissement inexistant dans tout le lotissement de la poudrière. Ainsi, les eaux usées s'infiltrèrent directement dans le sol et maintiennent la saturation des terrains de fondation peu résistants.
- des pluies intenses qui ont contribué à cette saturation préjudiciable d'un versant de faible stabilité initiale.

La zone glissée et affaissée, telle qu'elle se présente aujourd'hui, peut évoluer vers une rupture franche de tout le versant.

III – 2 -2 -2 –Coupe géologique :

La figure suivante montre une schématisation du glissement de la Poudrière caractérisé par un escarpement d'une partie de terrain .

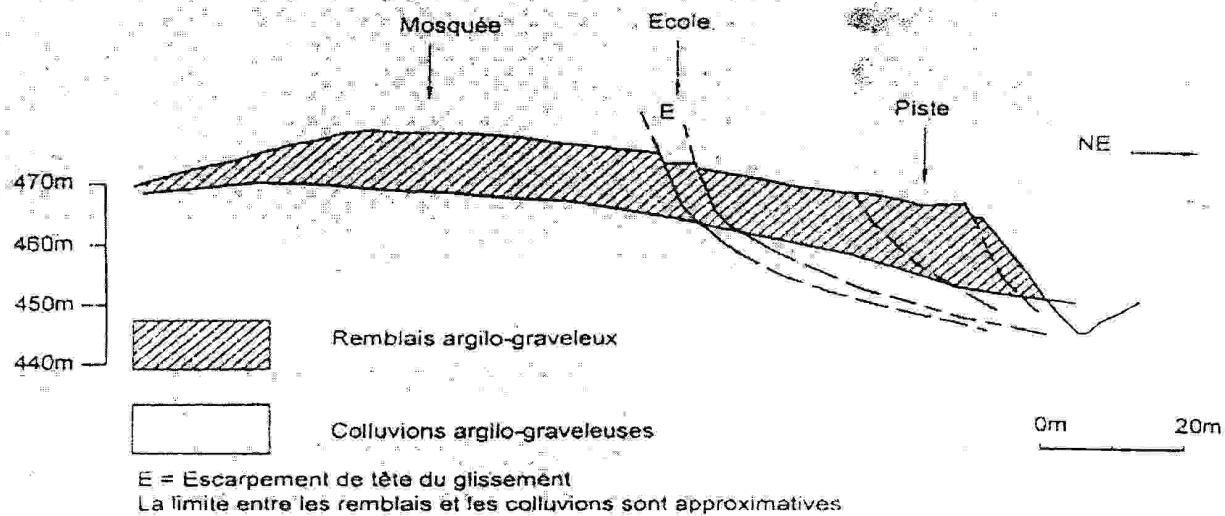


Fig. -III - 3-Coupe géologique du glissement : Site de la Poudrière. (Source DTP).

III - 2-3- SITE DE L'ANCIENNE DECHARGE PUBLIQUE :

Le terrain de l'ancienne décharge d'ordures ménagère est délimité par deux thalwegs profondément creusés sur ses bordures Nord Est et couvre une surface aplaniée d'environ 7 ha qui est actuellement recouverte superficiellement par des remblais argilo-graveleux.

Le talus qui la délimite sur des hauteurs de 40 à 50m, jusqu'au fond des thalwegs permettant les observations géologiques suivantes :

- les conglomérats pliocènes représentent la formation essentielle de la décharge. Ces derniers occupent toute la hauteur des talus jusqu'à la base des premiers dépôts d'ordures. Ces conglomérats de consistance rocheuse, sont peu argileux, et renferment souvent les passées grésifiées qui ressortent dans le relief et qui soulignent leur structure subhorizontale.
- les colluvions à dominante graveleuse, résultant de l'altération locale des conglomérats, sont répandues sur quelques sections de ces talus abrupts. Elles sont peu épaisses et parfois entièrement reprises par l'érosion.
- les matériaux de la décharge et les remblais superficiels, coiffent la surface aplaniée de la décharge, sur une épaisseur de l'ordre de 4 à 6m.

Du point de vue de la stabilité, le terrain support de la décharge ne présente aucun indice de mouvement de terrain. Les talus conglomératiques, bien que fortement pentés, restent stables.

La faible stabilité de ce type de terrain sur des pentes aussi accentuées peut conduire à sa déstabilisation à terme, par :

- les fuites d'eau potentielles d'un réseau d'assainissement difficile à entretenir par suite d'une urbanisation anarchique.
- les surcharges induites par les constructions.

III -2-4 LA ROUTE NATIONALE RN 27 :

La route a subi plusieurs dédommagements et à chaque fois on essaye de réparer ces dégâts par des travaux de confortements qui sont jusqu'à présent inefficaces (rapiécés les tronçons touchés par du goudronnage, Gabionnages etc...). Géologiquement cette partie est constituée de couches conglomératiques en surfaces hétérogènes et c'est le prolongement aussi du complexe d'habitation des Ciloc. Le mouvement de terrain constaté s'oriente vers l'oued El- Mellah. C'est tout un ensemble de mouvements de terrains (Boudrâa + RN 27 + +Hôpital el bir) prolongement du glissement du Ciloc.

III - 2- 5 L'HOPITAL EL BIR :

L'hôpital est construit en 1983, il se trouve au prolongement de la pente du Ciloc immédiatement au Sud-Ouest de la route nationale N° 27. Les dégâts sont l'inclinaison de l'escalier vers l'école mitoyenne et les déformations du sol visible de l'hôpital ceci est du aux canalisations

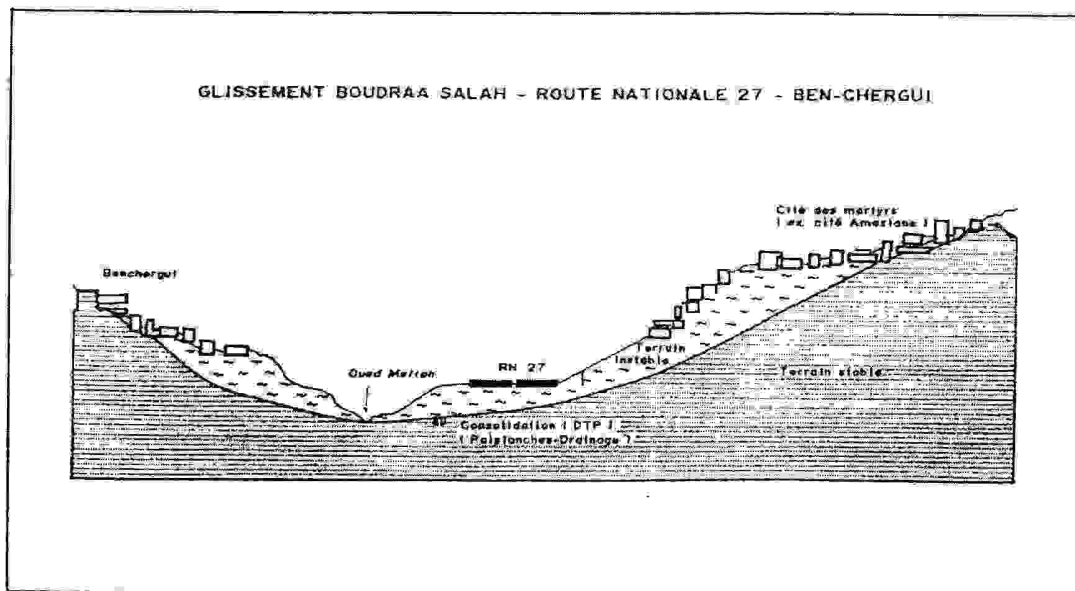


Fig-III-4- Glissement : Route nationale 27 (source Belouar 2005)

III -2-6 -LE GLISSEMENT DE BARDO :

Du point de vue géologique le terrain est constitué de conglomérats sur une profondeur assez importante et il est marqué par une faille. Les couches sont inclinées d'un angle d'environ 30° vers le Sud- Ouest. Les déformations de pente sont très visibles spécialement au niveau de la route et des constructions avoisinantes. Il y a eu la destruction de l'ancien abattoir. Le terrain montre une morphologie exceptionnellement agitée. Ce qui laisse prévoir une ligne de rupture de la sorte Fig III-5 . Le glissement s'étend jusqu'au oued Rummel. L'aval du talus est toujours érodé par les pluies diluviennes qui s'abattent chaque année sur la région, elles créent des déséquilibres en diminuant les contraintes latérales et ainsi provoquant des mouvements de terrain.

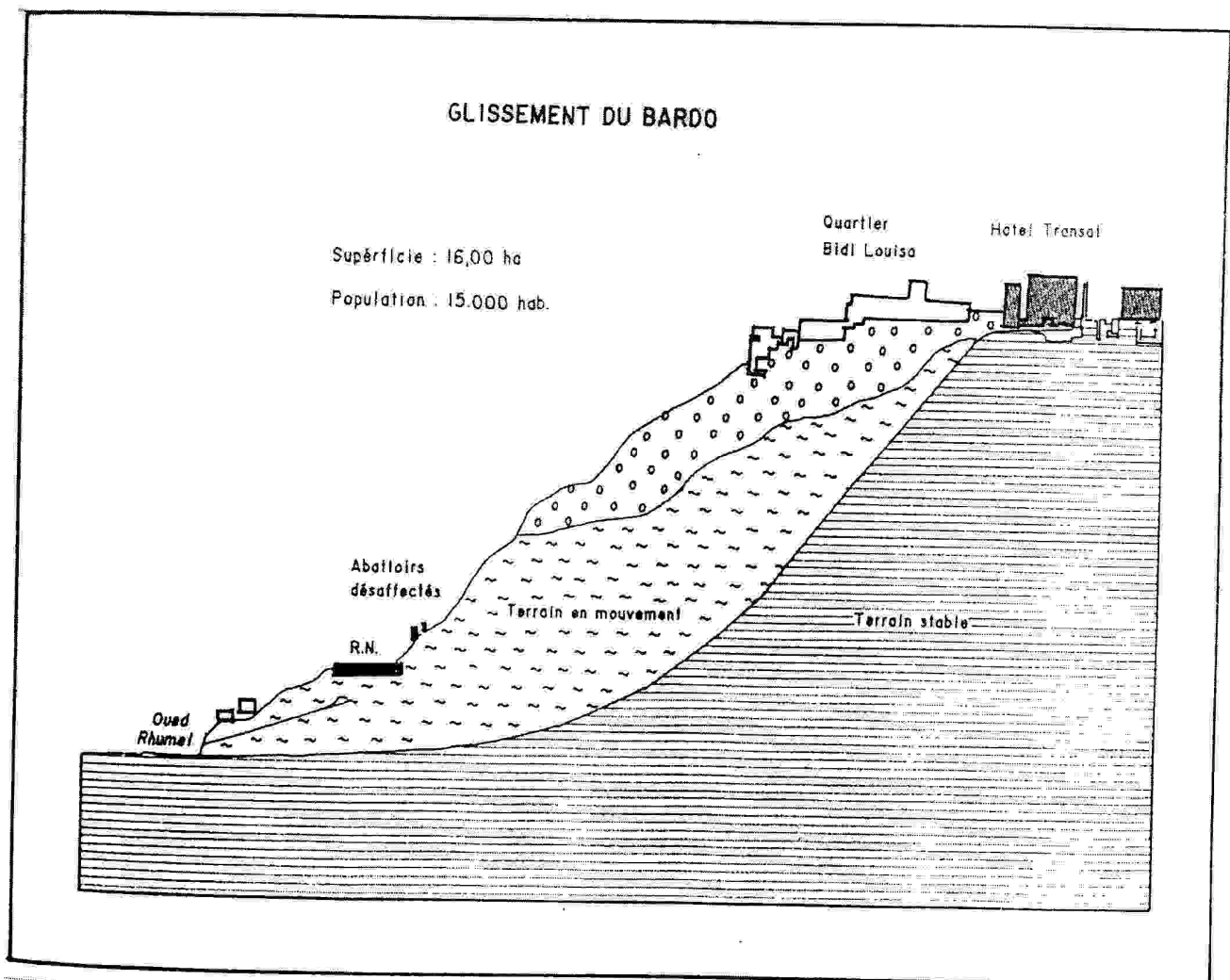


Fig. III -.5 Ligne de rupture probable pour le glissement du Bardo (source Belouar 2005).

III -2-7 LA MOSQUEE EMIR –ABDELKADER :

La mosquée se trouve dans la partie Sud de Bellevue et établie sur une surface nivelée artificiellement. Toute la surface a été le siège d'un remblaiement provenant du décapage des terrains de Madame Rock sous l'ère coloniale. La construction a débuté en 1970 et à ce moment précis ont commencé les déformations de la pente ainsi que de la route avoisinante. L'installation d'un système de drainage n'a fait que retarder ces déformations. Les couches conglomératiques dans la partie supérieure n'ont pas facilitées les forages de drainage ce qui a rendu le système peu efficace. Belouar [30]

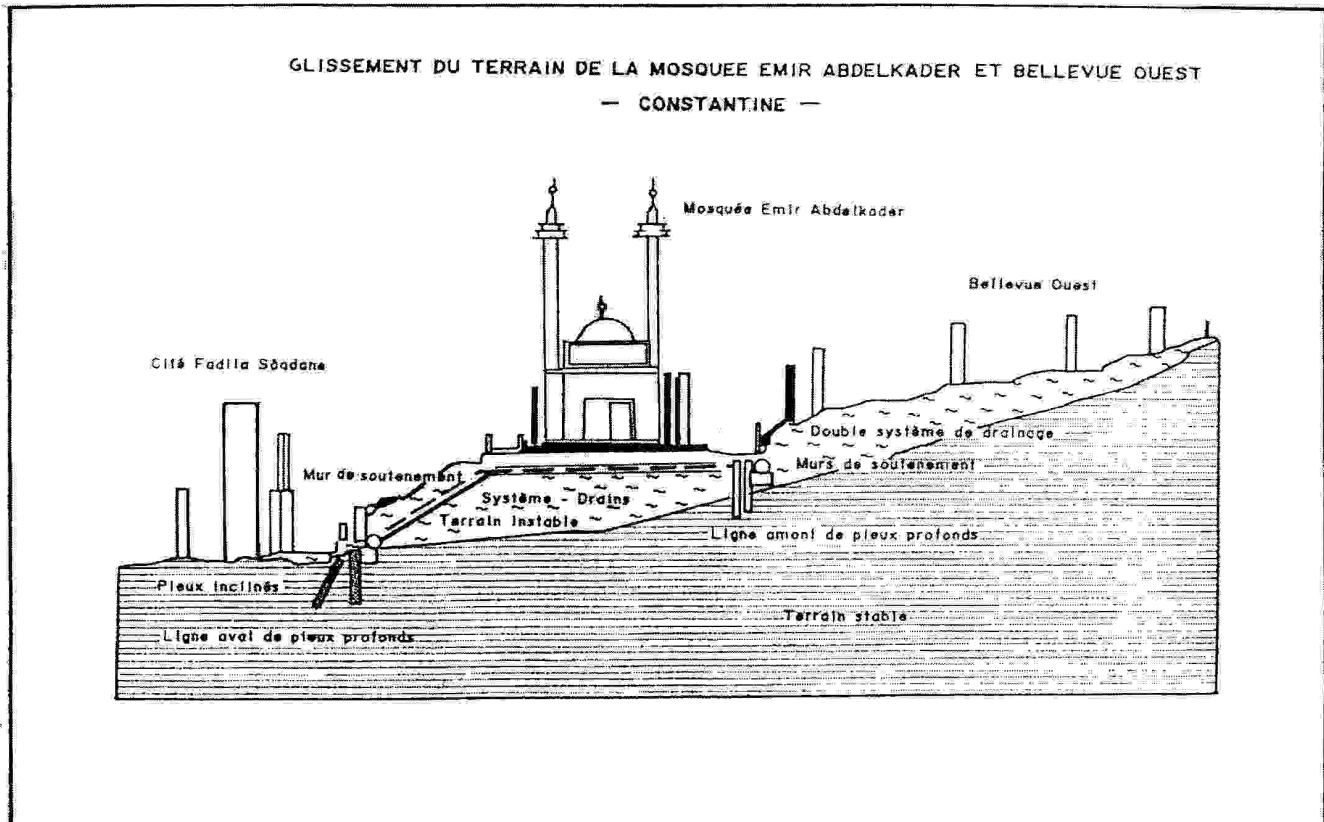


Fig. III-6- Ligne du glissement d'Emir Abdelkader (Source Belouar 2005)

III – 2-8 -LE SITE DU CILOC :

Sachant qu'il abrite (06) six bâtiments de 120 logements chacune, fondés sur pieux de 14 m de profondeur, situé à l'ouest de la rue kaddour boumeddous, la pente adjacente s'oriente vers l'Ouest respectivement vers le Sud- Ouest. Les désordres ont commencés à apparaître en 1987.

Il contient des couches de conglomérats hétérogènes lesquelles se sont superposées des remblais.

La superficie du glissement s'est formée dans une couche d'argile limoneuse en s'inclinant vers le Sud -Est. L'installation d'inclinomètres sur toute l'étendue du terrain n'a pas donné les résultats escomptés et ceci est dû essentiellement à la culture du mesurage, néanmoins certaines mesures inclinométriques ont donné une surface de glissement entre 8 et 12 m de profondeur Benaïssa [9].

En enlevant les arbres se trouvant sur tout le talus le phénomène en marche a repris son mécanisme. La réalisation d'une plate forme en béton armé fondée sur pieux pour stopper éventuellement le glissement en cours a freiné le mouvement relativement. Le groupement exact ainsi que la zone à consolider devrait être fixées par autres mesures géotechniques et géophysiques.

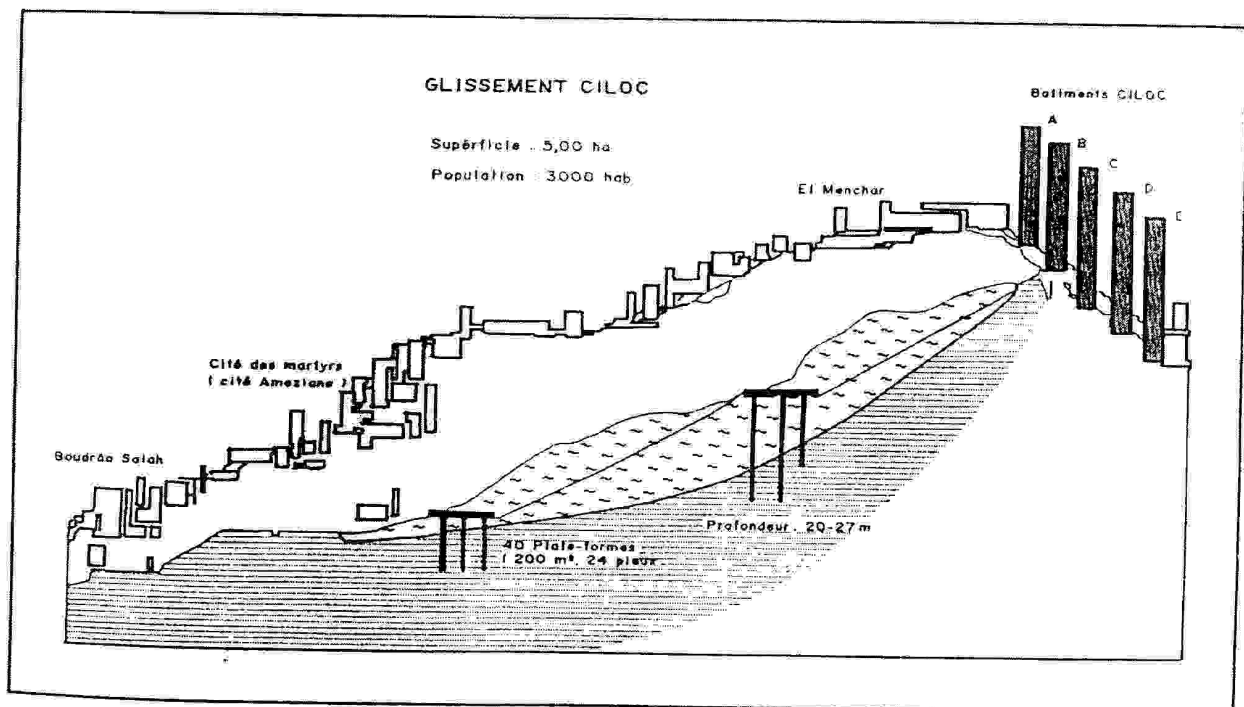


Figure III – 7-. Représentation des lignes de rupture probables pour le site du Ciloc avec les travaux de confortements(dalle en B.A plus les pieux)(Source Belouar 2005)

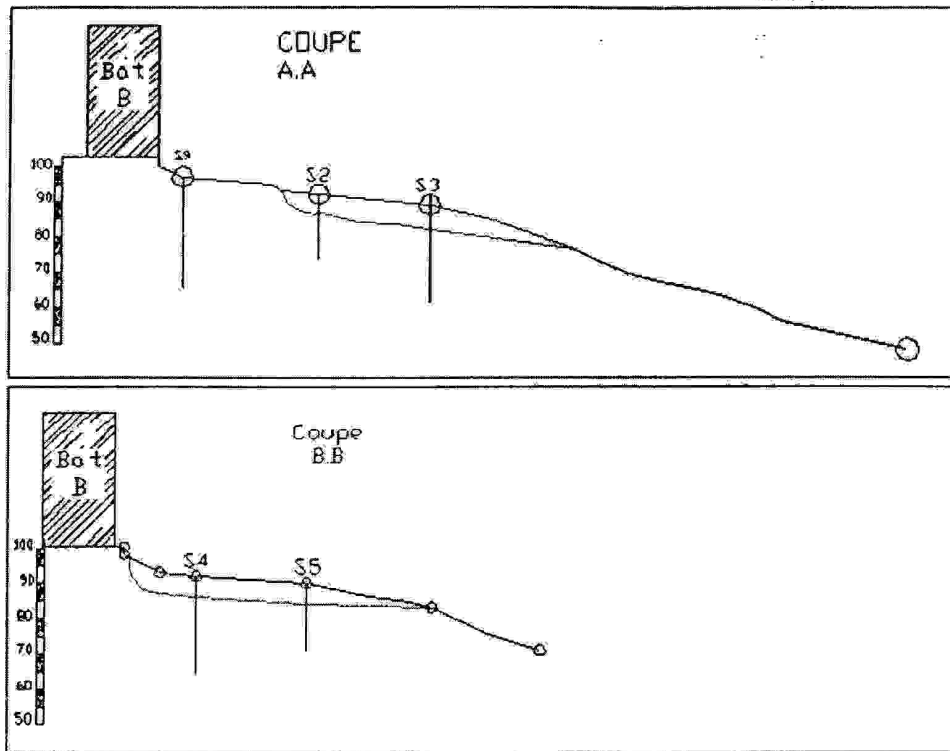


Fig III-8-Coupes selon les sondages (Site du Ciloc).

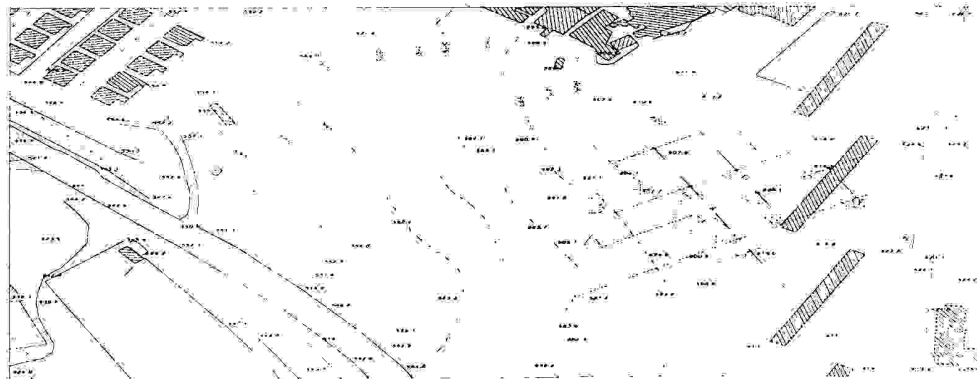


Figure.III-9- Plan d'implantation des sondages sur le site des Ciloc

III -2-9 -SITE DE BOUSSOUF :

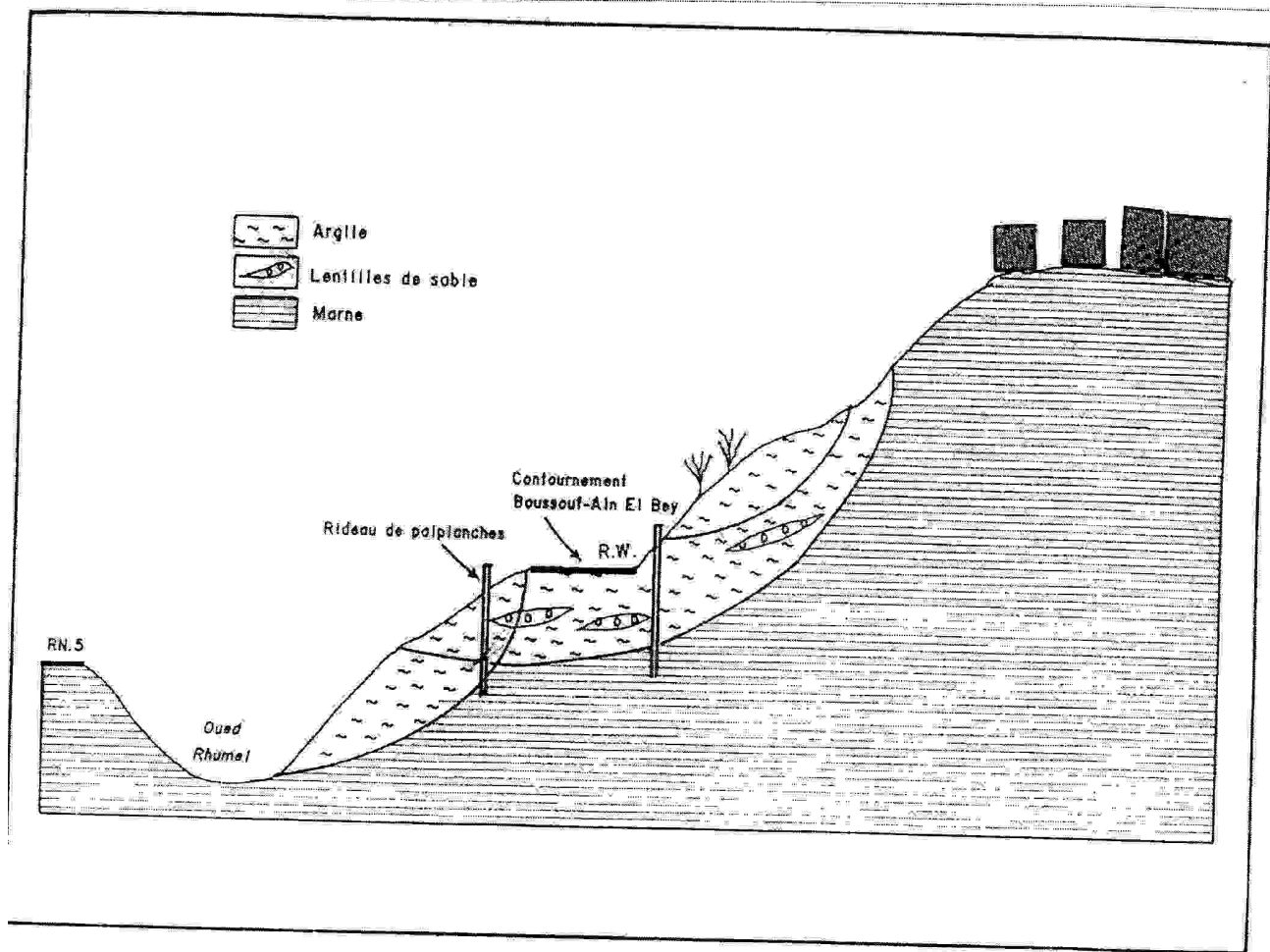


Fig. -III-10 Ligne de rupture retrogressive du contournement Ain El Bey - Boussouf. (Belouar2005).

La cité a été construite en 1984 sur une terre agricole, l'extension de la ville vers à la partie Nord- Ouest où se trouvent des terrains géologiquement constitués de conglomérat hétérogènes peu ou pas consolidés et où de nombreux départs d'eaux dans les pentes ont créés des sillons d'érosion et un ramollissement des parties argileuses siliceuses dans les conglomérats. La majorité des immeubles élevés ont été fondés sur des pieux allant jusqu'à 20 m de profondeur Belouar et Seridi [15]. Pour éviter ces problèmes il faut drainer les eaux dans des canalisations et à adoucir les pentes Le phénomène de ventrage des murs de soutènement dans toute la cité Boussouf en est un bon exemple.

III -2-10-LE PONT DE SIDI -RACHED :

Construit en 1908 dans le but de joindre la partie Est et Ouest de la ville, Le pont est sur l'oued Rummel. Lors du séisme de 1947, les premières déformations concernant la culée ont été visibles sur la partie Est de la culée. Ces déformations concernent aussi le terrain de la gare d'en bas, l'avenue Zamouche et la route de Batna. Les déformations de pente commencent probablement de la partie supérieure (chemin forestier) au sein des couches tertiaires (pliocène supérieur) saisissant les marnes crétacées légèrement schisteuses sous-jacentes. L'étendue du glissement est marquée par des arbres inclinés, des fissurations sur des murs et des déformations sur les routes avoisinantes. Nous représenterons ces glissements sur la figure suivante Belouar [30] :

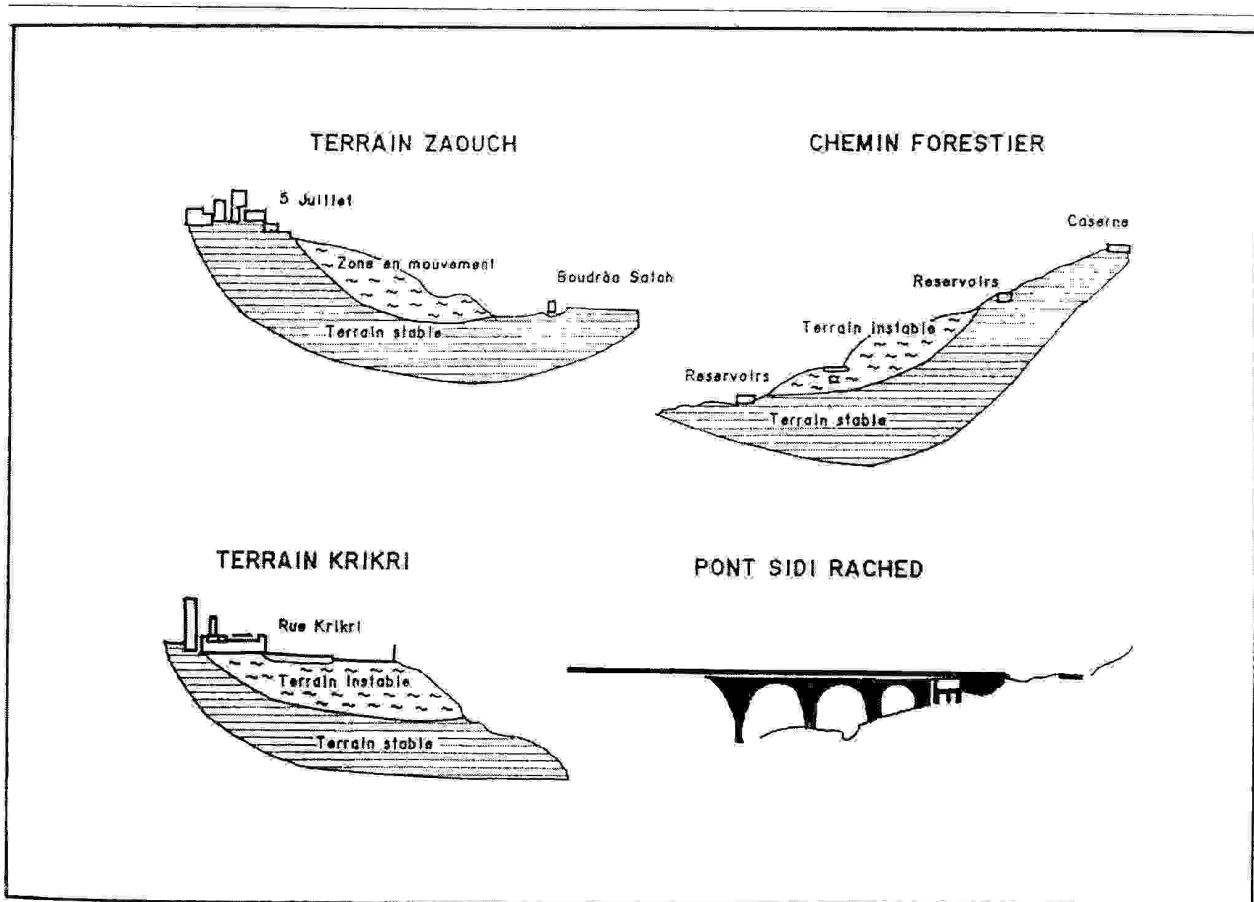


Fig. -III -11- Différents glissements encourus à Constantine (Source Belouar 2005)

III -2-11 - UNIVERSITE MENTOURI :

Sur une colline entre la route N°79 et le chemin wilaya N°175 se situe le terrain. L'Est du bâtiment universitaire (blocs des classes) établi entre 1973-1975 au-dessus de l'institut de technologie et fondé sur des pieux de 14m. De graves fissures, des inclinaisons et des courbures du terrain ainsi qu'à la route voisine se sont produites par des déformations de la pente. Dans la partie moyenne du bâtiment on voit des tassements et des translations. Ces mouvements ont commencé en 1985.

Pour stabiliser le terrain on peut utiliser des corps d'appui de terre stabilisée, il est nécessaire d'envisager des mesures de drainage parce que les sables et graviers situés au-dessus des bâtiments

Universitaires ont d'énormes quantités d'eau Benayoun et Belouar [16]

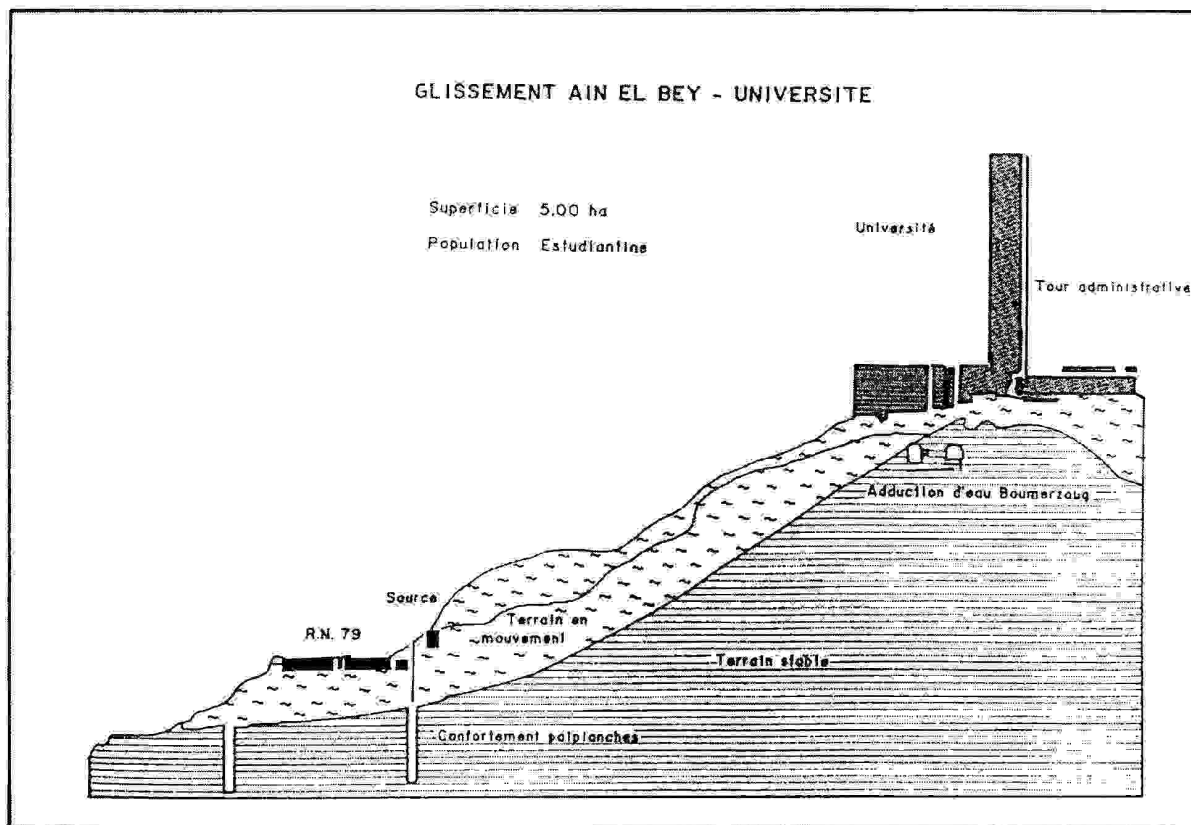


Fig. III – 12- La ligne de rupture : site Université Mentouri (Source Belouar2005).

III -3- LES DIFFERENTS DESORDRES OBSERVES DANS LES SITES DE GLISSEMENT :

Plusieurs désordres et instabilités couvrant des surfaces bien spécifiques ont été observés sur ces sites on peut en montrer quelques photos qu'on a prit pour bien diagnostiquer le risque encouru, ainsi que certaines d'autres prisent par l'organisme d'étude qu'est Simecsol comme suit :

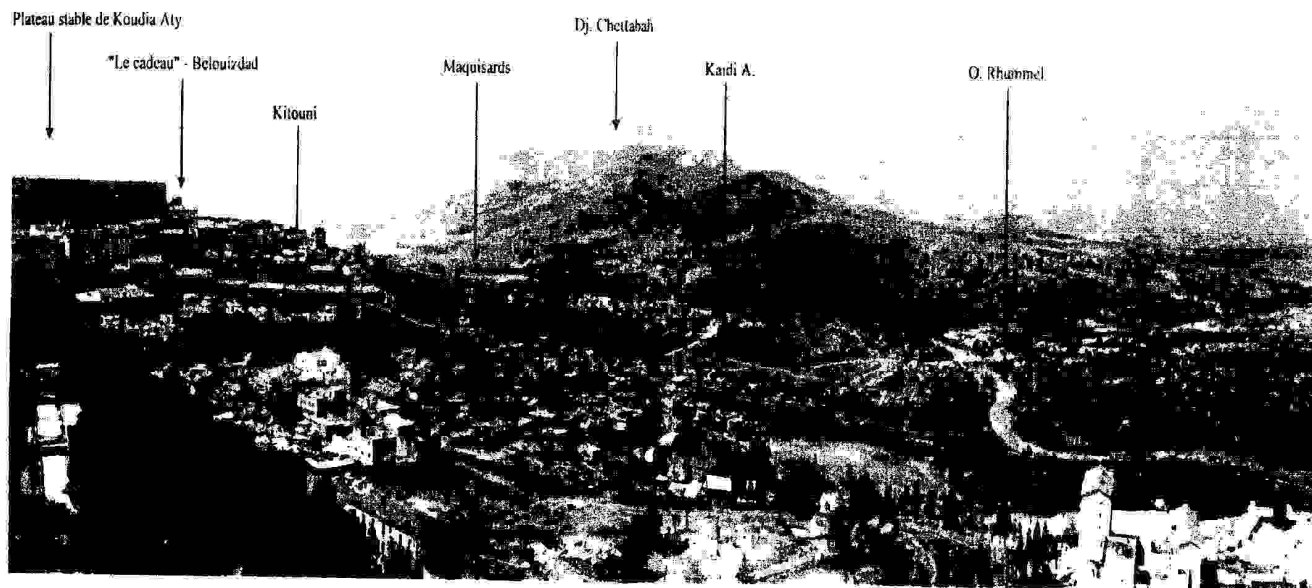


Fig III-13- vue d'ensembles du glissement de Bélouizded –Kitouni –Kaidi.

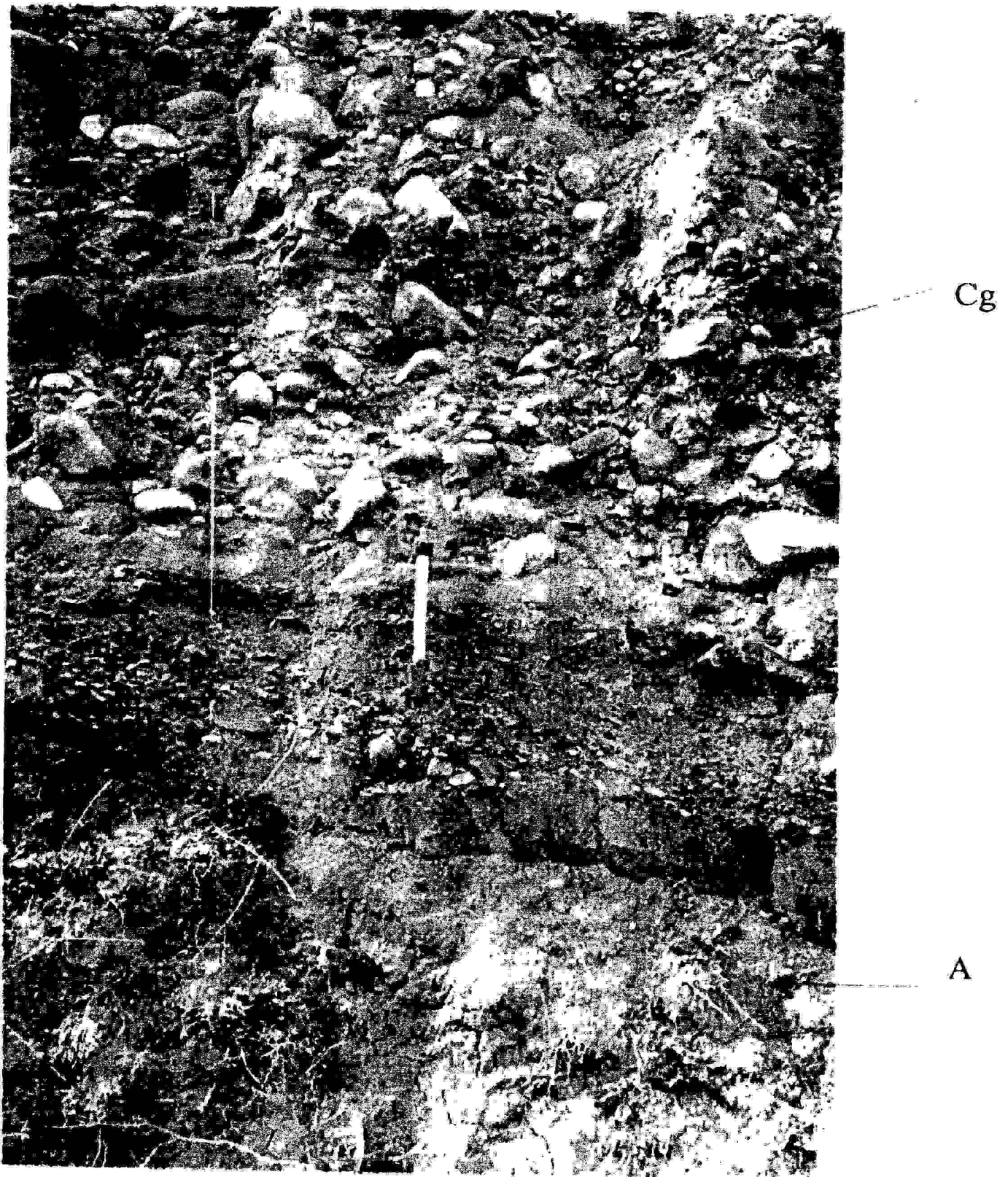


Fig -III-14- Glissement de Kitouni (conglomérats pliocène 'Cg' et niveau argileux rouge inférieur 'A').



Fig -III - 15-A- conglomérat (Cg) et argiles (AR) sous jacentes, imperméables.
 S= Niveau de suintement fréquent, d'eau souterraine - Talus aval du cimetière chrétien.

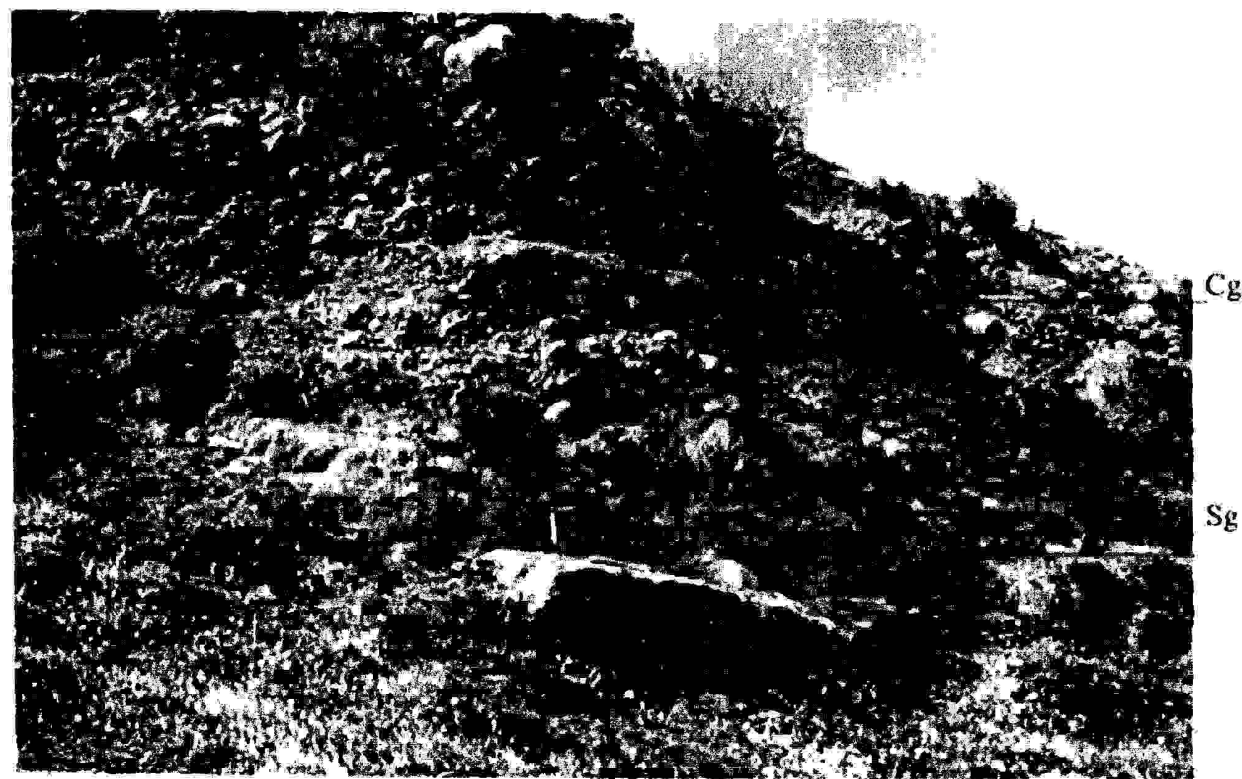


Fig -III - 15-B- conglomérat (cg) et niveau sableux (sg) pliocène - route du 20 août
 La matrice est sableuse et ce faciès de consistance rocheuse, est stable sur des talus sub-verticaux.



Fig - III - 16-A- Colluvions argilo graveleuses -route du 20 août
 Stabilisation efficace du ravinement actif du talus par gabionnage.
 Maquisards

Sabatier



Fig - III - 16-B- Remblai du terrain Amirouche, en aval de la route du 20 août
 Le ravinement est freiné par des gabions transversaux. (GB).



Fig -III-17-Affaissement de la chaussée du site instable de Kitouni.

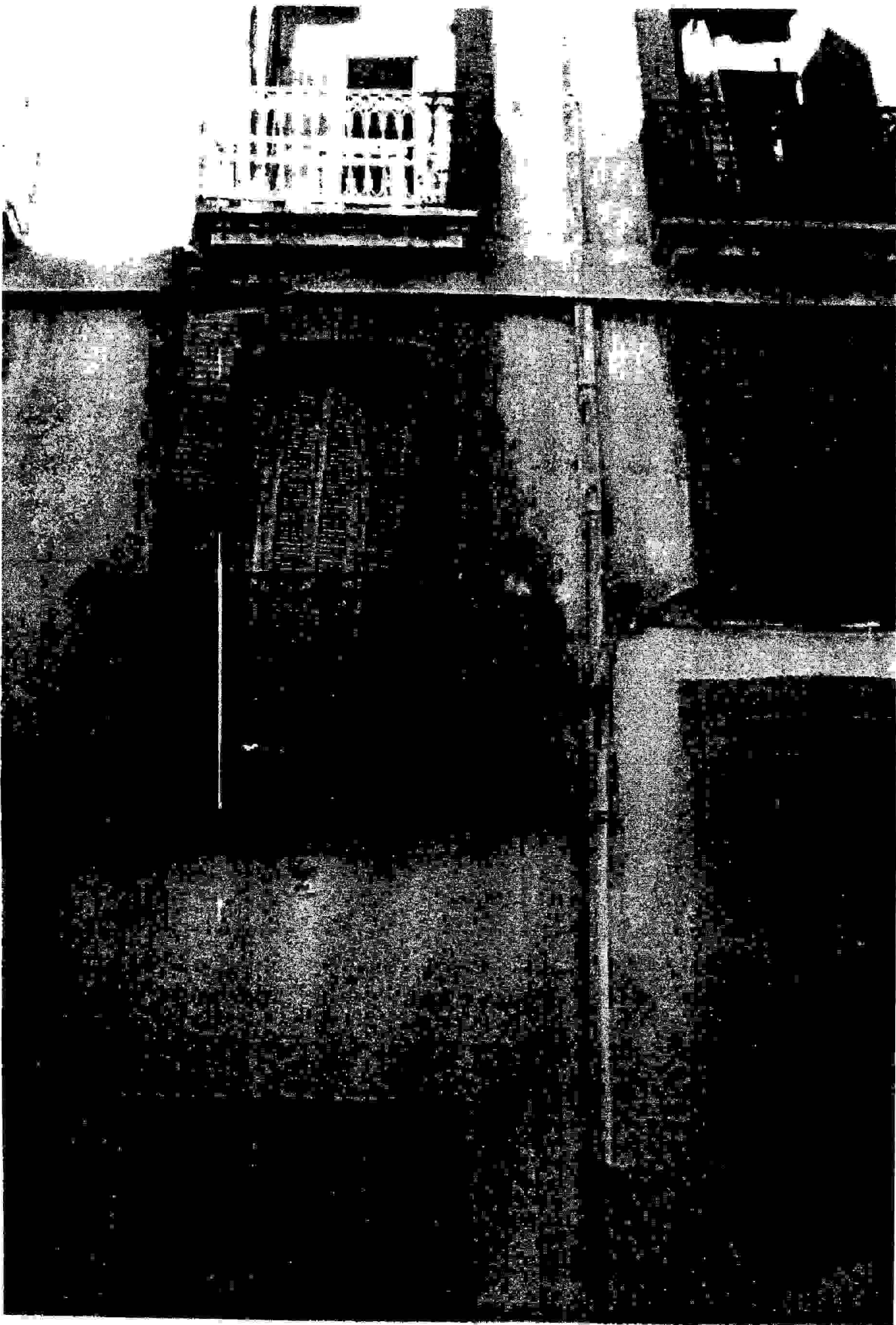


Fig - III - 18- Fissuration observées dans les maisons des sites Kitouni- Bélouizedd.

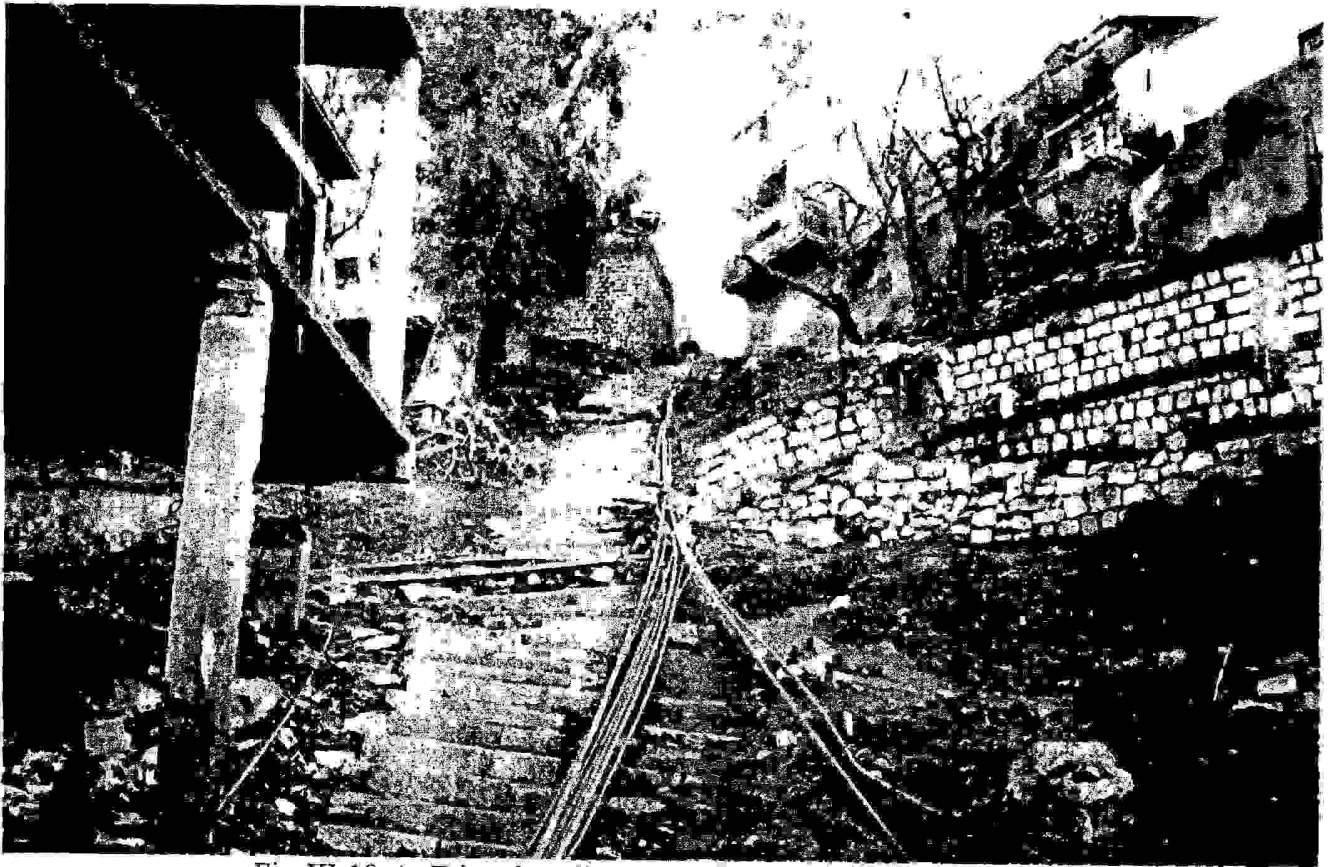


Fig-III-19-A- Désordres divers dans la zone instable de Kitouni.



Fig-III-19-B- quartier instable de Kaïdi Abdellah.

Remarquer le vide (dans les roseaux) mettant en porte-à-faux la maison qui fini par céder.



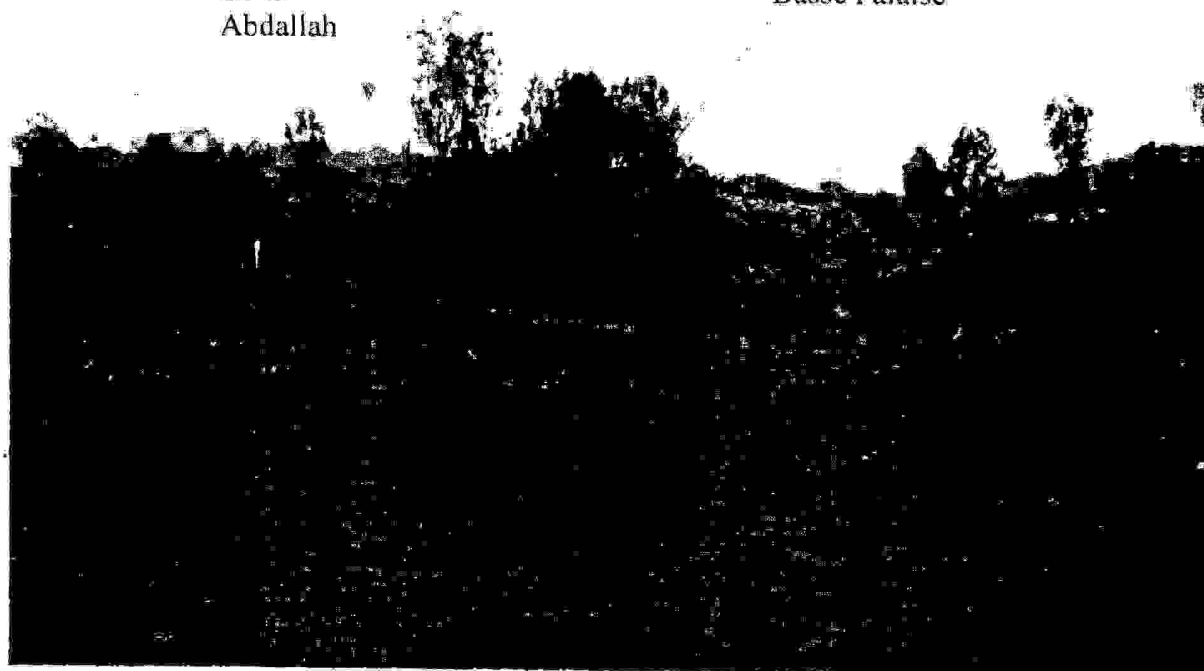
Fig -III-20-A- Quartier instable de Kaïdi.
Maison franchement inclinée, par évolution progressive du glissement de terrain.



Fig -III-20-B- Première falaise conglomératique, et maison fissurée située au dessus.

Kaïdi
Abdallah

Basse Falaise



Versant
argileux

Fig. -III - 21-glissement de Bélouizded en aval du talus.

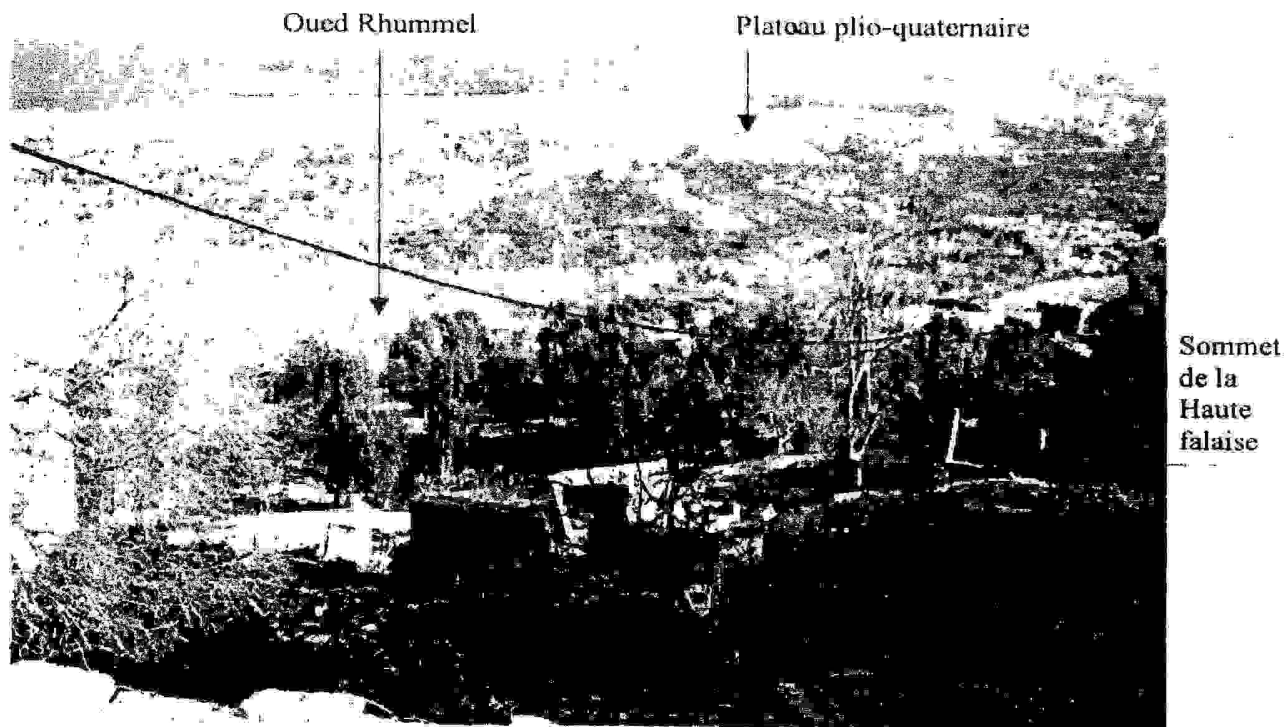


Fig. - III- 22-A- Talus instable dans les Maquisards, en avant plan, avec maisons détruites et basculées.



Fig. - III- 22-B- Eroulement de la base falaise de Belouizdad (hiver 2003), suivant des plans de diaclases E-O (D), Hérités de la tectonique.

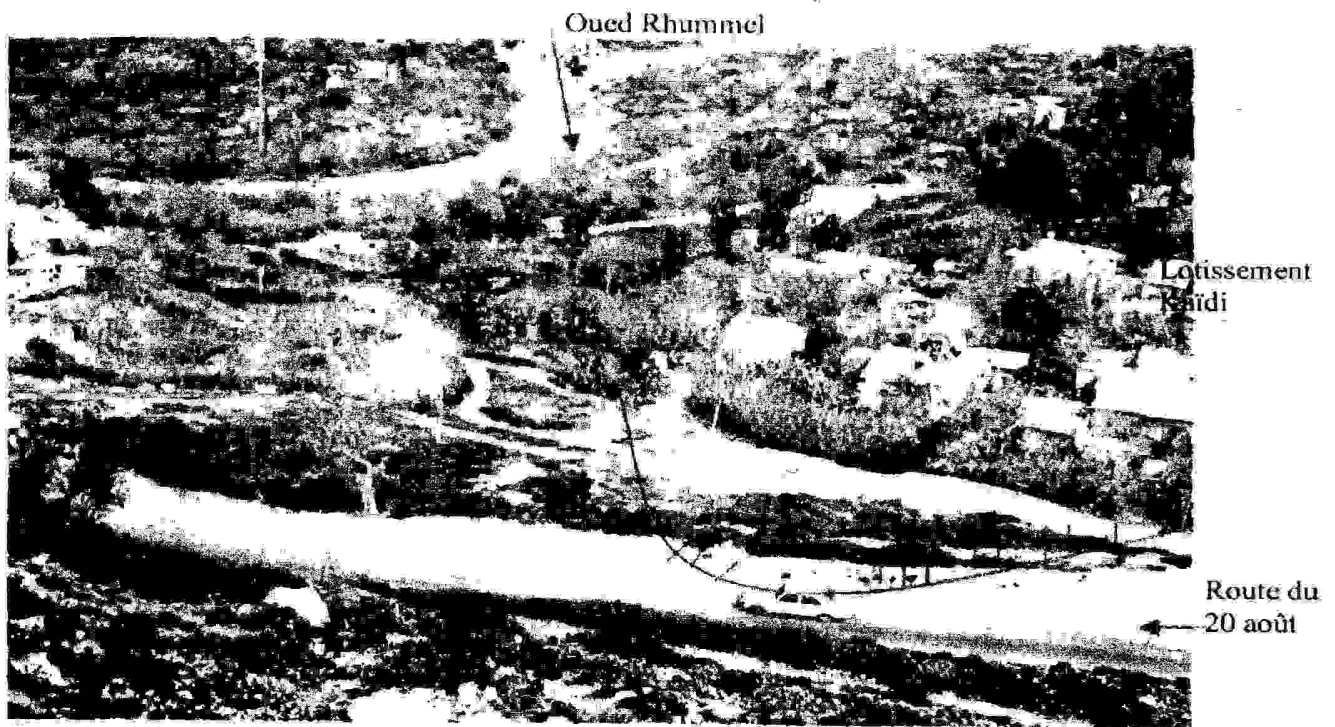


Fig. -III - 23-A- Glissement récent (G), de la route du 20 août, dans les argiles rouges pliocènes.



Fig. -III - 23-B- Quartier instable de Kaïdi Abdellah. Fissuration et basculement d'un mur en béton armé.



Fig. -III - 24-A- Quartier instable de Kaïdi Abdellah. Le poteau cisailé (Pc) est renforcé par deux poteaux de fortune (PF) qui sont eux même basculer.



Fig. -III - 24-B- replat argilo graveleux instable, au pied de la basse falaise. (glissement de Belouizdad).

Oued Rhummel

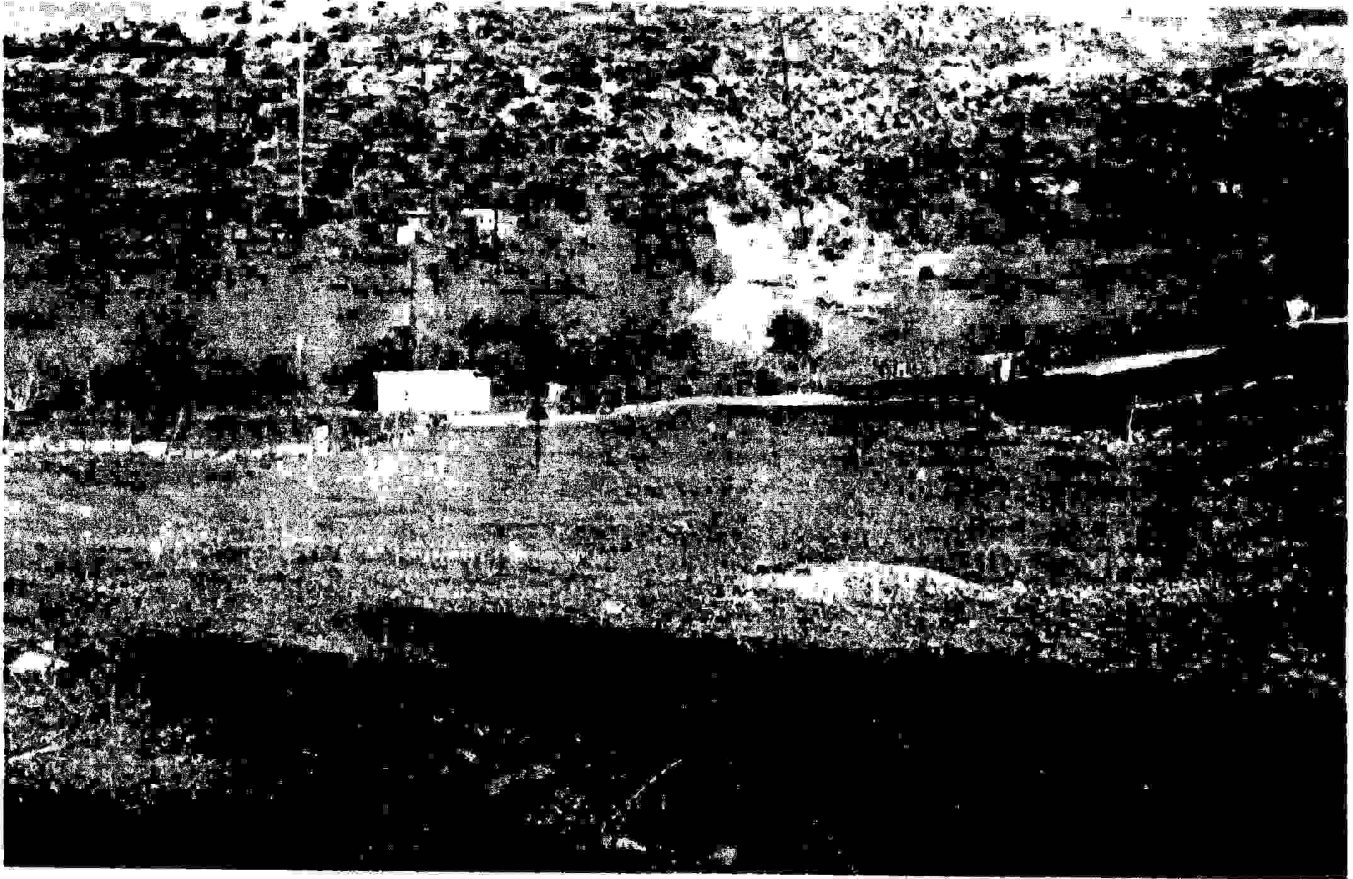


Fig. -III-25 - Désordres et glissement de Belouizded. (Talus argileux) avec un point de sondage Carroté.

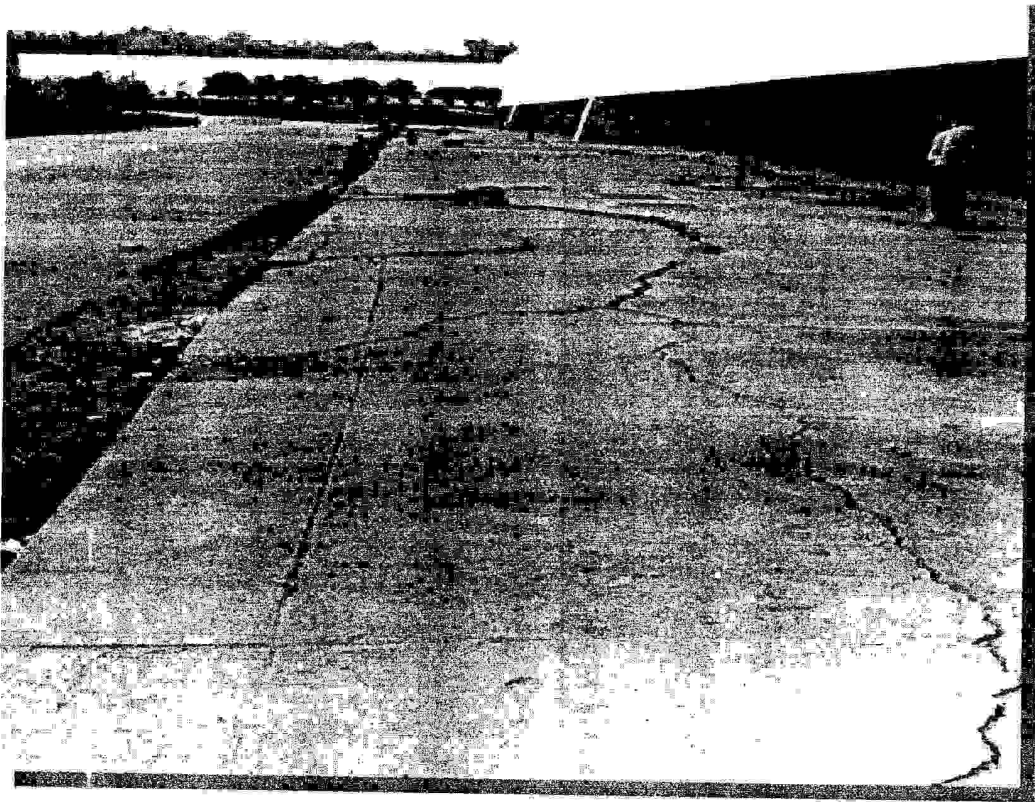


Fig. - III- 26- Affaissement de la chaussée au niveau du remblai, autour des Amphithéâtres : Façade est du bloc des sciences (université Mentouri)



Fig -III -27- Dégradation du dallage et Fissuration du mur : université Mentouri.

III – 4 – ANALYSE DU RISQUE GEOTECHNIQUE :

III – 4-1 Les Causes du glissement de Constantine :

Du point de vue géologique, on remarque que toutes les couches lithologiques sont inclinées avec des pentes allant jusqu'à 30°. Cela favorise l'instabilité surtout en présence d'eau qui est le facteur majeur d'aggravation du phénomène de glissement.

Les photos des désordres montrent bien les sédiments sensibles au glissement du Mio-pliocène (Inter stratification d'argile, de marnes et conglomérats) et du crétacé supérieur (marnes).

L'infiltrations et déperdition d'eaux potables et usées sont présente, sachant que l'eau est le facteur essentiel pour des mouvements de pentes ayant des effets négatifs dans l'inter stratification des conglomérats perméables et des argiles). Ainsi l'anarchie totale et sans contrôle des constructions sur des versants instables favorise le glissement de la ville.

La présence de l'humidité dans l'interface des couches imperméables contenant de l'argile et des marnes avec la couche perméable conglomératique réduit la résistance au cisaillement, et cela entraîne les mouvements.

III- 4 -2 – Les facteurs d'aggravation du problème :

Globalement on distingue plusieurs facteurs causant, ou activant les glissement de la ville de Constantine, on a essayé de les résumer comme suit :

III -4 –2 -1- Facteurs géologiques et structurels :

Quelques déformations tectoniques ont amené le versant jusqu'à l'inclinaison des pentes à plus de 30°. ; Les roches de constitution des collines de cette région sont des sédiments du quaternaire qui est formée par un empilement de sable plus ou moins fin, de cailloutis, de graviers et d'argile plus ou moins limoneuses ou graveleuses avec une alternance de conglomérats et d'argiles sableuses rouges ; ceux – ci sont des terrains non consolidés.

on remarque aussi des remblais issus de l'activité humaine et qui sont très répandus dans la région. ; On cite le grand remblai existant près de la terminaison Ouest du Pont Sidi Rached. Les mouvements de sol constatés sur ces niveaux ont été la cause des dommages qui affectent les constructions et les routes avoisinantes : la station des bus Krikri en est un exemple.

Plus grave encore, une ex- décharge d'ordures ménagères, pose un risque considérable aux maisons construites en amont et à l'aval de celle-ci.

Certains terrains de couvertures sont stabilisés par l'action des eaux souterraines telle que :

- Les couches géologiques les plus récentes sont les sédiments du quaternaires. Ces formations sont facilement mobilisables si elles sont soumises à l'action des eaux de ruissellement des terrains ou des constructions Mongereau [17].
- La teneur en argile d'un terrain l'expose à une facilité du glissement.

Quant à la pente du substratum sur lequel repose les terrains argilo marneux est importante des glissements se manifestent à la faveur de phénomènes naturels exceptionnels tels par exemple les pluies diluviennes et le tremblement de terre de 1910 et 1947 respectivement qui ont entraînés des sérieux dommages à la culée Est du Pont de Sidi Rached. Ces unités affleurent sur le côté Est du Rummel. Le Nord de la confluence Boumerzoug et au Sud du Rocher y compris la partie supérieure de la culée Est du Pont Sidi Rached.

Ces formations marno-argileuse-limoneuse du mio-pliocènes très plastique avec des lentilles de sables intercalés peuvent avoir deux sortes d'influence sur la tenue des sols.

En en déduit que la présence des formations argileuse impose la nécessité des travaux de drainage.

III- 4 -2 – 2 -Facteurs Pluviométriques :

D'après les services de l'hydraulique (ANRH) la ville de Constantine est marquée par des crises de pluviosités critiques parfois, Avec une moyenne de 400 mm de pluies annuelles. Le cas de septembre et Janvier 2003 est un bon exemple car la stabilité des terrains a été menacée. Dans les sols granulaires, les conditions d'équilibre sont amenées à la rupture lorsque la hauteur d'une couche saturée introduit une surcharge pondérale et surtout une augmentation de la pression interstitielle due à l'infiltration des eaux de pluie dans le sol: le terrain est alors dit en charge. C'est le cas des lentilles de sables qui se trouvent noyés dans les formations argileuses dans le cas de Constantine. Ces terrains de faible perméabilité sont de nature argileuse.

Tout apport d'eau brutal (ex : rejets d'eaux pluviales dans puits perdus) risque d'augmenter les

pressions interstitielles dans les vides entre les éléments (grains) du terrain et de le mettre brutalement en charge, la faible perméabilité ne permettant pas une dispersion rapide du surplus d'eau. Du fait de leur soudaineté, de leur volume et de leur concentration, lors d'une pluie d'orage par exemple, les rejets d'eaux pluviales (E.P.) sont les plus dangereux pour la stabilité des terrains.

Notons que la pluviométrie de la ville de Constantine a été évaluée sur une période de vingt ans

Comme nous le montre le tableau et la figure suivante :

	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Total(Mm)
1985	37,5	139,3	8,5	330,1	64,1	34,3	177,4	22,2	72,2	1,1	1,6	0,1	888,9
1986	60	30,5	24,9	31,7	110,4	35,2	96,5	35,1	9,9	22,8	1,5	18,3	476,8
1987	30,4	53,1	108	99,6	50,8	153,5	80,2	84,2	40,4	9,2	21,6	2,5	733,5
1988	1,6	42,6	35,7	24,1	70,6	56,9	61,8	33,6	24	56,1	6	4,1	417,1
1989	43	1,4	22,9	172,2	31,2	61,1	45,7	56,8	24	29,4	12,7	26,2	527,5
1990	31,4	75,3	31,2	11,5	93,1	0	28,7	30,3	46,6	12,3	3	26,2	389,6
1991	13,7	9,1	39,5	124,6	25,1	78,9	95,4	55,9	52	15,5	0,2	0,8	560,7
1992	44,1	79,9	25	15	53,3	36,4	57,1	138,5	106	11,7	8	4,8	580,8
1993	43,2	14,9	118	174,6	55,5	53,7	30,1	12,4	46,8	11	0,6	4,7	565
1994	15,8	19	28	134,4	60,9	96,1	17,3	72,4	2,6	0	0,6	1,3	448,4
1995	18,8	118,5	7,9	51	226,7	19,5	86,8	36,2	7,3	69,9	0	5,8	648,4
1996	49,9	9,1	41,4	22,7	99,9	186	50,3	59,9	58,7	43,4	3,1	6,3	630,7
1997	14	15,3	30,8	47,9	38,8	21,5	39,6	43,6	19,9	22,2	2,9	9,8	306,3
1998	78,5	50,5	102	74,8	42,3	60,4	36,5	78,1	60,4	16,5	0	7,9	608,3
1999	74,7	33	150	58,5	90,4	51,8	44,9	31,7	11,9	23,5	7,9	2,2	580,8
2000	84,5	24	80,2	111	21,2	18,5	19,7	32,6	77,6	39,2	0	28	536,5
2001	17,9	46,4	30	58,9	121,9	34,4	21	43,6	42,1	0	0,2	3,6	420
2002	92,2	11,7	25,4	19,9	28,1	53,5	19,8	33,7	11,3	3,4	19,1	9,7	327,8
2003	15,6	32,8	133	117,1	203,8	56,5	32,6	115,5	23,5	4,8	12,6	8,4	756,4
2004	55,2	43,9	22,4	178,7	92,2	13	61,2	52,3	74	30	0	5,1	628
2005	34,7	45,1	155	202,5	64,9	86,6	40,7	65,1	11,3	3,5	3,7	4,4	717,5

Tableau III-1- relevé pluviométrique de la ville de Constantine. (Période 1984 - 2005) (Source ANRH)

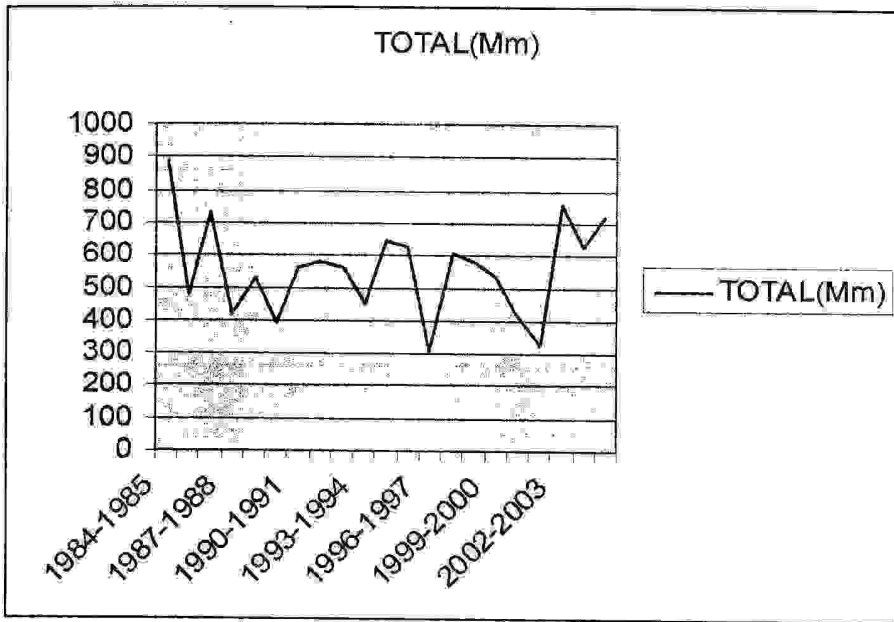


Fig -III-28- cumule : pluviometrie durant une vingtaine d'années.

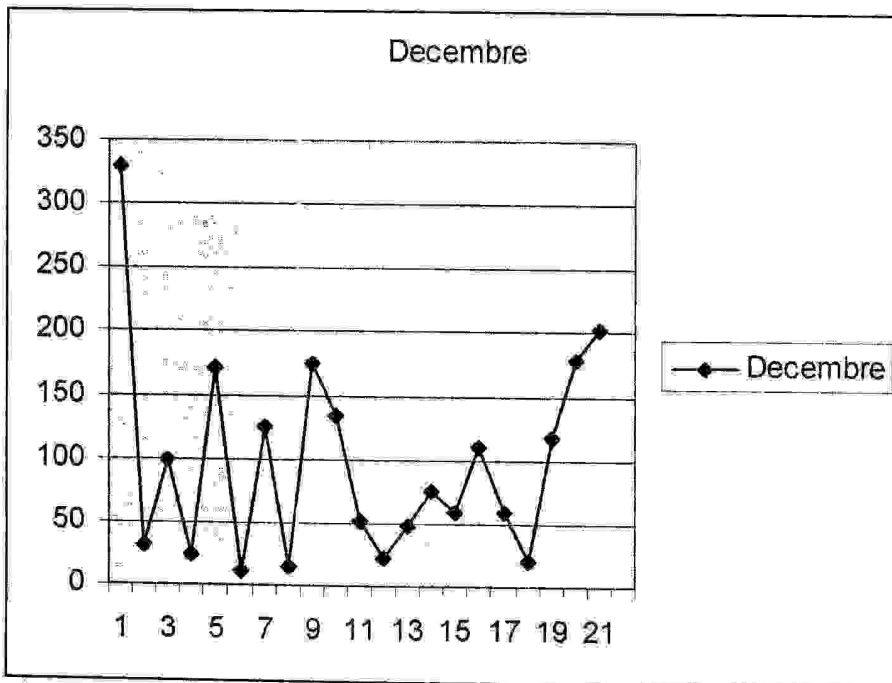


Fig -III-29- Diagramme pluviometrie-cumule du mois de decembre en fonction des années suscitées.

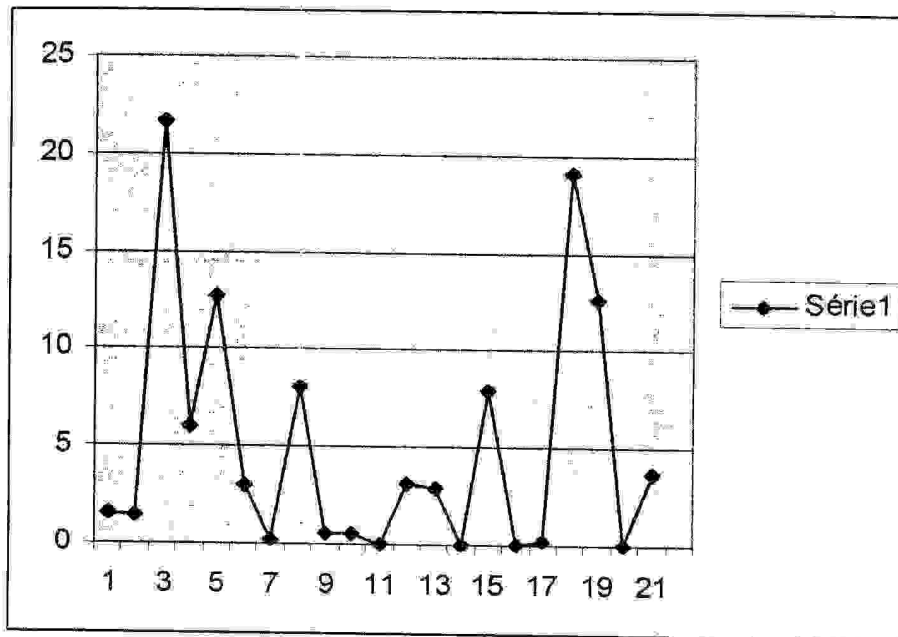


Fig – III-30- Diagramme pluviometrie-cumule-du mois de juillet en fonction des années Suscitées.

III - 4- 2 – 3 - Facteurs de Constructions anarchiques non contrôlées sur des pentes instables :

Au cours de ces dernières années, et en particulier sur les versants peu ou pas consolidés, des habitations qui sont faites d'une manière anarchique et sont très mal entretenues de par la non connexion au réseau d'assainissement, ce qui expose le site à des rejets des eaux usés mal placés s'infiltrant dans le sol et aggravant le risque de non stabilité.

Selon l'avis des services d'adduction d'eau et de l'assainissement, on peut évaluer à environ 50% les pertes des réseaux dues à des fuites diffuses. Cette valeur est importante et peut entraîner des suralimentations en eau localisées dans le sous-sol de la région réactivant les mouvements de terrain.

III - 5 - ESSAIS GEOTECHNIQUES ET SONDAGES :

Depuis quelques années une spécialité risques naturels : études de glissements de terrain avec préconisation de soutènements de route, drainages adaptés etc. Cette activité s'articule autour d'un mode d'intervention basé sur :

- Une enquête géomorphologique et géologique approfondie du site.
- Un relevé topographique de la zone sinistrée afin d'estimer l'ampleur du phénomène, et de dimensionner avec précision les ouvrages à réaliser.
- Des sondages à la tarière mécanique (pour prélever des échantillons de sols en profondeur de chaque couche) aux pénétromètres dynamique lourd ou statique permettent d'identifier les terrains rencontrés, d'apprécier la profondeur de la surface potentielle de glissement ,ainsi que le niveau de compacité du sous sol. Ces sondages peuvent être équipés de piézomètres afin de suivre dans le temps les variations de la nappe phréatique.
- Enfin, après l'élaboration d'un rapport spécifique d'échantillons remaniés ou non, des solutions de confortement sont suggérées avec estimation du coût et du degré de sécurité.

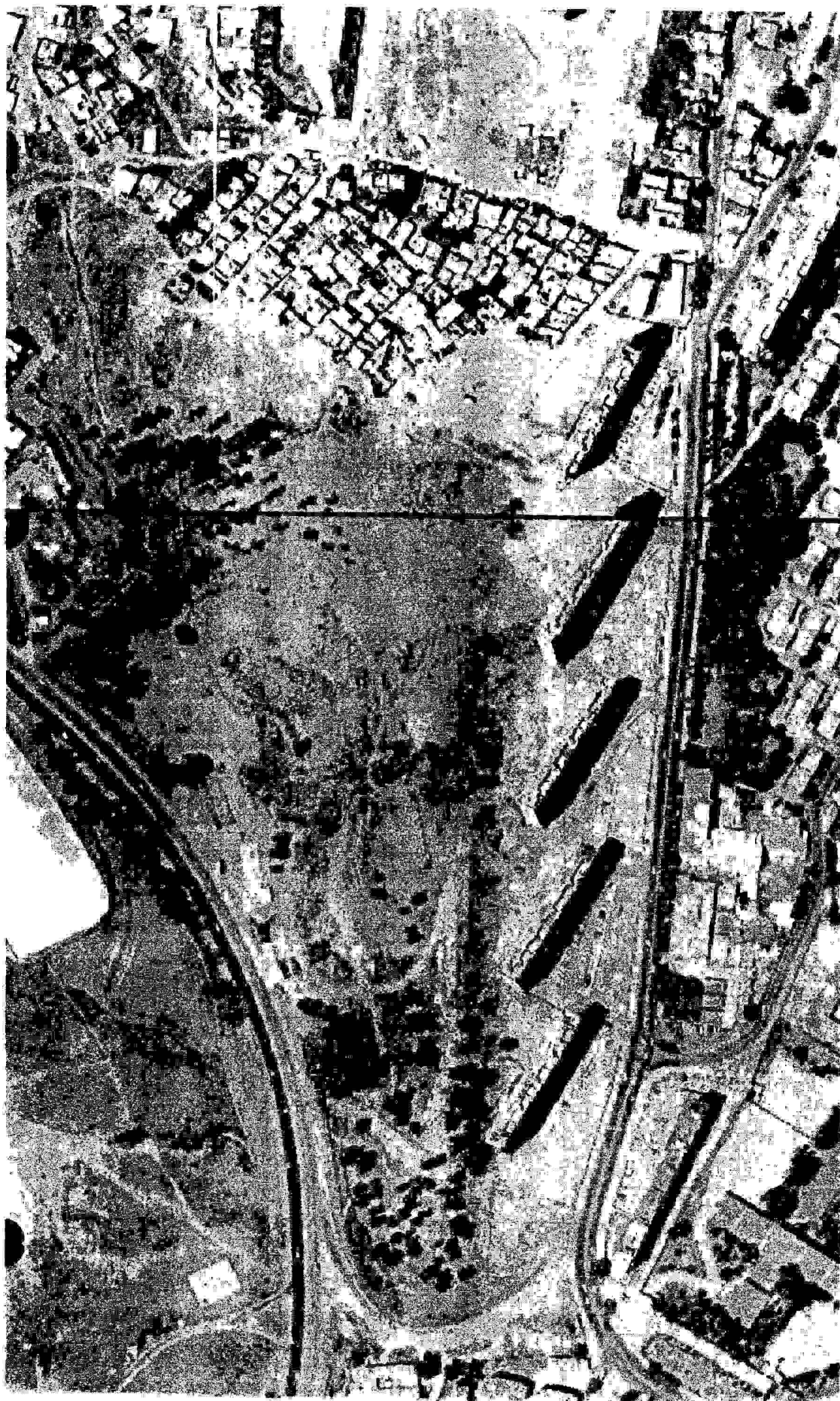


Fig – III-31 vue aérienne du site du Cilloc.

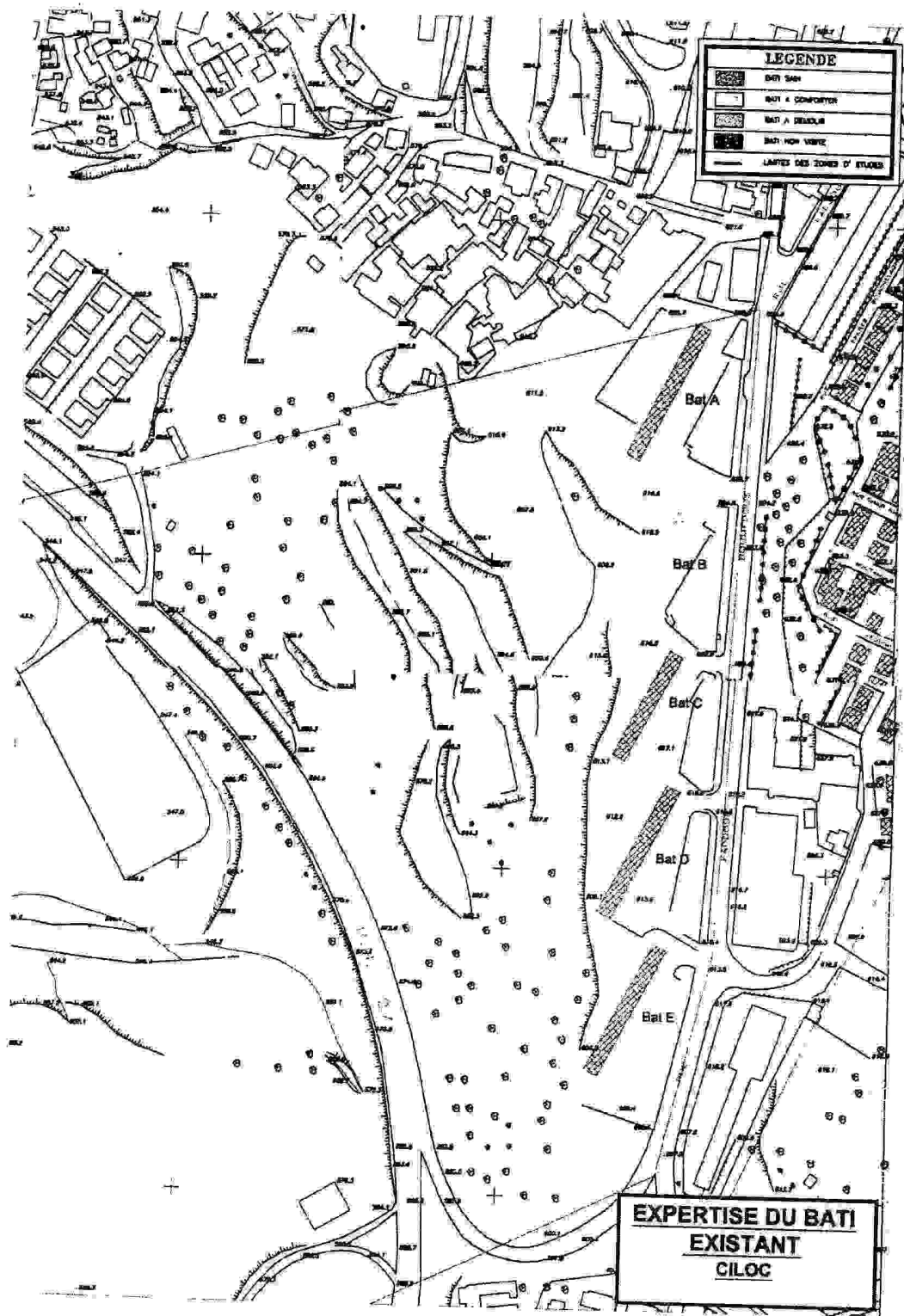


Fig- III – 32- Diagnostic du site du Ciloc (bâtiment: B est le plus affecté).



Fig - III -33- Carte de vulnérabilité du bâti.

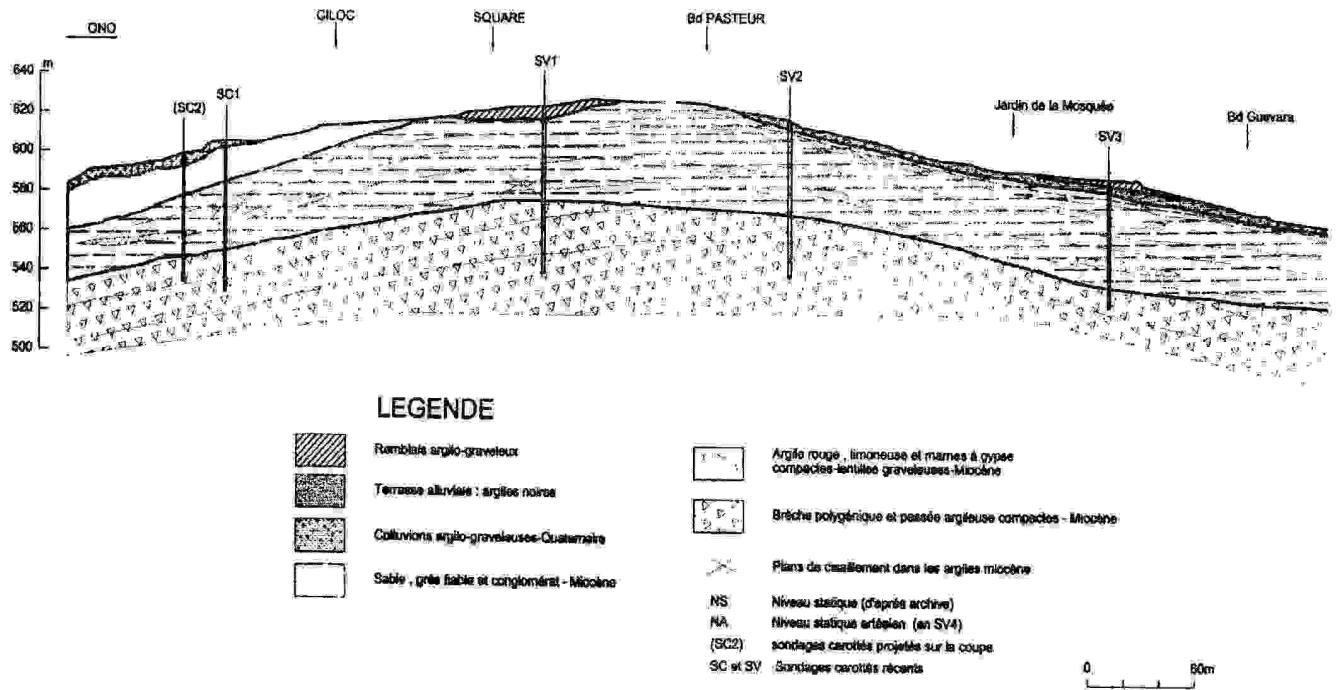


Fig – III – 35- Coupe Géologique avec plantation des sondages depuis le site du Ciloc vers La Mosquée.

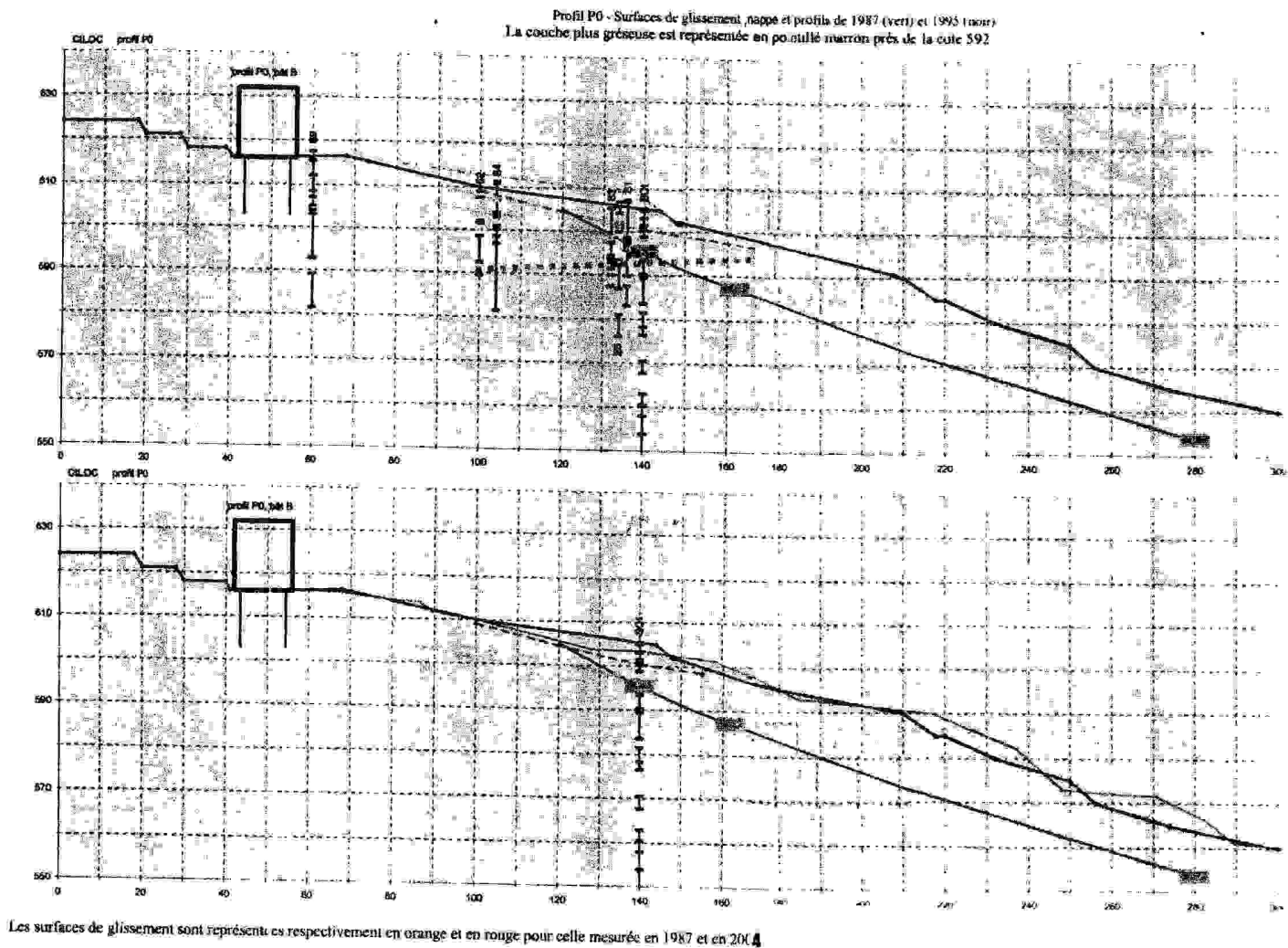


Fig. – III – 36-Site du Ciloc : Profils montrant le glissement et la nappe près du Bâtiment B qui est le plus affecté.

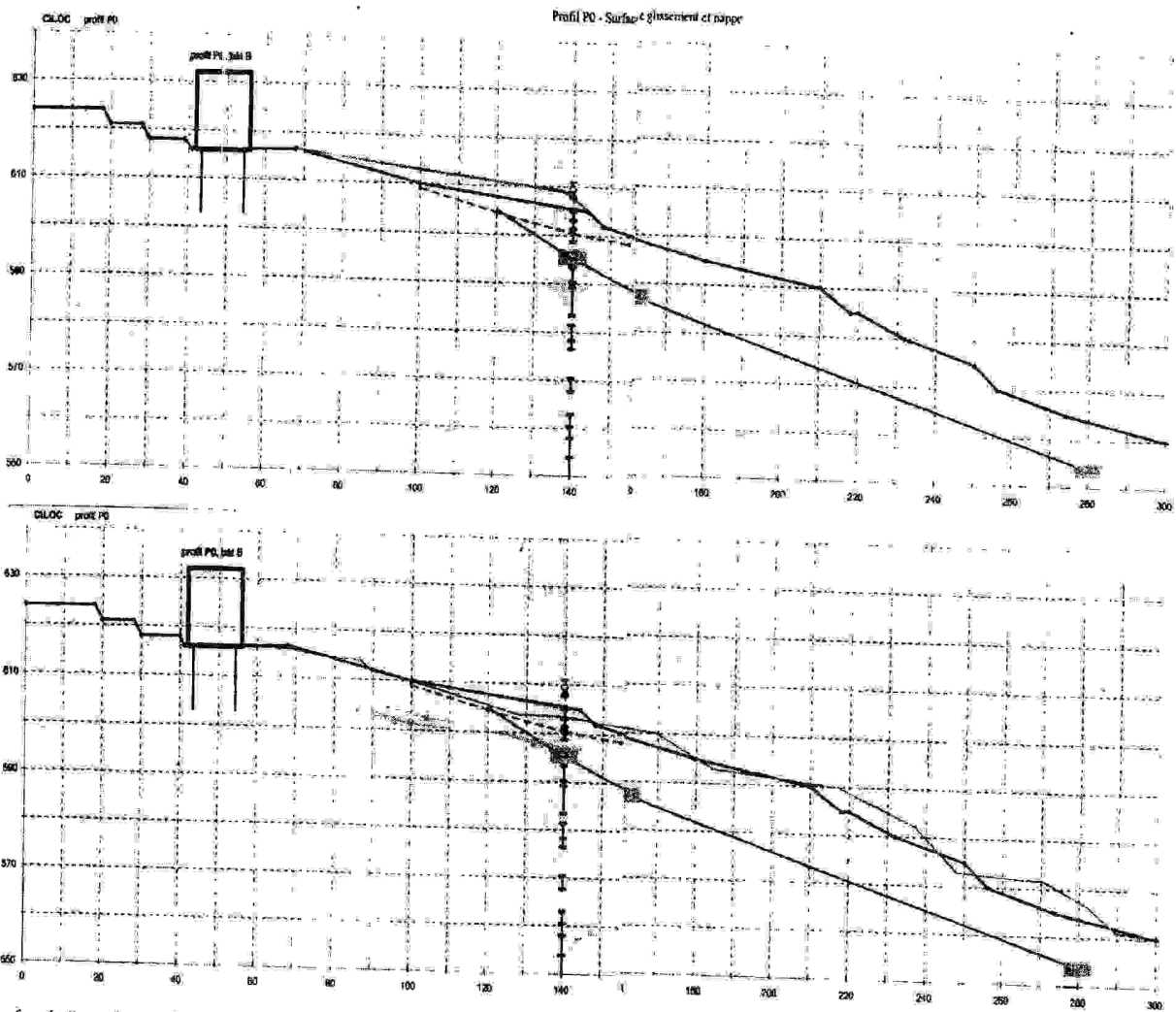


Fig – III-37-Site du CILOC : Profil PO montrant les points de sondage avec nappe et Glissement au niveau du bâtiment B.

Les figures précédentes concernent les sondages du site CILOC. ; Et ceux du site : BARDO,et
BELOUIZDED sont comme suit :

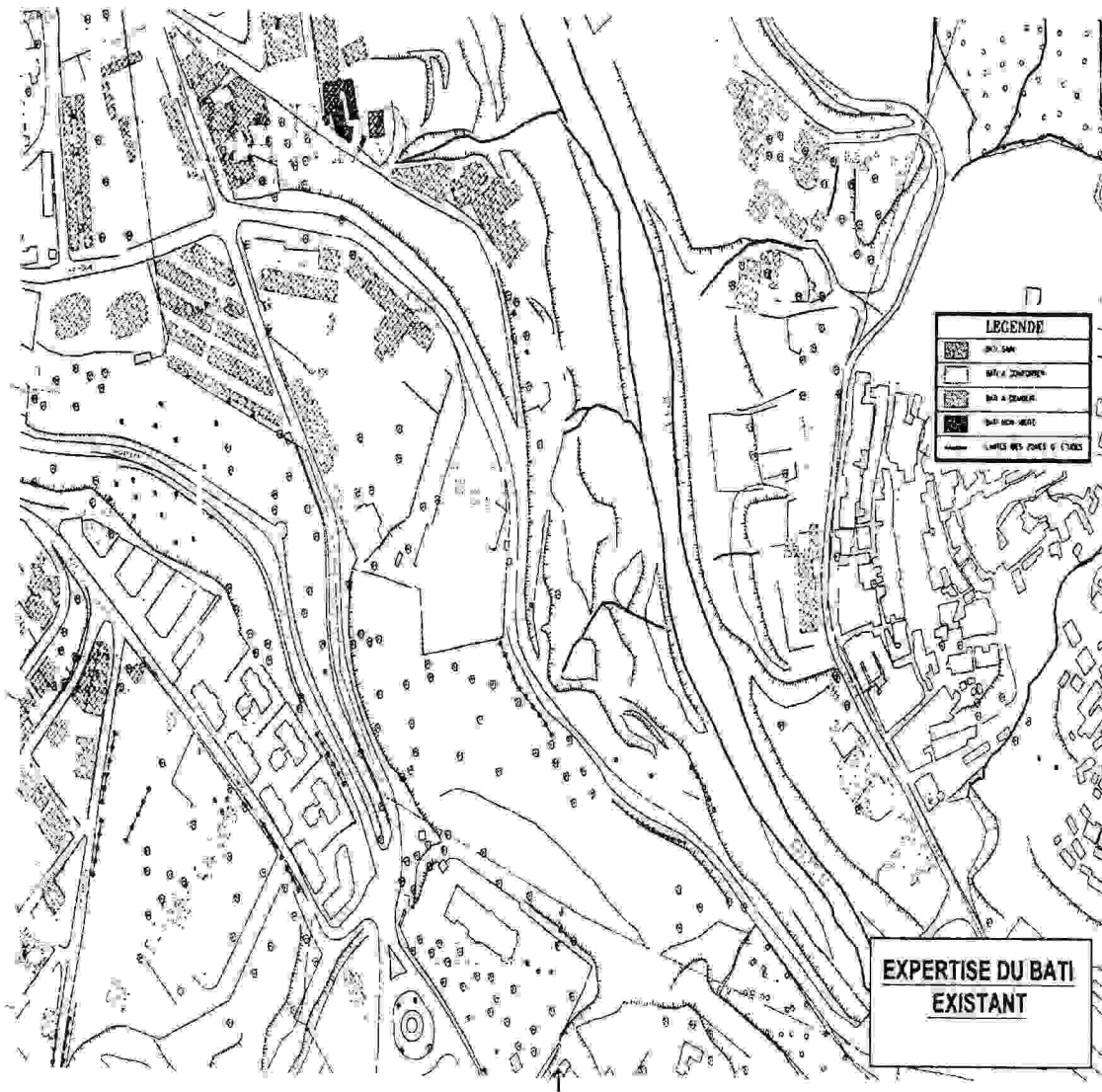


Fig - III-38-Reconnaissance et diagnostic avec bâti du site de Bardo.

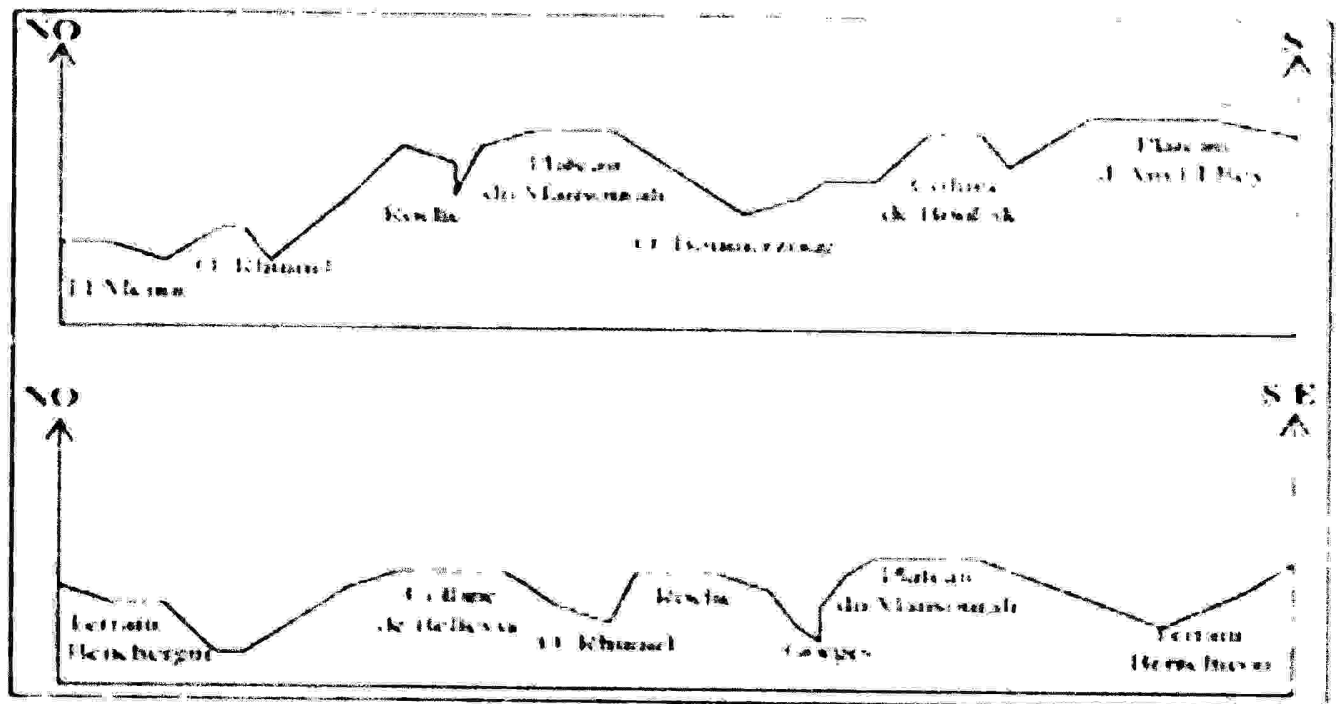


Fig-III-39-Topographie accidentée –de la ville de Constantine.

IV – 6 - ETUDE ET ESSAIS DE LABORATOIRES :

Pour bien analyser les conditions du site plusieurs essais ont été faits, dont on a recueillis les résultats suivants réalisés par le Laboratoire des travaux public de l'est (LTPEST) :

IDENTIFICATION DU SITE	SONDAGE	COTE NGA	11/05/2003	09/06/2003	16/06/2003	30/06/2003	30/07/2003	30/08/2003	30/09/2003	02/11/2003	30/11/2003	30/12/2003	31/01/2004	29/02/2004	
			Prof	Prof	Prof	Prof	Prof	Prof	Prof	Prof	Prof	Prof	Prof	Prof	Prof
LOUIZDAD / JUNI / KAIDI BDELLAH	SBZ1	488.16	3.48	3.28											
	SBZ2	394.30	SEC	SEC	SEC	SEC	13.25	SEC	SEC	SEC			2.78	2.75	
	SBZ3	395.48	*												
	SBZ4	475.07	2.06	2.02	2.03	2.19	2.58	2.38	3.05	2.00	1.65				
	SBZ6	517.27	10.83	10.51	10.82	11.16	12.05	11.20	10.70	10.80		1.13	1.20	1.10	
	SBZ7	413.50	**												
	SBZ9	468.88	**												
	SBZ11	558.72					11.76	--					20.20	20.38	20.85
	S63	390.28	*												

pe en charge
formagés (acte de vandalisme)

Tableau -III-2 -Relevé des mesures piézométriques du site Bélouizded -Kitouni Kaidi.

REFERENCES DE L'ECHANTILLON		NATURE DU MATERIAU	TENEUR EN EAU			MASSE VOLUMIQUE DU SOL SEC				DEGRE DE SATURATION				GRANULOMETRIE SEDIMENTOMETRIE				LIMITES D'ATTERBERG			LIMITE DE RETRAIT		Valeur au bleu de méthylène		COMPRESSION SIMPLE		CONFLEMENT LIBRE		USABILITEMENT RELATIF		ANALYSE CHIMIQUE	
SC N°	PROF. (m)		W %	w _L g/cm ³	Sr %	Dmax (mm)	2 (mm)	100 (µm)	2 (µm)	W _L %	W _p %	I _p %	L _p %	VBS g/100g	P _c (bar)	P ₀ (bar)	C (bar)	φ (%)	CaCO ₃ %	log												
SB1	13.50 - 17.70	Sable brun marneux marnérisé	8.7	2.1	85.1	5	98	84	30	42.6	22.0	20.6	--	--	--	--	--	--	--	--	27.2											
SB1	37.00 - 37.40	Marne rouge limoneuse, gypseuse. Le début de la carotte et bréchique	10.9	2.1	99.7	5	97	73	29	40.5	21.3	19.2	--	--	--	--	--	--	--	--	50.4											
SB2	6.50 - 6.70	Marne brune limoneuse peu sableuse et peu gypseuse	13.3	1.9	87.1	2	99	73	29	44.2	22.2	22.0	--	--	--	--	--	--	--	--	29.8											
SB3	1.70 - 1.00	Marne brune limoneuse graveleuse	5.6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--											
SB3	3.60 - 3.90	Marne brune limoneuse, calcareuse	8.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--											
SB3	4.00 - 5.00	Marne rouge peu limoneuse marnérisée	13.9	1.4	99.6	0.400	100	89	26	39.7	21.8	17.9	--	--	--	--	--	--	--	--	28.8											
SB3	12.00 - 12.50	Marne rouge limoneuse, peu gypseuse, marnérisée	9.7	2.1	99.3	2	98	72	26	39.5	20.5	19.1	--	--	--	--	--	--	--	--	27.2											
SB3	18.80 - 19.20	Sable brun marneux marnérisé avec au début des brèches peu gypseuses	8.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--											
SB4	9.40 - 9.80		8	2.08	76.4	5	80	49	24	42.4	22	19.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--											
SB4	13.30 - 13.80		16.7	1.81	94.6	2	98	68	27	35.8	22	14.1	--	--	--	--	--	--	--	--	--											
SB4	20.50 - 20.80		12.7	1.98	98.7	1	100	48	21	--	--	--	--	3.8	--	--	--	--	--	--	--											
SB5	12.50/13.00		10	2.05	84.33	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--											
SB5	16.60/17.00		10.1	2.09	93.57	--	96	64	17	51	24.6	26.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--											
SB5	18.50/19.00		11.3	2.07	99.47	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--											
SB5	44.70/45.00		9.9	2.09	88.70	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--											

Tableau III-3- récapitulation des essais au laboratoire des différents sondages. Source (LTPEST)

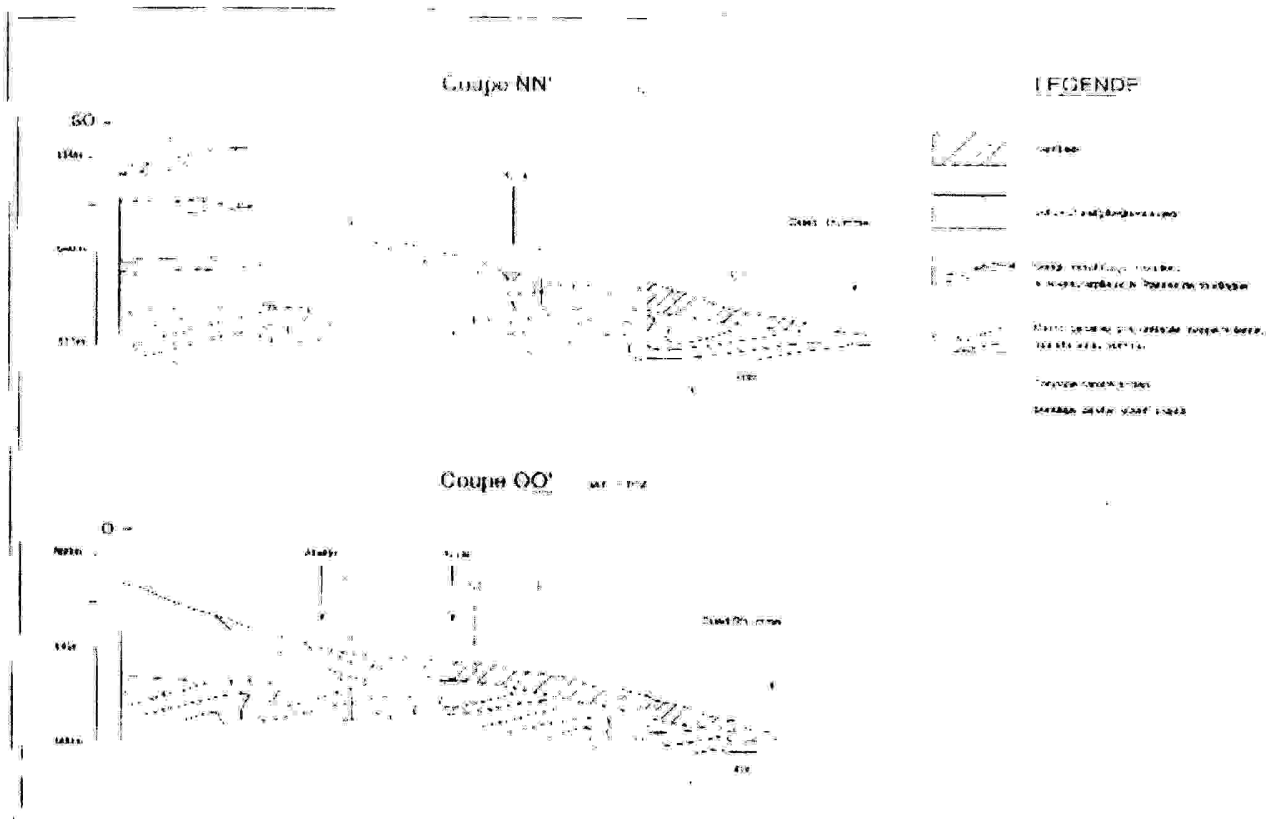


Fig. – III-40- Coupe géologiques tirées de la carte des instabilités : site Bardo et Krikri.

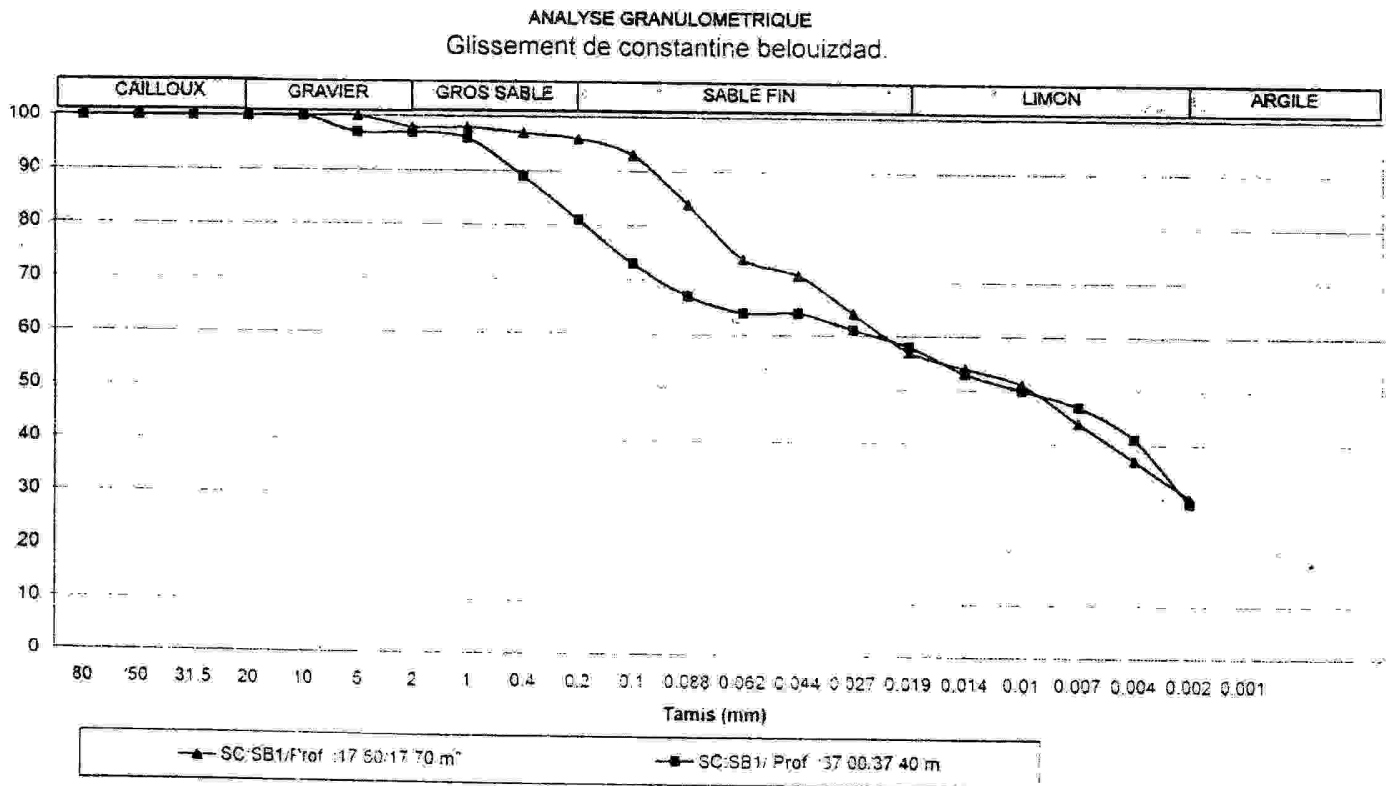


Fig – III-41- courbe Granulométrique : classification des tamisas du sondage SB1.

ANALYSE GRANULOMETRIQUE

Glissement de constantine belouizdad.

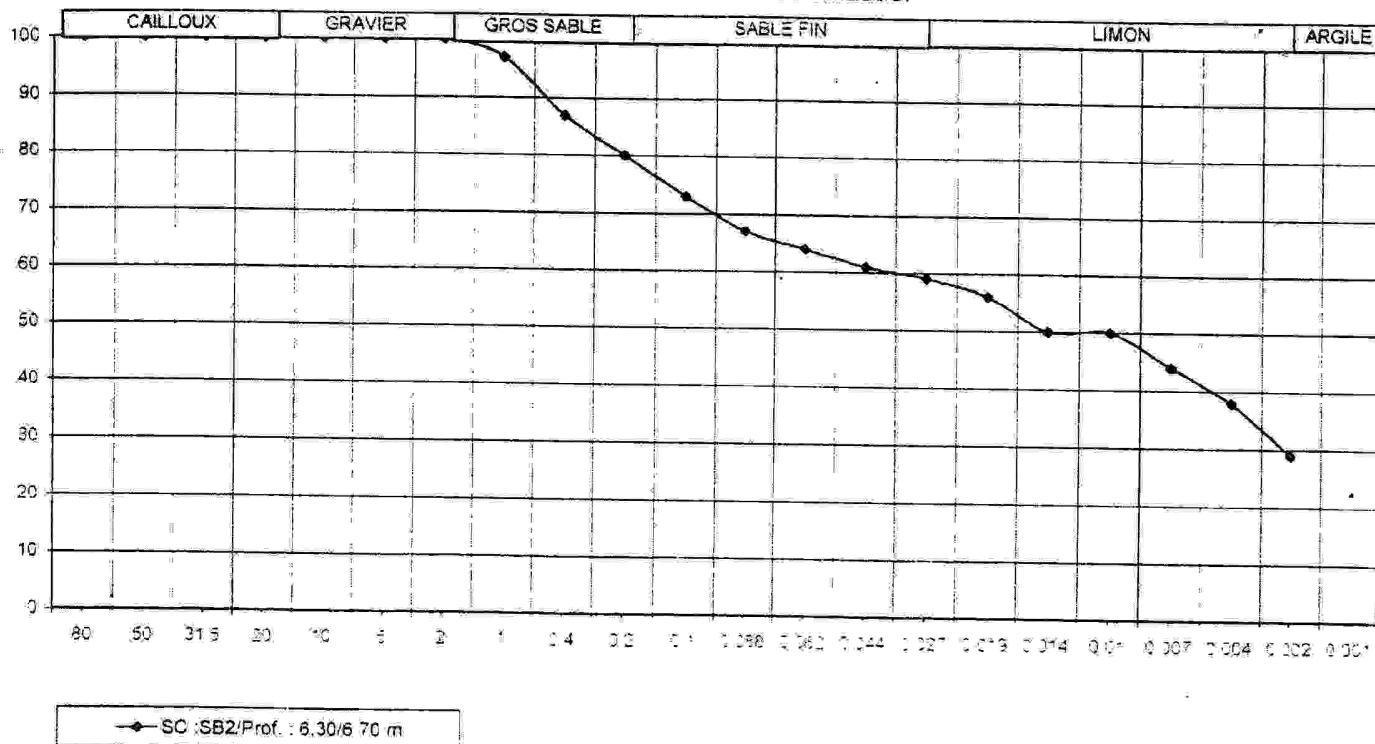


Fig. - III-42-Courbe Granulométrique : Classification des Tamisas du sondage SB2.

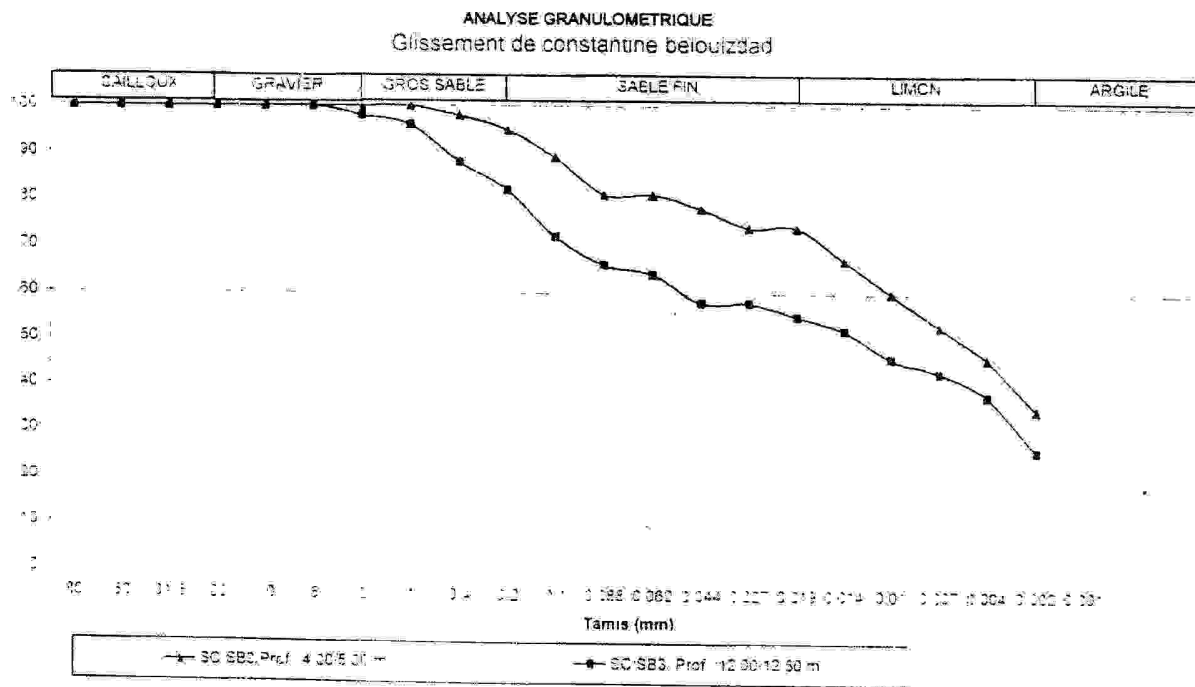


Fig-III-43- Courbe Granulométrique : Classification des Tamisas du sondage SB3.

ANALYSE GRANULOMETRIQUE
Glissement de constantine site Belouizdad.

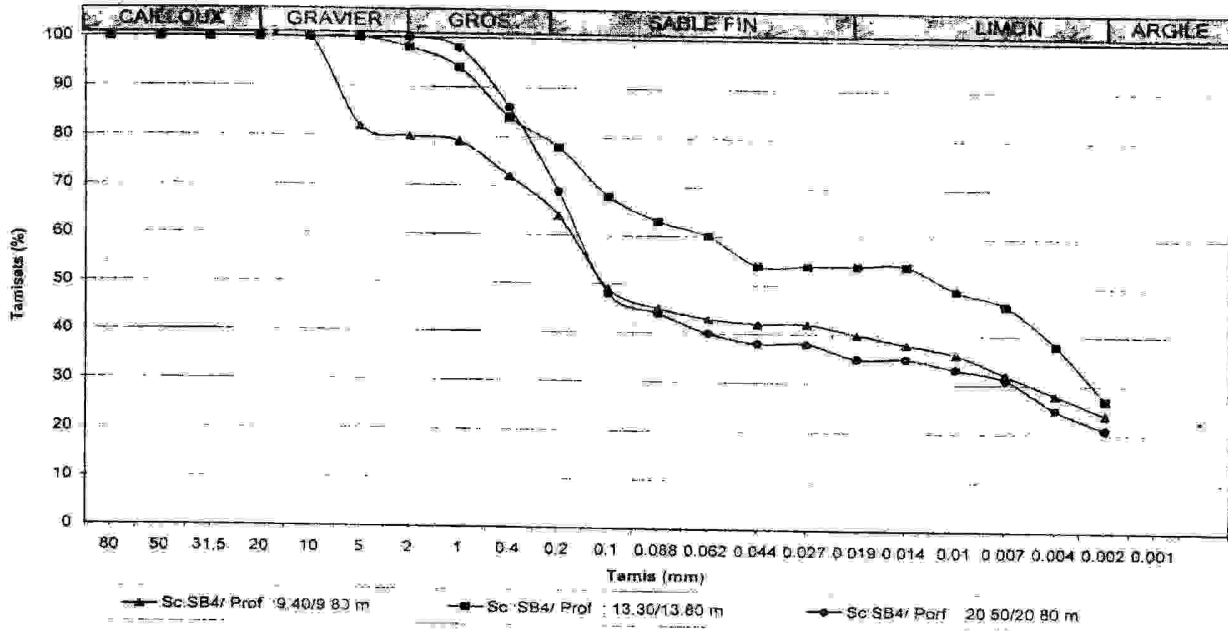


Fig. - III-44-Courbe Granulométrique : Classification des Tamisais du sondage SB4.

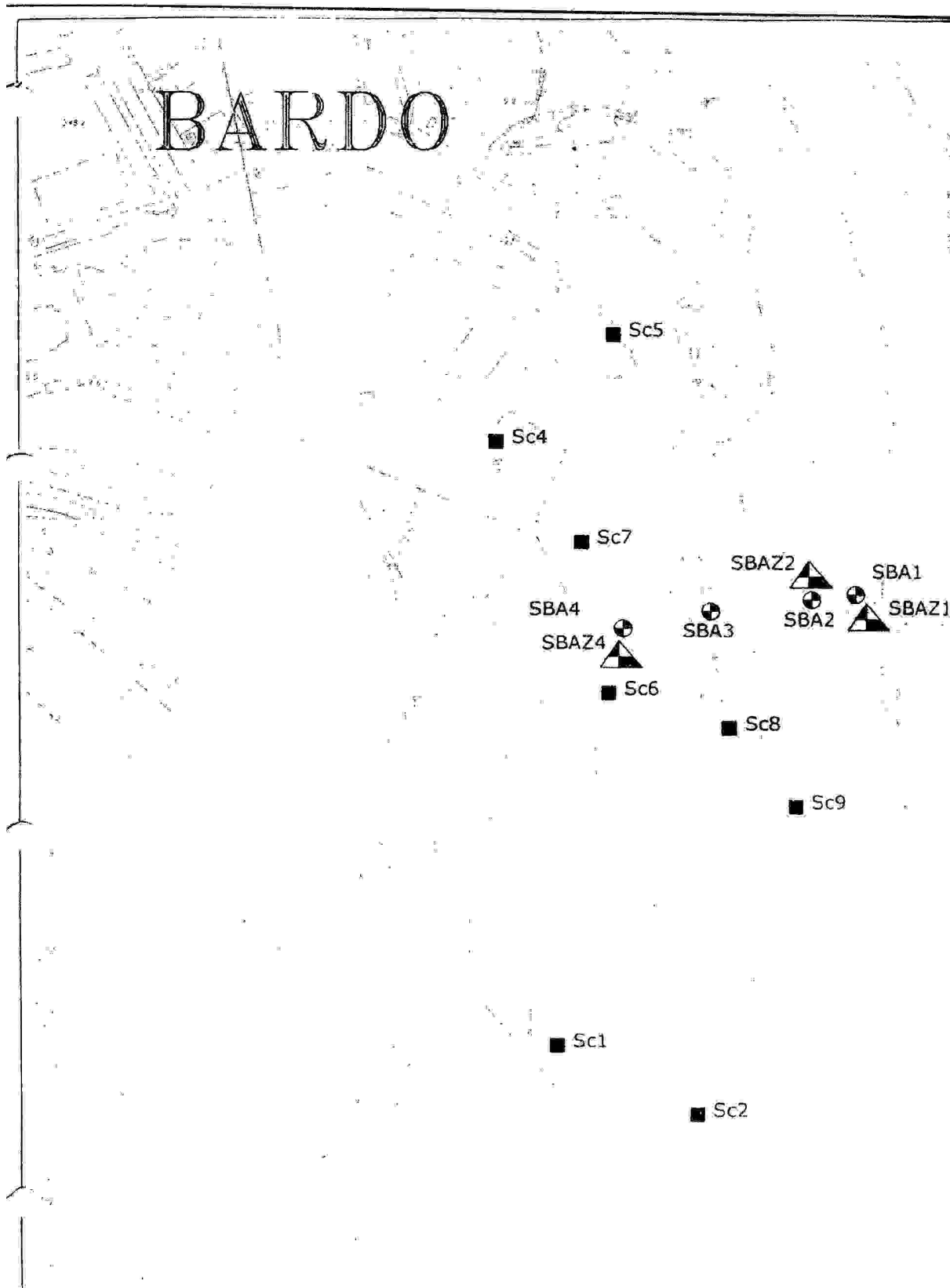


Fig-III-45-Plan de Recollement des Sondages : Site de Bardo.

- SB1 : Sondage carotté (nouveau).
- SC4 : Sondage carotté (ancien).
- SBZ1 ; Sondage Piézométrique.

CHAPITRE IV
ANALYSE DE LA STABILITE

IV – 1- Introduction :

Pour trouver une solution adéquate aux problèmes de glissements de terrain, et cela après une étude détaillée des caractéristiques géométriques et géotechniques, on doit se référer à un calcul de la stabilité Benaissa [18] et Bromhead [19]. Le calcul se distingue de trois façons fondamentales :

- L'application de la méthode des éléments finis permet d'envisager des comportements complexes ainsi de déterminer le champ de contrainte – déformation existant in situ, Ceci, n'est pratiquement pas encore du domaine des pratiques courantes en mécanique des sols.
- L'application de la méthode à la rupture envisage un comportement rigide plastique. Elle permet de déterminer les zones limites où l'état de contrainte a le même écart que l'état de rupture ; mais l'expérience montre que les ruptures des talus se produisent généralement par cisaillement suivant une surface de glissement non par plasticité du talus.
- La méthode qui est universellement utilisée est celle de l'équilibre limite ; ou l'on considère l'aptitude au glissement d'un certain volume de sol au voisinage de la pente et qu'on étudie sa stabilité.

De nombreuses méthodes de calcul sont proposées, et elles se différencient par les hypothèses (méthode de calcul : en équilibre limite, à la rupture, et en déformation) et par la facilité de leur mise en oeuvre (calcul à l'aide d'abaques, ou automatique à l'aide de logiciels), mais elles s'accordent toutes à définir un coefficient de sécurité global en fonction duquel la stabilité du talus est assurée.

IV – 2 –MECANISME DE RUPTURE ET CAUSES D'INSTABILITE DES PENTES :

Le mécanisme de rupture par cisaillement des talus de remblais ou de pentes naturelles dépend de la forme de la surface de rupture (plane, droite, arc de cercle, sphérique, etc...) ; D'autres mécanismes de rupture par plastification et écoulement d'une partie de la masse de sol peuvent exister (Poinçonnement, coulées boueuses et fluage dans les versants).

Les causes d'instabilités sont multiples. Elles peuvent être dues soit à une augmentation des

Sollicitations (surcharges, suppression de la butée de pied, déboisement, séisme, etc..) soit à une modification des caractéristiques mécaniques (perte de résistance par remaniement) ou d'ordre hydraulique (écoulement : eaux pluviales, fonte de neige, eaux de ruissellement, etc.) du terrain.

IV-3 – SYNTHÈSE DE CALCUL DE STABILITÉ :

L'analyse de la stabilité des pentes s'effectue habituellement à l'aide de la méthode des tranches. Taylor, Caquot, Biarez [20] et Skempton [21] ont présenté des méthodes globales d'analyse de la stabilité des pentes et ont évalué le moment résistant des forces de frottements.

IV-3-1-Définition du coefficient de sécurité :

Le coefficient de sécurité F est défini par l'expression suivante :

$$F = \frac{\tau_{\max}}{\tau}$$

où τ_{\max} désigne la résistance au cisaillement du sol, et τ la contrainte de cisaillement mobilisée le long de la courbe de rupture (si $F > 1$, il n'y a pas rupture ; si $F < 1$, il y a rupture ; si $F = 1$, il y a équilibre limite).

IV -3-2-Cas des ruptures planes (glissement plan) :

Ce type de rupture est rencontré lorsque le massif est constitué de plusieurs couches de caractéristiques physico-chimiques et mécaniques très différentes ou lorsque la longueur de la surface de glissement est très grande par rapport à l'épaisseur du terrain .Le coefficient de sécurité est donné par l'expression suivante :

$$F = \frac{c' L + (\cos \alpha - U) t g \varphi'}{w \sin \alpha}$$

Dans laquelle L désigne la longueur du talus, α sa pente, w le poids des terres en mouvement, U la résultante des pressions interstitielles éventuelles, c' la cohésion effective et φ' l'angle de frottement interne effectif.

IV- 3-3- Cas des ruptures circulaires (glissement circulaires) :

Ce type de rupture est rencontré lorsque le massif est homogène .Deux méthodes de calcul traitent ce problème :

- La méthode de Fellenius : qui admet que les forces externes inter-tranches sont égales .D'où le

Coefficient de sécurité F_f :

$$F_f = \frac{\sum [c' b + (w \cos^2 \alpha - ub) \operatorname{tg} \varphi'] / \cos \alpha}{\sum w \sin \alpha}$$

- La méthode de Bishop, qui admet que seules les composantes horizontales des forces externes inter-tranches s'équilibrent. D'où l'expression suivante du coefficient de sécurité F_B :

$$F_B = \frac{\sum [c' b + (w - hb) \operatorname{tg} \varphi'] / [\cos \alpha / F_f]}{\sum w \sin \alpha}$$

IV-3-4-Cas des ruptures quelconques (glissement non circulaires) :

Ce type de rupture est rencontré lorsque des hétérogénéités sont manifestés. Ce problème est traité par la méthode des perturbations dans laquelle on considère que la contrainte normale n'est pas constante le long de la courbe de rupture comme c'est le cas des deux méthodes précédentes. Cette méthode est globale.

IV.4 HYPOTHESES DIVERSES UTILISEES DANS LA METHODE DES TRANCHES :

Pour pouvoir résoudre le système il faut faire des hypothèses supplémentaires soit :

- 1- Sur les efforts intertranches
 - Méthode de Fellenius
 - Méthodes de Bishop
- 2- Sur la ligne de poussée
 - Méthode de Junbu
- 3- Sur l'orientation des efforts intertranches
 - Méthode de Spencer
- 4- Sur la répartition des contraintes le long de la ligne de glissement
 - Méthode des Perturbations

Les méthodes correspondant à ces hypothèses sont dites exactes. Il existe aussi des méthodes approchées qui en dérivent. Elles sont moins précises, et sous-estime F , elles sont conservatives.

IV – 5 - METHODES FAISANT APPEL A DES HYPOTHESES SUR LA VALEUR DES

EFFORTS INTERFRANCHES

IV - 5 - 1 Méthode de Bishop généralisée

– Nous présentons ici la méthode de Bishop, développée par Nonveiller en 1965.

Dans le cas où la ligne de glissement est circulaire, l'équilibre vertical s'écrit :

$$\begin{aligned} W_i + (V_i - V_{i+1}) &= N_i \cos \alpha_i + T_i \sin \alpha_i \\ &= N_i \cos \alpha_i + \frac{C_i}{F} \frac{b_i}{\cos \alpha_i} \sin \alpha_i + N_i \frac{\operatorname{tg} \varphi_i}{F} \sin \alpha_i \end{aligned}$$

D'où la valeur de N_i

$$N_i = \frac{W_i + (V_i - V_{i+1}) - (C_i (b_i / F) \operatorname{tg} \alpha_i)}{\cos \alpha_i + \sin \alpha_i (\operatorname{tg} \varphi_i / F)}$$

Ou bien sous forme compacte, en désignant la quantité

$$\cos \alpha_i \left(1 + \frac{\operatorname{tg} \alpha_i \operatorname{tg} \varphi_i}{F} \right) = m_\alpha$$

$$N_i = \frac{W_i + (V_i - V_{i+1}) - C_i (b_i / F) \operatorname{tg} \alpha_i}{M_\alpha}$$

L'équilibre global des moments ne fait intervenir que les forces extérieures et s'écrit par rapport au centre du cercle de glissement :

$$\rho \sum_{i=1}^n \left(\frac{C_i}{F} \frac{b_i}{\cos \alpha_i} + N_i \frac{\operatorname{tg} \alpha_i}{f} \right) = \rho \sum_{i=1}^n W_i \sin \alpha_i$$

Cette dernière équation permet de calculer F, qui indépendamment de p pour une ligne de glissement circulaire :

$$F = \frac{\sum_{i=1}^n [C_i (b_i / \cos \alpha_i) + N_i \operatorname{tg} \alpha_i]}{\sum_{i=1}^n w_i \sin \alpha_i}$$

On porte alors dans l'expression de F, la valeur de N_i précédemment calculée

$$F = \frac{1}{\sum w_i \cos \alpha_i} \sum \left[\frac{C_i b_i}{\cos \alpha_i} + \operatorname{tg} \varphi_i \left(\frac{w_i + (V_i + V_{i+1}) - C_i (b_i / F) \operatorname{tg} \alpha_i}{m_\alpha} \right) \right]$$

L'équilibre horizontal de la tranche i s'écrit

$$(H_i - H_{i+1}) + N_i \left[\frac{\operatorname{tg} \varphi_i}{F} \cos \alpha_i - \sin \alpha_i \right] + \frac{C_i}{F} b_i = 0$$

D'où la valeur de N_i

$$N_i = \frac{(C_i b_i / F) + (H_i - H_{i+1})}{\sin \alpha_i - (\operatorname{tg} \varphi_i / F) \cos \alpha_i}$$

L'élimination de N_i entre les deux expressions issues des équilibres horizontaux et verticaux donne une relation entre les composantes horizontales et verticales des efforts intertranches :

$$\begin{aligned} & (H_i - H_{i+1}) + (V_i - V_{i+1}) \left[\frac{\sin \alpha_i - (\operatorname{tg} \varphi_i / F) \cos \alpha_i}{\cos \alpha_i + (\operatorname{tg} \varphi_i / F) \sin \alpha_i} \right] \\ & = \left(W_i - \frac{C_i b_i}{F} \operatorname{tg} \alpha_i \right) \left[\frac{\sin \alpha_i - (\operatorname{tg} \varphi_i / F) \cos \alpha_i}{\cos \alpha_i + (\operatorname{tg} \varphi_i / F) \sin \alpha_i} \right] - \frac{C_i b_i}{F} \end{aligned}$$

Puisque les efforts intertranches sont des efforts intérieurs au talus, leurs sommes sont nulles :

$$\sum (H_i - H_{i+1}) = 0$$

$$\sum (V_i - V_{i+1}) = 0$$

En sommant la relation précédente sur les n tranches du talus, on obtient une relation ne faisant plus intervenir que les efforts intertranches verticaux :

$$\begin{aligned} & \sum_{i=1}^n (V_i - V_{i+1}) \left(\frac{\sin \alpha_i - (tg \varphi_i / F) \cos \alpha_i}{\cos \alpha_i + (tg \varphi_i / F) \sin \alpha_i} \right) - \frac{C_i b_i}{F} \\ & = \sum_{i=1}^n \left[\left(W_i - \frac{C_i b_i}{F} tg \alpha_i \right) \left(\frac{\sin \alpha_i - (tg \varphi_i / F) \cos \alpha_i}{\cos \alpha_i + (tg \varphi_i / F) \sin \alpha_i} \right) - \frac{C_i b_i}{F} \right] \end{aligned}$$

Le système peut donc se résoudre à partir des équations d'équilibre :

- n équations relatives à l'équilibre vertical es tranches
- n équations relatives à l'équilibre horizontal des tranches
- 1 équation de moment global

Pour les inconnues suivantes :

- N_i : soit n valeurs
- $(V_i - V_{i+1})$: n valeurs également
- F : une inconnue

Cependant les calculs sont très difficiles à aborder car il faut itérer à la fois sur F dans la relation IV-5-1 puis sur $(V_i - V_{i+1})$ dans la relation IV-5-2 a) en n'oubliant pas de vérifier la relation IV-5-2 b).

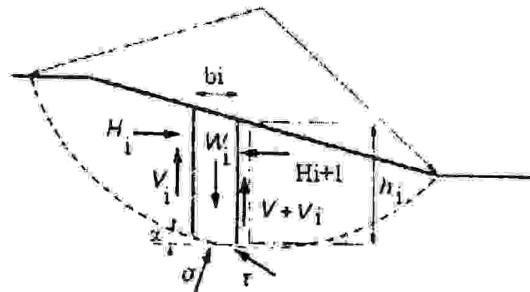


Fig-IV-1- Glissement circulaire : méthode des tranches

IV-5 -2-METHODES SIMPLIFIEES

IV-5-2 a) Méthode de Bishop simplifiée

L'extrême difficulté de mise en œuvre de la méthode générale a conduit Bishop à faire des hypothèses supplémentaires pour en rendre l'application plus abordable. Il suppose donc que pour tout i , $(V_i - V_{i+1}) = 0$, ce qui équivaut à considérer les efforts intertranches uniquement horizontaux. Le coefficient de sécurité s'obtient en itérant dans la formule suivante :

$$F_s = \frac{1}{\sum W_i \sin \alpha_i} \sum \left[\frac{C_i b_i}{\cos \alpha_i} + tg \varphi_i \frac{W_i - C_i (b_i / F) tg \alpha_i}{m_\alpha} \right]$$

IV-5-2 b) Méthode de Fellenius

Encore appelée méthode suédoise, on suppose là encore que la ligne de glissement est circulaire mais on néglige totalement les efforts intertranches .

Comme pour les autres méthodes, la répartition des N_i sera entachée d'erreur mais à un degré supérieur puisque chaque tranche est considérée comme totalement indépendante.

En écrivant l'équilibre des forces en projection sur la normale à la ligne de glissement,

on trouve :

$$N_i = W_i \cos \alpha_i$$

On écrit également l'équilibre global des moments ce qui permet de trouver directement

l'expression de F :

$$F = \frac{1}{\sum W_i \sin \alpha_i} \left(\sum_{i=1}^n W_i \cos \alpha_i tg \varphi_i + C_i \frac{b_i}{\cos \alpha_i} \right)$$

L'équation qui permet de définir F est la même que celle donnée par la méthode de Bishop [23] pour une ligne de glissement circulaire mais les efforts normaux N_i sont différents, ce qui conduit à une répartition différente des contraintes sur la base des tranches.

L'expression du facteur de sécurité déterminée par la méthode de Fellenius sert souvent de valeur de base aux itérations nécessaires pour trouver la valeur de F par la méthode de Bishop.

Remarques :

Si le milieu est purement cohérent ($\varphi=0$) ;

Dans ce cas les efforts ($R_i = N_i$) passent par le centre du cercle de glissement, les méthodes utilisant ce type de ligne de glissement donnent :

$$F_s = \frac{1}{\sum W_i \sin \alpha_i} \sum \frac{C_i b_i}{\cos \alpha_i}$$

Toutes les méthodes utilisant un cercle donnent la même valeur de f, en particulier la méthode de Bishop simplifiée et Fellenius comme on peut le vérifier ci-dessus (dans les deux méthodes l'expression de même pour « les méthodes globales »).

IV- 6- METHODES FAISANT DES HYPOTHESES SUR LA LIGNE DE POUSSEE :

Certains auteurs supposent que la ligne de poussée confondue avec la ligne de glissement: $e(x) = g(x)$.

Cette hypothèse donne de bons résultats car il y a sans doute concentration des contraintes au voisinage de la ligne de glissement, la plasticité se développant d'abord dans cette partie.

Janbu suppose la ligne de glissement au voisinage du tiers inférieur de la hauteur de la tranche $e_i=g(x)$. Examinant d'un peu plus près cette méthode.

IV-6-1-Méthode de Janbu approchée :

Lorsque la surface de glissement s'écarte trop de la forme circulaire, Janbu propose de considérer la force et l'équilibre d'une tranche verticale typique et la force de toute la masse glissée.

IV - 6 -2-Méthode de Janbu simplifiée :

Malgré l'approche informatique très développée, il est parfois utile de dégager assez rapidement un coefficient de sécurité approximatif. Ainsi la méthode de Janbu propose-t-elle une formule simplifiée, dans laquelle on ignore totalement les efforts intertranches.

$$F_s = F \frac{\sum b_i S_i (1/\cos^2 \alpha_i)}{\sum W_i \operatorname{tg} \alpha_i}$$

Avec :

$$S_i = \frac{C_i + (W_i/b_i) \operatorname{tg} \phi_i}{1 + (\operatorname{tg} \alpha_i \operatorname{tg} \phi_i / F)}$$

Et F_s étant un coefficient correcteur empirique.

Ce coefficient dépend du rapport d/L (profondeur de la surface de glissement à sa longueur) et de la nature du sol.

Le coefficient f est tiré de l'abaque présenté sur la figure IV-2.

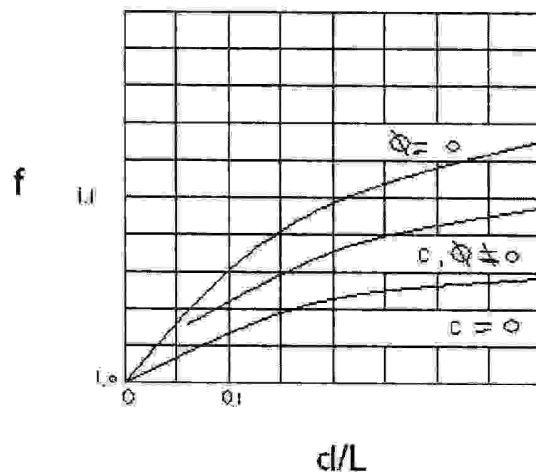
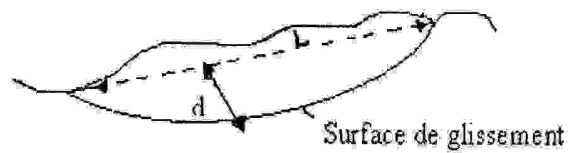


Fig-IV-2-Abaque du coefficient correcteur de Junbu.

IV – 7- METHODE FAISANT DES HYPOTHESES SUR LA REPARTITION DES CONSTRAINTES LE LONG DE LA LIGNE DE GLISSEMENT

• Méthodes des perturbations

L'idée est de partir d'une valeur approchée de l'effort normal N_{i0} que l'on perturbe en multipliant par un terme p .

On peut écrire formellement

$$N_i = N_{i0} p$$

- N_i : valeur de l'effort normal sur la courbe de rupture dans la tranche i
- N_{i0} : valeur approchée de ce dernier
- p : fonction de perturbation.

D'où n équations supplémentaires.

La surabondance de 2 équations sera supprimée en injectant deux inconnues dans la fonction de perturbation soit par exemple.

$$P = \mu_1 + \mu_2 \delta (M_i)$$

- μ_1 et μ_2 : paramètres inconnus de perturbation
- $\delta (M_i)$: fonction de perturbation définie au point M_i de calcul le long de la courbe.

La méthode sera autant plus performante que la perturbation sera faible (μ_1 proche de 1 et μ_2 proche de zéro). Cela se traduit par une estimation aussi parfaite que possible du terme à perturber N_{i0} .

IV – 8- EFFETS DE LA PRESSION INTERSTITIELLE

IV – 8 – 1 Généralités

On admet en théorie classique, que l'état d'équilibre limite d'un sol correspond à un glissement le long d'une surface de rupture. Fonction croissante de la contrainte σ .

La courbe représentative de cette fonction dans le plan (σ, τ) est l'enveloppe des cercles de Mohr définissant l'état de contrainte : c'est la courbe intrinsèque de Caquot.

L'expérience montre que dans les sols, cette courbe est assimilable à une droite et le critère de rupture s'écrit :

$$\tau = C + \sigma \operatorname{tg}\varphi$$

C'est la droite de Coulomb.

La résistance au cisaillement d'un sol est donc caractérisée par deux paramètres classiques : la Cohésion C et l'angle de frottement interne φ . En réalité ce critère de rupture ne s'applique qu'à la phase solide. Or, il existe dans le sol deux autres phases, l'une gazeuse que l'on peut négliger, l'autre liquide qui est par contre d'une importance capitale.

En effet, lorsqu'on applique sur un sol un effort quelconque, la contrainte totale σ , qui s'exerce alors sur une facette donnée se répartit à la fois sur le squelette solide qui est ainsi soumis à une contrainte σ' appelée contrainte inter granulaire ou encore effective, et sur la phase liquide se développe une pression u appelée pression interstitielle et l'on a :

$$\sigma = \sigma' + u$$

La loi de Coulomb s'écrit donc en réalité :

$$\tau = C' + \sigma' \operatorname{tg}\varphi'$$

Où C' et φ' sont respectivement la cohésion et l'angle de frottement vrais ou effectifs.

L'expression de la résistance au cisaillement peut également s'écrire :

$$\tau = C' + (\sigma - u) \operatorname{tg}\varphi' = C' + \sigma \left(1 - \frac{u}{\sigma}\right) \operatorname{tg}\varphi'$$

soit encore : $\tau = C' + \sigma \operatorname{tg}\varphi_a$

avec

$$\operatorname{tg}\varphi_a = \left(1 - \frac{u}{\sigma}\right) \operatorname{tg}\varphi'$$

φ_a est l'angle de frottement interne apparent.

Dans un sol saturé et de faible perméabilité, c'est la pression interstitielle qui, au début du chargement, équilibre à elle seule la contrainte totale, ce qui se traduit par :

$$u = \sigma \quad \text{d'où} \quad \phi_u = 0$$

IV – 8 – 2 – Equilibre d'une tranche de talus en présence d'eau

Au niveau des équations décrites précédemment il faudra alors remplacer

- N_i par $N'_i + u$
- ϕ_i par ϕ'_i
- C par C'_i
- u_i étant la pression interstitielle à la base de la tranche de terrain considéré.

Bishop et Morgenstern ont proposé une méthode approchée pour le calcul de la pression interstitielle. Ils supposent que cette pression est de la forme : $u_i = r_u \gamma_{\text{sat}} h$.

Dans cette expression,

- r_u : est un rapport des pressions interstitielles.
- γ_{sat} : le poids volumique du sol saturé
- h : la distance verticale entre le point considéré de la ligne de glissement et la surface du talus.

Autrement dit, la pression interstitielle en un point de la ligne de glissement est une fraction constante du poids de la colonne de terre qui surmonte cette ligne. A partir de cette hypothèse simplificatrice, Bishop et Morgenstern ont bâti des abaques pour le calcul de la stabilité des talus.

Mais cette méthode a ses limites et l'on doit souvent calculer de manière plus précise la pression

Interstitielle Spencer [23]

IV- 9 - Conclusion :

On en déduit que la méthode des perturbations est une méthode plus précise, les organismes qui ont fait le suivi des mouvements et les confortements par drainage et rabattement de la nappe ont intégré un logiciel de calcul de stabilité des ouvrages et pentes appelé : TALRUN. Cette méthode est bien adaptée au calcul des ruptures non circulaires comme celles observées sur le site du Ciloc. Dans tous les cas, le problème consiste à déterminer le coefficient de sécurité et de conclure à la stabilité ou non du talus étudié , car si elle n'est pas assurée le renforcement de celui-ci s'impose afin de faire face à tout glissement éventuel ou limiter son évolution dans le temps .

Chapitre V
PLAN DE PREVENTION DES RISQUES
DU GLISSEMENT DE CONSTANTINE
ET CARTOGRAPHIE

V – 1 Introduction :

Le risque de glissement est un événement spatial, lié au terrain, et la carte est toujours son support privilégié.

En Algérie, la croissance galopante de la démographie, l'urbanisation anarchique, la dégradation de l'environnement et tous les dérèglements des écosystèmes font aggraver l'ampleur et la fréquence des catastrophes » souligne "Symbiose" dans sa dernière édition.

Selon le Plan des Nations Unies pour l'Environnement, le nombre moyen de victimes est 150 fois plus élevé dans les pays en voie de développement que dans ceux développés.

La revue spécialisée en Environnement estime que pour le cas de l'Algérie, il est plus qu'urgent de passer « d'une stratégie de lutte ou de réhabilitation à une stratégie de prévention des catastrophes ».

l'Algérie a été ébranlée par les inondations du quartier de Bab El Oued d'Alger en 2001; le tremblement de terre de Zemmouri-Boumerdès en 2003 et l'accident chimique (gazeux) survenu dans la zone industrielle de Skikda en 2004 et les glissement de terrains de Constantine 2005. D'une manière générale le risque majeur se caractérise par de nombreuses victimes, un coût important de dégâts matériels, des impacts sur l'environnement : la vulnérabilité mesure ces conséquences. Le risque majeur est donc la confrontation d'un aléa avec des enjeux.

Un événement potentiellement dangereux aléa n'est un risque majeur que s'il s'applique à une zone où des enjeux humains, économiques ou environnementaux sont en présence.

- **Aléa** : probabilité d'apparition d'un phénomène donné sur un territoire donné, dans une période de référence donnée. L'aléa est caractérisé par (3) trois éléments selon le cas, comme par exemple :

description du phénomène, définition spatiale (point de départ et épandage) et appréciation de l'occurrence temporelle (rupture peu probable dans les 5 ans).

- **Enjeu** : Personnes, biens, équipements ou environnement menacés par l'aléa et susceptibles de subir des préjudices ou des dommages.

Le terme « **risque** » comprend les risques de toute nature y compris les risques naturels. Le (PPR) plan de prévention des risques approuvé vaut servitude d'utilité publique et impose des limites au droit de propriété et au droit d'utiliser le sol (Code de l'urbanisme) ; le PPR s'impose également aux POS (Plans d'occupation des sols) auquel il doit être annexé, et intervient dans la délivrance de permis de construire. La cartographie et la base de donnée tentent de résoudre le problème du glissement, et pour cela plusieurs échelles de cartographie. Les plus employées sont le 1/25000 et le 1/5000 avec les moyens mis en œuvre. D'une manière générale le risque majeur se caractérise par de nombreuses victimes, un coût important de dégâts matériels, des impacts sur l'environnement : la vulnérabilité mesure ces conséquences. Le risque majeur est donc la confrontation d'un aléa avec des enjeux.

V -2 -PREVENTIONS ET MESURES PRISENT VIS-A-VIS DES GLISSEMENTS :

Minimiser les risques, ou les prévenir amène à bien étudier les endroits atteints ou sujettes à ce phénomène naturel qu'est le glissement, la prévention doit passer par une cartographie de ces glissements Vinet [24] et JNGG [25]. On note que :

- Le risque est fort, la zone est en glissement : toute construction ou aménagement sont interdits, sauf exceptions dûment justifiées et sécurisées (bâtiment agricole sans occupation humaine, routes...).
- Le risque est moyen ou modéré, la zone est à proximité d'un glissement ou susceptible elle-même de glisser : une étude géotechnique, soit de stabilité du versant à l'échelle d'un secteur, soit de stabilité de la parcelle seule dans les cas les moins critiques, est exigée avant toute construction ; de plus diverses dispositions (protection vis-à-vis d'une coulée boueuses, absence d'infiltration d'eau dans les sols...) peuvent être prescrites au constructeur.
- Le risque est faible, la zone est exempte de glissement mais les terrains sont sensibles : quelques mesures d'urbanismes (absence d'infiltration d'eau dans les sols, etc..) sont prescrites, et l'administration recommande une étude de sol à l'échelle d'une parcelle, qui relève alors de la responsabilité du constructeur. Dans ce dernier cas le pétitionnaire peut passer outre à la recommandation, mais, il prend un grand risque vis à vis de ses assurances qui pourraient bien en cas de sinistre évoquer l'absence d'étude, alors que le risque (même faible) était notoire.

V- 2- 1 – Utilisation de la Cartographie pour valoir le Risque du Glissement :

La cartographie des risques naturels vise à délimiter les zones pouvant être exposées à des risques naturels, puis à édicter des mesures de protection vis-à-vis de ces risques. On a donc une première phase technique, qui permet d'estimer la probabilité de survenance d'un phénomène donné en un endroit donné, probabilité appelée **aléa** ; la deuxième phase, réglementaire, qui se pose plus en termes d'aménagement, détermine quelles sont les meilleures réponses à apporter aux problèmes mis en évidence par la première phase.

En général, la cartographie des risques naturels se fait au moyen de deux principaux outils, qui sont tous deux des documents d'urbanisme, généralement à l'échelle d'une commune :

- Les Plans de Prévention des Risques naturels prévisibles, ou P.P.R., ont été mis en place pour simplifier l'affichage du risque, en remplaçant les différents documents mis en place jusqu'alors. Ils peuvent réglementer tout type d'utilisation du sol. Après élaboration dans les formes définies par la loi (prescription par le Préfet, élaboration par un service de l'Etat, consultations, enquête publique puis approbation par le Préfet), le P.P.R. vaut servitude d'utilité publique, et doit être annexé au Plan d'Occupation des Sols (POS).
- Les Cartes d'Aléa ne sont pas en elles-mêmes des documents réglementaires, mais servent à intégrer dans le Plan d'Occupation des sols (POS) des dispositions d'urbanisme vis-à-vis des risques naturels. Sur le plan juridique, il s'agit d'un simple porté à connaissance de l'Etat ou d'une initiative de la commune, au moment de l'élaboration ou de la révision du POS : il n'y a donc pas de phase administrative pour ce document, contrairement au P.P.R. Inconvénient de la méthode, un POS ne peut imposer de dispositions constructives (par exemple renforcement des façades ou étude de sol) et doit choisir entre une interdiction de construire, qui peut être levée avec une étude globale de la zone, et une simple recommandation de ces dispositions, l'application reste doit être faite par le maître d'œuvre.

Classiquement, l'établissement d'une cartographie des risques naturels présente plusieurs étapes :

- un inventaire des phénomènes passés ou visibles concernant la commune ou le secteur d'étude, aboutissant à une carte des phénomènes naturels,
- une prospective pour établir une carte des aléas, tenant compte des phénomènes prévisibles et pas seulement visibles,
- une réflexion d'aménagement, produisant un zonage réglementaire sur fond cadastral et un règlement associé.

Les deux premières étapes constituent la phase technique, où l'on considère les phénomènes ; la troisième étape constitue la phase réglementaire, où l'on considère les moyens de s'en protéger.

Pour un PPR comme pour une carte d'aléa, la phase technique est sensiblement la même ; c'est la phase réglementaire qui diffère.

1) La carte des phénomènes naturels

Une première étape indispensable est de réaliser une sorte d'état des lieux des phénomènes sur la commune, à la fois par des observations de terrain et par une enquête, menée auprès des habitants, de la municipalité, des services de l'Etat...

Chaque phénomène cartographié (visible sur le terrain ou historique) est relié à une fiche descriptive.

2) la carte des aléas :

Une démarche raisonnée de protection vis-à-vis des risques naturels ne saurait s'appuyer que sur les phénomènes passés ou présents ; il est nécessaire de prendre en compte la probabilité de survenance de phénomènes dans le futur, qui correspond à la notion d'aléa, il s'agit d'une démarche prospective, qui vise à analyser les causes des phénomènes et les indices associés. On est ainsi souvent amené à classer en zone d'aléa des zones où aucun phénomène n'est survenu jusqu'alors, du fait de l'apparente sensibilité de ces terrains. Par exemple, pour les cours d'eau, la règle est de considérer les zones inondées par une crue centennale c'est-à-dire une crue dont l'intensité est telle qu'elle n'est susceptible de survenir qu'une fois en cent ans. Des calculs d'hydrologie et de topographie peuvent aider à déterminer les effets qu'aurait une telle crue sans l'avoir observée : on peut alors affirmer que des terrains qui n'ont pas été inondés dans un passé récent, et que la mémoire collective considère

comme épargnés, sont inondables. Les aléas, à savoir les localités atteintes par le glissement peuvent être observées selon les cartes des instabilités sus-mentionnées, avec le confortement des sites.

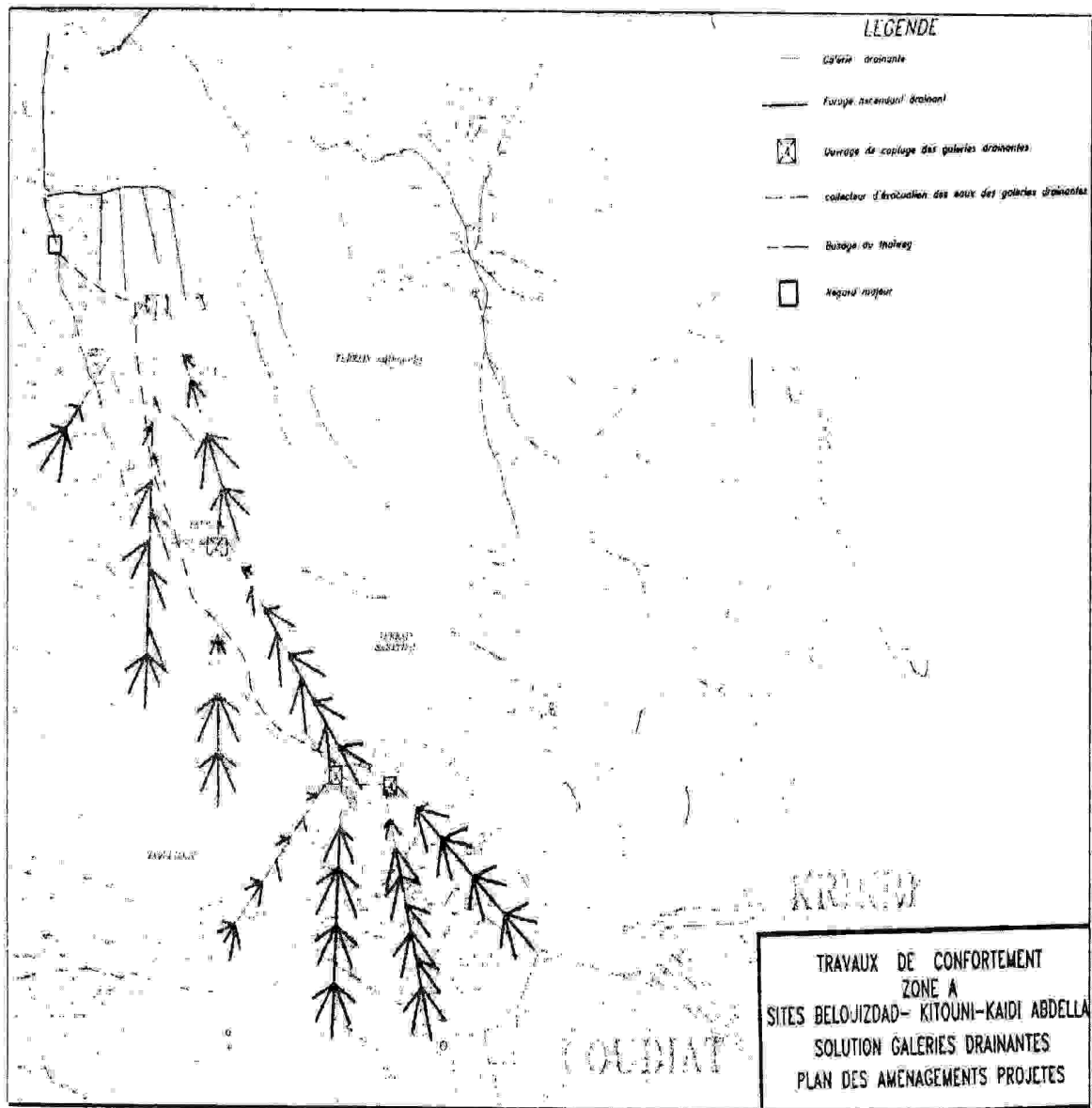


Fig – V -1- Site de Belouizded : implantation des galeries drainantes.

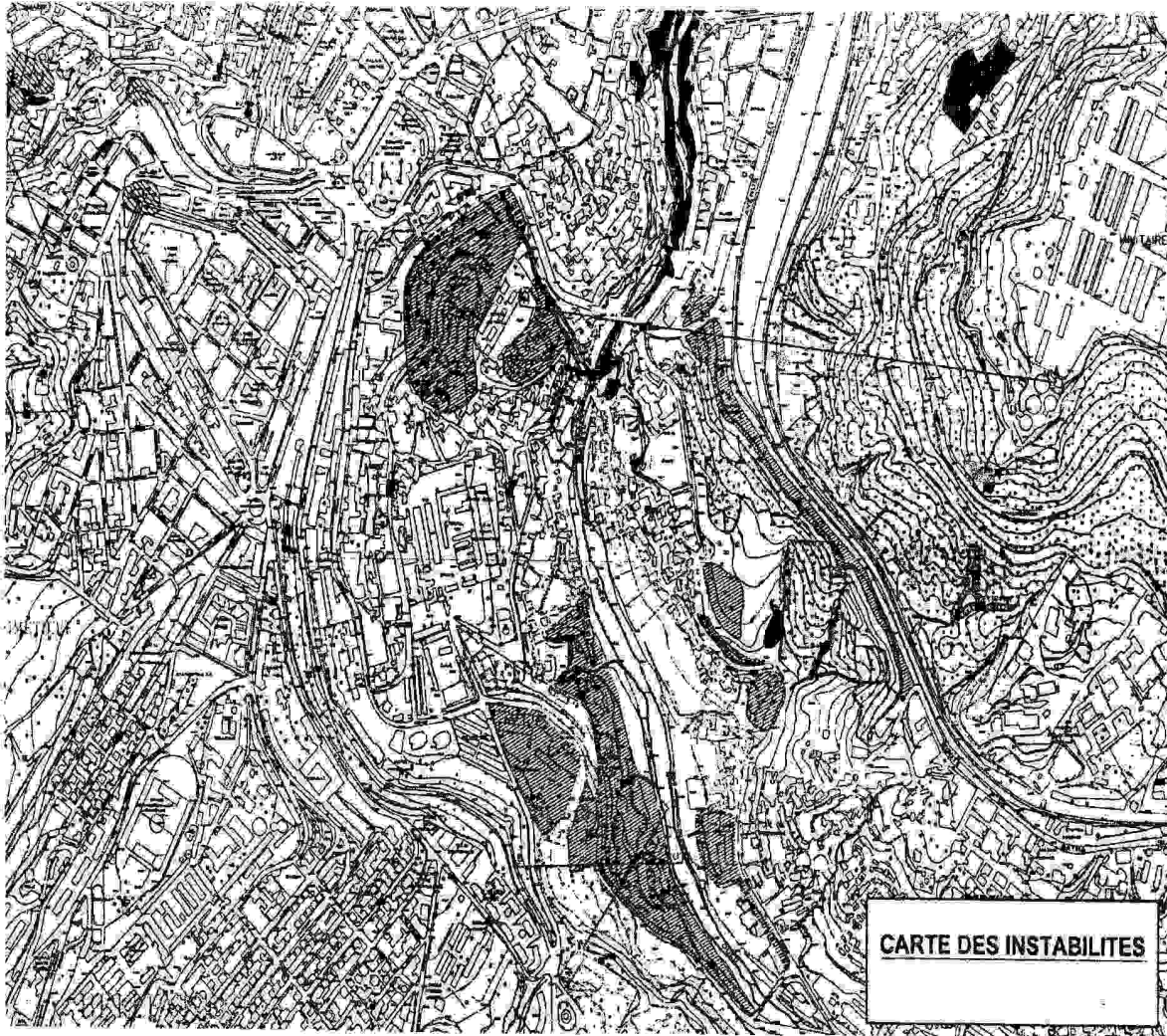


Fig V- 2- Carte des instabilités Sites Bardo et Krikri.

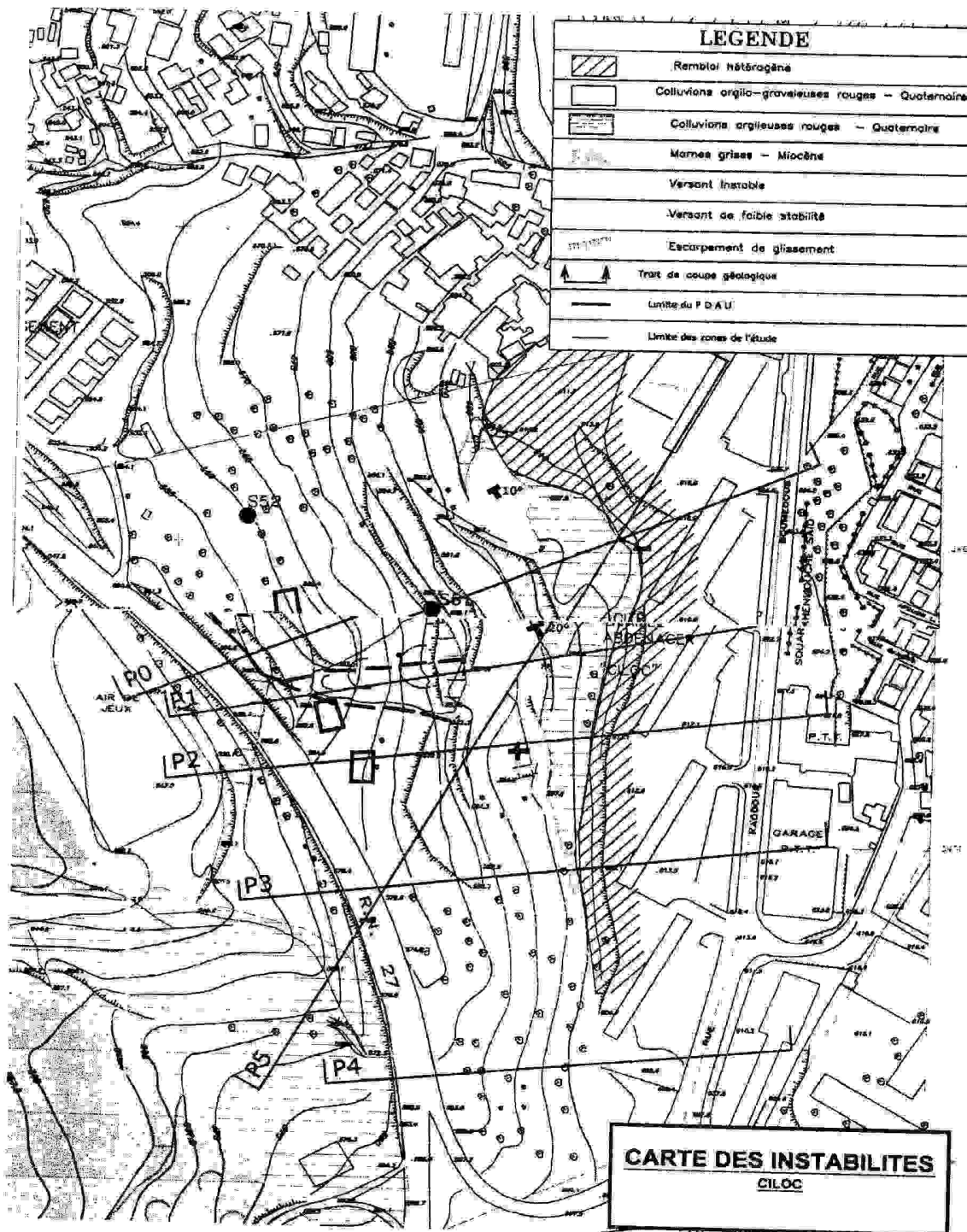


Fig-V-3- Carte des instabilités du site de Ciloc.

3) Le zonage réglementaire :

Il s'agit maintenant de trouver des solutions aux problèmes posés par les aléas. Pour une carte des aléas à intégrer dans un Plan d'occupation des Sols (POS), la démarche est simple : à chaque aléa correspond un règlement-type, et on n'a donc pas de carte réglementaire séparée ; il est cependant réalisé un tirage de la carte d'aléa sur un fond cadastral, pour une meilleure transcription dans le POS. Pour un Plan de Prévention des Risques (PPR), on peut différencier, pour un même aléa, le règlement qui s'y applique en fonction de l'occupation de la zone : ce système permet une adaptation poussée des mesures de protection à chaque cas particulier. Le document comprend alors une carte réglementaire spécifique et le règlement qui s'y rapporte.

V – 2-2- Utilisation des SIG pour cartographier les Niveaux de Susceptibilité des Mouvements de Terrains (NSMT) :

Les Systèmes d'Informations Géographiques (SIG) ont pour but de décrire les nombreux avantages qu'ils procurent dans les études qui nécessitent l'analyse spatiale des données. Ils offrent un excellent support pour prendre des décisions grâce aux nombreuses fonctions offertes pour organiser, visualiser, rechercher, combiner et analyser une vaste donnée géotechnique .

V-3-Rapport des cartographies à l'élaboration de l'Aléa et le Risque :

V-3-1- Carte de vulnérabilité glissements de terrain de la ville de Constantine :

La carte de vulnérabilité glissements de terrain est établie à l'échelle du 1/10 000 et couvre l'ensemble du Plan Directeur d'aménagement Urbain (PDAU) de la ville de Constantine. Elle résulte d'une synthèse des travaux cartographiques dans le cadre de l'étude des glissements de terrain de la ville de Constantine : cartes géologique et géomorphologique au 1/10 000, carte des instabilités au 1/2 000, complétés par des observations sur le terrain.

Cette carte distingue trois zones géotechniques d'aptitude différent vis-à-vis des glissements de terrain : **zone 1** (couleur verte), **Zone 2** (couleur orange) et **zone 3** (couleur rouge). Les terrains laissés en blanc concernent les terrasses alluviales les plus basses des oueds et les plus exposées au risque d'inondation. Ce risque est facteur non négligeable dans l'évaluation de la vulnérabilité.

Zone 1 – Cette zone regroupe les terrains de faible à moyenne déclivité. Les terrains correspondants sont soit de nature rocheuse affleurante ou sub-affleurante (calcaires massifs et marno-calcaires crétacés, calcaires lacustres plio-quadernaires). Aucun indice significatif d'instabilité n'est observé dans cette zone. Les constructions existantes n'y montrent pas de dégradation liée à des mouvements de sols. La zone 1 est donc naturellement stable et favorable à la construction. Cette stabilité est liée à la morphologie plate pour les terrasses alluviales et à la bonne qualité géotechnique des terrains rocheux pour les autres sites. La zone I qui occupe plus de 60% de la surface du Plan Directeur d'Aménagement Urbain (PDAU) de Constantine, est représentée par les quartiers et sites suivants : Djebel Ouahch, Emir Abdelkader, El ménia, La Qasbah, Mansourah, Sidi Mabrouk, Coudiat, Touifez, Daksi, Gammas, Sissaoui et Zouaghi Mabrouk, Coudiat, Touifez, Daksi, Gammas, Sissaoui et Zouaghi.

Dans cette catégorie, ont été rangés les sites où le substratum rocheux stable est recouvert par des formations superficielles argilo-limoneuses, particulièrement sensibles à l'eau, telles qu'à Riad, Sarkina et Bellevue. Dans ce cas de figure qui est précisé plus en détail dans le plan de vulnérabilité, les travaux de terrassement et notamment les talus de déblais peuvent générer des instabilités superficielles.

Zone 2 – Cette zone regroupe les terrains de déclivité moyenne à élevée (10 à 25%) dont la stabilité des pentes est incertaine. Les terrains correspondants sont généralement de qualité médiocre : marnes miocènes plastiques et décomprimées en surface, remblais hétérogènes anciens, et sont pour la plupart, limitrophes des sites franchement instables.

Cependant, les indices d'instabilité tels que les escarpements de glissement, la fissuration ou les morphologies moutonnées, n'y sont pas franchement exprimés. Dans le bâti situé dans cette catégorie, les dégradations sont fréquentes mais restent superficielles (joints dilatés, clôtures et escaliers fissurés).

Les sites les plus représentatifs de cette catégorie sont le secteur Sud de l'Université (Ecole d'Architecture, Cité universitaire Mentouri, Institut paramédical), Boudraa Salah et les versants Sud de Boussouf.

La faible stabilité des pentes de la zone 2 pourrait être compromises par l'action anthropique (terrassements) si celle-ci n'est pas mesurée. Dans tous les cas, les projets d'aménagements sur des terrains appartenant à cette catégorie.

Zone 3 – Cette zone regroupe l'ensemble des glissements de terrain déclarés et les sites montrant des indices irréfutables d'instabilité : escarpements de glissements, moutonnements, fissures très ouvertes. Les pentes topographiques sont moyennes à élevées (10à25%)
Les sites franchement instables menaçant le tissu urbain contiennent des terrains hétérogènes : marnes et alternances argilo conglomératiques, miocènes, marno-calcaires crétacés. Les constructions existantes y présentent de sérieux dommages, lorsqu'elles ne sont pas entièrement dégradées.

Les quartiers et sites les plus représentatifs de cette classe sont : Bélouizdad-Kitouni-kaïdi Abdellah, Chemin forestier-culée est du pont de Sidi Rached, Ben Chergui, Boudraa Sala, Bardo, Boussouf, Zone Sud de l'université (versant rive droite du Rhumel), on été classés dans cette catégorie, les terrains de forte déclivité et les falaises du Rhumel, pour lesquels tous travaux de terrassement entraîneraient des risques d'écroulement et d'éboulement.

Les eaux souterraines et les terrassements sont les principaux agents déstabilisateurs des terrains appartenant aux zones 2 et 3.

Une mauvaise maîtrise des conduites d'eau conduirait à terme, à une dégradation des conditions actuelles précaires d'instabilité. En d'autres termes, les sites classés en zone 2 peuvent basculer en zone 3, si l'action anthropique est mal maîtrisée.

Par ailleurs, les glissements de terrain actuels menacent d'évolution s'ils sont abandonnés à eux-mêmes. Cette évolution est particulièrement préoccupante pour les sites instables les plus urbanisés (Bélouizdad ,Kitouni, Boussouf, Boudraa Salah) et constitue alors une menace sérieuse pour le bâti limitrophe de ces glissements. La zone 3 est défavorable pour la construction.

V-3- 2.- Analyse globale de la carte de vulnérabilité :

La distinction des trois zones d'inégale aptitude aux mouvements gravitaires donnent une première orientation pour le choix des sites constructibles.

Les facteurs naturels et anthropiques qui déterminent ce zonage sont variés et interactifs. La prépondérance d'un seul facteur sur les autres peut expliquer le passage d'une zone à son extrême (zone 1 à zone 3).

Si l'on prend par exemple, les versants marno-calcaires telliens, ces derniers, bien que très fracturés, sont stables sur toute la partie orientale du Plan Directeur d'Aménagement Urbain (PDAU) (Djebel Ouahch, Sidi Mabrouk, Gammas, Sissaoui), alors que le versant du chemin forestier, de même nature lithologique, est instable. La cause principale de cette différence de comportement revient à la forte déclivité de ce dernier versant.

Pour ce qui concerne les formations conglomératiques plio-quadernaires, elles sont généralement stables sur des versants très abrupts tels que les hautes falaises sues Bardo, hormis les écroulements superficiels d galets en blocs, en période humide. Ces conglomérats sont par contre, mobilisés dans un grand glissement de terrain sur le versant Bélouizdad-Kitouni bien que la déclivité du terrain soit faible (15 à 25%).

Ce n'est plus la pente topographique qui commande ici, le comportement du versant, mais les conditions hydrogéologiques. En effet, le versant de Bélouizdad-Kitouni renferme plusieurs aquifères superposés, captifs, parfois artésiens, séparés par des niveaux argileux plastiques à saturation. Ces derniers constituent les horizons les plus favorables aux ruptures gravitaires comme le confirment les mesures inclinométriques.

Pour ce qui concerne les marnes miocènes, la pente de stabilité naturelle ne dépasse pas 20%.

Les travaux de terrassement et les perturbations fréquentes induites sur le réseau naturel de drainage des eaux superficielles, conduisent alors à leur déstabilisation. Ce phénomène est souvent observé dans les constructions récentes des quartiers de Boussouf et de Ben Chergui .

La stabilité des terrains classés en zone 1 tient à la fois de la faible déclivité des sites que de la bonne qualité géotechnique des formations géologique qui les constituent ; terrasses alluviales suffisamment élevées, calcaire massifs, sables et conglomérats bien cimentés. Les terrains de la zone 1 ont été les premiers sites à être urbanisés lors des occupations turque et française :

Casbah, Koudiat Aty et Touifez, Mansourah, Sidi Mabrouk.

Les sites de cette qualité qui restent encore disponibles à la construction sont localisés à la périphérie Nord (El Méria), Sud (plateau de Zouaghi) et Est (Berda, Sarkina, Sissaoui) du Plan Directeur d'Aménagement Urbain.

V-4 -Plan de vulnérabilité aux glissements de terrain de la ville de Constantine

V-4-1 – introduction :

Le plan de vulnérabilité de la ville de Constantine aux glissements de terrain, est établi à l'échelle du 1/5000 et couvre l'ensemble de son Plan Directeur d'Aménagement Urbain (P.D.A.U). Il est élaboré à partir des résultats d'études de terrain , et repose en particulier sur la synthèse des documents cartographiques suivants :

- carte géologique à l'échelle du 1/10000
- carte géomorphologique à l'échelle du 1/10000
- cartes des instabilités à l'échelle du 1/2000
- cartes du bâti à l'échelle du 1/1000
- carte de vulnérabilité à l'échelle du 1/10 000

Un travail complémentaire a été mené sur le terrain pour couvrir notamment, les sites non urbanisés et implicitement moins bien connus sur le plan de leur stabilité.

Un effort particulier a été consenti pour identifier qualitativement les zones inondables, sachant que le risque d'inondation constitue un facteur de vulnérabilité non négligeable pour la ville de Constantine. Cependant, les limites cartographiques de telles zones, déduites à partir d'observations morphologiques, restent à vérifier sur la base d'une analyse hydrologique complémentaire, plus rigoureuse à entreprendre.

La carte de vulnérabilité, levée à l'échelle du 1/10 000 et le présent plan de vulnérabilité qui est de plus grande échelle, ont pour caractéristiques communes, la classification des sites suivant leur inégale aptitude aux glissements de terrain.

Nous ne reviendrons pas sur l'analyse des facteurs naturels qui régissent ces différentes aptitudes, mais donnerons plus de détails cartographiques, en matière de zoning géotechnique, dans la mesure où l'échelle du plan (1/5000) le permet. Nous mettrons par ailleurs, l'accent sur les contraintes potentielles que l'action anthropique pourrait générer dans les différentes conditions de sites.

V-4- 2 – Classification

Le plan de vulnérabilité distingue sept classes d'aptitude à la construction. Les cinq premières classes concernent la vulnérabilité de la ville de Constantine aux glissements de terrain, les deux dernières, celles exposées au risque d'inondation.

La classe 1 définit les sites les plus favorables à la construction, en raison de leur faible déclivité (plateaux de Mansourah, Ain el Bey, Touifez, Zouaghi, Terrasses alluviales élevées) et de la bonne qualité de leur sols de fondation.

Cette classe est largement urbanisée dans la partie centrale (centre-ville de Constantine), mais compte plusieurs sites encore disponibles à la construction : Zone Sud du parc Djebel Ouahch, Sarkina, Sissaoui, Zouaghi, Ain el Bey et la limite sud-ouest en rive droite du Rhumel.

Compte tenu de la diversité du sol et du sous-sol des sites appartenant à cette classe, les études géotechniques de projets de construction sont à orienter essentiellement vers la recherche des paramètres de portance et de tassement des horizons de fondation.

La classe 2 est caractérisée par un substratum stable, peu profond, recouvert par des formations superficielles (ou d'altération) de quelques mètres d'épaisseur, sensibles à l'eau.

Cette classe est donc constructible sous réserve de la préservation ou de la restitution du drainage naturel des eaux de surface et de la réalisation correcte des ouvrages d'assainissement. La classe 2 est représentée notamment par :

- Les sites urbanisés du Bardo, la mosquée E.Abdelkader-Bellevue et le plateau marneux au sud de l'Université .
- Les sites non urbanisés de la limite centre-nord du P.D.A.U (à l'est de Sidi Meid), Sarkina, et la limite sud-ouest du P.D.A.U.

Les études géotechniques ponctuelles, concernant cette classe, doivent être orientées, outre la recherche des paramètres de portance et de tassement, vers la stabilité des talus de terrassement des formations superficielles.

Les classes 1 et 2 correspondent à la zone géotechnique 1 de la carte de vulnérabilité.

La classe 3 regroupe les sites de stabilité incertaine compte tenu des pentes topographiques assez fortes associées à un sous sol de caractéristiques géotechniques médiocres. Ont été intégrées dans cette classe les zones de transition (tampon) entre les sites stables et instables lorsque ces derniers sont mitoyens.

Les sites appartenant à cette classe occupent environ dix pourcent (10%) de la surface du (PDAU) ;

On note les versants marneux de Boudraa salah, Zaouche, Boussouf, Université et Massinissa.

De nombreuses constructions existent sur les sites appartenant à cette classe. Nous citerons pour exemples, L'institut d'Architecture, la cité universitaire Mentouri, une partie du quartier de Boussouf, et le versant Nord de Zouaghi.

Ces constructions, bien qu'elles ne montrent pas de dégradations structurelles importantes, ont souvent nécessité la stabilisation de leurs talus de terrassements par gabionnage et murs de soutènement. Les ouvrages fondés superficiellement tels que les escaliers, les paliers de rez de chaussées, les canalisations enterrées, montrent de nombreuses dégradations qui témoignent de la faible stabilité des terrains de sub-surface.

Cette classe est à éviter pour le mieux dans les nouveaux projets de construction. Dans le cas contraire, les études géotechniques doivent porter en premier lieu sur la stabilité des sites par des moyens appropriés : cartographie géotechnique détaillée, reconnaissance lithologique, piézomètre et mesures inclinométriques au besoin. Les grands terrassements sont à proscrire sachant que la faible stabilité naturelle des versants peut conduire à leur rupture.

La classe 4 délimite les sites d'instabilité certaine. Elle est subdivisée en deux sous-classes : classes 4a et 4b.

La classe 4a concerne les versants peu ou pas urbanisés, montrant, malgré l'absence de ruptures totales, de nombreux indices d'instabilité : fissuration, moutonnement, arbres inclinés, désordres dans les constructions.

Cette classe est largement répandue dans les formations marneuses de Ben Chergui, Boudraa Salah Zaouche, Boussouf, Massinissa et le secteur Sud de l'Université. Elle est également reconnue dans les versants conglomératiques de forte pente du quartier de Kaïdi Abdellah jusqu'à la poudrière et les marno-calcaires fracturés du talus amont de la gare ferroviaire (chemin forestier).

Ces sites sont généralement développés en amont immédiat des versants franchement instables de la classe 4b dont ils ferment la continuité géologique. Ils peuvent donc basculer naturellement vers cette dernière classe.

La classe 4b regroupe les sites franchement instables dont les plus urbanisés ont fait l'objet d'une cartographie géotechnique détaillée, à l'échelle du 1/2000^{ème}. Il s'agit des sites de :

Bélouizdad-Kitouni-Kaïdi Abdellah ; Poudrière ; Chemin forestier ; Culée Est du pont de Sidi Rached ; Ben Chergui ; Boudraa Salah ; Zouache ; Quartier nord de Boussouf ; Université ; et Bardo.

Il faut ajouter à cette classe les glissements en milieu non urbanisé que nous avons mis en évidence lors de l'élaboration de la carte de vulnérabilité. Il s'agit :

- du versant compris entre Gammas et Ben Chicou,
- de Massinissa (versant Nord de Zouaghi),
- de la limite Nord du P.D.A.U, au Sud-Ouest de Dj. Ouahch,

Ces trois derniers glissements n'ont pas fait l'objet d'étude, dans la mesure où ils ne sont pas urbanisés, mais il est à notre sens, nécessaire de les étudier plus en détail afin d'examiner leur impact sur les infrastructures qu'elles renferment ou qui leur sont voisines. En effet, l'évolution régressive des glissements de Gammass et de Djebel el Ouahch menacent à terme, les secteurs urbanisés situés en amont de ces glissements, quant au glissement de Massinissa, il est la cause de la dégradation récurrente de la route reliant Boussouf à Ain el Bey.

Les sites **des classes 4a et 4b** sont inconstructibles.

La classe 5 regroupe l'ensemble de bordures immédiates du réseau hydrographique dont l'encombrement par la construction, conduit à la perturbation du réseau hydrographique et implicitement à la déstabilisation des berges puis des versants voisins. Elle devient donc inconstructible, quelle que soit la qualité du sol et du sous sol traversé par ce réseau.

La cartographie de cette classe n'a porté que sur les thalwegs suffisamment larges pour être cartographiable à l'échelle de ce plan de vulnérabilité. L'ensemble du réseau de thalwegs secondaires doit être considéré comme appartenant à cette classe.

La classe 6 délimite les terrasses alluviales les plus proches des cours d'eau et les moins élevées (3 à 4m) par rapporte aux cotés des lits mineurs voisins.

Ces terrasses sont fréquemment inondables. Les indices observés sont les dépôt limoneux récents qui recouvrent souvent la terre végétale et la présence d'objets hétéroclites (sachets en plastique, débris de bois et roseaux, morceaux de tissu), transportés par les eaux débordantes et abandonnés sur ces terrasses et leurs bordures.

Les crues assez exceptionnelles de février et mars 2003 nous ont permis de vérifier partiellement ces observations, en constatant une élévation minimale de 3m des eaux des Oueds Rhumel et Bou Merzoug au niveau de leur confluence et la même élévation de l'Oued Bou Merzoug, en aval de Chaab Ersass. Ce constat ajouté à plusieurs témoignages des riverains de ces cours d'eau, confirme l'inondabilité des terrasses les plus basses.

La vulnérabilité de ces dernières est liée à l'existence d'un habitat, souvent précaire, parfois très dense, qui s'y développe. Nous citerons à titre d'exemples, le bidonville dit << Bessif >> en rive droite du Bou Merzoug, celui du Rhumel à la hauteur du pont du Diable, les nombreuses maisons qui jalonnent les oueds Mellah et El Klab, et l'habitat récent construit dans le lit même Chabet el Merdja, en aval de Boussouf.

Cette classe est inconstructible. Pour ce qui concerne l'habitat précaire existant, la solution la plus raisonnable consiste, à l'image des récentes décisions des pouvoirs publics locaux, à l'éradiquer.

La classe 7 concerne le deuxième niveau d'altitude des terrasses alluviales (4 à 6m) telle que la terrasse située sur la rive gauche du Rhumel, dans la partie aval de la zone industrielle. Celle-ci a été largement inondée par les crues exceptionnelles de l'hiver 1957, d'après les riverains. Sa vulnérabilité est liée à l'existence d'un habitat ancien peu dense et d'une construction industrielle récente.

Ce deuxième niveau de terrasses est de toute évidence, beaucoup moins exposé au risque d'inondation que les terrasses les plus basses, cependant, une évaluation des paramètres hydrauliques telles que les hauteurs de crues maximales et leurs fréquences sont à établir pour une approche plus rigoureuse de cet aléa.

V-5 – CARTE DE ZONAGE :

Un plan de prévention des risques du glissement a été développé pour répondre aux problématiques de l'aléa glissement de terrains, en s'appuyant sur la connaissance de l'état actuel des sites atteints déjà et des sites sujets au phénomène des mouvements de terre. Ce Plan doit nécessairement comporter les éléments suivants :

- une note du secteur géographique concerné avec l'importance des risques de glissements pris en compte et la probabilité de leur survenance.
- certains documents graphiques délimitant les zones à risques.
- règlement détaillant les mesures de prévention, de protection, et de surveillance à mettre en œuvre dans les zones à risques.

De manière à répondre à cette demande réglementaire, les organismes en charge de l'élaboration du plan de prévention des risques du glissement suivent généralement une méthodologie de travail qui se décompose en quatre grandes phases se résumant comme suit :

<p>Phase informative : Identifier, localiser, Et cartographier A partir d'une étude Approfondie de toutes Les informations.</p>	<p>Phase d'évaluation des Aléas : hiérarchiser les sites, et leurs périmètre en fonction de l'intensité de l'aléa et de sa probabilité D'occurrence prévisible.</p>	<p>Phase d'appréciation des enjeux : qualifier la nature de la surface occupée : population, constructions, Diverses, habitations.</p>	<p>Phase de zonage réglementaire : cartographier les zones avec les biens présents Et futurs.</p>
---	---	--	---

Tableau V- 1 Les quatre grandes phases de l'élaboration d'u Plan de Prévention des Risques du Glissement

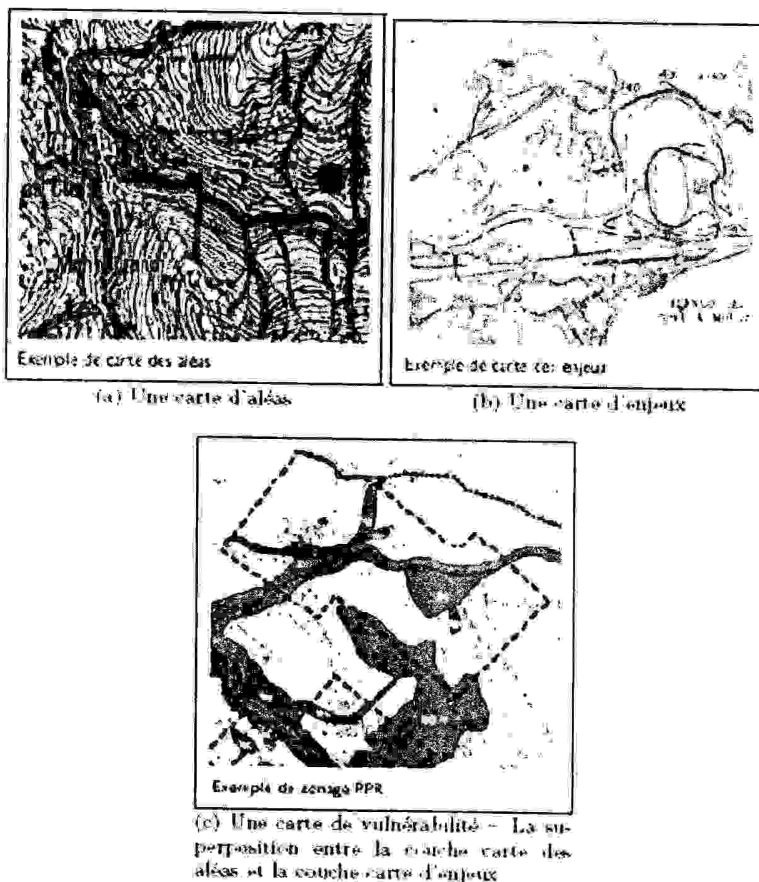


Fig. - V- 4- Exemple de cartographie utilisée par le système d'information de gestion Des risques, appelés : système d'information géographique (SIG).



Fig. - V- 5- carte géologique de constantine.

LEGENDE CARTE GEOLOGIQUE
















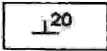



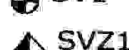

	Remblais épais
	Terrasse récente, basse (T2). Quaternaire.
	Terrasse ancienne, élevée (T1). Quaternaire.
	Dépôts de pente, limoneux. Quaternaire
	Conglomérat à matrice limoneuse rouge du djebel Ouahch. Quaternaire ancien
	Calcaires lacustres. Quaternaire.
	Conglomérat à matrice limoneuse. Quaternaire
	Miocène moyen à supérieur: a: Conglomérat et grès rouge b: Argiles rouges c: Marnes à gypse
	Flysch massylien. Crétacé supérieur.
	Nappes telliennes. Crétacé-Eocène
	Calcaire néritique Cénomano-Turonien
	Faïlle et sens du déplacement
	Contact anormal
	Limite de couche
	Limite de couche incertaine
	Pendage et valeur
	Glissement de terrain (Zones instables)
	Trait de coupes géologiques
	Limite du PDAU
	SV1 Sondage carotté équipé d'inclinomètre ou piézomètre
	SVZ1 Sondage piézométrique

Fig-v-6-Légende de la carte géologique.

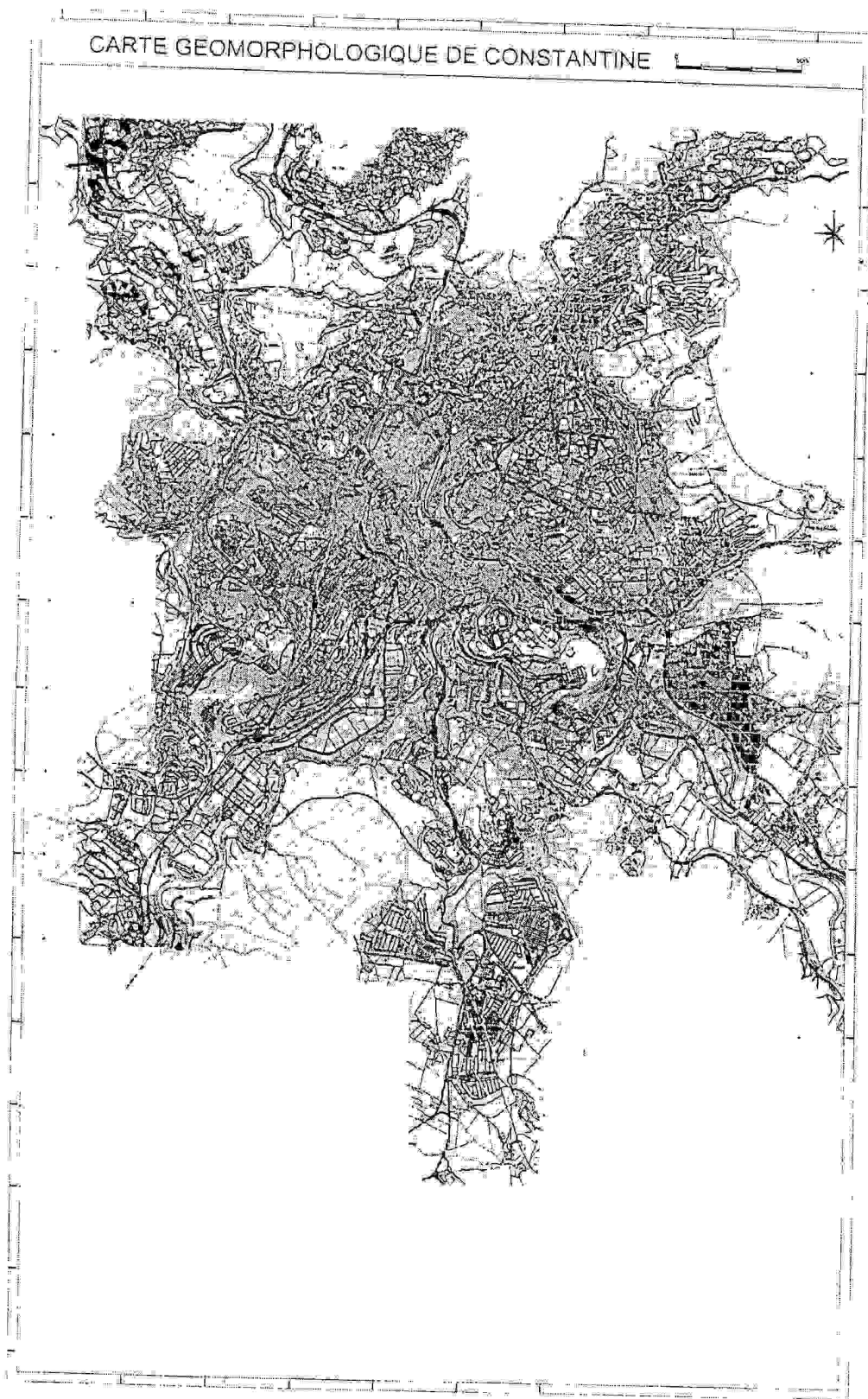


Fig-V-7-Carte de Géomorphologie de Constantine.

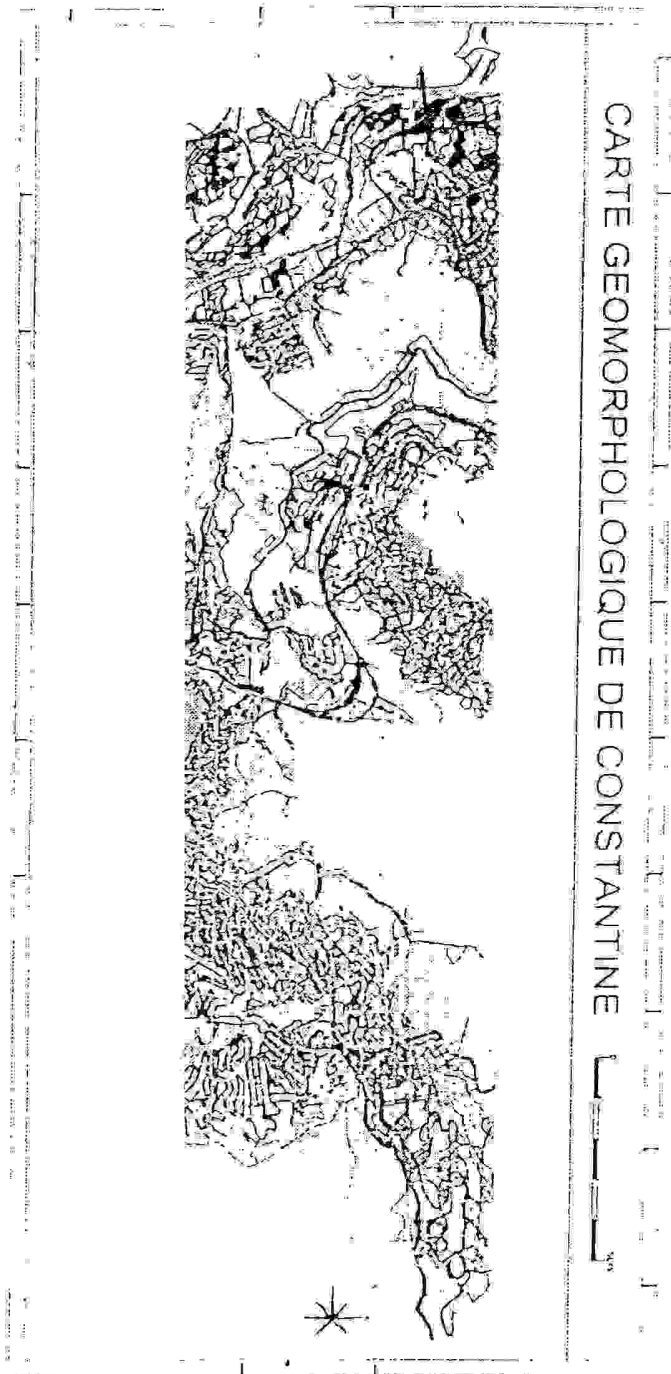


Fig-V-7-Carte de Géomorphologie de Constantine.

LEGENDE DE GEOMORPHOLOGIQUE

Pentes (intervalles de valeurs)

- 0 - 5 %
- 5 - 10 %
- 10 - 20 %
- 20 - 30 %
- > 30 %
- Falaises
- Gorges du Rhumel

- Failles Principales

- Erosion active des thatwegs
- Erosion active avec talus instables

- Aire d'érosion régressive, active

- Escarpement de Falaises et abrupts

- Escarpement de tete de talus

- Glissement superficiel

- Glissement de type fluage

- Glissement profond dans les Conglomérats miocènes

- Rupture de talus de remblai

- Glissement ancien probable

basse terrasse alluviale, inondable

- Réseau hydrographique perturbé par l'urbanisation

- Écoulement intermittent

Lithologie

- Conglomérats rouges miocènes
- Marnes miocènes
- Marno-calcaires crétacés (nappes télliennes)
- Plateaux calcaires, crétacés et pliocènes

- Carrières anciennes dans le calcaire néritique

Ligne de crête topographique



Fig-V-8- Légende de la Carte de Géomorphologie.

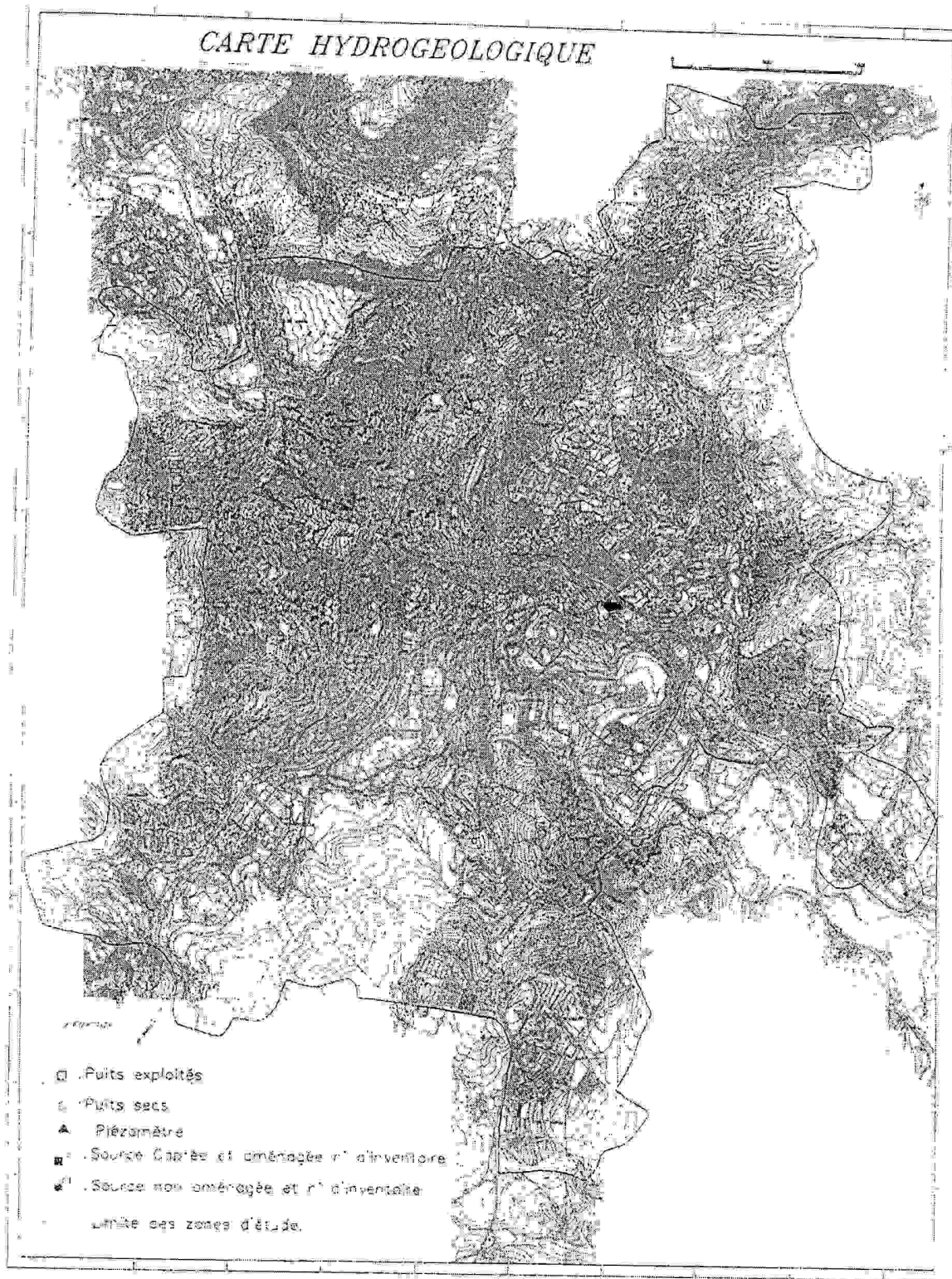


Fig-V-9- Carte d'hydrogéologie de Constantine.

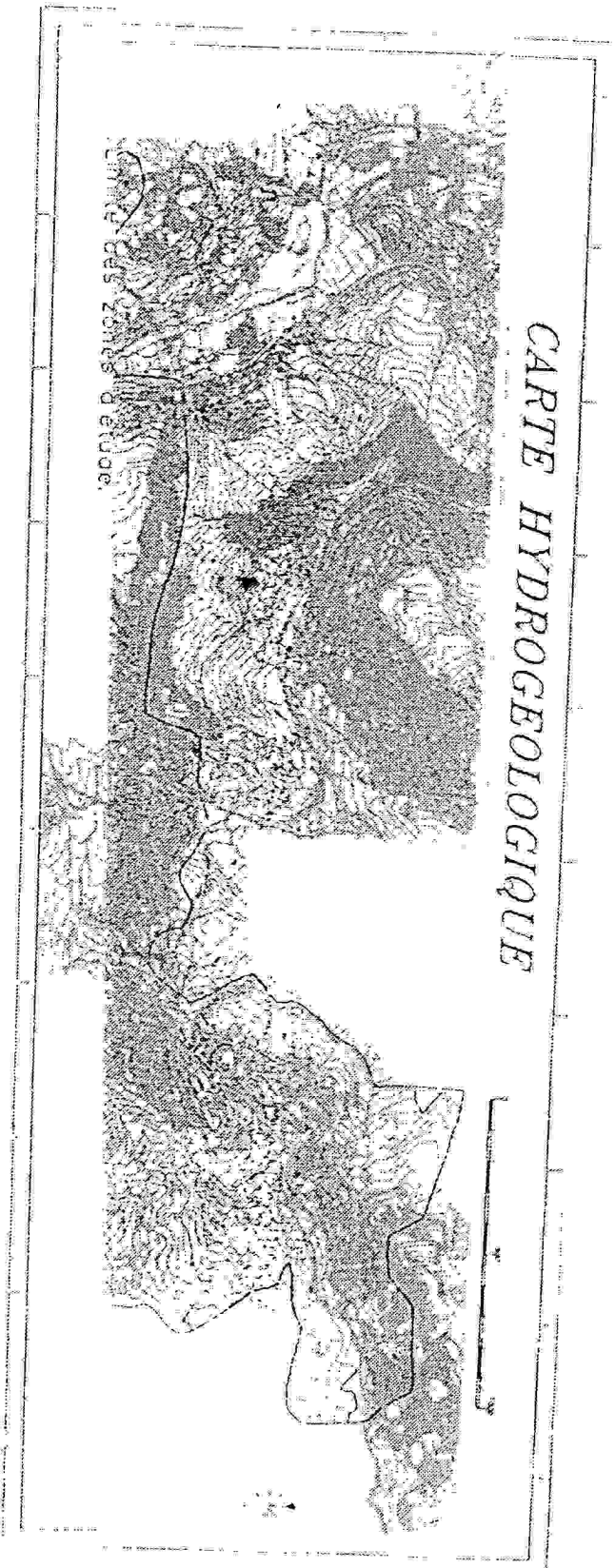


Fig-V-9- Carte d'hydrogéologie de Constantine.



Fig. -V-10 carte de Vulnérabilité de constantine.

V-5-2- CARTE DES ENJEUX :

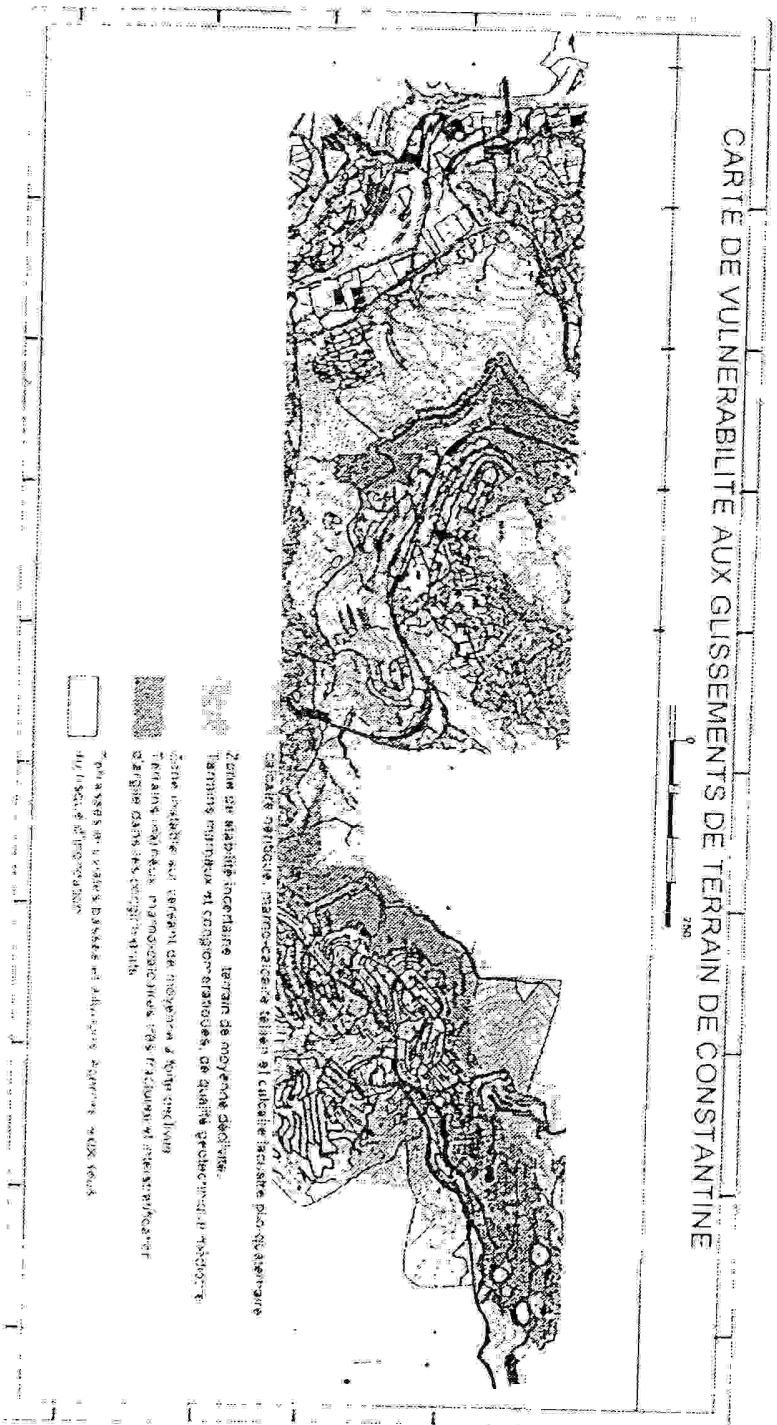


Fig. -V-10 carte de Vulnérabilité de constantine.

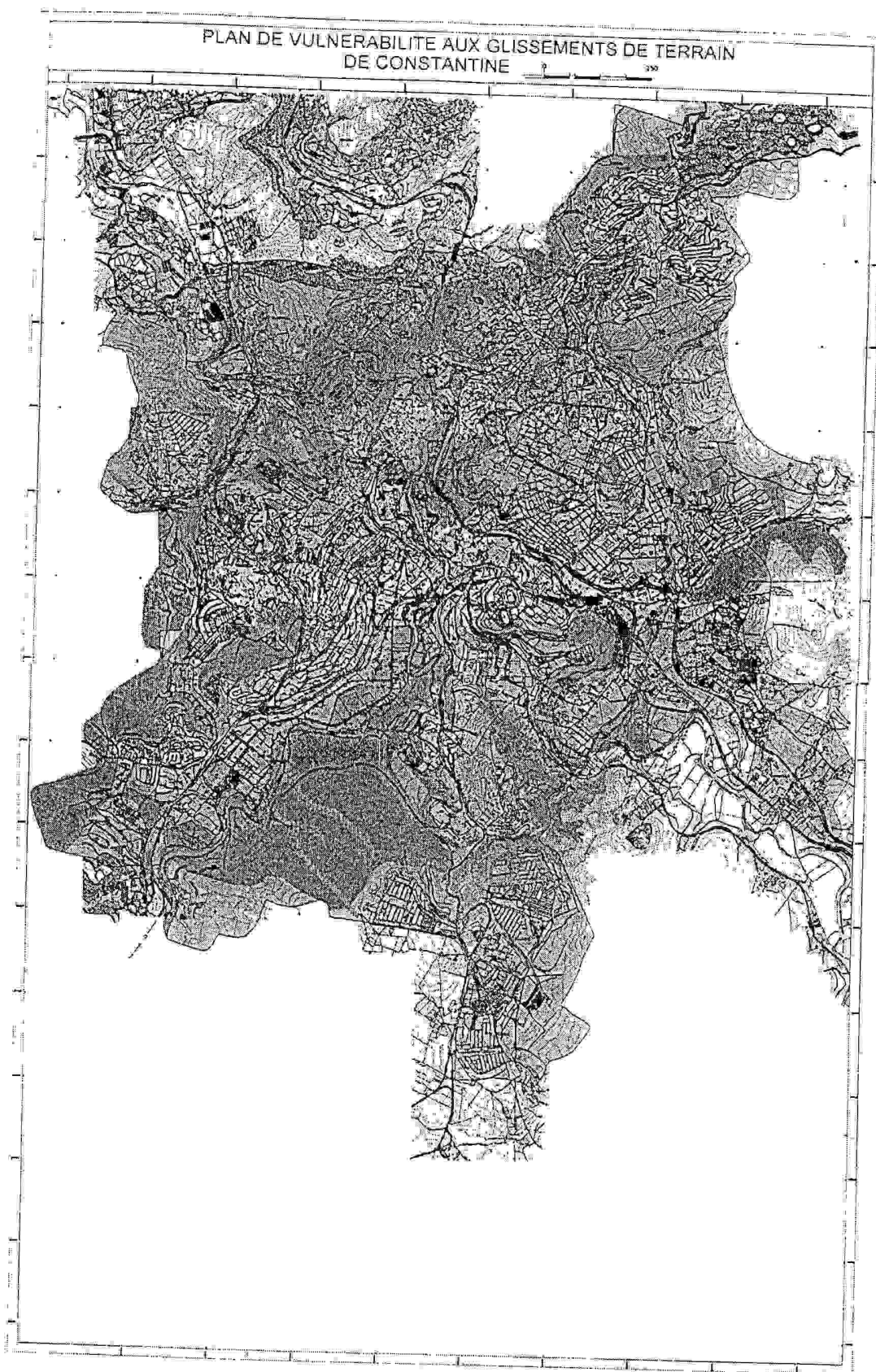


Fig-V-11- Carte de Zonage de la ville de Constantine.

V-5-3- Carte de Risque ou Zonage :

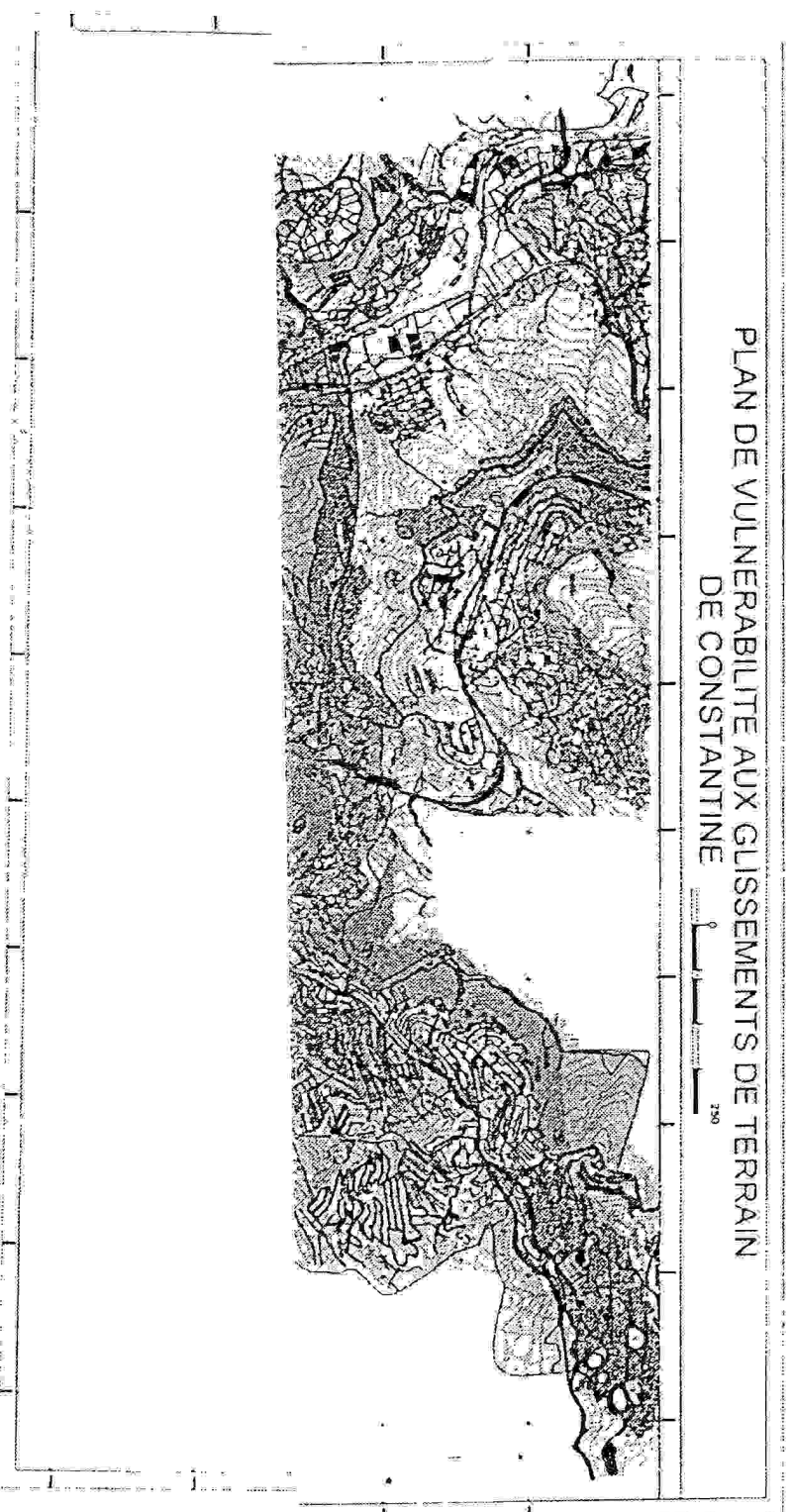
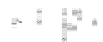



Fig-V-11 - Carte de Zonage de la ville de Constantine.


LEGENDE RISQUE


Classe 1 : Zone favorable à la construction. Pente faible, stable terrains dominants : calcaires néritiques, marno-calcaires telliens, calcaires lacustres plio-quadernaires et terrasses alluviales.
(Zone 1, carte de vulnérabilité)


Classe 2 : Zone constructible, à substratum stable, peu profond. Formations superficielles sensibles au ravinement
(Zone 1, carte de vulnérabilité)

 Classe 3 : Zone de stabilité incertaine. Terrains dominants de caractéristiques géotechniques médiocres : Marnes miocènes, remblais anciens, marno-calcaires telliens
(Zone 2, carte de vulnérabilité)

 Classe 4a : Zone instable, non constructible, à fréquents indices d'instabilité. Terrains dominants : Marnes et conglomérats miocènes, marno-calcaires telliens.
(Zone 3, carte de vulnérabilité)

 Classe 4b : Zone instable, non constructible: glissements de terrains actifs, actuels.
(Zone 3, carte de vulnérabilité)

 Classe 5 : Zone non constructible à érosion active sur berges de thalwegs. Terrains dominants : marnes miocènes et marno-calcaires telliens. (Zone 3, carte de vulnérabilité) - Zone à risque d'éboulement à El Menia.

 Classe 6 : Zone non constructible exposée au risque d'inondation. Terrasses alluviales basses des oueds.


 Classe 7 : Zone exceptionnellement inondable (à étudier plus en détail). Terrasses alluviales d'altitude moyenne 5 à 6m.



Fig - V-12- Légende de carte de Zonage.

V- 6 - Conclusions :

Le plan de vulnérabilité montre que la ville de Constantine et ses proches alentours sont sérieusement exposés au risque de glissements de terrain dans la mesure où ces derniers peuvent se produire sur une superficie importante, de l'ordre de 40% de la surface du plan directeur d'Aménagement urbain (PDAU).

Une urbanisation mal contrôlée ne ferait qu'accentuer la situation fragile dont souffre une grande partie de l'habitat actuel. La superposition des classes de stabilité définies ci-dessus, sur le tissu urbain, permet de distinguer les différents niveaux de vulnérabilité de ce dernier.

Les constructions les plus menacées sont situées dans les classes 4a et 4b. Une grande partie d'entre elles est à démolir vu son état de dégradation avancée. Un des intérêts principaux des études d'Avant projet sommaire menées sur les sites de la classe 4b, la plus instable, est la recherche des solutions de stabilisation les plus appropriées afin d'empêcher la progression des glissements. Quoiqu'il en soit, les classes 4a et 4b sont inconstructibles.

Dans la classe 5 de nombreuses constructions, souvent précaires, gagnent actuellement sur ces rebords de thalwegs exposés à une érosion active.

Certaines rives doivent être par ailleurs protégées contre l'érosion active générée par les crues saisonnières. Cette érosion est souvent propice à la déstabilisation des versants dans les formations marneuses en particulier. La protection par des enrochements, à l'image de quelques sections ainsi protégées, observées sur ces cours d'eau, est tout à fait indiquée.

La classe 3 qui est de stabilité incertaine doit être évitée pour le mieux par les futurs projets d'aménagement. Outre les faibles caractéristiques géomantiques de ses versants, cette classe est souvent localisée au voisinage des sites franchement instable ; ce qui la prédispose à une plus grande fragilité de ses pentes. Il en est de même des actions anthropiques tels que les terrassements qui peuvent conduire à la rupture de cet équilibre précaire.

Les classes 1 et 2 correspondent aux sites les plus favorables à la construction. La bonne qualité de la roche tolère les terrassements sur les versants d'assez forte déclivité tel que les calcaires lacustres du versant rive droite du Rhumel, à l'extrémité sud ouest du PDAU.

Néanmoins, les formations superficielles de la classe 2, nécessitent plus d'attention dans les travaux de terrassement, dans la mesure où elles restent sensibles à l'érosion. Les sites appartenant à ces deux classes et disponibles à la construction, sont localisés dans les limites Est et Sud du P.D.A.U et s'étendent au-delà de ces limites. Ils peuvent donc compenser, sur le plan des extensions urbaines, les contraintes posées par la plus faible stabilité des sites tels que Boussouf, Massinissa et Ben chergui.

Les classes 6 et 7 concernent les sites exposés au risque d'inondation.

La classe 6 représentée par les terrasses alluviales les plus basses, donc franchement inondables, est à proscrire pour la construction.

La classe 7 correspondant aux terrasses un peu plus élevées que les précédentes sont exceptionnellement inondables d'après nos brèves enquêtes sur site. Nous avons représenté l'une d'elles à titre indicatif ; il s'agit d'une des plus vulnérables dans la mesure où elle concerne la partie basse de la zone industrielle de Constantine. Cette classe à confirmer par une analyse hydrologique plus rigoureuse.

Le tableau ci-dessous résume tous les détails des réglementations acquises après étude approfondie.

classe	Symbole Sur plan	lithologie	Localisations principales	pentés	Indice d'instabilité	Aptitude à la construction
1		Calcaires néritique du rocher et marno- calcaire	Casbah, sidi mabrouk, coudia t atty, zouaghi, et gammas	faibles	Rares, voir inexistants	Bonne
2		Substratum stable sous recouvrement en présence d'eau	Bellevue, Bardo, Sarkina	Faibles à moyennes : 5 à 15 %	Ravinement actif, et rupture de talus fréquent lors des travaux de terrassements	Constructibles sous réserve de drainage, et réalisation correcte d'ouvrages d'assainissements
3		Marnes miocènes, remblais anciens, calcaire fractures	Boussouf, Boudraa, Université, versant nord de zouaghi	variable	Rares, proximité des zones instables	Constructibles en partie, sous réserve de reconnaissance géotechniques
4a		Marnes et conglomérats miocènes, marno- calcaires	Bélouizded- kitouni, versant chaabat el merdja, chemin forestier, massin issa.	Moyennes à fortes	Terrains remaniés, fissuration, quelques constructions endommagées.	Non constructibles
4b		Marnes et conglomérats miocènes, et marno- calcaires	Bélouizded - kitouni, Boudraa massinissa, chemin forestier, sud de la région riad	Moyennes à fortes	Escarpements, fissuration, morphologie ondulée, langues de glissements, endommagements	Non constructibles
5	Traits verticaux rouges	Marnes miocènes et marno calcaires telliens	Berda, nord de Gammas, Massin nissa, Boussouf, Université	Talus de fortes pentés et rebord instables	Erosion régressive, actives des Thalwegs	Non constructibles
6	Traits croisés rouges	Terrasses alluviales basses	Oued Rhumel, Boumerzoug, El mellah, Chaabat el merdja	Pentés très faibles à nulles	Erosion des talus de bordures des oueds, terrasses inondables	Non constructibles
7	Traits croisés rouges discontinus	Terrasses alluviales d'altitude moyenne	Oueds Rhumel et Boumerzoug	Pentés très faibles à nulles	Terrasses exceptionnellement inondables	Inondabilité à évaluer plus précisément

Tableau V-2- Classification et zonage de Constantine.

Chapitre VI
CONFORTEMENT ET
RECOMANDATIONS

VI- 1- Introduction

Quand on veut consolider un glissement, peu importe que la surface de rupture soit circulaire, logarithmique, plane,...etc. Par contre, il est de la plus grande importance de connaître ses dimensions et d'avoir une idée sur son origine: surcharge, écoulement d'eau, altération des sols ou simplement ruissellement exceptionnel. Le choix de la méthode de consolidation en dépend.

Face à un problème de stabilité, une première solution consiste à s'affranchir des mouvements de la pente instable sans les empêcher. Deux types de solutions sont possibles :

- implanter ou déplacer le bâtiment, l'ouvrage d'art ou la route en dehors de la zone en mouvement, dans un secteur reconnu comme stable;
- concevoir l'ouvrage de telle sorte qu'il ne soit pas endommagé par le mouvement de terrain : soit en résistant aux efforts apportés par le mouvement de terrain (solution réservée aux petits glissements), soit en adaptant le mode de construction de sorte que les fondations soient dissociées du sol en mouvement.

La figure suivante présente le principe d'un dispositif de fondation sur pieux dans un glissement. Si ce type de solution n'est pas retenu, on est amené à conforter la pente avec l'une des techniques présentées dans les paragraphes ci-après.

Lorsqu'il s'agit de dimensionner un dispositif de confortement préventif, on recommande de prendre un coefficient de sécurité $FS = 1,5$ pour l'ouvrage en service. Dans une intervention de réparation après glissement, si le calage des caractéristiques mécaniques paraît de bonne qualité, le coefficient de sécurité demandé peut se limiter à 1,3. Si toutefois certaines caractéristiques du site sont mal connues, ou si les techniques employées sont susceptibles de perdre de leur efficacité avec le temps (colmatage de drains par exemple), ou encore si l'on ne peut tolérer de déformations, on choisit plutôt $FS = 1,5$.

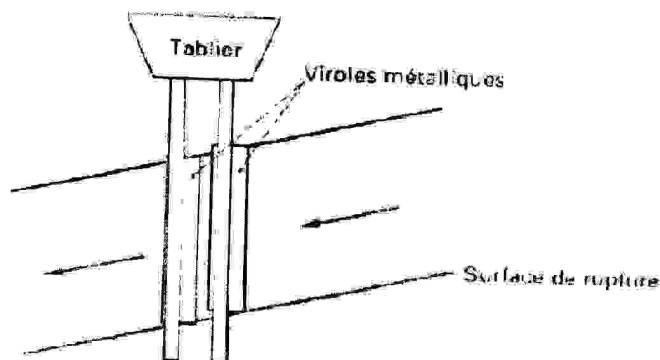


Fig -VI- 1 Dispositif de fondation sur pieux dans un terrain de glissement déclaré

VI- 2. Terrassements :

Les conditions de stabilité étant directement liées à la pente du terrain, le terrassement reste le moyen d'action le plus naturel. On peut distinguer trois groupes de méthodes de stabilisation par terrassement:

- les actions sur l'équilibre des masses : allègement en tête, remblai en pied ;
- les actions sur la géométrie de la pente : purge et profilage ;
- les substitutions partielles ou totales de la masse instable.



Fig-VI-2 Terrassement et profilage d'une pente .

VI -2.1. Remblai de pied

Le chargement en pied d'un glissement est une technique souvent utilisée, généralement efficace. L'ouvrage, également appelé banquette, berme ou butée, agit par contre balancement des forces motrices. Pour qu'il soit efficace, il faut réaliser un ancrage dans les formations sous-jacentes en place. Comme dans le cas d'un ouvrage de soutènement, le dimensionnement doit justifier de la stabilité au renversement, de la stabilité au glissement sur la base et de la stabilité au grand glissement. Mais en pratique, c'est la stabilité le long de la surface de rupture du glissement déclaré qui est dimensionnant. La stabilité au grand glissement suppose que :

- l'ouvrage limite les risques de reprise du glissement en amont ;

-l'ouvrage ne déclenche pas d'autre glissement, par exemple à l'aval.

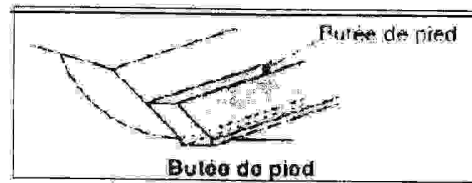


Fig. - VI-3 Chargement en pied d'un talus.

VI - 2.2. Allègement en tête :

L'allègement en tête de glissement consiste à venir terrasser dans la partie supérieure. Il en résulte une diminution du poids moteur et, par conséquent, une augmentation du coefficient de sécurité. La méthode de dimensionnement consiste en un calcul de stabilité le long de la surface de rupture déclarée en prenant en compte la modification de géométrie en tête. On peut également substituer le matériau terrassé par un matériau léger (polystyrène, matériau à structure alvéolaire, etc.).

VI-2-3- Reprofilage :

Les conditions de stabilité d'un talus étant directement liées à sa pente, on peut assez simplement Augmenter la sécurité par retalutage du terrain naturel. Dans ce sens, le procédé s'apparente à l'allègement en tête : il consiste en un adoucissement de la pente moyenne. Ce type de traitement est particulièrement bien adapté aux talus de déblais, et il est de pratique courante. Notons que l'exécution de risbermes a l'avantage d'améliorer la stabilité par rapport à une pente unique et de créer des voies d'accès pour l'entretien ou des travaux complémentaires. L'adoucissement de la pente est généralement mal adapté aux versants naturels instables car il met en jeu des volumes de sol très importants.

VI-2-4- Purge :

Les techniques de terrassement s'accompagnent fréquemment de purges du matériau déplacé par le glissement. Cette solution est généralement limitée aux glissements de taille modeste. On peut, dans certains cas, purger l'ensemble du matériau glissé, à condition que la surface mise à nu soit stable.

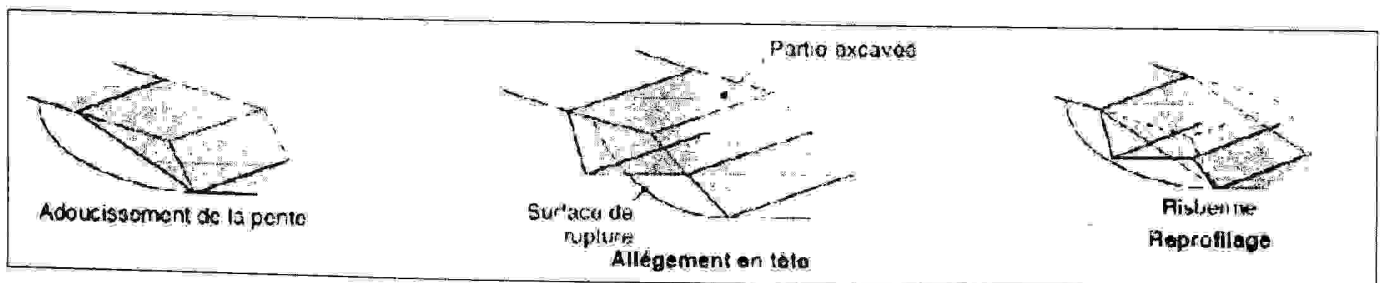


Fig-VI-4 Techniques de purges .

VI-2.5- Substitution totale ou partielle :

La substitution totale consiste à venir purger l'ensemble des matériaux glissés ou susceptibles de glisser, et à les remplacer par un matériau de meilleure qualité. Cela permet de reconstituer le profil du talus initial.

Il importe de vérifier la stabilité au cours des phases de travaux et celle du talus définitif dans lequel on prend en compte les caractéristiques du matériau de substitution et du matériau en place.

La substitution de matériaux glissés suppose que l'on connaisse le volume de matériaux concerné, que l'on excave plus profondément que la surface de rupture, et que l'on réalise des redans afin d'assurer un bon accrochage entre le substratum et le sol d'apport. La tenue des talus provisoires de la purge dépend des conditions de terrassement, de la météorologie, des hétérogénéités locales.

Des substitutions partielles sont souvent employées, sous forme de bûches ou de contreforts discontinus. Le coefficient de sécurité de la pente ainsi traitée peut être estimé en prenant la moyenne pondérée des coefficients de sécurité de la pente avec et sans substitution.

VI-3. Dispositifs de drainage :

Dans la plupart des cas de glissement, l'eau joue un rôle moteur déterminant. Aussi utilise-t-on couramment les techniques de drainage, qui ont pour but de réduire les pressions interstitielles, au niveau de la surface de rupture lorsque celle-ci existe. Les différentes techniques qui peuvent être mises en oeuvre pour atteindre cet objectif relèvent de deux options fondamentales :

éviter l'alimentation en eau du site ;

expulser l'eau présente dans le massif instable.

De nombreux paramètres conditionnent l'efficacité d'un système de drainage, en particulier la nature et l'hétérogénéité des terrains, la géométrie des couches aquifères, la perméabilité et l'anisotropie des sols, les alimentations et les exutoires. De ce fait, et compte tenu des difficultés de détermination de l'ensemble de ces éléments, le dimensionnement d'un système de drainage est fait en prenant un coefficient de sécurité plus élevé que celui pris pour d'autres techniques (terrassements, renforcements).

Comme la plupart des ouvrages, les dispositifs de drainage nécessitent un entretien régulier qui, s'il n'est pas réalisé, peut leur enlever toute efficacité. On distingue : les drainages de surface et les ouvrages de collecte des eaux, les tranchées drainantes, les drains subhorizontaux, les masques et éperons drainant, les drains verticaux, et enfin les galeries et autres ouvrages profonds. Toutes ces techniques peuvent être utilisées seules ou associées, ou en complément d'autres techniques de stabilisation.

T-3.1. Collecte et canalisation des eaux de surface :

L'objectif est de limiter les infiltrations dans le massif en mouvement. Les eaux peuvent provenir de zones de sources, d'un défaut d'étanchéité sur un réseau ou un bassin de stockage à l'amont ou plus simplement de l'impluvium et des eaux de ruissellement. En effet, les eaux de surface ont tendance à s'infiltrer dans les fissures, à stagner dans les zones de faible pente et aggravent ainsi une instabilité

amorcée. Aussi les ouvrages de collecte des eaux (fossés, caniveaux, cunettes) et l'étanchéification des fissures de surface, bien que ne constituant pas des ouvrages de drainage à proprement parler, sont-ils réalisés en première urgence dans de nombreux cas de glissements.

VI-3-2- Tranchées drainantes :

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'eaux 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.

VI-3-3- Drains subhorizontaux :

Cette méthode est utilisée quand la nappe est trop profonde pour être atteinte par des drains superficiels. La meilleure justification de l'utilisation de drains subhorizontaux est le cas d'un aquifère assez perméable (sable, roche extrêmement fracturée) dont l'émergence est masquée par des terrains moins perméables (éboulis argileux). Le rayon d'action de chaque drain est faible. La méthode est souvent inefficace dans des formations argileuses (trop faible perméabilité, circulation trop diffuse). Toutefois, le rabattement de la nappe, si faible soit-il, pourra suffire dans certains cas.

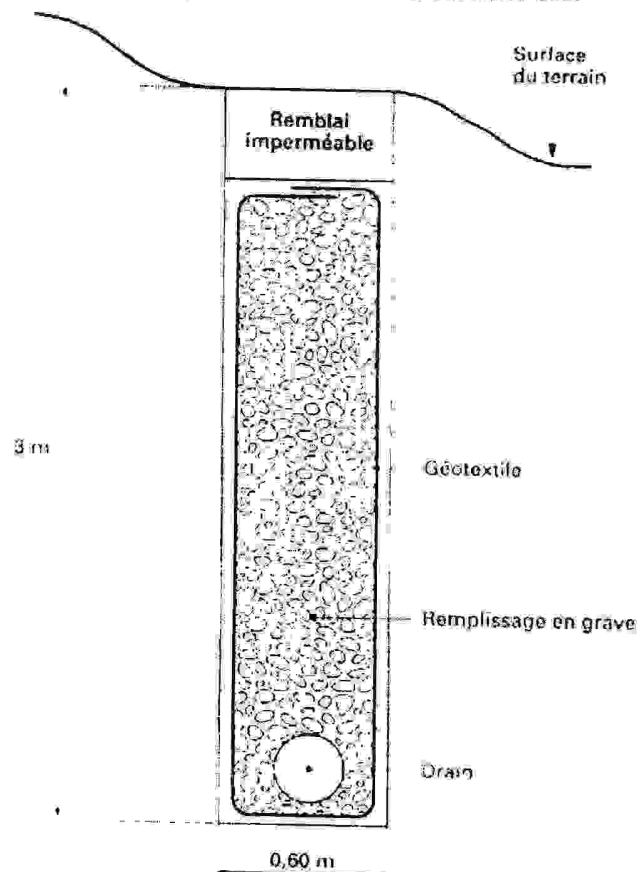


Fig-VI-5 Drains subhorizontaux.

VI-3-4 Masques et éperons drainant :

Les masques drainant sont des ouvrages en matériaux granulaires grossiers mis en place en parement de talus ; leur rôle est d'annuler la pression interstitielle dans la portion correspondante de terrain, mais leurs caractéristiques très frottantes apportent également un gain de stabilité. Les éperons drainant 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.

VI-3-5 Drains verticaux :

Cette méthode consiste à réaliser des forages drainant verticaux équipés de pompes immergées. Elles est utilisée dans le cas de masse instable importante en glissement lent. On préconise ce système si la vitesse moyenne avant travaux est de l'ordre du centimètre par année, de façon à éviter un cisaillement prématuré des crépines. Si la vitesse est variable au cours de l'année, les travaux de forage doivent être effectués en période sèche, donc pendant les mouvements les plus lents. Les pompes seront opérationnelles dès la période habituelle de réactivation.

VI-4-Eléments résistants :

Ces techniques ne s'attaquent pas à la cause des mouvements mais visent à réduire ou à arrêter les déformations. Elles sont intéressantes dans les cas où les solutions curatives (terrassements et drainages) ne peuvent pas être techniquement ou économiquement mises en oeuvre. On peut également introduire des éléments résistants à titre préventif, de façon à éviter les déplacements, dont une conséquence serait de diminuer la résistance au cisaillement des sols. La compatibilité des déplacements du sol et des structures doit être prise en compte lors du choix de ce type de technique.

VI-4-1 Ouvrages de soutènement :

Les ouvrages rigides ne sont pas les mieux adaptés à la stabilisation des glissements de terrain puisqu'ils ne permettent pas de déplacement du sol. Aussi, quand l'ouvrage est suffisamment ancré et résistant vis-à-vis des efforts qui lui sont appliqués, il est fixe. L'état limite atteint par le sol en compression en amont est un état de butée puisque le sol se déplace plus vite que l'écran. Les efforts qui en résultent sont très importants.

Il est donc très rare de stopper un glissement par un mur fixe. Sur la route d'accès au tunnel du Fréjus (France), les murs ancrés au rocher ont eu leurs ancrages rompus suite à une trop grande tension

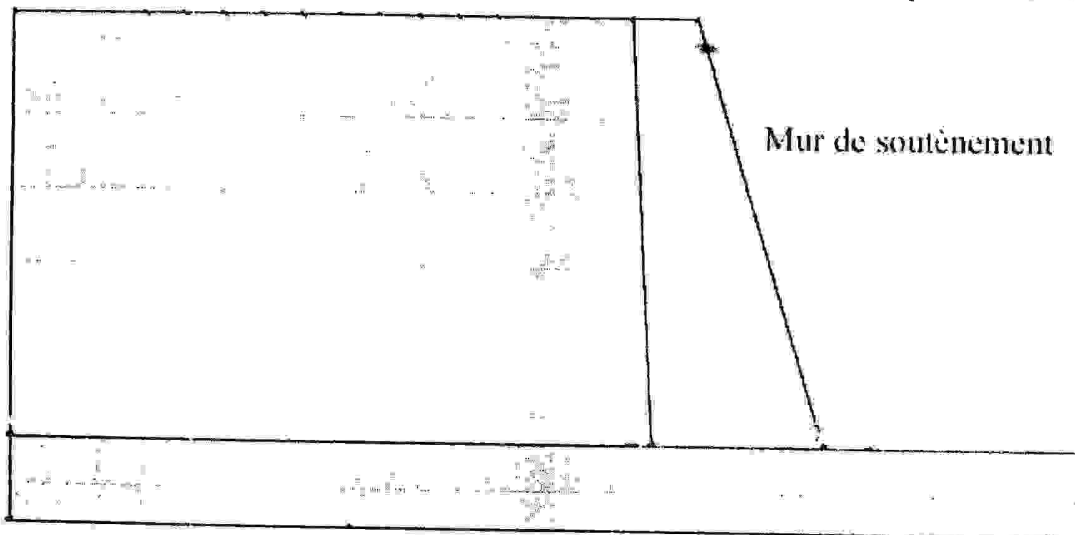
de ceux-ci. Et la rupture en traction d'ancrages est un phénomène très violent. Pour comprendre ce risque il est parfois bon de raisonner en forces mises en présence, on se rend compte alors que les efforts que doit encaisser l'ouvrage sont démesurés.

Pour les ouvrages souples, Il s'agit de murs construits à partir d'éléments préfabriqués : murs en blocs préfabriqués, murs cellulaires, talus renforcés par géotextiles, armatures métalliques ou synthétiques.

Ces ouvrages fonctionnent comme des massifs poids. On les dimensionne en vérifiant la sécurité vis-à-vis de deux mécanismes de rupture : la rupture interne (la méthode de calcul dépend du type d'ouvrage et de la modélisation de l'interaction sol structure) et de la rupture externe.

L'ouvrage a une fonction locale, il protège une route par exemple, mais il suit le mouvement et sa déformabilité lui permet de le faire sans grand dommage. Les murs en terre armée de la route d'accès au tunnel du Fréjus se déplacent vers la vallée. C'est la présence d'un point fixe qui a entraîné des désordres.

Ces techniques, qui supportent des déformations du sol, sont couramment utilisées pour traverser des zones à évolution lente, impossible à arrêter au vu de leurs dimensions. Les calculs sont menés pour vérifier la stabilité interne et on vérifie que la stabilité générale n'est pas trop perturbée par la présence de l'ouvrage. La stabilité locale est en général assurée par le caractère monolithique de l'ouvrage.



FigVI-6 Utilisation du Mur de soutènement.

VI-4-2 Tirants d'ancrages :

Le principe consiste à réduire les forces actives du glissement et à accroître les contraintes normales effectives sur la surface de rupture. Pour ce faire, on ancre des tirants constitués de câbles d'acier multitorons dans le terrain stable situé sous la surface de rupture, et on applique en tête un effort de traction. Cet effort peut être réparti sur la surface du terrain par l'intermédiaire de plaques ou de petits massifs en béton armé. Dans de nombreux cas, les tirants sont combinés à un mur ou à des longrines.

L'utilisation de tirants précontraints suppose :

-qu'on ait déterminé la force d'ancrage nécessaire par mètre linéaire de glissement pour assurer une valeur suffisante du coefficient de sécurité ;

-qu'on justifie le choix et les caractéristiques des tirants

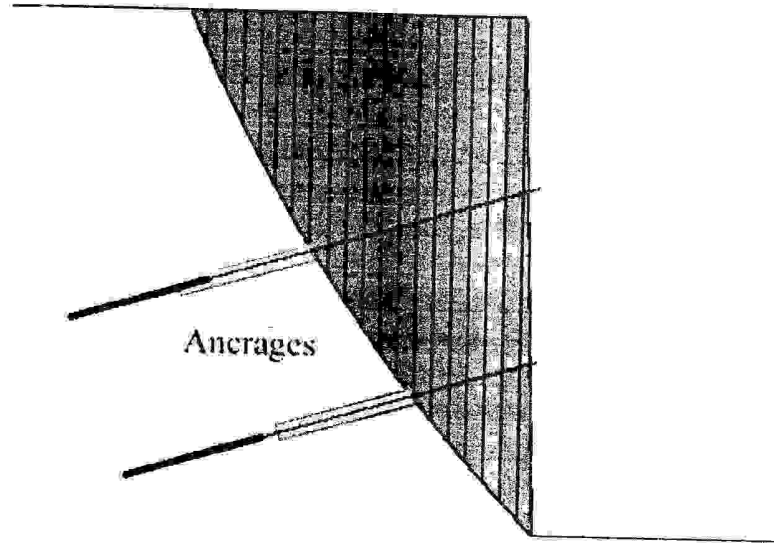


Fig-VI- 7-Les tirants d'Ancrage.

VI-4-3 Le clouage :

Le clouage sert à transférer les efforts déstabilisateurs, poids de la masse qui glisse, vers la partie stable du sol par un mécanisme d'accrochage. Une masse solidaire et importante de sol est ainsi créée, dont la stabilité est assurée. La démarche de calcul d'un ouvrage cloué comprend d'abord une évaluation des forces à ajouter pour assurer la stabilité d'une grande masse de sol. Ensuite il faut trouver la meilleure répartition des ouvrages unités, (clou, pieu), en prenant en compte les problèmes d'accessibilité pour la réalisation.

Dans la pratique, la démarche proposée par les programmes de calcul, est un peu différente, car les efforts que l'inclusion peut reprendre dépendent de sa géométrie et de sa position dans la pente. Par tâtonnement, l'ingénieur améliore peu à peu son projet, en modifiant position et nombre d'inclusion.

Deux types de clouage existent, le clouage passif où la présence seule du clou assure le transfert des efforts et le clouage actif où le clou est préalablement mis en tension. Dans le premier cas, le frottement mobilisable sera maximum avec un déplacement, alors que dans le second, la mise en tension est censée supprimer tout déplacement lors du creusement.

La mise en place des inclusions est en général préalable au creusement, on renforce d'abord avant de créer le déséquilibre de masse.

VI-5- Cas des remblais sur sols mous :

Lorsque le sol de fondation n'a pas la capacité de supporter la charge correspondant à la hauteur totale du remblai projeté (rupture à court terme), il est nécessaire d'employer des dispositions constructives qui assurent la stabilité de l'ouvrage en phase de travaux comme en phase de service, avec un coefficient de sécurité en général pris égal à 1,5.

Différentes méthodes sont employées pour limiter les risques de rupture, qui relèvent de trois principes :

-consolider le sol de fondation, et donc augmenter sa résistance au cisaillement, avant la réalisation du remblai (par pompage pour abaisser la nappe) Recommandations lottissement sur terrain en pente [28] ou pendant celle-ci (construction par étapes avec utilisation de drains verticaux) Bouafia [29].

-diminuer la charge appliquée au sol de fondation (construction du remblai en matériaux allégés) ;

-renforcer le sol de fondation en y incluant des éléments résistants (colonnes ballastées, pieux,

substitution partielle ou totale des couches molles). T Andrei [26] et Bull .LPC. [27] Stabilisation des

pentes et Recommandations [28].

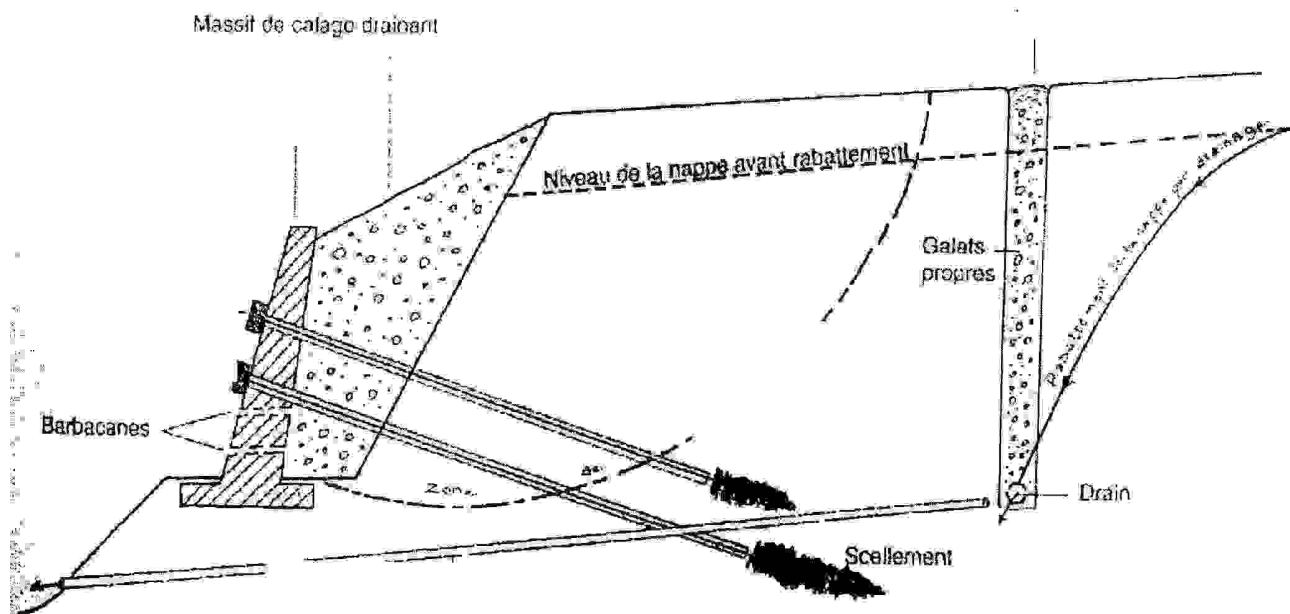


Fig. – VI-8- Confortement d'un talus par rabattement du niveau de la nappe.

En observant ces différents types de solutions ou confortement, on peut en déduire qu'en face
D'un glissement profond, on utilise le drainage par épérons, tranchées drainantes ou drains ; par
Contre face a un glissement superficiel on utilise un drainage par fossé étanche et descente d'eau.
La technique de clouage incliné utilise des clous composés de barres d'aciers scellées dans des
Forages de faibles diamètres (de 64 à 130 mm), ensuite, une peau de confinement est appliquée sur
Le talus, et qui est constituée par un grillage type gabion pour solidariser l'ancrage (le coût de ce
Grillage et cette peau est très inférieur à une solution classique avec parement en béton projeté.

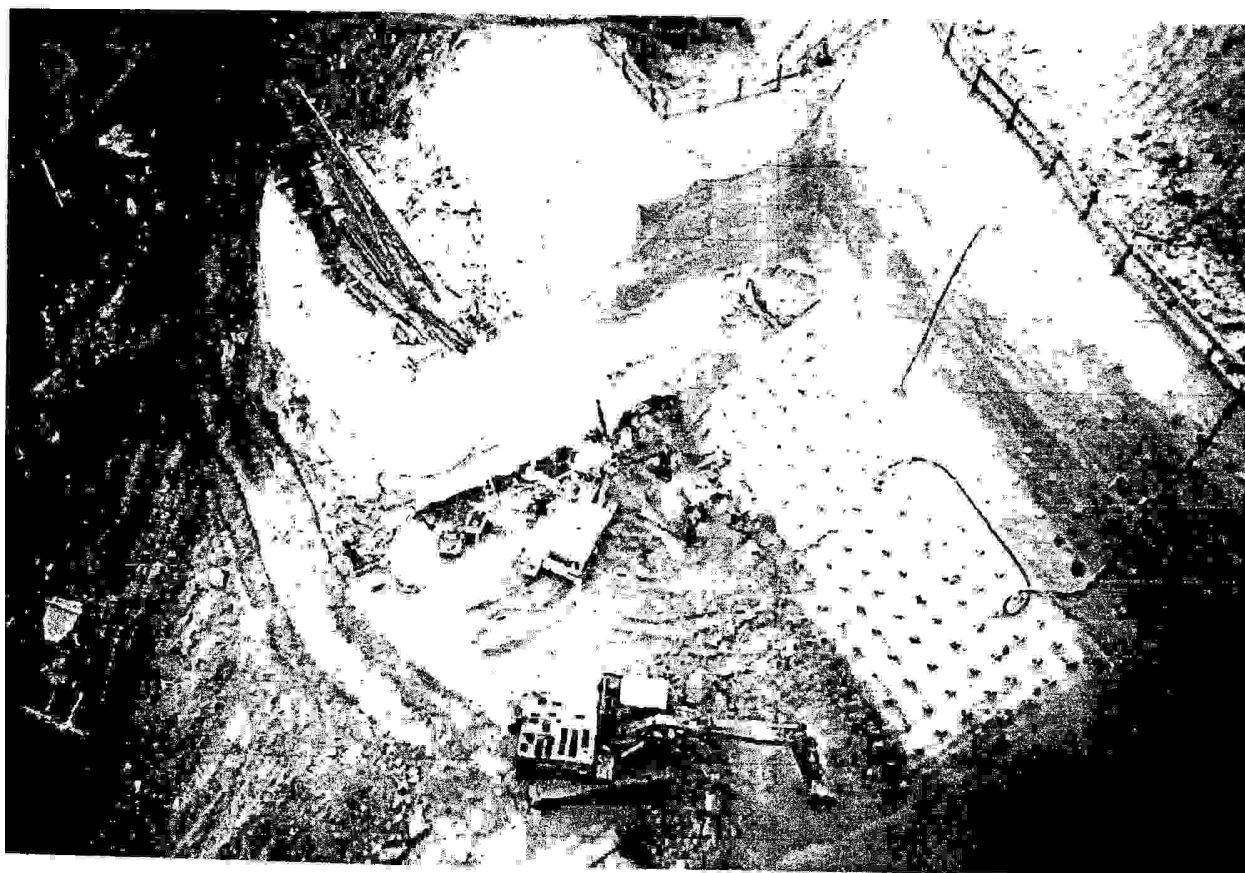


Fig VI-9- Talutage et béton projeté.

L'étude de confortement en général, est menée en plusieurs phases :

- Expertise du terrain pour connaître les désordres affectant le site étudié.
- Reconnaissance des sols par sondages :
 - à la Tarière avec prise d'échantillons remaniés pour identification au laboratoire (teneur en eau, IP, granulométrie)
 - de type préssiométrique pour caractériser le terrain.
 - de type inclinométriques (profondeur), et piézométrique .

Ces sondages et les résultats d'essais permettent d'établir un profil géotechnique de synthèse et de passer à la phase de calcul de la stabilité visant à établir le coefficient de sécurité initial, puis dimensionnement du confortement pour une amélioration du coefficient de sécurité de 20% min. en confortement, les barres d'ancrage doivent avoir un angle de l'ordre de 20° par rapport à l'horizontale, et certaines vérifications doivent être faites telles que le scellement, la résistance de l'acier de la barre (HA de diamètre 25 mm, la tension admissible = 130 KN). ; Ainsi que le maillage est de 1 ancrage tous les 9 à 12 m² sinon, il y a un risque de glissement entre les clous.

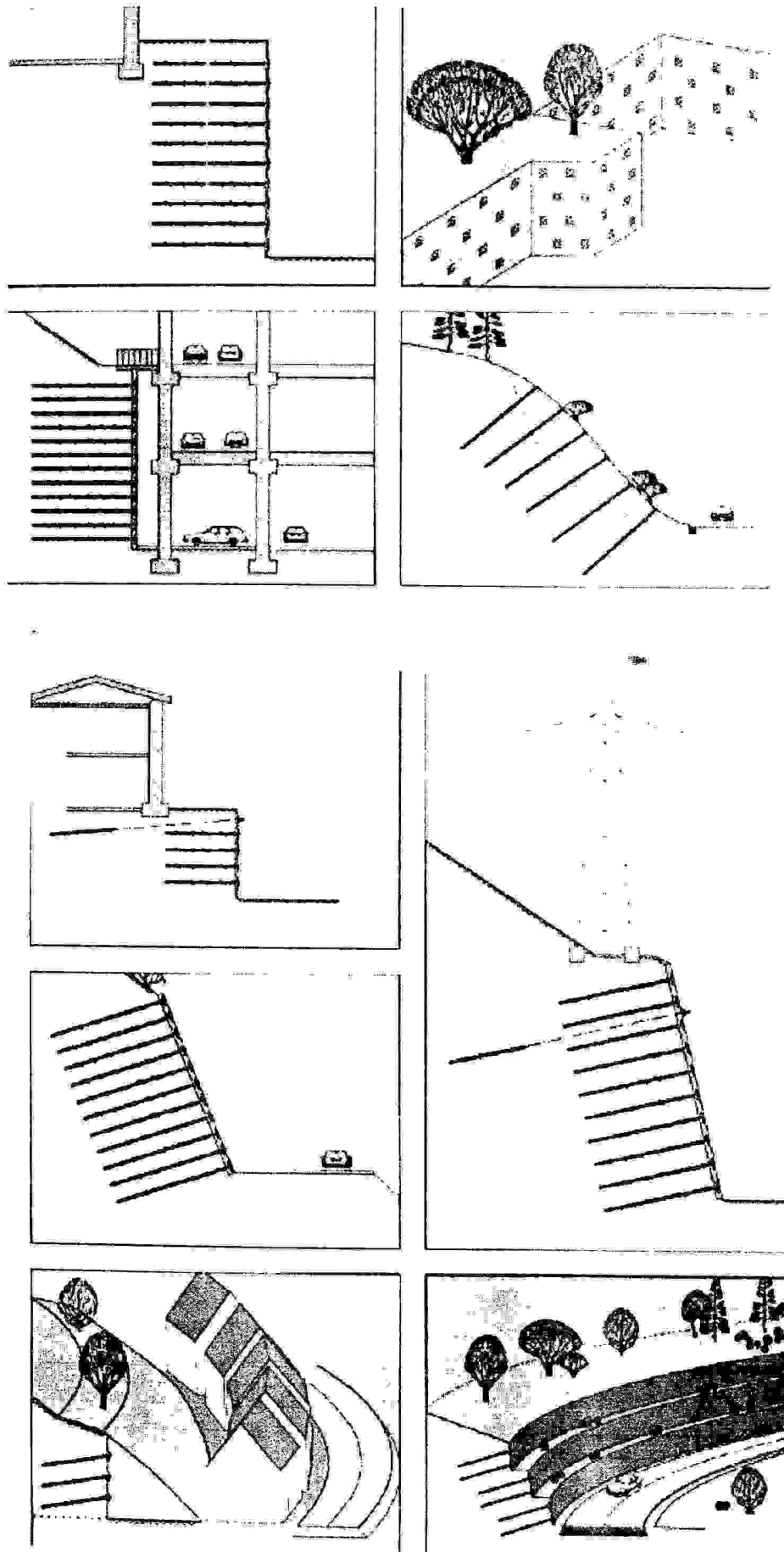


Fig VI-10 Stabilisation de différents talus par clouage (différents cas de construction et stabilisation).

Chapitre VII
Conclusion Générale

CONCLUSION GÉNÉRALE

La gestion du risque dû aux glissements de terrain est une science difficile qui doit faire appel à de nombreuses disciplines. Comme il s'agit de prévisions, les implications sont gérées par le monde politique qui conduit à l'aménagement du territoire. C'est une cause d'incompréhension dans la gestion des urgences et l'on peut espérer que le porter à connaissance le plus objectif possible, avec des moyens chaque jour plus puissants, ainsi que l'évolution des lois permettant de préciser les responsabilités de chacun, et permettront les prises de décision pour des réalisations sereinement conçues.

Les mouvements de terrain peuvent être décrits suivant quatre phases : pré rupture, rupture, Post-rupture et réactivation. Les phases de pré rupture et de réactivation sont en général celles où l'on considère le risque.

La notion de risque est assez ambiguë dans le langage usuel aussi une définition précise est nécessaire. Pour qu'il y ait risque, il faut la conjonction d'une menace quantifiable sur des personnes ou des biens dont la perte est chiffrable. La menace quantifiable s'appelle l'aléa qui peut être défini en terme de probabilité, coefficient de sécurité ou marge de sécurité etc., et la valeur menacée s'appelle la vulnérabilité. Cette dernière est évaluée par un recensement de tout ce qui peut être détruit ou empêché par le glissement de terrain s'il se produit. On trouve ainsi les biens, (immeubles, etc...) mais aussi les pertes d'exploitation et de jouissance. L'aléa est directement relié à la prédisposition d'événement, et le relevé des facteurs de prédisposition et de déclenchement est essentiel pour une bonne estimation du risque.

La non connaissance des lieux est aussi un risque que l'on peut éviter en allant ailleurs. En effet, s'il n'est pas possible de bien connaître le sous-sol, il vaut mieux déplacer le projet dans un site connu que d'accepter le risque de voir apparaître des éléments pouvant conduire à la ruine du projet. Ceci correspond à la notion de risque amont, qui apparaît lors de la prise de décision, sans une évaluation complète des conséquences possibles.

Les populations n'acceptent plus le risque, et aspirent à vivre dans un monde où la prise de risque est à la rigueur une affaire personnelle diffuse, (route, santé...) aussi ces populations exigent pour les lieux où elles vivent, une information fiable et précise. Le moyen le plus synthétique pour cette information étant la carte, la recherche des facteurs de prédisposition placés sur une carte est la base de cette cartographie informative. Cependant, comme les gens ne sont pas toujours disposés à être raisonnables, la loi les contraint à un peu de sagesse, c'est à dire à faire des cartes informatives en se basant aussi sur des éléments juridiques ; certains outils d'aide à la prédiction du risque de glissement ; avec limitation du risque par la surveillance ; et surtout la mise en œuvre d'un système d'informations spécifique.

La carte de zonage ainsi établie fera en sorte que l'information sera le guide pour une urbanisation organisée et modernisée.

Le tableau récapitulatif susmentionné dans le chapitre précédent montre les caractéristiques principales du plan de vulnérabilités aux glissements de terrains de tous les sites affectés, en se basant sur tous les facteurs de contributions tels la lithologie, les pentes, et les indices de stabilités : en superposant l'aléa du glissement aux différents désordres et effondrements on obtient l'aptitude ou la non-aptitude à la construction qui sera un guide pour les autorités, et une information claire et décisive pour les occupants de terrains ou habitations se trouvant sur ces sites mentionnés.

Bibliographie :

- [1] Deleau, P. 1952 Étude stratigraphique de Constantine (Djebel Oum Settas).Thèse de doctorat, pub serv. Carte géol. Algérie, (2), N°14, texte et atlas.
- [2] Vila J. M., (1977), Carte géologique à 1/50 000 El Aria avec notice explicative, Publ. SGA.
- [3] Vila J.M, (1980) La chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins algéro-Tunisiennes, thèse sciences, Université de Paris VI. France.
- [4] Lahondere.A, (1987), Les séries ultra - telliens d'Algérie Nord orientale et les formations environnantes dans leur cadres structurales, Thèse d'état U.P. Sabatier Toulouse.
- [5] Chadi, M. (1991), Allochtone des massifs néritique (thèse Paris) Bull Serv Carte Géolo Algérie (Nord Constantinois).
- [6] Coiffait P.E. (1992), Un bassin post-nappe dans le cadre structural. L'exemple du Bassin de Constantine (Algérie Nord Orientale). Thèse de Doctorat d'Etat ès Science Naturelle, Nancy.
- [7] Aris, Y (1994), Étude tectonique et microtectonique de la chaîne calcaire (nord constantinois, Algérie) C.R. somm. Soc. Géol.fr,Paris fig.1 p 178.
- [8] Benaïssa A. (1999), Propriétés géotechniques de quelques formations géologiques propices aux glissements de terrains dans l'agglomération de Constantine (Algérie) : Bull Eng Geol Env., 57,301-310
- [9] Benaïssa.A, (1984), Contributions a l'étude des mouvements de terrains de la région de Constantine (Algérie) Université Josef Fourier – Grenoble.France.
- [10] .Blandeau .F, (1976), rapport général. Bull.Liason labo.P.et ch.spécial.
- [11] .Block. .M, (2005), le plus grand glissement de l'Europe : La Clapière.
- [12] Ivaldi .P, et Block .M (2005), BRGM.Burreau de recherche géotechnique et minière.
- [13] Paulsen, S, et AL. (1999), Rapport d'expertise sur les glissements de terrain de la ville de Constantine (Algérie), Institut Fédéral des Géosciences et des ressources naturelles Hanovre (R.F.A), N° arch. 117989.
- [14] Evans S.G. (1998), Les glissements de terrain de la ville de Constantine, Géologie, géotechnique, et ravaux de correction potentielle. Commission géologique du Canada, rapport final pour l'Office de Recherche Géologique et Minière (O.R.G.M), Alger, 48 pages.

- [15] Belouar.A, Seridi.A, Mongereau.N, Vinet.L et Boulfoul.A. (2004) Etude Géotechnique, Géologique et Géophysique pour caractériser un site sur sol problématique. International Conférence on Geotechnical Engineering, Beyrouth, Lebanon.pp799-805.
- [16] Benayoun F, Belouar A. (2001) Caractérisation d'un site géotechnique. Séminaire national de génie civil .Tébessa, Algérie.Vol1 pp 35-47.
- [17] Mongereau N., Sanglerat G., David L. et Millers H. (1985)-Mouvements de terrain en zone urbaine : exemple la ville de Lyon. Bulletin de l'AIGI N° 31 pp 93-103.
- [18] Benaissa .A. (2003) .Glissement de terrains : Calcul de Stabilité.Office des Publications Universitaires.
- [19] Bromhead. E. N. (1986) .The stability of slopes. Survey University Press. New York.
- [20] Biarez, J, Favre JL, (1976), Corrélation des paramètres en mécanique des sols. Séminaire Ecole Centrale des arts et manufactures – Paris.
- [21] Skempton A W (1964) Long term stability of slopes .Rankine lecture.
- [22] Bishop A.W. (1967), Progressive failure with special reference to the mechanism causing it, Proc. Geotechnical Conf. Oslo., II, 3-10.
- [23] Spencer E. (1967) A method of analysis for stability of Embankments using inter-slice forces.
- [24] Vinet .L, (1991) Typologie et prévention des risques et accidents Géotechniques en sites Urbains. Cas de la ville de Lyon (France).
- [25] JNGG (2006).Journées Nationales de Géotechnique et Géologie de l'Ingénieur. Risques Géotechniques et Environnement liés à l'aménagement –INSA LYON- 27, 28, et 29 juin 2006.
- [26] Andrei .T et Cojean .R. Stabilité des Versants.
- [27] BULL.LPC. Liaison Labo Ponds et Chaussées.Stabilisation des pentes par Clouage (Janv.Fev 1986
141. ref : 3063
- [28] Lotissements sur Terrain en pente .Recommandations (2003). (OPU).
- [29] Bouafia .A, (2004).Essais In situ dans les projets de fondations.
- [30] Belouar .A, (2005), Typologie, Prévention du risque et cartographie géotechnique en site urbain :
Cas de la ville de Constantine (pp 150).

RESUME

La ville de CONSTANTINE souffre depuis plusieurs décennies de graves problèmes de glissements de terrain. Ce phénomène assez complexe affecte plus des deux tiers (2/3) de la ville, soit cent vingt hectares (120 ha) de sa superficie et menace quinze milles (15 000) habitations abritant cent milles (100 000) personnes. Le glissement, phénomène naturel à Constantine dont l'évolution remonte aux années 1970 a été aggravé par l'intervention de l'homme et ce, par une urbanisation anarchique ; D'autres facteurs d'aggravation du risque tels : Les séismes, les spécificités du sol, les déperditions hydriques en eau potable et parfois celles des eaux usées sont aussi à l'origine du problème. A titre d'exemple une déperdition en eau potable de l'ordre de 50% à Constantine où le débit est évalué à : 1 000 L /s. est évoquée.

Pour faire face à ce phénomène qui menace la ville de Constantine un diagnostic concernant ce problème des mouvements de terrains doit être bien étudié afin de pouvoir comprendre les causes et puis décider des solutions de prévention, confortements, et de stabilité.

On présente dans cette thèse un plan de prévention des risques liés aux glissements de terrains en se basant sur certaines caractéristiques telles que les cartes : géographiques, géomorphologiques, hydrogéologiques, et de vulnérabilités, pour éventuellement aboutir à un zonage du risque qui sera pris en considération pour l'intégrer dans le Plan directeur de l'Aménagement Urbain (PDAU) et le plan d'Occupation du sol (POS) et d'apporter une aide aux décisions prises par les autorités locales pour le choix des sites.