

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE POPULAIRE ET DÉMOCRATIQUE

Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou

Faculté du Génie de la Construction

Département de Génie Civil

Laboratoire de Géomatériaux, Environnement et Aménagement

(LGEA)



MEMOIRE DE MAGISTER

Spécialité : Génie Civil

Option : Géotechnique

THÈME

Analyse et évaluation du potentiel de risque du glissement de terrain d'Azazga

Présentée par

AMEUR Naima

Soutenue publiquement devant le jury composé de :

Mr AIT-TAHAR Kamel	Professeur, UMMTO	Président
Mr MELBOUCI Bachir	Professeur, UMMTO	Encadreur
Mme BOUZELHA Karima	Professeur, UMMTO	Examinatrice
Mr HAMZA Ali	Maitre de conférences A, UMMTO	Examineur

Année universitaire 2013-2014

REMERCIEMENT

Je remercie avant tout **DIEU**, le tout puissant, pour m'avoir guidé durant toutes mes années d'études et de m'avoir donné la volonté et le courage pour terminer ce travail.

A l'issue de cette recherche, je tiens à remercier tout particulièrement, mon encadreur le professeur **Mr.MELBOUCI Bachir** qui a été disponible et attentif à mes nombreuses questions.

Je remercie aussi le président et les membres du jury pour m'avoir honoré de leur présence et avoir bien voulu examiner ce modeste travail.

J'adresse mes respectueux remerciements à tous mes enseignants qui m'ont transmis leur savoir pendant toutes mes années d'études et éclairé mon chemin de jeune chercheur.

Je dois être reconnaissante que ces travaux de recherche aient été rendus possibles grâce à l'appui logistique du bureau d'études SCP ADS PROGRESS (bureau d'étude d'architecture et l'urbanisme, AZAZGA). Je tiens à remercier tout particulièrement les deux gérants M^r. AOUDJ Mohand akhli, et Mr .OULD FELLA Kamel, et je remercie également tous mes collègues du bureau.

Ma profonde reconnaissance va également à M^{me} NAOUI de la Direction de l'Urbanisme et de la Construction (DUC) pour les documents qu'elle a mis à ma disposition.

Pour l'ensemble de l'équipe de recherche et du personnel du LGEA, qui ont été disponible, à l'écoute de certaines de mes questions, et qui d'une façon directe ou indirecte ont participé à la réalisation de cette thèse, particulièrement M^{elle} DJERBAL Lynda.

Merci aussi à mes camarades de promos pour leurs conseils et leur amitié tout au long de ce travail.

Je tiens à remercier tout particulièrement mes deux familles ainsi que mes amis qui m'ont soutenu tout au long de ce travail.

Enfin, je remercie vivement toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

A AHMED qui partage ma vie, je lui dois l'essentiel et le principal.

RESUME

Cette étude porte sur l'évaluation et la cartographie du risque lié au glissement de terrain lequel affecte le site urbain d'Azazga (Algérie). Ce dernier s'est manifesté significativement en trois reprises durant les quarante dernières années. C'est ainsi qu'en hivers 1973, 1985 et en 2012 la ville a assisté impuissante à des glissements de terrain relativement importants qui ont touché principalement les parties Nord et Nord-Est de cette agglomération. Les déplacements et mouvements de terrains constatés s'étendaient sur plusieurs hectares et ont causé des dommages sur des habitations et infrastructures publiques. A cet effet, la lutte contre les risques naturels s'organise autour de plusieurs axes. La prévention est sans nul doute l'outil le plus efficace pour limiter l'aggravation des conséquences des glissements sur la ville.

Pour cela notre intérêt s'est porté sur le développement d'une approche méthodologique qui fait appel à l'application d'un système d'information géographique (SIG), en utilisant l'analyse multicritère qui tient compte de divers paramètres (La géomorphologie de site, l'inclinaison de la pente, la géologie ou lithologie de sols et le régime hydraulique), qui nous a permis dans un premier temps de produire un zoning à l'intérieur du périmètre urbain de la ville, classe les différentes zones du site par rapport aux phénomènes naturels (aléa) et en second lieu l'estimation des enjeux majeurs de la ville (vulnérabilité).

Enfin, la superposition entre ces derniers (Aléa et vulnérabilité) a donné lieu à l'élaboration d'une carte thématique regroupant les différentes classes de risque de glissement (fort, moyen et faible) dans le secteur d'étude.

Pour l'ensemble de site urbanisé, environ **31.33 %** de la surface totale est exposée à un risque fort, **48.79 %** à un risque moyen et le reste (**19.88 %**) est classé parmi les endroits faiblement exposés.

Enfin, cette carte thématique de risque sur le glissement de terrain du site urbain d'Azazga peut servir comme un outil d'aide à la décision pour la gestion des perspectives de développement futur de la ville

Mots-clés

Glissement de terrain, site urbain d'Azazga, système d'information géographique (SIG), risque, aléa, vulnérabilité, cartographie.

Abstract

This study focuses on the assessment and mapping of risk landslide which affects the Azazga urban site (Algeria) . The latter is expressed significantly three times during the last forty years. Thus, in winter 1973, 1985 and 2012 the town has watched helplessly as relatively large landslides which affected mainly the northern and north-eastern parts of this town. Travel and landslides observed extended over several acres and caused damage to homes and public infrastructure. To this end, the fight against natural hazards is organized around several axes. Prevention is undoubtedly the most effective tool to limit the aggravation of landslides on the city.

Why our interest is focused on the development of a methodological approach which involves the application of a geographic information system (GIS), using multi-criteria analysis which takes into account various parameters (Geomorphology site , the inclination of the slope , geology or soil lithology and hydraulic system) , allowing us initially to produce a zoning within the urban perimeter of the city, different areas of the classroom site in relation to natural phenomena (hazard) and secondly the estimation of the major issues of the city (vulnerability).

Finally, the overlap between them (Hazard and vulnerability) has led to the development of a thematic map with all the different classes of landslide risk (high, medium and low) in the study area .

For all urban site, approximately 31.33 % of the total surface is exposed to a high risk , 48.79 % medium risk and the rest (19.88 %) is classified as low risk areas .

Finally, the thematic map of the risk of landslide Azazga urban site can serve as a tool for decision support for the management of future development prospects of the city.

Keywords

Landslides, urban Azazga site, geographic information system (GIS) ,Risk , hazard, vulnerability, mapping.

SOMMAIRE

REMERCIEMENT	2
RESUME	4
LISTE DES FIGURES.....	10
LISTE DES TABLEAUX	14
INTRODUCTION GENERALE	16
STRUCTURE DE LA THESE	18
Problématique.....	18
Motivation du choix du sujet.....	18
Structure du mémoire	19
CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES GLISSEMENTS DE TERRAIN	22
I. INTRODUCTION	24
I.1. MOUVEMENT DE TERRAIN	27
I.1.1. Définition du mouvement de terrain.....	27
I.1.2. Types de mouvement de terrain.....	27
I.1.2.1. Les mouvements rapides et discontinus	27
I.1.2.2. Les mouvements lents et continus.....	32
I.2. GENERALITES SUR LES GLISSEMENTS DE TERRAIN.....	36
I.2.1. Définition	36
I.2.2. Quelles sont les caractéristiques d'un glissement de terrain ?	37
I.2.3. Comment mesure-t-on les glissements de terrain ?.....	39
I.2.3.1. La cinématique	39
I.2.3.2. La superficie et le volume.....	40
I.2.3.3. L'intensité	41
I.2.3.4. La gravité	41
I.2.4. Quelles sont les différentes manifestations des glissements de terrain ?.....	41
I.2.5. Quelles sont les causes des glissements de terrain ?.....	42
I.2.6. Les effets engendrés par les glissements de terrain	45
I.2.7. La prévention et la gestion des risques naturels lie aux glissements de terrains	46
I.2.8. Confortement des glissements de terrains	49
I.3. QUELQUES EXEMPLES DES GLISSEMENTS DE TERRAIN.....	58
I.3.1. A travers le monde	58
I.3.1.1. Glissement de Villatina Medellin en Colombie [19].....	58
I.3.1.2. Glissements de La Leona et de Las Coiinas au Salvador.....	58

I.3.2. En Algérie	59
I.3.2.1. Glissement de terrain à Constantine.....	59
I.3.2.2. Glissement des abattoirs Ténès (Chlef).....	60
I.3.2.3. Glissement de terrain des grands vents sur la rocade d'Alger.....	60
I.3.2.4. Le glissement de Tizi BEJAIA :.....	61
I.3.2.5. Glissement d'Ain El Hammam (Tizi-Ouzou).....	62
I.3.2.6. Le glissement d'Azazga (Tizi- ouzou)	62
I.4. CONCLUSION	63
CHAPITRE II : METHODES D'ANALYSE ET EVALUATION DES RISQUES DE GLISSEMENT DE TERRAIN..	64
II. INTRODUCTION.....	66
II.1. VOCABULAIRE ET CONCEPTS DE LA PROBLEMATIQUE « RISQUES	67
II.1.1 Notion et principes de 'Risque'	67
II.1.1.1 Une définition du risque	67
II.1.1.2 Le risque glissement de terrain	68
II.2. CARTOGRAPHIE DE L'ALEA.....	69
II.2.1 Tendances générales	69
II.3. APPORT DES SYSTEMES D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE (SIG)	71
II.4. CLASSIFICATION DES PRINCIPALES METHODES D'EVALUATION DE L'ALEA «GLISSEMENT DE TERRAIN».....	72
II.4.1 Méthodes qualitatives	72
II.4.1.2. Approches basées sur des opérations simples d'algèbre cartographique	75
II.4.2 Méthodes quantitatives.....	77
II.4.2.1. Approches basées sur des inventaires de glissements de terrain.....	77
II.4.2.2 Approches statistiques.....	78
II.4.2.3 Approches basées sur des modèles physiques et/ou géotechniques	80
II.5. LES METHODES D'EVALUATION DU RISQUE GLISSEMENT DE TERRAIN.....	84
II.6. AUTRES APPROCHES SUR L'ETUDE DES CONSEQUENCES POTENTIELLES	87
II.7. CONCLUSION	88
CHAPITRE III : CARACTERISATION DU GLISSEMENT D'AZAZGA	90
III. INTRODUCTION	92
III.1. SITUATION ET PRESENTATION DE L'OBJET DE L'ETUDE.....	93
III.1.1. Situation et position géographique de la ville d'azazga	93
III.1.2. Localisation du périmètre d'étude	95
III.1.3 Description du glissement étudié.....	96
III.2 LES CONDITIONS MAJEURES A LA FORMATION DU GLISSEMENT DE TERRAIN D'AZAZGA.....	97
III.2.1. Contexte Géologique.....	97

III.2.1.1.	Cadre Géologique Régional	97
III.2.1.2.	La géologique locale	101
III.2.2.	Contexte Géomorphologique	108
III.2.2.1.	Le plateau	109
III.2.2.2.	Le versant Nord	109
III.2.2.3.	Le versant Sud.....	109
III.2.3.	Contexte Sismique.....	110
III.2.4.	Contexte Hydro-climatologique	112
III.2.4.1.	Le climat	112
III.2.4.2.	Hydrologie	113
III.2.4.3.	Le régime des eaux	113
III.3.	CAUSES DU DECLENCHEMENT ET REACTIVATION DU GLISSEMENT DE TERRAIN D'AZAZGA	114
III.3.1.	Les facteurs conditionnant.....	114
III.3.1.1.	Synthèse des études géologiques et géotechniques du site	114
III.3.1.2.	Les pentes.....	117
III.3.1.3.	L'Hydrologie.....	119
III.3.2.	Les facteurs déclenchant	120
III.3.2.1.	Les précipitations et les fontes des neiges	120
III.3.2.2.	Facteurs anthropiques.....	120
III.3.2.3.	L'activité tectonique	121
III.4.	GENESSE et HISTORIQUE DU GLISSEMENT DE TERRAIN DE LA VILLE D'AZAZGA	123
III.4.1	Historique et état des connaissances	123
III.4.2.	Etat descriptif des glissements importants	127
III.4.2.1.	Glissement 1973.....	127
III.4.2.2.	Glissement 1974.....	127
III.4.2.3.	Glissement 1984.....	127
III.4.2.4.	Glissement 2012.....	128
III.5.	LES ETUDES GEOTECHNIQUES DE LA VILLE D'AZAZGA.....	130
III.5.1.	Etude des contraintes géotechniques d'urbanisation 1976 par le I.N.T.P.B.....	130
III.5.2.	Les études géotechniques réalisées suite au glissement 1985 (I.T.P.C).....	144
III.5.2.1.	Etudes géotechniques d'urbanisation 1985 et 1986.....	144
III.5.2.2.	Carte géotechnique de tout le site urbain depuis 1976.....	151
III.5.3	Etudes géotechniques d'urbanisation des POS.....	154
III.5.3.1.	Etude géotechnique d'urbanisation POS A1 et A5 AZAZGA (LCTP 2004)/ Dossier N°31.03.0042.....	155

III.5.3.2. Etude géotechnique d'urbanisation POS D1&D2 AZAZGA (LCTP 2006).....	162
III.5.4 Etude élaborée après glissement d'AZAZGA 2012	166
III.5.4.1. Programme de la campagne géotechnique	167
III.5.4.2. Résultats de la campagne géotechniques.....	167
III.6. DESCRIPTION DES DESORDRES ET DES INSTABILITES.....	172
III.6.1 Historique des désordres	172
III.7. MORPHOLOGIE ET INDICES D'INSTABILITE DU VERSANT NORD SUITE AU GLISSEMENT DE 2012	180
III.8. CONCLUSION	184
CHAPITRE IV : CARTOGRAPHIE DE L'ETENDUE ET DE L'EVOLUTION DU TISSU URBAIN DE LA VILLE D'AZAZGA DANS DES ZONES INSTABLES	185
IV. INTRODUCTION	187
IV.1. EVOLUTION DU TISSU URBAIN.....	188
IV.1.1. Première période	188
IV.1.2. Deuxième Période	194
IV.1.2.1. L'évolution multidirectionnelle	194
IV.1.2.2. Les instruments d'urbanisme	195
IV.1.2.3. La formation de noyaux périphériques comme extensions extra-muros de la ville.....	195
IV.1.2.4. Les glissements de terrain de 1973 et de 1985.....	197
IV.1.3. Troisième période	201
IV.1.3.1. la nouvelle vision de l'aménagement et la planification spatiale	201
IV.1.3.2. L'extension de la ville	202
IV.1.3.3. Gestion du développement de la ville, et les instruments d'Urbanisme.....	205
IV.2. LECTURE DE LA VILLE ENTRE EVOLUTION ET GLISSEMENT.....	207
IV.3. LES EQUIPEMENTS : ANALYSE SUR LEUR SITUATION DANS LA VILLE	211
IV.3.1. Les équipements publics	211
IV.3.2. Les infrastructures de base (les routes)	212
IV.4. CONCLUSION	215
CONCLUSION GENERALE	216
BIBLIOGRAPHIE.....	221
LISTE DES ANNEXES	226

LISTE DES FIGURES

Fig I. 1: Répartition mondiale du nombre de morts dus aux glissements de terrain pour l'année 2007 [1].	25
Fig I. 2: Distribution mondiale des pertes économiques globales dues aux glissements de terrain [4].	26
Fig I. 3: Schéma Explicatif des phénomènes : Effondrements des cavités souterraines	27
Fig I. 4: Ecoulements et chutes de blocs [8].	28
Fig I. 5: Ecoulement visqueux d'une masse de matériaux remaniés [9]	29
Fig I. 6: Phénomène de fluage [9].	30
Fig I. 7: Ecoulement de blocs et fluage [8]	30
Fig I. 8: Ecoulements de débris [8]	31
Fig I. 9: Coulée boueuse [8]	31
Fig I. 10: Phénomène de solifluxion [5]	32
Fig I. 11: Affaissement dû à une exploitation minière [10]	32
Fig I. 12: Phénomène de tassement latéral [8]	33
Fig I. 13: Processus de retrait-gonflement des sols argileux (Source : BRGM 2010). [11]	34
Fig I. 14: Phénomène de fauchage [9]	34
Fig I. 15: Phénomène de la Solifluxion. Source : Risque mouvement de terrain Commune de Clouange	35
Fig I. 16: Morphologie d'un glissement de terrain.	36
Fig I. 17: Principaux types de glissements [8].	37
Fig I. 18: Bloc diagramme représentant le mouvement de versant idéal [7]	37
Fig I. 19: Description des éléments morphométriques et morphologiques composant un glissement de terrain [5].	39
Fig I. 20: Dimensionnement d'une butée de pied	49
Fig I. 21: Stabilisation par butée et drainage du glissement de la côte du Beil (Cantal)	50
Fig I. 22: Dimensionnement d'un allègement en tête	50
Fig I. 23: Glissement de terrain de Saint Vidal(Haute-Loire)	51
Fig I. 24: Traitement du glissement de Cameot (d'après Peck et Irland).	51
Fig I. 25: Substitution totale des matériaux glissés au droit de la tête sud du tunnel de Marnay	52
Fig I. 26: Substitution partielle	53
Fig I. 27: Stabilisation par bêche du remblai au PK 1,9 de la déviation Nabringhen (Pas-De-Calais)	53
Fig I. 28: Coupe type d'une tranchée drainante. Source : guide technique, Surveillance des pentes instables (1994). [18].	54
Fig I. 29: Stabilisation du glissement de Moissac (Tarn et Garonne)	55
Fig I. 30: Drainage du glissement de Chatel-Guyon (Puy-De-Dome)	56
Fig I. 31: Stabilité du glissement de terrain au niveau du PK de la RN6 liaison FES-TAZA.	57
Fig I. 32: Stabilité du glissement d'Aktéa (Grèce) à l'aide des pieux de 1mΦ.	58
Fig I. 33: Morphologie de la zone de glissement de Villatina Medellin en Colombie.	58
Fig I. 34: Glissements de La Leona près de San Vicente (a) et de Las Collinas (b) au Salvador.	59
Fig I. 35: Glissement de terrain à Belouizdad. [2002].	60
Fig I. 36: Rue de Verdun. [2002].	60
Fig I. 37: Stagnation des eaux en amont	61

Fig I. 38: Alimentation en eau de la zone glissée par ruissellement à partir des eaux stagnées en amont.	61
Fig I. 39: Déboisement total de la zone glissée.	61
Fig I. 40: Glissement de Tizi quartier de Bejaia.	61
Fig I. 41: Démolition des immeubles B14 ET B15,	62
Fig I. 42: 2012, glissements de terrain à Azazga :	62
Fig.II. 1: Définition du risque naturel majeur.	67
Fig.II. 2: Classification des principales approches d'évaluation de l'aléa« glissement de terrain» (tiré de Aleotti et Chowdhury, 1999). [21].....	70
Fig.II. 3: Zones exposées aux mouvements de terrain; région de la rivière Yamaska.....	73
Fig.II. 4: Étude comparative de deux cartes des zones exposées aux glissements de terrain obtenues par deux équipes différentes pour le bassin de Marecchia dans le nord de l'Italie.	74
Fig.III. 1: AZAZGA - ville en plein expansion, menacée par le glissement de terrain.....	93
Fig.III. 2: Situation géographique de la commune d'AZAZGA.....	94
Fig.III. 3: Situation de la ville d'Azazga par rapport au réseau routier national.	94
Fig.III. 4: Carte de situation de la région d'étude.	95
Fig.III. 5. Localisation du glissement du centre-ville d'Azazga.....	96
Fig.III. 6: Carte structurale schématique de la chaîne maghrébide montrant la disposition des zones externes et des zones internes de la grande Kabylie (Durand Delga 1980).	97
Fig.III. 9. Epaisse série argileuse au centre ville d'Azazga.	104
Fig.III. 10 Vastes terrains d'argiles schisteuses crétacées au sud de la ville.....	104
Fig.III. 11. Marnes à plaquette microbréchiques à Tizi Bouchene.....	104
Fig.III. 12 Séries d'argiles rouges feuilletées, RN 12, terrassements à proximité de l'hôpital.....	105
Fig.III. 13 Séries d'argiles rouges feuilletées, terrassements de l'évitement Azazga	105
Fig.III. 14. Argiles vertes au village de Tala Koucheh (Nord de la ville).	105
Fig.III. 15.Photo montrant le contact argiles Sous – numidiennes et grès numidiens à Djemaa-Bouchen.....	106
Fig.III. 16.Grès numidiens fracturés à Tizi-Bouchen (l'extrémité Ouest de la ville).	106
Fig.III. 17.Grès numidiens fracturés à Tizi-n'flicki (l'extrémité Sud de la ville).	106
Fig.III. 18.Altération éboulis-marnes-argiles rouges (Terrassements de l'évitement d'Azazga).	107
Fig.III. 19.Série d'éboulis effondrés lors des terrassements de l'évitement d'Azazga.	107
Fig.III. 20: Vue d'ensemble de la ville d'Azazga.	108
Fig.III. 21.Modèle numérique de terrain (MNT) montrant la géomorphologie de la région d'AZAZGA. [32].....	109
Fig.III. 22. Vue générale du piémont sud de la région d'Azazga.....	110
Fig.III. 23.Carte de zonage sismique du territoire national. (RPA99/APRES ADDENDA)	111
Fig.III. 29. Exemple d'une coupe d'un sondage réalisé dans l'étude géotechnique 1986.....	115
Fig.III. 30. Exemple d'instabilité avec présence de.....	117
Fig.III. 32 : Carte-hydrographique de site urbain – Azazga.	119
Fig.III. 33. Les failles et l'affaissement de la chaussée menant vers IGHIL BOUZEL.	120
Fig.III. 38.Carte zoning 1976	133
Fig.III. 39.Carte zoning 1976.	134

Fig.III. 41: Cartes représentatives du pôle 1 (1976).	137
Fig.III. 42: cartes représentatives du pôle 2 (1976).	139
Fig.III. 43: carte représentative du pôle 3 (1976).	140
Fig.III. 44: Cartes représentatives du pôle 4 (1976)	142
Fig.III. 45: Situation de la zone d'étude géotechnique d'Azazga 1985-1986.	145
Fig.III. 46: Carte géotechnique AZAZGA 1986 élaborée par le LTPC (échelle ; 1/5000) géo-référenciée.	149
Fig.III. 47: Carte géotechnique AZAZGA 1985 élaborée par le LTPC (échelle ; 1/5000) géo-référenciée .	150
Fig.III. 48: Carte de zoning 1987 - LTPC (échelle ; 1/5000)	151
Fig.III. 49: Carte géotechnique AZAZGA 1987 élaborée par le LTPC (échelle ; 1/5000) géo-référenciée	152
Fig.III. 50: Carte de délimitation des POS (PDAU d'Azazga) avec application de la carte e constructibilité (LCTP/2006)	154
Fig.III. 51: Situation du site des POS A1&A5 (AZAZGA)	155
Fig.III. 52: Positionnement des sondages réalisés POS A1&A5.	156
Fig.III. 53: Carte de géologies de surface des POS A1, A4&A5	158
Fig.III. 54: Carte de stabilité des POS A1, A4& A5 (LCTP-2013).	161
Fig.III. 55: Limite du site des POS D1&D2 (AZAZGA).	162
Fig.III. 56: <i>Carte de stabilité POS D1&D2 (AZAZGA)</i>	164
Fig.III. 57: Carte de stabilité POS D1&D2 (AZAZGA)	165
Fig.III. 58: Photos position et orientation des sondages inclinométriques.	166
Fig.III. 59. Localisation de la zone d'étude à partir de Google earth.	167
Fig.III. 60. Structure de la nappe d'éboulis	168
Fig.III. 61. Caisse à carotte montrant l'interface Argiles-Marne.	168
Fig.III. 62. Localisation et orientation des sondages inclinométriques.	169
Fig.III. 63: Désordres et lézardes dans des maisons privées (1985).	172
Fig.III. 64: Désordres et lézardes dans des maisons privées.	173
Fig.III. 65: <i>Glissement 1985 (Désordres Subdivision de l'agriculture).</i>	173
Fig.III. 66: Glissement 1985 (Désordres projet de C.D.M.C (ex S.N.M.C).	174
Fig.III. 67. montrant l'affaissement de la chaussée et fissuration du muret de la subdivision de l'agriculture.	175
Fig.III. 68. Fissuration d'une vieille bâtisse (2003)	176
Fig.III. 69. Affaissement de la chaussée et fissuration du muret de la subdivision de l'agriculture. ...	177
Fig.III. 70. Affaissement de la chaussée et fissuration du mur de soutènement du marché couvert.	177
Fig.III. 71. Affaissement de la chaussée et fissuration du muret de la subdivision de l'agriculture, ...	177
Fig.III. 72. Basculement d'un bloc de classes R+1 avec dislocation du joint et rejet de 10 à 15 cm (CEM ZAIDAT).	177
Fig.III. 73. Témoins en plâtre mis en place le 01.96 et 12.97, indiquant la continuité du mouvement	177
Fig.III. 74. Une série de photos prises sur les lieux montre l'évolution et l'ampleur des dégâts engendrés sur les constructions (nouveau centre culturel, maisons individuelles), la chaussée, les trottoirs et les différents réseaux.	178
Fig.III. 75. Morphologie moutonnée, avec contre-pentes, caractéristique des versants de faible stabilité	181

Fig.III. 76. Signes d'instabilité : l'inclinaison des arbres, de poteaux électriques. Glissement 2012 de cote de nouveau centre culturel.	182
Fig.III. 77. Route menant à Ighil Bouzem continuellement affaissée et déformée	183
Fig.IV. 1: Plan ville d'Azazga 1951.....	189
Fig.IV. 2: Etendue de la ville d'Azazga 1960 [40]	190
Fig.IV. 3: Etendue de la zone urbanisée en 1962	191
Fig.IV. 4: Photo aérienne 1955 montrant la coulée boueuse de 1955.....	192
Fig.IV. 5: Azazga en 1962 et la situation de la coulée boueuse.....	193
Fig.IV. 6: Etendue de la zone urbanisée en 1985	196
Fig.IV. 7: Carte de zoning LCTP 1976 superposé avec le périmètre urbanisé en 1985	198
Fig.IV. 8: Carte de zoning 1987 superposée avec le périmètre urbanisé.....	200
Fig.IV. 9: Périmètre urbanisé actuel d'Azazga.	204
Fig.IV. 11: Carte – extrait PDAU de la commune d'Azazga – 2007. [42]	206
Fig.IV. 12: Photo montrant l'extension Nord de la ville dans les zones rouge (tala oukouchah).....	208
Fig.IV. 13: Carte zoning 1987 superposée au périmètre urbain actuel d'Azazga.....	209

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I. 1: Echelle de vitesse et importance des destructions probables	40
Tableau I. 2: Classification des glissements selon leurs vitesses déplacement.	40
Tableau I. 3: Exemple de classement de glissements par niveau d'importance en termes de superficie et de volume mis à contribution.	40
Tableau I. 4: Intensité des glissements de terrain en fonction des investissements en structures de protection.....	41
Tableau.III. 1 : Zoning sismique de l'Algérie (CGS.2003)	111
Tableau.III. 2: Valeurs d'accélération par zones sismiques (CGS.2003)	111
Tableau.III. 3: variation de la température moyenne mensuelle	112
Tableau.III. 4: Variation des précipitations moyennes mensuelles et annuelles	113

Aucune entrée de table d'illustration n'a été trouvée.

INTRODUCTION GENERALE

La croissance des risques naturels et technologiques est un phénomène mondial préoccupant qui résulte notamment de l'industrialisation et de l'accroissement de la densité d'occupation des zones à risque, sujettes à des aléas ou événements dangereux. Les risques posent donc un défi mondial pour l'avenir et constituent un des problèmes majeurs du développement durable.

L'urbanisation accélérée accroît sensiblement ces risques, auxquels sont soumises les populations qu'ils soient d'ordre social, naturel ou environnemental. La question environnementale est généralement exprimée en termes de problèmes (assainissement, glissement de terrain...). Concrètement l'analyse de ces cas renvoie souvent à une notion de risque, telle la croissance urbaine qui se pose comme un souci environnemental, quand elle s'effectue sur des sites peu propices à la construction (sur des pentes inadaptées ou sur des terrains instables...) et qu'elle génère, ce qui est perçu comme un danger. Les glissements de terrains constituent sans doute un des risques majeurs pour la sécurité et le bien être des personnes, ainsi que pour la propriété et les biens. Très souvent les dégâts provoqués par le glissement sont fortement sous-estimés, car ils représentent fréquemment une partie des catastrophes à dangers multiples.

En matière des risques naturels, l'Algérie, de par sa situation géographique, est exposée aux phénomènes climatiques, météorologiques, géologiques ou biologiques qui peuvent manifester des risques majeurs tels les inondations, les crues torrentielles, les séismes et les glissements de terrains. La conjonction de ces phénomènes naturels peut conduire à des dommages importants, voire compromettre le développement socio-économique des régions exposées aux catastrophes naturelles.

Le rapport du Conseil National Economique et Social(CNES) et Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement (MATE) en 2003 confirme et mentionne que les glissement de terrains menacent et affectent plusieurs villes Algériennes. Ces mouvements ont pris une grande ampleur dans l'espace urbain, portant essentiellement atteinte à l'économie, nécessitant la destruction de plusieurs constructions et le relogement de nombreuses familles.

A l'instar des villes Algériennes, AZAZGA (une ville située à 37 km au Nord- Est du chef-lieu de la wilaya de Tizi-Ouzou) a connu les mêmes formes de croissance et les mêmes problèmes induits de ce processus d'urbanisation accélérée. Aujourd'hui, elle est classée comme une zone exposée à un sérieux glissement de terrain.

L'urbanisation et le développement de la ville d'Azazga, durant ces dernières années, ont été largement conditionnés et perturbés par la gestion du phénomène de glissement de terrain, qui s'est manifesté significativement en 1973 et en 1985. Le glissement s'est témoigné par des mouvements de terrain (sous-sol) principalement dans les parties Nord et Est de la ville.

Les zones rouges ou défavorables à l'urbanisation constituent 47,65 % du périmètre urbain de la ville, soit une superficie de 439,26 ha sur un total de 921,77 ha.

L'étude et la cartographie du risque du glissement de terrain, présentent donc un intérêt capital dans les actions préventives contre ces processus complexes ; d'où l'intérêt d'établir des cartes de risque de glissement de terrain de site urbain d'Azazga.

Notre étude vise principalement à développer une approche méthodologique menant à l'élaboration d'un document cartographique identifiant les zones soumises au risque dans la ville d'Azazga, en appliquant une méthodologie simple à l'aide d'un système d'information géographique (SIG) sous Arc View.

STRUCTURE DE LA THESE

Problématique

Dans le but de cerner la problématique de notre étude, nous avons procédé à une recherche bibliographique visant à constituer une idée globale sur le sujet et à délimiter les principales questions auxquelles nous essayerons de répondre dans le cadre de notre travail de recherche d'une façon convenable.

Les glissements de terrains font partis des risques naturels les plus menaçants pour les infrastructures et les personnes, laissant des zones en équilibres fragiles. Comme on le trouve dans la plupart des villes du nord de l'Algérie, pour ce faire, nous avons choisi d'étudier le glissement de terrain spectaculaire qui affecte la ville d'Azazga.

Azazga est située sur le piémont qui relie la haute montagne et le pleine de SEBAOU (Tizi-Ouzou, Algérie) et correspond à un large versant orienté Est-Ouest.

En raison de ses conditions géologiques et topographiques, cette région est soumise à plusieurs aléas naturels, en particulier aux glissements de terrains et les coulées de boues.

Afin de mieux comprendre ce phénomène, notre travail se reposera sur l'utilisation de toutes les données d'archives et d'études géotechniques déjà élaborées, et les synthétiser en créant une base de données unifiée à travers l'utilisation d'un système d'information géographique (SIG) sous Arc View, pour la modélisation et la gestion éventuelles des aléas dans cette région.

Cette démarche permet d'élaborer des cartes définissant des zones soumises au risque de glissement.

Actuellement, le SIG est une aide indispensable pour spatialiser les diverses informations, son utilisation comme outil de base dans la cartographie de risque est un savoir en pleine expansion dans le cadre des études d'urbanisations et l'aménagement de territoire.

Dans ce cadre, nous allons essayer de présenter avec beaucoup de volonté le sujet de notre recherche d'étude qui s'intitule : ***Analyse et évaluation du potentiel de risque du glissement de terrain d'Azazga.***

Motivation du choix du sujet

Le sujet de l'évaluation du potentiel de risque de glissement de terrain n'est pas réellement une nouveauté, c'est une thématique qui nous interpelle depuis des siècles. C'est également, une question d'actualité ; il y a un nombre importants d'articles et de débats qui traitent de cette question. A ce propos, et à côté des catastrophes naturelles qui ont ébranlé les villes Algériennes, ces dernières années, Azazga est touchée également par le phénomène du glissement de terrain. Ce dernier est remarqué par la complexité de son mécanisme ainsi que de l'ampleur du phénomène observé aux plans sociaux - économiques à travers les effets sur l'immobilier urbain et son impact sur les populations.

Le glissement de terrain de la ville d'Azazga est une question fondamentale qui préoccupe l'ensemble des scientifiques, les citoyens ainsi que les pouvoirs publics. Notre intérêt dans

cette étude est portée sur la notion du risque de glissement de terrain d'Azazga et on essaiera d'apporter un éclairage sur les effets de ce risque et d'évaluer son potentiel.

Structure du mémoire

Afin de synthétiser notre problématique, la démarche retenue dans ces travaux de thèse est répartie en cinq chapitres :

*Le premier chapitre : **Généralités sur les glissements de terrains.***

Il s'agit d'une étude bibliographique, consiste à développer une recherche documentaire concernant les concepts du glissement de terrain, dans la mesure où leurs caractères imprévisibles et violents représentent un danger pour la vie humaine et les biens. Dans ce cadre, on a défini globalement les différents types de rupture liés aux mouvements de terrain ainsi que leurs principales causes, en citant quelques exemples à travers le monde.

*Le deuxième chapitre : **Méthodes d'analyse et évaluation des risques de glissement de terrain.***

Approche théorique sur les différentes techniques d'évaluation de l'aléa et du risque de glissement de terrain, plusieurs méthodes ont été rapportées dans la littérature pour un objet d'étude et de cartographier du risque des mouvements de masses, qui présentent donc un intérêt capital dans les actions préventives contre ces processus complexes ; d'où l'intérêt d'établir des cartes de risque de glissements de terrains.

*Le troisième chapitre : **Caractérisation du glissement de terrain d'Azazga.***

Ce chapitre est consacré à la caractérisation du glissement de terrain d'Azazga. Afin de bien caractériser ce problème, une récolte des documents relatifs aux différents travaux réalisés dans la région depuis 1976 a été effectuée. Le glissement de terrain et ses principaux caractères sont passés en revue. Les conditions majeures qui ont conduit à l'activation du mouvement ainsi que les causes de son activité sont étudiées en détail dans ce chapitre. Les résultats des différentes investigations réalisées sont également donnés pour permettre l'analyse de l'historique de l'évolution du mouvement.

*Le quatrième chapitre : **Cartographie de l'étendue et de l'évolution du tissu urbain de la ville d'Azazga dans des zones instables.***

Afin de mieux comprendre le phénomène du glissement dans la ville d'Azazga, une analyse de l'évolution du tissu urbain sera appréhendée à travers de l'évolution physique du cadre bâti depuis sa création à nos jours, associé aux instruments d'urbanisme qui ont constitué le support de gestion et de développement spatial de cette agglomération depuis plusieurs

décennies. Cette approche nous permettra d'évaluer et de comprendre les raisons de ces extensions urbaines dans des zones classées comme des zones de glissement depuis plus de 25 ans.

*Le cinquième chapitre : **Evaluation du potentiel de risque et de l'aléa du au glissement d'Azazga à l'aide d'un SIG.***

Ce chapitre présente l'utilisation d'un Système d'Information Géographique (SIG) sous ArcView pour la modélisation et la gestion éventuelle des aléas du site urbain d'Azazga. Il présente la démarche suivie pour l'utilisation d'un SIG dans l'élaboration de cartes définissant les zones soumises au risque de glissement. En raison de la variété des informations géoréférencées qui sont nécessaires à l'élaboration d'une carte de risque, les SIG sont une aide indispensable pour intégrer les différentes couches d'informations telles que la topographie, la géologie, l'hydrographie, la répartition spatiale de l'habitat et de la densité de population. Ce travail représente donc, avant tout, un exercice méthodologique visant à apporter de nouvelles idées en matière d'évaluation et de cartographie de l'aléa et du risque de glissement de terrain à l'aide de SIG.

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES GLISSEMENTS DE TERRAIN



Glissement de terrain couvrant l'autoroute qui relie Taipei à Keelung dans le nord de Taiwan le 27 avril 2010, ce glissement de terrain qui a enfoui plus de 300 mètre d'autoroute aurait emporté avec lui quatre véhicules.

Source :[http :www.sitesqui buzz.com](http://www.sitesqui-buzz.com).

Les glissements de terrain sont des phénomènes naturels d'origine très diverses. Annuellement, ils provoquent en moyenne la mort de 800 à 1 000 personnes dans le monde et occasionnent des préjudices économiques et des dommages très importants.

I. INTRODUCTION

La terre a un cycle de vie qui lui est propre, ses roches naissent, vieillissent, meurent et puis renaissent dans le cœur en fusion de notre planète. Les glissements de terrain font partie de ce processus naturel. Les glissements de terrain constituent en général, des phénomènes naturels ponctuels à effets limités. Cependant, par leur diversité et leur fréquence, ils restent responsables de dommages importants et coûteux.

En effet, ils provoquent à l'échelle mondiale le décès de quelques 800 à 1000 personnes annuellement, sachant que cette valeur ne prend pas en considération les glissements dus aux séismes et aux exploitations minières.

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

Ce sont cependant les phénomènes météorologiques qui semblent provoquer le plus grand nombre d'événements. L'importance socio-économique des glissements de terrain a été identifiée dans les dernières décennies suite à plusieurs catastrophes dont les raisons peuvent être les suivantes :

- le risque de glissement de terrain croît dans les pays en voie de développement, suite au déboisement continu, mais aussi dans les pays industrialisés, en raison de l'abandon progressif des zones rurales,
- le changement climatique global semble avoir une influence négative par les précipitations annuelles accrues,
- le risque a augmenté rapidement au cours des dernières décennies suite à la croissance démographique ainsi qu'à l'urbanisation et au développement renforcés et ce, principalement dans les pays en voie de développement,
- la vulnérabilité des éléments face au risque augmente également, vu la complexité croissante de la structure socio-économique des pays industrialisés ; même les événements provoquant des pertes directes mineures peuvent produire des pertes indirectes majeures occasionnées (interruption des activités de production, perte de compétitivité, désengagements contractuels, problèmes d'assurance, effets psychologiques, etc.) ;
- les seuils de risque acceptables ont été radicalement réduits dans les pays développés car la société actuelle ne tolère plus des pertes résultant des événements naturels inattendus.

❖ Pertes en vies humaines

Les statistiques mondiales des glissements de terrain étudiés par le Professeur D. P. Wilson (2007) de l'Université de Dunham en Angleterre, montrent que les régions les plus exposées en termes de pertes en vie humaines suite aux phénomènes de mouvement de masse se situent principalement en Asie du sud, en Amérique centrale et quelque peu en Afrique. L'Amérique du nord, l'Europe et le Moyen Orient n'enregistrent quant à eux que des événements de faible intensité (moins de 5 morts par événement).

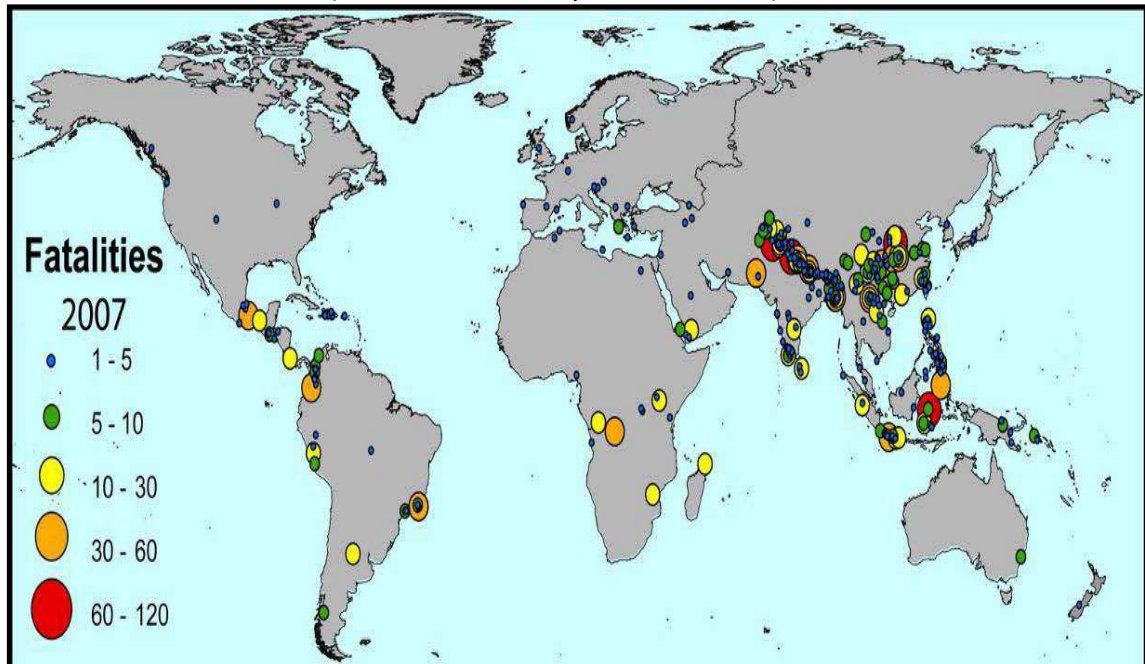


Fig I. 1: Répartition mondiale du nombre de morts dus aux glissements de terrain pour l'année 2007 [1].

❖ Impact des glissements de terrain sur l'économie

Une étude mondiale effectuée entre 1971 et 1974 par L'association internationale de la géologie appliquée pour l'UNESCO a prouvé que 14% de l'ensemble des accidents provoqués par les catastrophes naturelles étaient liés aux glissements de terrain. Dans la même période, en moyenne 600 personnes par an ont été tuées par les glissements de terrain [2]. Ce chiffre ne donne qu'une idée partielle de l'impact des glissements de terrain sur la sécurité publique, car les événements individuels principaux qui se sont produits au cours de ce siècle, ont provoqué dans certains cas plus de dix mille victimes [3]. En terme de pertes économiques liées au phénomène de mouvement de masse, le Japon est le pays le plus sévèrement affecté, subissant une perte totale estimée au niveau de 4 milliards de \$ US par an (valeur rapportée en 1990). Viennent ensuite les Etats-Unis, l'Italie et l'Inde, où les pertes estimées se situent entre 1 milliard et 2 milliards de \$ US par an. Ces pertes comprennent aussi bien les coûts directs qu'indirects : les premiers impliquent les coûts de réparation, de remplacement ou d'entretien de propriété et d'installations endommagées, alors que les coûts indirects incluent la baisse de productivité, la réduction de la valeur de l'immobilier, la perte de recettes fiscales et d'autres effets économiques produits indirectement par les glissements de terrain [3].

[1] Selon les travaux de Dave Petley, Wilson (2007) Professeur à l'Université de Durham en Angleterre publiés sur le premier Blog relatif aux glissements de terrain.

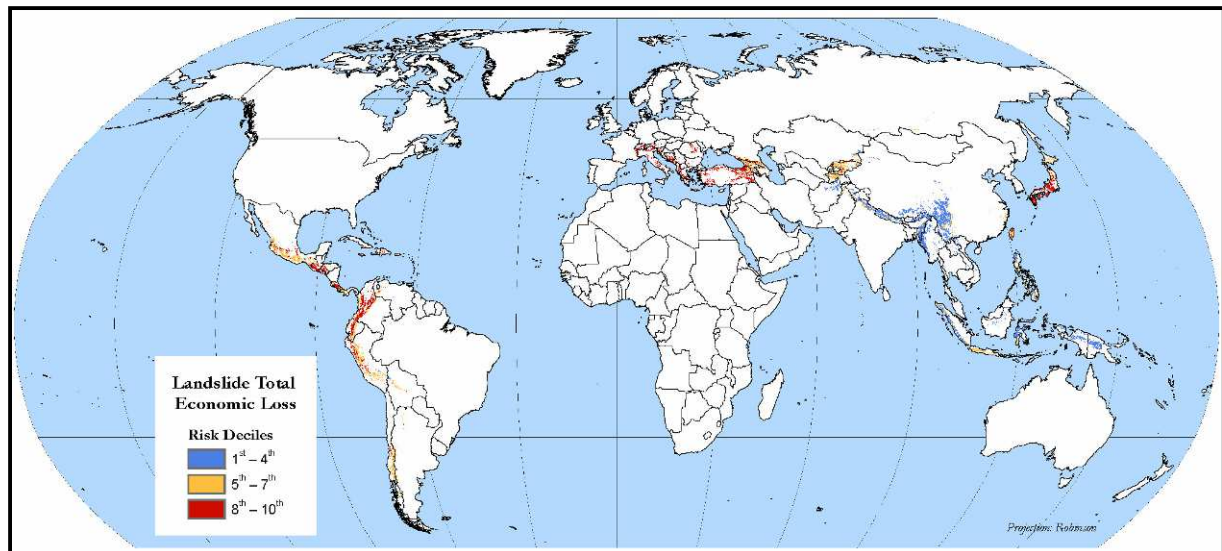


Fig I. 2: Distribution mondiale des pertes économiques globales dues aux glissements de terrain [4].

❖ Programmes à l'échelle internationale

En 1976, le Coordonnateur des Nations Unies pour les secours en cas de catastrophe (UNDRO) a initié la création d'une « commission pour les glissements de terrain » dans le cadre de l'IAEG (*International Association for Engineering Geology and the Environment*) [5]. Plus tard, la 42ème Assemblée Générale des Nations Unies a instauré la décennie internationale pour la réduction de catastrophes naturelles (IDNDR) 1990-2000. Dans ce contexte, un Groupe de travail sur le Référentiel mondial des glissements de terrain (WP/WLI) a été établi par les plus importantes associations géotechniques internationales. [6]

Ce qui a abouti à la publication de plusieurs résultats tels les méthodes de description du phénomène (WP/WLI, 1990, 1991, 1993a, 1994; IUGS/WGL, 1995; Cruden & Varnes, 1996), le glossaire multilingue des glissements de terrain (WP/WLI, 1993b), et la révision de l'état de l'art en matière d'évaluation quantitative du risque concernant les pentes et les glissements de terrain (Cruden & Fell, 1997).

[2] Varnes, D.J.1984. Hazard Zonation: A Review of Principal and Practice.

[3] Schuster, R.L., 1996, Socioeconomic significance of landslides, in A.K.

[4] Natural Disaster Hotspots: A Global Risk Analysis, © 2005, International Bank for Reconstitution and development / The World Bank and Columbia University.

[5] Suggested nomenclature for landslides. International Association of Engineering Geology.

[6] WP/WLI - International Geotechnical Societies, Working Party on World Landslide Inventory (1991) an suggested method for a landslide summary.

I.1. MOUVEMENT DE TERRAIN

I.1.1. Définition du mouvement de terrain

Un mouvement de terrain est un déplacement plus ou moins brutal du sol ou du sous-sol, sous l'effet d'influence naturelle (agent d'érosion, pesanteur, séisme...etc.) ou anthropique (exploitation, déboisement, terrassement,...etc.). Ce phénomène comprend diverses manifestations : lentes ou rapides, en fonction des mécanismes initiateurs, des matériaux considérés et de leur structure.

I.1.2. Types de mouvement de terrain

Le mouvement de terrain a pour caractéristique d'être difficilement prévisible et constitue un danger pour la vie humaine en raison de son intensité, de sa soudaineté et du caractère dynamique de son déclenchement. Selon la vitesse de déplacement, deux ensembles peuvent être distingués : les mouvements lents et les mouvements rapides

Seuls les mouvements rapides sont directement dangereux pour l'homme. Leurs conséquences sont d'autant plus graves que les masses déplacées sont importantes.

Les conséquences des mouvements lents sont essentiellement socioéconomiques ou d'intérêt public.

I.1.2.1. Les mouvements rapides et discontinus

Leur propagation est brutale et soudaine. Ils regroupent l'effondrement, les chutes de pierres et de blocs, l'éboulement et les coulées boueuses.

Les mouvements rapides touchent majoritairement les personnes, avec des conséquences souvent dramatiques. Ces mouvements ont des incidences sur les infrastructures (bâtiments, voies de communication...etc.), allant de la dégradation à la ruine totale.

❖ Les effondrements de cavités souterraines

Ils résultent de la rupture des appuis ou du toit d'une cavité souterraine, rupture qui se propage jusqu'en surface de manière plus ou moins brutale, et qui détermine l'ouverture d'une excavation grossièrement cylindrique.

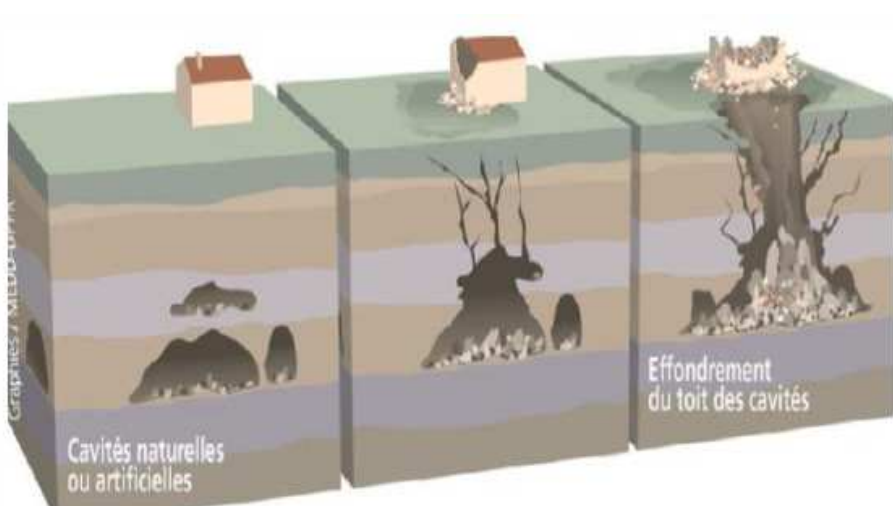


Fig I. 3: Schéma Explicatif des phénomènes : Effondrements des cavités souterraines

Source: [www. Prim.net](http://www.Prim.net)

Les écroulements et chutes de blocs sont des phénomènes rapides et brutaux qui affectent des roches rigides et fracturées. Il s'agit de masse de taille variable qui se détache d'une pente escarpée ou d'une falaise. Les vitesses de déplacement sont rapides à extrêmement rapides, avec des rebonds et des trajectoires paraboliques. Dans le cas des roches sédimentaires, la stratification accroît le découpage de la roche et par conséquent les prédispositions à l'instabilité (présence d'une formation sous-jacente plus meuble, déformable ou érodable). La phase initiale de la chute des éléments rocheux est longue et difficile à déceler (altération des joints de stratification, endommagement progressif des roches, fracturation, etc.). La phase d'accélération qui aboutit à la rupture est très rapide ce qui rend ces phénomènes difficilement prévisibles. En fonction du type de matériaux constituant le versant, les chercheurs Varnes, (1978) [7], IAEG (1990), Cruden et Varnes (1996) ont différencié les chutes de blocs lorsque la masse se détache du socle, les éboulis de débris composés par des fragments détritiques grossiers et les éboulis de sol composés de fragments détritiques fins.

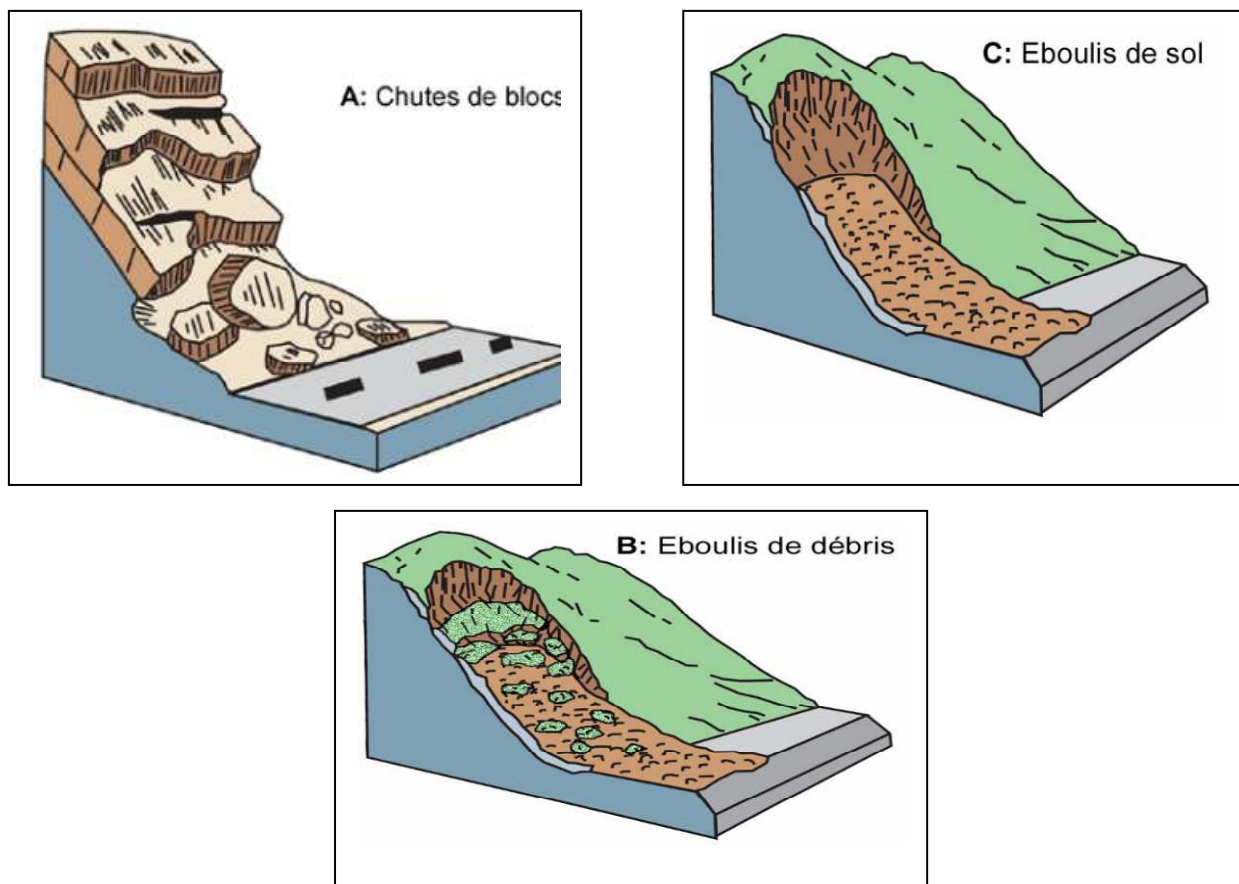


Fig I. 4: Ecroulements et chutes de blocs [8].

[7] Varnes, 1978. Slope movements. Types and processes.

[8] USGS (United States Geological Survey), « Institut d'études géologiques des États-Unis », 1982, Goals and tasks of the landslide part of a ground failure hazard reduction program.

Les facteurs naturels favorisant le déclenchement de tels phénomènes sont nombreux. On peut citer par exemple les fortes variations de températures (cycle gel/dégel), la croissance de la végétation ou au contraire sa disparition, les pressions hydrostatiques dues à la pluviométrie et à la fonte des neiges, les séismes...

❖ Les écoulements ou coulées de masse

Les écoulements ou coulées résultent de l'évolution des glissements et prennent naissance dans leur partie avale. Ce sont des mouvements rapides d'une masse de matériaux remaniés peu ou non-consolidés qui s'écoulent plus ou moins rapidement suivant leurs teneurs en eau. Sur de nombreux points, le profil de distribution des vitesses ressemble à celui d'un fluide visqueux.

La nature géologique des terrains est un des principaux facteurs d'apparition de ces phénomènes tout comme l'eau et la pente. Les matériaux affectés sont très variés (roches marneuses ou schisteuses, formations altérées, colluvions fines, moraines argileuses, etc.) mais globalement la présence d'argile en forte proportion représente l'aspect pénalisant du phénomène compte tenu de ses mauvaises caractéristiques mécaniques. La saturation des terrains en eau (présences de sources, fortes précipitations, fonte brutale des neiges, etc.) joue aussi un rôle moteur dans le déclenchement de ces phénomènes.

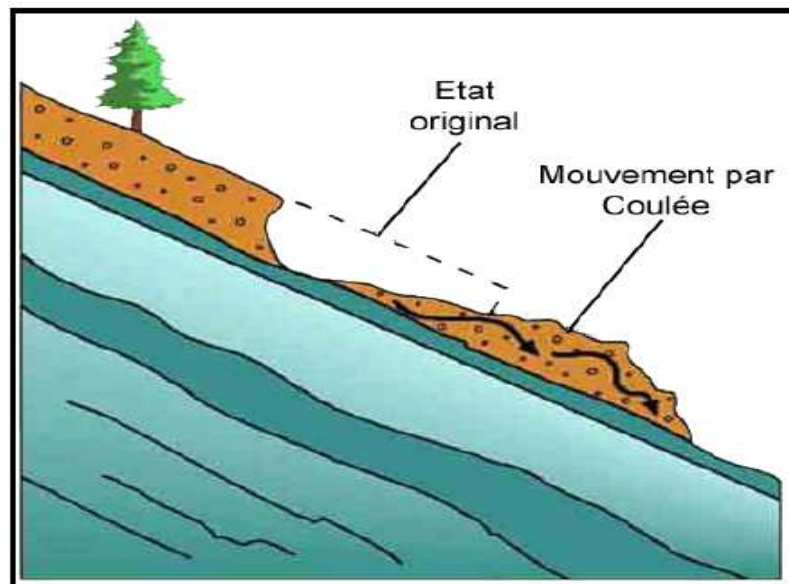


Fig I. 5: Ecoulement visqueux d'une masse de matériaux remaniés [9]

Ces processus peuvent parfois être précédés de phénomènes de fluage. Il s'agit d'une déformation irrégulière se développant sur des pentes faibles, sa vitesse est lente et continue dans le temps évoluant sous une contrainte constante. Ce phénomène évolue de façon non perceptible, jusqu'à une accélération qui conduit à la rupture.

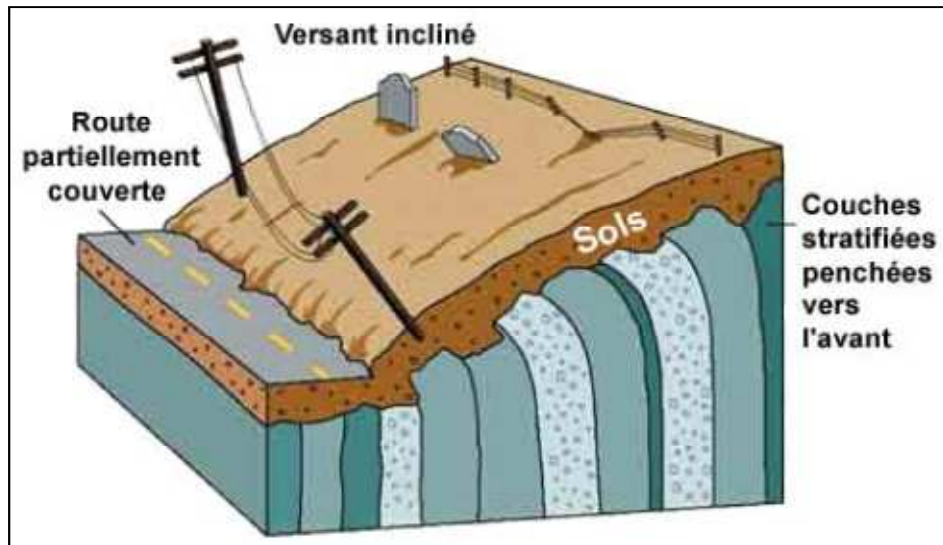


Fig I. 6: Phénomène de fluage [9]

En fonction du type de matériau mis à contribution dans le mouvement de masse, Varnes (1978) distingue trois sous-classes : [5]

➤ **Les écoulements de blocs ou "Rock Flow"**

Les déformations se concentrent le long de discontinuités préexistantes entraînant le mouvement de blocs vers le pied du versant.

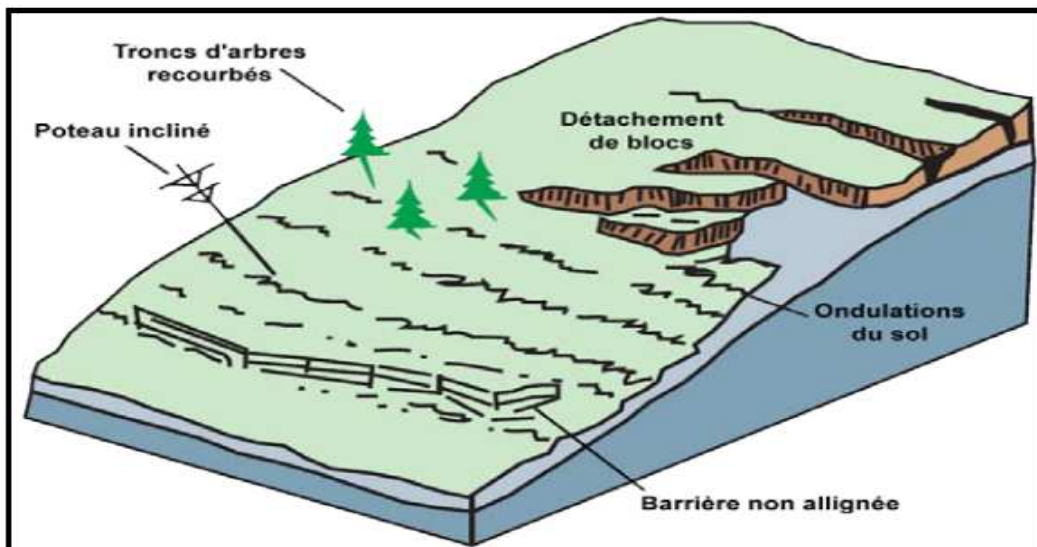


Fig I. 7: Ecoulement de blocs et fluage [8]

➤ **Les écoulements de débris ou "Debris Flow"**

Le matériau mis à contribution dans ce genre d'écoulement est constitué d'un haut pourcentage en particules grossières.

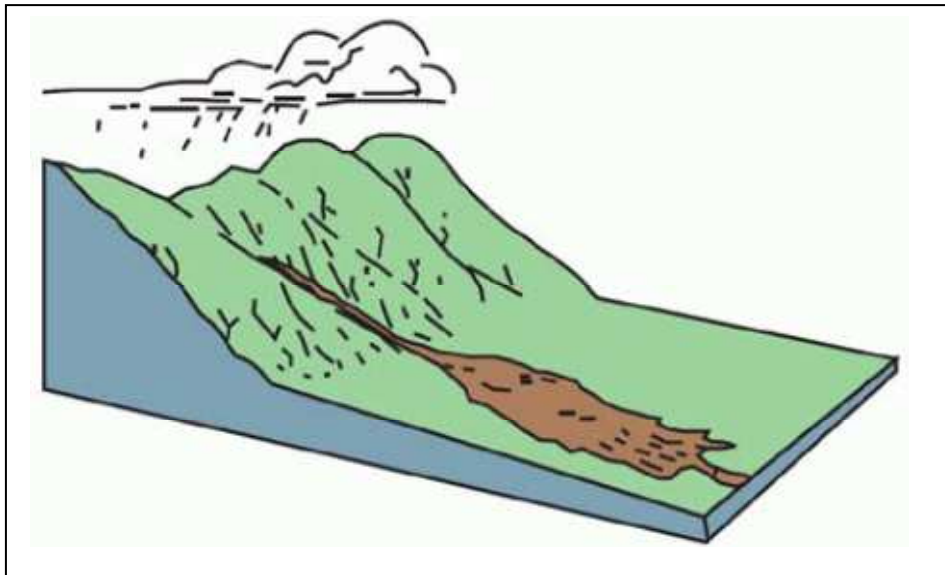


Fig I. 8: Ecoulements de débris [8]

➤ **Les écoulements de sols ou "Earth Flow"**

Les écoulements de sols ou "Earth Flow" sont caractérisés par un transport à l'état visqueux de matériaux riches en particules fines (50% au minimum). Les écoulements de sols les plus connus sont :

- les coulées boueuses "Mud Flow", se développent sur des matériaux fins comme le sable, les silts ou les argiles. Elles se produisent sur des pentes, par dégénérescence de certains glissements avec afflux d'eau.
- les coulées torrentielles "Rapid Earth Flow", se produisent en présence de matériaux fins à argileux dans le lit de torrents au moment des crues. La vitesse de ce processus est influencée par la teneur et le type d'argile, le degré d'altération, et la teneur en eau des terrains affectés.
- les coulées sèches "Dry Flow", se dit des écoulements de matériaux superficiels peu ou non saturés. Le déclenchement est souvent dû à une sollicitation mécanique, tel un séisme.

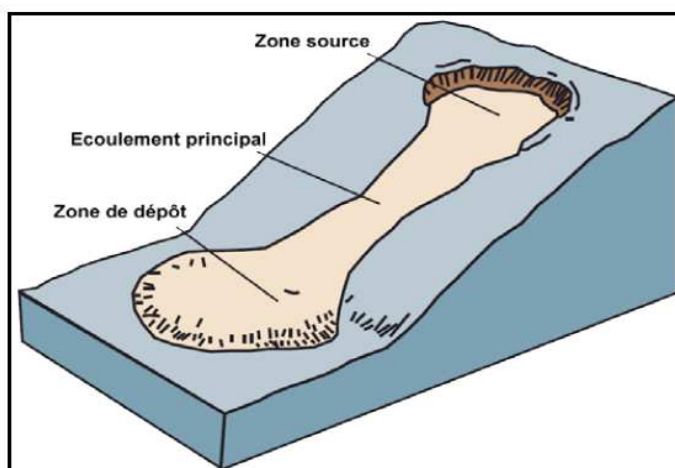


Fig I. 9: Coulée boueuse [8]

Indépendamment du type de matériaux constituant les versants, un autre type de mouvement est attribué aux écoulements : il s'agit du phénomène de solifluxion. Il peut être dû à une alternance gel/dégel, au passage d'animaux et/ou à l'action des racines. C'est un mouvement lent affectant des terrains superficiels meubles sur des pentes très faibles. La solifluxion peut s'étendre à des versants entiers. Cependant, elle n'affecte que de faibles épaisseurs.

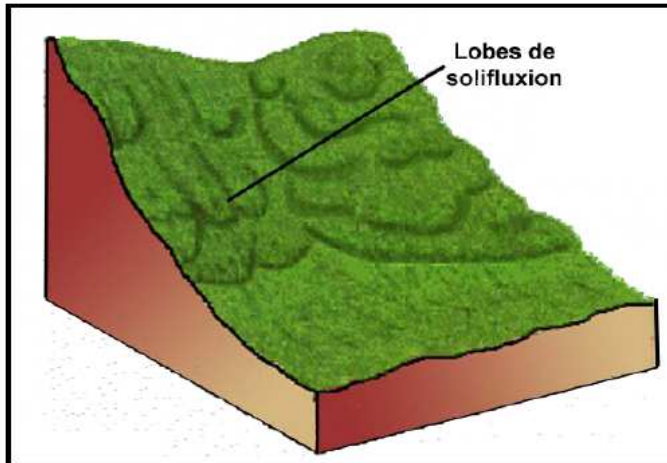


Fig I. 10: Phénomène de solifluxion [5]

I.1.2.2. Les mouvements lents et continus

Ces mouvements entraînent une déformation progressive des terrains, pas toujours perceptible par l'homme. Ils regroupent : l'affaissement, le tassement, le glissement, la solifluxion, le retrait-gonflement et le fluage.

Ils touchent principalement les biens, à travers la fissuration des constructions. Ces désordres peuvent se révéler si grave pour la sécurité des occupants que la démolition des bâtiments s'impose.

❖ Les affaissements

Les affaissements sont des dépressions topographiques en forme de cuvette dues au fléchissement lent et progressif du sol, sans ruptures apparentes de ce dernier.

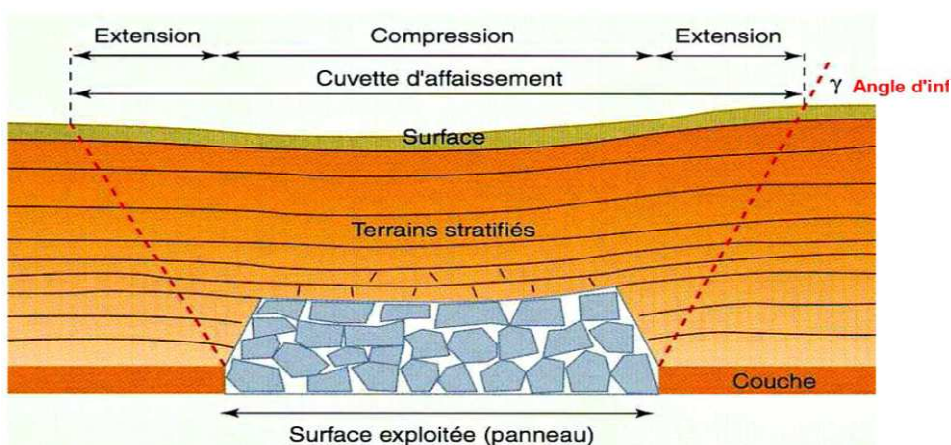


Fig I. 11: Affaissement dû à une exploitation minière [10]

(Source : INERIS, 1997).

❖ Les tassements

Il s'agit principalement de diminution de volume de certains sols sous l'effet de charges ou d'assèchement. Les tassements latéraux ou "*Lateral spreads*" sont très distincts puisqu'ils se produisent habituellement sur des pentes très douces, voire même sur des terrains plats. Le mouvement dominant est celui d'une extension régressive latérale accompagnée d'un cisaillement ou de fentes de tension. La rupture est provoquée par la liquéfaction de sédiments à l'état solide (habituellement des sables et des silts). Le déclenchement du phénomène est souvent dû à un mouvement rapide du sol, comme lors d'un tremblement de terre, mais il peut également être artificiellement induit. Les matériaux évoluent en translation jusqu'à former des reliefs en horsts et grabens avec un fluage en pied. Ces mouvements se déclenchent sans que des indices de surface soient préalablement

ic

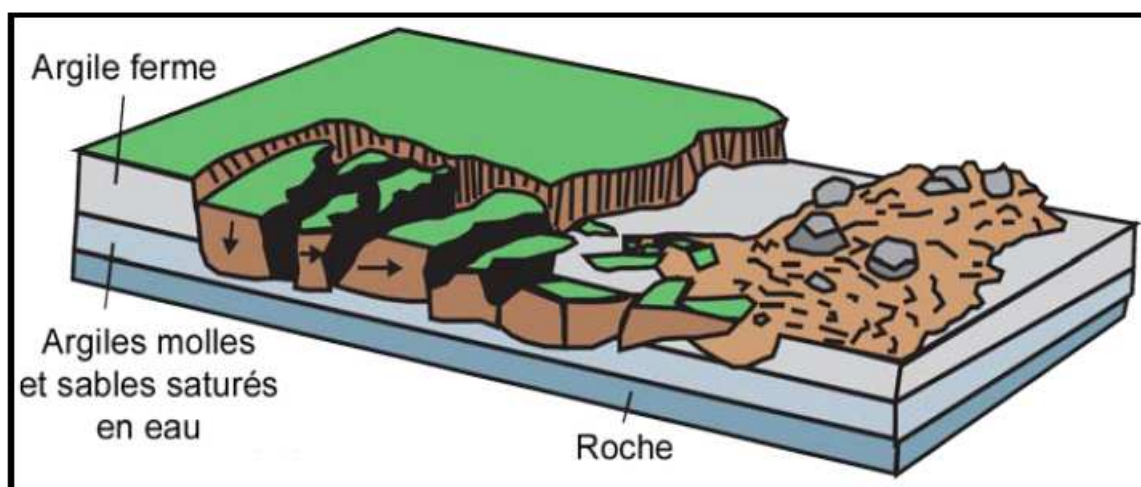


Fig I. 12: Phénomène de tassement latéral [8]

Les tassements par retrait se produisent sur les versants couverts de certains types d'argiles pouvant donner lieu à d'importantes variations de volume en cas de sécheresse durable ou de la succession de plusieurs années déficitaires en eau. Ce phénomène de retrait/gonflement des sols, aggravé par la présence d'arbres ou d'arbustes au voisinage des habitations, peut être à l'origine de dégâts très importants sur les constructions et les infrastructures. Il est cependant sans danger pour l'homme compte tenu de la lenteur et de la faible amplitude des déformations occasionnées.

❖ Les retraits – gonflement des argiles

Le retrait-gonflement des sols est défini par le BRGM (2010) comme étant : «des mouvements de terrains différentiels de petite amplitude, provoqués par des variations de volume de certains sols argileux lorsque leur teneur en eau se modifie». Il se manifeste essentiellement dans des milieux à climat tempéré au cours des périodes de sécheresse prolongées. La tranche la plus superficielle du sol est alors soumise à l'évaporation. Il en résulte un retrait des argiles, qui se manifeste verticalement par un tassement et horizontalement par l'ouverture de fissures.

L'amplitude de ce tassement est proportionnelle avec l'épaisseur de la couche d'argile et de sa richesse en minéraux gonflants. Le principal facteur de prédisposition de ce type de mouvement est lié à la nature du sol. Certains facteurs complémentaires interviennent : les défauts de fondation, une modification de l'imperméabilisation du sol, un drainage périphérique, les pompages dans un puits voisin, éventuellement une source de chaleur enterrée.

La présence d'arbres exerce un rôle aggravant car les racines soutirent l'eau du sol, et peuvent s'étendre jusqu'à 1,5 fois de la hauteur de l'arbre, sous les fondations.



1. Evapotranspiration
2. Evaporation
3. Absorption par les racines
4. Couches argileuses
5. Feuillets argileux
6. Eau interstitielle

Fig I. 13: Processus de retrait-gonflement des sols argileux (Source : BRGM 2010). [11]

❖ Le fauchage

Il s'agit d'un processus de basculement d'une unité sur un pivot situé en dessous ou sur une unité inférieure, sous l'action de la gravité et de forces exercées par des blocs adjacents ou des pressions de fluide. C'est une déformation superficielle traduite en mouvement lent qui affecte des roches stratifiées redressées à la verticale et entraîne un basculement vers l'aval des couches sur une épaisseur très variable. Des ruptures brutales se produisent et les matériaux se désagrègent et passent à l'état de rochers disloqués puis d'éboulis⁽¹¹⁾. Le phénomène de fauchage résulte suite à une action conjuguée entre une disposition structurale et une composition lithologique particulière.

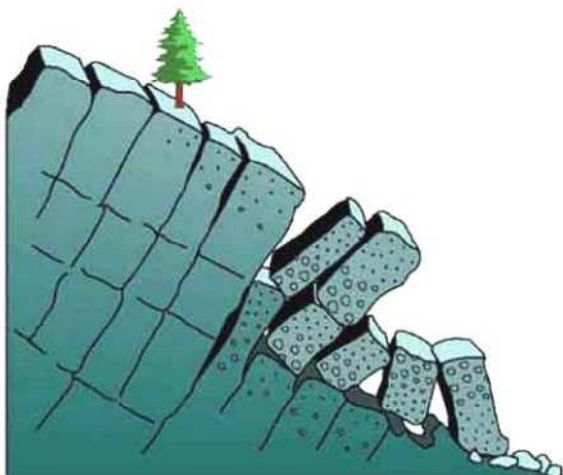


Fig I. 14: Phénomène de fauchage [9]

❖ Solifluxion

La solifluxion est un phénomène d'écoulement des sols en surface sur des pentes très faibles. Elle correspond à un mouvement de masse superficiel qui est déclenché lorsque la charge en eau dépasse le seuil de plasticité du matériau. Le sol peut alors fluer dans la pente sur un plan de décollement saturé d'eau.

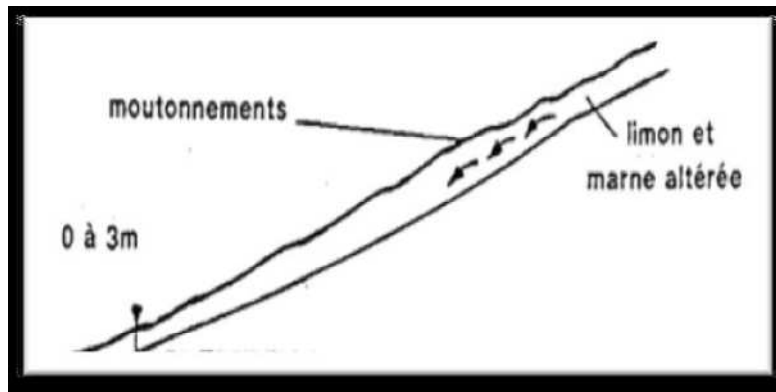


Fig I. 15: Phénomène de la Solifluxion. Source : Risque mouvement de terrain Commune de Clouange

(http://www.moselle.equipement.gouv.fr/IMG/pdf/Notice_cle1d1a2c.pdf).

[9] Etude pour la réalisation d'une cartographie et d'un système d'information géographique sur les risques majeurs au Maroc/ Secrétariat d'Etat auprès du Ministère de l'Energie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement chargé de l'Eau et de l'Environnement Département de l'Environnement Direction de la Surveillance et de la Prévention des Risques/ mission 1 identification des risques les glissements de terrain / Version 1.0 Septembre-2008.

[10] Affaissements et déformations au-dessus des exploitations minières : mécanismes, conséquences et facteurs influents J.P. PIGUET [LAEGO, Ecole des Mines de Nancy/INERIS], Lille : France (1997).

[11] Processus de retrait-gonflement des sols argileux, BRGM 2010.

I.2. GENERALITES SUR LES GLISSEMENTS DE TERRAIN

I.2.1. Définition

Les glissements de terrain sont des mouvements de masse lents induits par insuffisance de résistance au cisaillement sur une ou plusieurs surfaces de rupture généralement courbes ou planes, ainsi que sur tous type de matériaux (Varnes, 1978). Le mouvement peut être progressif, c'est à dire que le cisaillement peut ne pas être simultané sur la totalité de la surface de rupture. La propagation de la rupture est contrôlée par le développement des zones entrant en plasticité. La surface de cisaillement devient alors une surface de séparation entre matériau en place et matériau en mouvement.

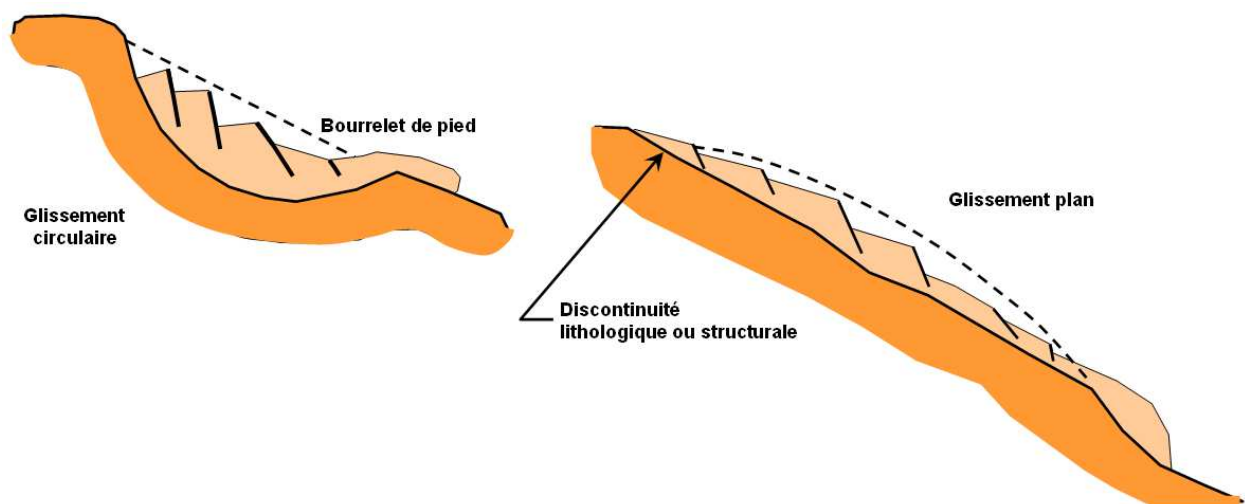


Fig I. 16: Morphologie d'un glissement de terrain.

Selon la surface de rupture rencontrée dans cette classe, Varnes (1978) et par la suite Flageollet (1989) ont subdivisé les glissements en deux catégories :

- Les **glissements plan ou translationnels** "Translational slides" : Il correspond à un mouvement de masse évoluant le long d'un plan de faible résistance mécanique. Lorsque dans un tel type de glissement une seule unité est mobilisée, on parle de "glissement par blocs". Les glissements plans sont très souvent contrôlés par la structure géologique du versant et les surfaces ou zones de moindre résistance mécanique.
- Les **glissements circulaire ou rotationnels** "Rotational slides" : Il s'agit là du phénomène le plus courant. La surface de rupture présente une concavité orientée vers le haut avec une éventuelle présence de fissures concentriques en plan, et concaves suivant la direction du glissement (forme d'une cuillère). La forme du glissement peut être influencée par la nature des terrains concernés et les éventuelles discontinuités rencontrées. L'escarpement au niveau de la niche d'arrachement peut être relativement vertical et les mouvements sont relativement

rapides. En amont de la niche d'arrachement, des fissures de traction peuvent apparaître avec une évolution régressive.

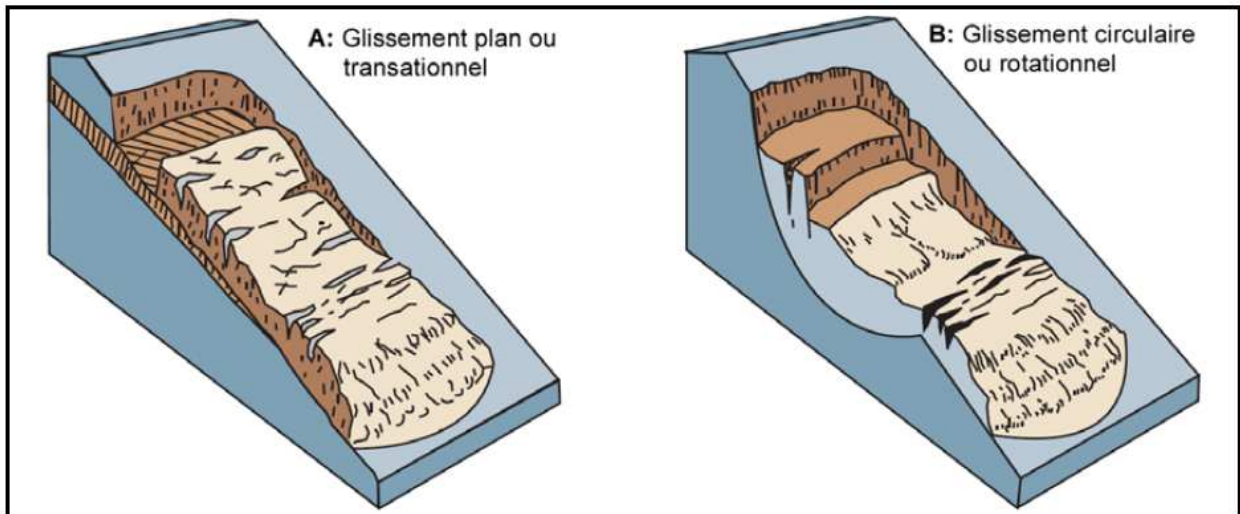


Fig I. 17: Principaux types de glissements [8]

I.2.2. Quelles sont les caractéristiques d'un glissement de terrain ?

Lors de ses travaux pour l'UNESCO, Varnes en 1978 a élaboré un bloc diagramme idéal mettant en exergue les caractéristiques d'un glissement de terrain complexe. On y observe une surface de rupture très nette le long de laquelle les matériaux impliqués dans le glissement de terrain se déplacent au-dessus de matériaux que le phénomène n'affecte pas. Le diagramme montre également que la surface de rupture s'étend sur une profondeur considérable de sorte qu'un glissement de terrain ne saurait être considéré comme un phénomène superficiel.

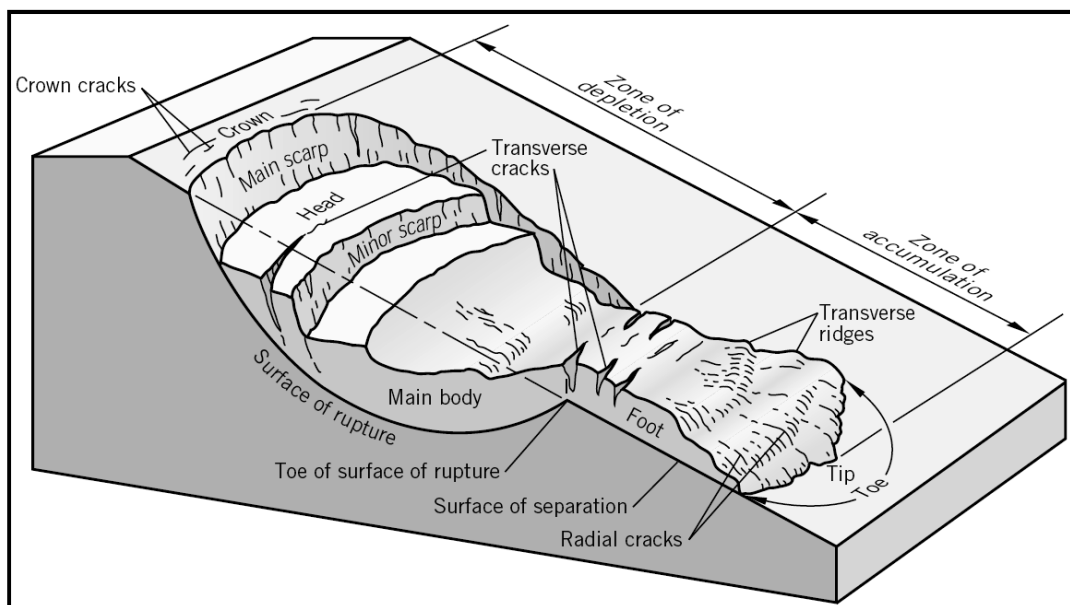
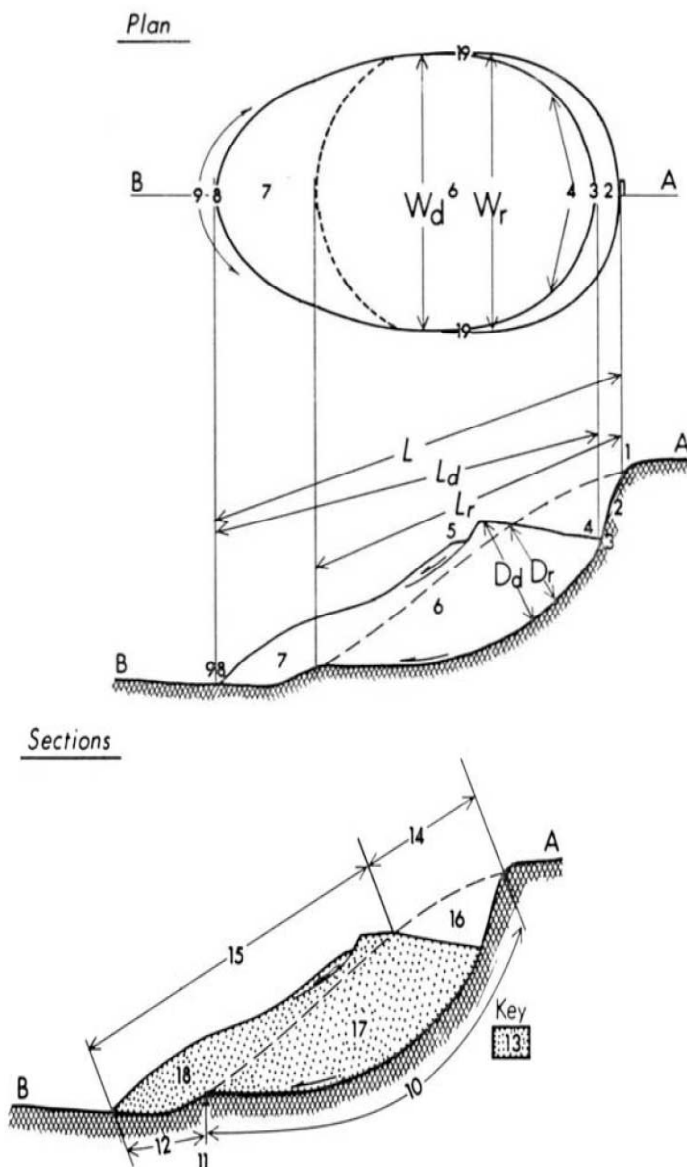


Fig I. 18: Bloc diagramme représentant le mouvement de versant idéal [7]

La commission internationale sur les glissements de terrain a défini l'ensemble des éléments morpho métriques et morphologiques composant un glissement de terrain, on distingue ce qui suit :

- **Couronne** : Zone située au-dessus de l'escarpement principal (2), souvent peu affectée par les désordres. Seules quelques fissures ou crevasses témoignent de la mise en traction des terrains dans cette zone.
- **Escarpement principal** : Surface inclinée ou verticale souvent concave, limitant le glissement à son extrémité supérieure.
- **Sommet** : Limite amont du glissement, point le plus élevé où le matériau glissé (13) se trouve en contact avec l'escarpement principal (2).
- **Tête** : Partie amont de la masse glissée sur l'escarpement principal (2).
- **Escarpement secondaire** : Cicatrice semblable à l'escarpement principal (2) mais visible dans la masse glissée.
- **Corps** : Partie du matériau glissée (13) au-dessus de la surface de glissement (10) en amont du pied de la surface de glissement (11).
- **Pied** : Partie de la masse glissée (13) en aval du pied de la surface de glissement (11).
- **Extrémité aval** : Extrémité aval du matériau glissé (13).
- **Front** : Partie la plus aval du matériau glissé (13), en général de forme convexe.
- **Surface de glissement** : Prolongation en profondeur de l'escarpement principal (2) au-dessous de la masse glissée (13).
- **Pied de la surface de glissement** : L'intersection aval de la surface topographique initiale et la surface de glissement (10)
- **Surface de séparation** : Surface séparant la masse glissée (13) des terrains en place, partie de la surface de glissement (10).
- **Matériau glissé** : Matériau qui a glissé, partie d'un glissement de terrain.
- **Zone d'affaissement** : Zone d'un glissement de terrain où la masse glissée (13) est au-dessous de la surface topographique originale.
- **Zone d'accumulation** : Zone d'un glissement de terrain où la masse glissée (13) est au-dessus de la surface topographique originale.
- **Niche d'arrachement** : Volume situé au-dessus de l'escarpement principal et la masse affaissée (17) et au-dessous de la surface topographique originale.
- **Masse affaissée** : Partie de la masse glissée (13) recouvrant la surface de glissement (11), qui est située au-dessous de la surface topographique originale.
- **Accumulation** : Partie de la masse glissée (13) qui est située au-dessus de la surface de la surface topographique originale.
- **Flanc** : Limite latérale du glissement prolongeant l'escarpement principal (2). Le flanc droit est à droite quand les flancs sont vus de la couronne.
- **Longueur de la surface de rupture** (L_r) : distance entre le front de la surface de rupture et la couronne.
- **Longueur de la masse glissée** (L_d) : distance entre le sommet et l'extrémité aval.
- **Longueur totale** (L) : distance entre la couronne et le front de la masse glissée.
- **Largeur de la surface de glissement** (W_r) : distance maximum entre les flancs.
- **Largeur de la masse glissée** (W_d) : largeur maximum de la masse glissée dans une direction perpendiculaire à la longueur L_d .
- **Profondeur de la surface de rupture** (D_r) : distance entre la surface de rupture et la surface topographique originale.
- **Profondeur de la masse glissée** (D_d) : profondeur de la masse glissée dans une direction perpendiculaire à la longueur L_d .



- 1 : crête, couronne.
- 2 : escarpement principal.
- 3 : sommet : partie la plus haute du glissement.
- 4 : tête : partie la plus haute en glissement.
- 5 : escarpement mineur.
- 6 : corps principal.
- 7 : pied du glissement.
- 8 : extrémité du glissement.
- 9 : front du glissement.
- 10 : surface de rupture.
- 11 : front de la surface de rupture.
- 12 : surface de séparation.
- 13 : matériau déplacé.
- 14 : zone d'arrachement.
- 15 : zone d'accumulation.
- 16 : surface arrachée.
- 17 : masse arrachée.
- 18 : masse accumulée.

- (Lr) : Longueur de la surface de rupture
- (Ld) : Longueur de la masse glissée
- (L) : Longueur totale
- (Wr) : Largeur de la surface de glissement
- (Wd) : Largeur de la masse glissée
- (Dr) : Profondeur de la surface de rupture
- (Dd) : Profondeur de la masse glissée

Fig I. 19: Description des éléments morphométriques et morphologiques composant un glissement de terrain [5].

I.2.3. Comment mesure-t-on les glissements de terrain ?

La magnitude ou l'intensité des glissements de terrain peut être exprimée de manière quantitative et qualitative.

I.2.3.1. La cinématique

Le degré d'activité des différents mouvements peut également être classé à travers une échelle de vitesse de déplacement de la masse mise à contribution **[12]**. L'intensité du glissement varie alors dans l'espace en allant de l'amont vers l'aval sur l'axe de déplacement du glissement de terrain. Ces paramètres peuvent être exprimés notamment en utilisant une fonction de distribution spatiale ou en appliquant les classements d'intensité qualitatifs relatifs tels que lent, modéré et rapide, ou faible, modéré et élevé. Le tableau suivant de Cruden et Varnes en 1996, tente d'établir une échelle d'intensité des glissements de terrain en tenant compte de la vitesse de déplacement de la masse mise à contribution.

Classe de vitesse	Description	Vitesse (mm/sec)	Vitesse typique	Destructions significatives probables
7	Extrêmement rapide	5×10^3	5 m/s	Catastrophe majeure ; destruction de bâtiments par le déplacement du matériau ; plusieurs morts ; rescapés peu probable.
6	Très rapide	5×10^1	3 m/min	Perte de quelques vies ; vitesse de déplacement très importante pour permettre aux gens de s'échapper.
5	Rapide	5×10^{-1}	1.8 m/h	Evacuation possible ; destruction de structures, biens et équipements.
4	Relativement rapide	5×10^{-3}	13 m/mois	Possibilité de maintenir temporairement quelques structures.
3	Lent	5×10^{-5}	1.6 m/an	Possibilité d'envisager certaines constructions sur le versant si des travaux réguliers de maintenance sont prévus et si l'amplitude du mouvement n'est pas très importante.
2	Très lent	5×10^{-7}	15 mm/an	Résistance de quelques structures aux mouvements de masse.
1	Extrêmement lent			Imperceptible sans instruments de mesure ; possibilité d'aménagement avec précautions.

Tableau I. 1: Echelle de vitesse et importance des destructions probables [12].

Vitesse de déplacement du glissement	Classification
1 mm/an à 12 mm/an	Très lent
1 mm/mois à 50 mm/mois	Lent
1,5 mm/j à 100 mm/j	Moyen
4 mm/h à 10 m/h	Rapide
2,5 m/sec à 10 m/sec	Très rapide

Tableau I. 2: Classification des glissements selon leurs vitesses déplacement.

I.2.3.2. La superficie et le volume

Les estimations quantitatives dérivent souvent des estimations relatives au site c'est-à-dire la superficie et/ou le volume mis à contribution dans le phénomène de glissement. Le tableau suivant montre un exemple de la relation entre les évaluations de l'importance et les niveaux quantitatifs en termes de superficie et de volume.

Magnitude	Intervalles quantitatifs	
Superficie affectée (en ha)	Volume minimum impliqué (en m3)	
Très forte	> 5	50 000
Forte	0.50 à 5.00	5 000 à 50 000
Moyenne	0.05 à 0.50	500 à 5 000
Faible	0.005 à 0.05	50 à 500
Très faible	< 0.005	< 50

Tableau I. 3: Exemple de classement de glissements par niveau d'importance en termes de superficie et de volume mis à contribution.

I.2.3.3. L'intensité

L'intensité d'un glissement de terrain est quantifiée à partir de l'estimation du coût des investissements nécessaires pour mettre en place des éléments de protection passif face au phénomène.

Coût	Intensité
Financièrement supportable pour un particulier (ex: purge de blocs)	Faible
Financièrement supportable pour un groupe de propriétaires (ex: comblement cavité, drainage)	Moyenne
• Déborde du cadre parcellaire • Coût important et/ou technique difficile. (ex: stabilisation glissement, confortement de pan de falaise)	Forte
Pas de parade technique	Majeure

Tableau I. 4: Intensité des glissements de terrain en fonction des investissements en structures de protection.

I.2.3.4. La gravité

La gravité d'un glissement de terrain est évaluée à partir des dégâts que ce dernier peut engendrer.

Estimation des dégâts	Gravité
Pas d'accident (ex: retrait / gonflement, fluage, glissement lent)	Faible
Accident isolé (ex: glissement à paroxysme rapide)	Moyenne
Quelques victimes (ex: chutes de blocs, laves torrentielles, fontis)	Forte
Quelques dizaines de victimes (ex: éboulement, effondrement généralisé de carrière)	Majeure

I.2.4. Quelles sont les différentes manifestations des glissements de terrain ?

Les manifestations des glissements de terrain sont variables, allant du simple glissement de talus très localisé au mouvement de grande ampleur pouvant concerner l'ensemble d'un versant. Les profondeurs des surfaces de glissement varient ainsi de quelques mètres à plusieurs dizaines de mètres de profondeur. On parle de glissements superficiels dont les signes visibles en surface sont souvent spectaculaires (fissures dans les murs des habitations, bourrelets dans les champs, poteaux penchés...) et de glissements profonds qui présentent moins d'indices observables et qui sont donc plus difficilement détectables.

I.2.5. Quelles sont les causes des glissements de terrain ?

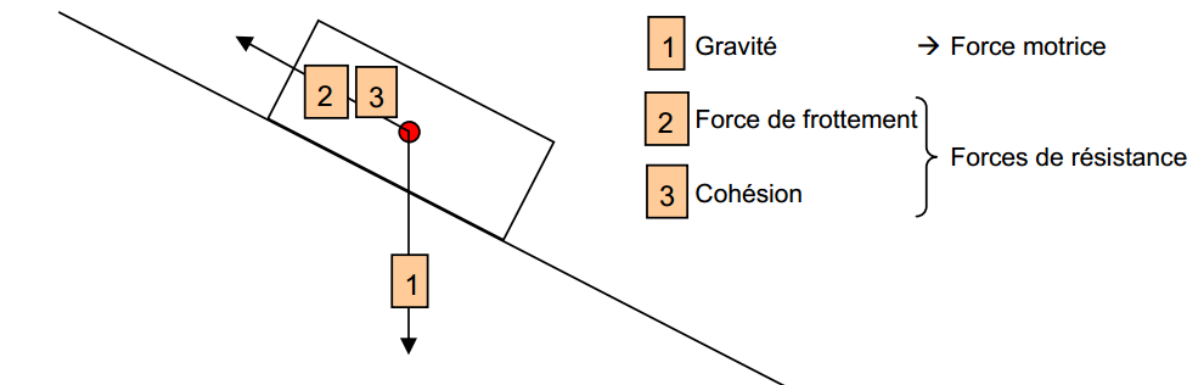
Très souvent, les glissements de terrain et les coulées de boue sont déclenchés par un ensemble de facteurs divers. Certaines conditions doivent être réunies pour menacer la stabilité d'un versant, à celles-ci s'ajoutent un ou plusieurs mécanismes déclencheurs.

Dans les terrains inclinés, le sol a tendance à glisser vers l'aval. L'ampleur de ce phénomène est principalement déterminée par trois forces: **[13]**

- 1) Gravité: force qui entraîne la matière vers le centre de la terre; dépend de la pente du terrain.
- 2) Force de frottement: force qui freine une couche de terrain meuble ou de roche par frottement contre la couche sous-jacente.
- 3) Force de cohésion: force qui repose sur l'attraction des particules du sol entre elles et de l'attraction entre ces particules et l'eau stockée dans le sol.

Tant que les forces de résistance (force de frottement et cohésion) sont plus fortes que la force motrice (gravité), la stabilité du versant est garantie. Si l'équilibre des forces change et la force motrice devient plus importante que les forces de résistance, un glissement de terrain se déclenche, produisant alors une rupture entre deux couches de roche ou de sol et une masse se met à glisser plus ou moins rapidement vers l'aval. Il peut arriver que celle-ci se décompose et finisse sa course sous forme de coulée boueuse.

- Plus la gravité (pente) est forte et plus la force de frottement et la cohésion sont faibles, plus le versant est instable.



[12] Varnes, 1996. Landslide Types and Processes, National Research Council, Washington, DC.

[13] Astrid Leutwiler, Septembre 2009, Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC), Office fédéral de l'environnement, Division Prévention des dangers.

❖ Prédiposition générale

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

- La géologie du site : La nature géologique des terrains est un des principaux facteurs d'apparition de ce phénomène tout comme l'eau et la pente. La très grande majorité des glissements apparaissent dans des terrains argileux ou dans des formations grenues suffisamment chargées en argile pour que ce matériau impose son comportement. La prédiposition au glissement des terrains fins et argileux tient d'abord du rôle que peut jouer l'eau sous ses diverses formes.
- Matériaux: La force de cohésion et la composition du terrain sont des facteurs décisifs.
 - Force de cohésion: si le sol est, par exemple, composé exclusivement de matériel granulaire, la cohésion entre les différentes particules du sol est minime, voire nulle. Dans ce cas, seule la force de frottement peut s'opposer à un éventuel glissement de terrain.
 - Force de frottement: la force de frottement est faible si, par exemple, les terrains meubles ou les roches comportent des discontinuités remplies de particules fines. Dans ce cas, la probabilité de voir une couche glisser sur l'autre vers l'aval est très élevée.
- Déclivité: est l'un des facteurs déterminant dans la genèse des glissements de terrain. En effet, pour qu'une rupture puisse se produire sur un versant, il faut qu'il y ait l'intervention de la gravité accompagnée d'un appel au vide. Ce phénomène ne pouvant prendre naissance sur des terrains plats, la prise en compte du degré de pente des versants et des couches est d'une importance capitale. Les glissements de terrain peuvent se produire sur des pentes modérées à raides, d'une déclivité de 10 à 40 degrés généralement.
- Hydrologie: Un terrain offrira plus ou moins de résistance au glissement en fonction de sa sensibilité à l'eau, celle-ci dépendant directement de la composition des matériaux constituant le versant.

les glissements de terrain se produisent avant tout lorsqu'un important volume d'eau pénètre dans le sol sur une période prolongée. En montagne dans le cas contraire, les précipitations sont stockées sous forme de neige ou de glace.
- Erosion: les processus d'altération tendent à faire disparaître les sols superficiels et mettent à nu les couches sous-jacentes. L'infiltration s'en trouve renforcée et la teneur en eau des horizons profonds augmente. De tels phénomènes réduisent la force de frottement et la cohésion.
- Végétation: les racines des arbres et des arbustes peuvent contribuer à améliorer la cohésion du sol. Une pente peut être fortement déstabilisée en cas de disparition soudaine de la végétation suite à un incendie de forêt, au défrichage du terrain, à une tempête ou à la sécheresse.
- Activités humaines: celles-ci peuvent avoir une forte influence sur la stabilité d'une pente. En voici quelques exemples:

- Construction d'infrastructures ou de bâtiments: augmente le poids qui repose sur la pente. La stabilité peut également être fortement réduite si des constructions sont érigées en bas du versant avec une excavation dans le pied du glissement (suppression de butée).
- Arrosage et irrigation: modifie la teneur en eau du sol.
- Défrichement: entraîne le dépérissement des racines des arbres, qui ne peuvent plus jouer leur rôle stabilisateur.
- Ecoulements d'eau: les conditions d'écoulement dans une pente peuvent être modifiées notamment par le compactage ou l'imperméabilisation du sol. Les canalisations présentes dans le terrain peuvent aussi constituer des chemins d'écoulement préférentiel avec concentration locale des eaux.
- Pentes artificielles: les conditions de stabilité peuvent être fortement altérées si la structure interne d'une pente est modifiée. Les pentes artificielles présentent souvent des caractéristiques moins favorables du point de vue de leur stabilité que les pentes naturelles (compactage, cohésion, drainage des eaux, etc.).

❖ **Déclenchement**

Un mécanisme déclencheur est nécessaire pour qu'une masse se mette en mouvement. Les principaux mécanismes déclencheurs sont les suivants:

- Action de l'eau : l'une des principales causes du déclenchement des glissements de terrain étant d'origine hydraulique, la compréhension du fonctionnement hydrologique des pentes instables est nécessaire dans l'étude des glissements de terrain.
Les infiltrations d'eau dans le sol : elles engendrent des actions déstabilisatrices qui peuvent être résumées par :
 - L'accroissement du poids volumique des sols par augmentation de la teneur en eau (augmentation du degré de saturation), **[14]**
 - Le changement du comportement rhéologique du sol (le sol peut passer d'un état solide à l'état visqueux),
 - L'augmentation du niveau de la nappe d'eau qui peut être importante, ce qui fait chuter le coefficient de sécurité (le mouvement peut être nul ou faible sous une certaine hauteur piézométrique donnée, une augmentation de cette hauteur peut déstabiliser le versant et déclencher un mouvement de terrain).
- Les Fortes précipitations/fontes des neiges: lorsqu'une quantité importante d'eau s'infiltre dans le sol, la force de cohésion et la force de frottement peuvent diminuer en raison de la poussée verticale, ce qui peut entraîner un glissement de terrain. Lorsque, en plus de cela, la quantité d'eau qui pénètre dans la pente est supérieure à la quantité d'eau qui s'en écoule, une pression interstitielle se forme. Cette pression peut déclencher un glissement de terrain brutal. Les apports d'eau sont généralement considérables lorsqu'une fonte des neiges importante s'ajoute à de fortes précipitations.
- Les écoulements souterrains : Ils jouent aussi un rôle défavorable très important dans l'activation des glissements de terrain, les raisons liées à ce phénomène, pouvant déstabiliser le terrain sont généralement :

- L'action des pressions de courant qui exercent une poussée sur le matériau qu'elle traverse (le freinage de l'écoulement de l'eau, qui se met sous pression et engendre une poussée sur le sol).
- Le colmatage du terrain résultant des dépôts, des particules fines se trouvant en suspension dans l'eau, dans les interstices du milieu poreux, ce phénomène diminue la perméabilité du matériau et engendre une augmentation de la pression interstitielle.
- Les écoulements superficiels (ruissellements) : ils donnent lieu à une érosion externe, qui risque de modifier la géométrie du versant, ce qui modifie les conditions de stabilité.
- L'action sismique sur les glissements de terrain : elles sont la cause de nombreuses instabilités et mouvements de versants. L'origine des instabilités peuvent provenir d'une sollicitation sismique (dynamique) qui induit l'apparition des forces d'inertie (d'origine sismique).
Les mécanismes de rupture des pentes sous séisme sont souvent très difficiles à évaluer en raison de la complexité de la géologie locale et du manque d'informations sur le comportement rhéologique et hydrologique des matériaux.
Les séismes peuvent provoquer des glissements dans des pentes initialement stables ou instables, ces glissements sont semblables à ceux dus aux causes habituelles (statiques).

Il s'agit des mécanismes de rupture par cisaillement des talus et des pentes naturelles. Ces derniers dépendent de la forme de la surface de rupture (plane, circulaire, logarithmique...).

Sous l'effet du séisme, deux facteurs déclenchant peuvent avoir lieu :

- La diminution des caractéristiques du matériau et de sa résistance au cisaillement sous l'effet des vibrations sismiques,
- Les effets du site qui conduisent à une amplification de l'effort (réflexion, réfraction et diffractions des ondes).

On peut citer comme exemples de glissements provoqués (déclenchés) par une accélération sismique : le séisme de Guatemala en 1976 où on a recensé plus de 10 000 glissements et le séisme de Loma Prieta en Californie en 1989 où se sont produits plus de 1000 glissements et éboulements.

I.2.6. Les effets engendrés par les glissements de terrain

Du fait des fissures, des déformations et des déplacements en masse, les glissements peuvent entraîner des dégâts importants aux infrastructures et aux constructions. Dans certains cas, ils peuvent provoquer leur ruine complète (formation d'une niche d'arrachement, poussée des terres incompatible avec la résistance mécanique des structures).

[14] DJERBAL Lynda, Analyse des mécanismes de déformation et de la rupture progressive du versant instable d'Ain El Hammam, thèse de doctorat, juillet 2013. Page 14-18.

I.2.7. La prévention et la gestion des risques naturels lie aux glissements de terrains

«On ne peut pas diminuer l'intensité d'un ouragan ou d'une éruption volcanique. Mais on peut se préparer davantage pour réduire la vulnérabilité d'une population ou d'un territoire ». Alvaro González, (Co développeur du SIGA (Système intégré de gestion de l'environnement)).

La prévention et la gestion du risque se déroulent en plusieurs phases qui doivent se succéder les unes après les autres et de manière cohérente, pour établir une politique globale de prévention des risques et de gestion des crises. Parmi l'ensemble des actions faisant face aux risques naturels, on doit considérer de façon générique : les mesures de prévention ; qu'elles soient structurelles ou non ; le rôle de la prévision à court, moyen et à long terme ; la fonction des acteurs impliqués dans le système d'alerte ; la formation face au risque, ainsi que les aspects concernant la législation et les systèmes d'assurances relatifs aux risque naturels.

➤ Définition de La prévention

La prévention regroupe l'ensemble des dispositions à mettre en œuvre pour réduire l'impact d'un phénomène naturel prévisible sur les personnes et les biens.

En matière de glissements de terrain, si des mesures de protection ont pu être mises en place, elles ne sont efficaces que pour un événement d'intensité limité. Traiter l'aléa ne supprime pas le risque définitivement.

En conséquence, le meilleur moyen de prévention contre les risques de glissement de terrain est d'agir sur la réduction de la vulnérabilité des enjeux, c'est-à-dire sur la limitation des éventuels dommages.

➤ Les principaux outils de la prévention et gestion des risques naturels lies aux « glissements de terrain »

• Vis-à-vis du phénomène de glissement

La prévision comprend toutes les activités qui visent l'analyse et la détermination des causes des glissements de terrain, l'identification des risques et la délimitation des zones menacées. Pour ce faire, l'information initiale de base présentée sous la forme d'un descriptif de l'état de la zone d'intérêt peut être divisée en trois aspects qui sont:

- **l'identification thématique des facteurs** : fournir toute information adéquate sur les causes de l'instabilité de la pente telle que la lithologie, la structure du soubassement, la couche de débris, la végétation, les eaux souterraines, la pente et sa forme, etc...

- **l'inventaire des glissements de terrain:** fournir toute information adéquate sur les effets de l'instabilité de la pente telle que la répartition passée des glissements de terrain, le type du glissement et du matériel engagé, l'état, le type et la répartition de l'activité.
- **le recensement des éléments du risque :** information sur la population, la propriété, les bâtiments, les infrastructures de transport, les routes de secours, les activités économiques, l'héritage culturel, les ressources environnementales et écologiques, classés en fonction de la typologie et de la valeur.

Il serait ainsi possible de prévoir le risque de glissements de terrain, dans un endroit donné pendant une période donnée grâce à l'interprétation combinée des informations concernant les causes et les effets de l'instabilité de la pente. Le développement des méthodes de l'évaluation quantitative du risque des glissements de terrain est l'un des principaux sujets de recherche scientifique dans le domaine de la géo-ingénierie. Ces méthodes sont d'habitude basées sur la technologie des SIG et sur l'analyse pour la prévision dans le cas de larges étendues et sur la modélisation géotechnique pour la prévision dans le cas d'endroits ponctuels. Etant donné la complexité du phénomène représenté par les glissements de terrains (grande variabilité en ce qui concerne le type du mouvement, le type de matériel mis à contribution, le contenu en eau, la vitesse du mouvement, etc.), la réalisation de l'analyse complète du risque en termes de prévision devrait prendre en considération les aspects suivants :

- **La prévision temporelle :** prévision du moment où un glissement de terrain peut se déclencher sur une pente donnée.
- **La prévision spatiale :** prévision de l'endroit probable d'apparition d'un glissement dans une zone donnée.
- **La prévision du type :** consiste à déterminer le type du mouvement dont l'apparition est la plus probable (par exemple la chute de roches, l'effondrement de la terre, etc.).
- **La prévision de l'ampleur :** consiste à déterminer la sévérité géométrique et mécanique du glissement de terrain attendu ; les paramètres à examiner et à prévoir sont le volume du glissement de terrain, la vitesse du mouvement et l'énergie dégagée. L'ampleur est liée directement à la vulnérabilité des éléments à risque.
- **La prévision de l'évaluation :** est la prévision des distances, des limites de rétrogression et de l'expansion latérale. C'est un autre aspect fondamental car il implique la délimitation du « bassin à risque » des glissements de terrain actuels et potentiels.

• **Vis-à-vis du l'aménagement de territoire**

Ils s'articulent autour quatre points fondamentaux :

▪ **La maîtrise de l'urbanisation**

La maîtrise de l'urbanisation s'exprime au travers des plans de gestion des risques naturels, prescrits et élaborés par l'État. Ces différents plans permettent aux gestionnaires du domaine urbain d'agir efficacement en conformité avec les données et réalités précises et

objectives, spécifiques à chaque zone, allant jusqu'à prévoir le volume du danger et pouvoir ainsi en atténuer les conséquences.[15] Dans les zones exposées au risque de glissement de terrain, le PPR peut prescrire ou recommander des dispositions constructives, telles que l'adaptation des projets et de leurs fondations au contexte géologique local, des dispositions d'urbanisme, telles que la maîtrise des rejets d'eaux pluviales et usées, ou des dispositions concernant l'usage du sol.

- **Maîtrise de l'aménagement**

Afin de réduire les dommages lors des catastrophes naturelles, il est nécessaire de maîtriser l'aménagement du territoire, en évitant d'augmenter les enjeux dans les zones à risque et en diminuant la vulnérabilité des zones déjà urbanisées.

Les Plans de Prévention des Risques naturels prévisibles (PPR) en France (annexe D), institués par la loi « Barnier » du 2 février 1995, ont cette vocation. Ils constituent l'instrument essentiel de l'État en matière de prévention des risques naturels. L'objectif de cette procédure est le contrôle du développement dans les zones exposées à un risque.

- **L'outil cartographique**

La cartographie est un outil qui permet d'estimer la probabilité de survenance d'un phénomène donné en un endroit donné. Elle vise à délimiter les zones pouvant être exposées au risque des glissements de terrain par une approche probabiliste basée sur une analyse fréquentielle de l'aléa. [16] Nous présentons tout d'abord les différents outils cartographiques utilisés ailleurs pour le zonage des risques naturels liés aux mouvements de terrain en général. A titre d'exemple, Les cartes des zones exposées aux risques des mouvements du sol et du sous-sol type ZERMOS développées en France (**détails joints en annexe D**).

- **Information préventive des populations**

Le droit à l'information générale sur les risques majeurs s'applique. Chaque citoyen doit prendre conscience de sa propre vulnérabilité face aux risques et pouvoir l'évaluer pour la minimiser. Pour cela il est primordial de se tenir informé sur la nature des risques qui nous menacent, ainsi que sur les consignes de comportement à adopter en cas d'événement.

[15] Fawzi Boudaqq : Urbanisation et risques naturels à Alger et son aire métropolitaine.

[16] Mezhoud lamia : La vulnérabilité aux glissements de terrain et les enjeux dans la partie Ouest et Sud-Ouest de la ville de Constantine ; thèse magistère, option : Aménagement des milieux physiques ; 103p.

I.2.8. Confortement des glissements de terrains

Le problème de stabilité de pentes est rencontré fréquemment dans les constructions et surtout dans les routes, les canaux et les barrages...etc. En outre, certains talus naturels peuvent devenir instables ; une rupture d'un talus peut être catastrophique et provoquer des pertes en vies humaines ainsi que des dégâts matériels considérables. Face à un problème de stabilité, plusieurs solutions sont envisageables.

- **Exécution de terrassement**

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 re-profilage,
- Les substitutions partielles ou totales de la masse instable.

- **Butée de pied et allègement en tête**

Le chargement en pied ou le déchargement en tête d'un glissement de terrain sont des techniques généralement efficaces et sont très fréquemment utilisées.

Le chargement en pied (ouvrage de butée également appelé banquette dans certaines configurations) agit de deux manières, d'une part, il équilibre les forces motrices et d'autre part il permet de contenir le déplacement de la masse instable. La stabilité au grand glissement suppose deux vérifications :

- L'ouvrage de butée doit limiter les risques de reprise du glissement en amont.
- L'ouvrage de butée ne doit pas déclencher d'autre glissement en aval.

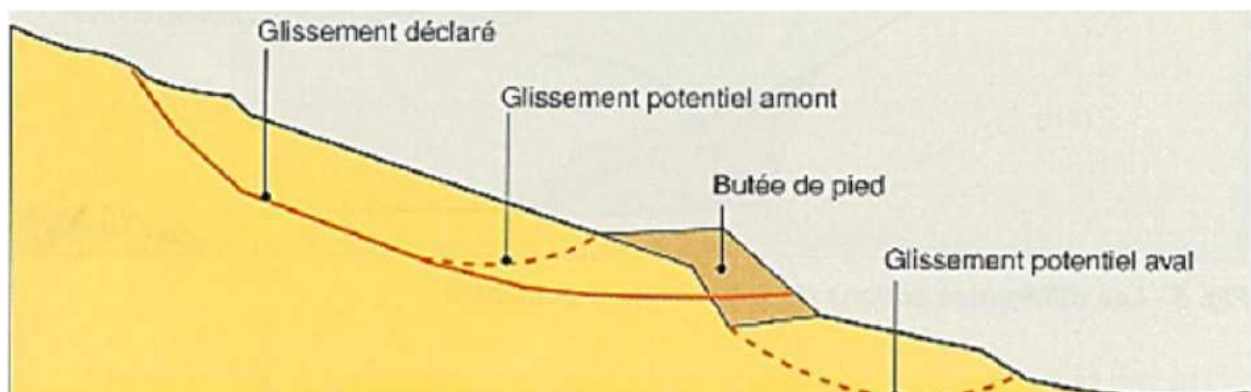


Fig I. 20: Dimensionnement d'une butée de pied

Source : guide technique : stabilisation des glissements de terrain (1998). [17]

Une solution de butée en pied peut être efficacement associée à un drainage.

Le cas du glissement de la côte du Beil dans le Cantal où le désordre du talus routier a progressé très loin en amont sur une pente naturelle d'éboulis. La butée a été associée à un drainage par tranchée de faible profondeur 1.5m.

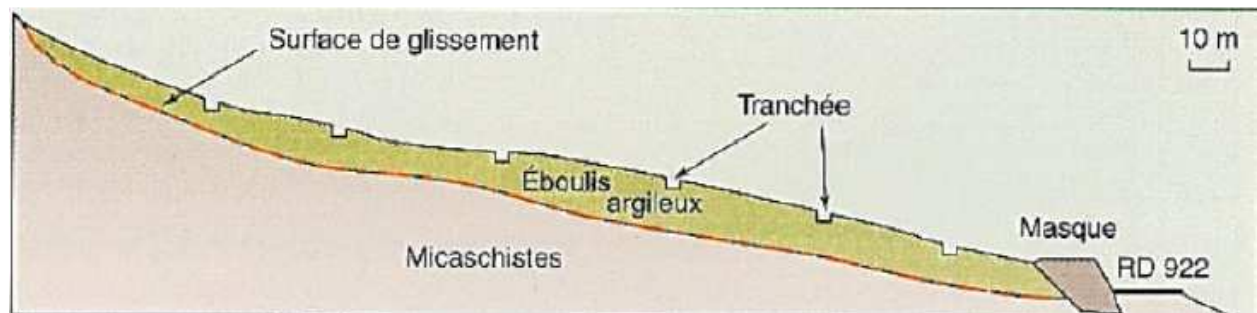


Fig I. 21: Stabilisation par butée et drainage du glissement de la côte du Beil (Cantal)

Source : guide technique : stabilisation des glissements de terrain (1998).

L'allègement en tête de glissement consiste à terrasser le matériau dans la partie supérieure. Il en résulte une diminution du poids moteur et par conséquent, une augmentation du coefficient de sécurité. En prenant compte de la modification de géométrie en tête. Le déchargement par terrassement du sommet de la masse glissée, tel qu'il apparaît sur la figure.

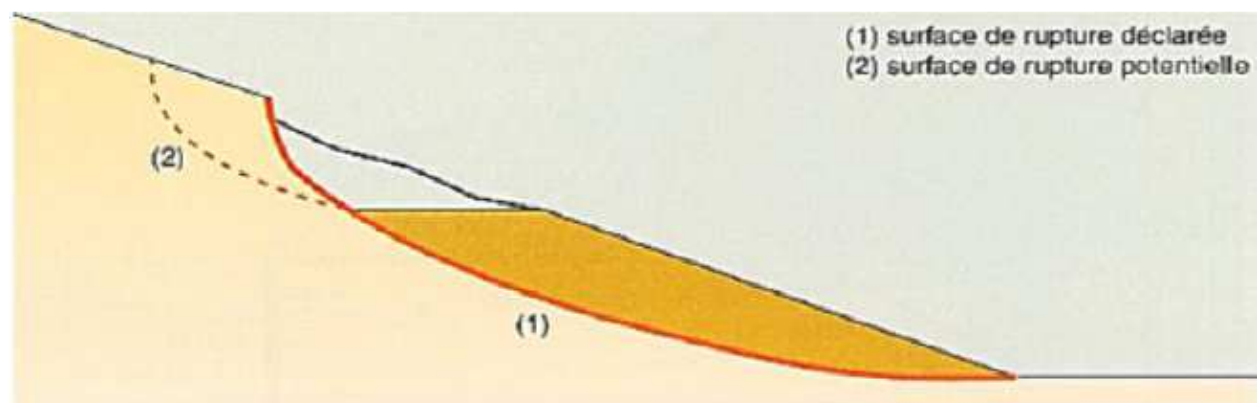


Fig I. 22: Dimensionnement d'un allègement en tête

Source : guide technique : stabilisation des glissements de terrain (1998).

- Purge et reprofilage

▪ Purge

Les techniques de terrassement s'accompagnent fréquemment de purges du matériau ayant glissé. Cette solution est généralement limitée au glissement de taille modeste.

Une purge totale, est réalisée de façon à dégager un horizon stable. C'est la seule solution envisageable quand le terrain est en forte pente et donc difficilement accessible aux engins.

Cette technique est parfois utilisée dans le glissement de terrain comme à Saint Vidal (Haute-Loire).

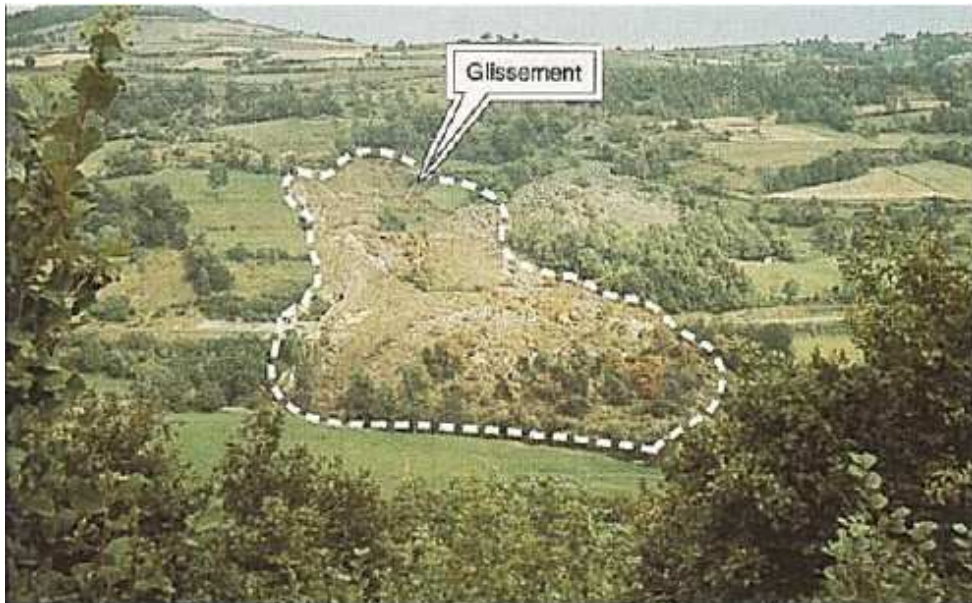


Fig I. 23: Glissement de terrain de Saint Vidal(Haute-Loire)

Source : guide technique : stabilisation des glissements de terrain (1998).

▪ Reprofilage

Les conditions de stabilité d'un talus étant directement liées à sa pente, on peut simplement augmenter la sécurité par retalutage du terrain naturel. Dans ce sens le procédé s'apparente à l'allègement en tête : il consiste à un adoucissement de la pente moyenne. Ce type de traitement est particulièrement bien adapté aux talus de déblais.

Dans les versants naturels, l'adoucissement de la pente est généralement mal adapté, car il met en jeu des volumes de sol trop importants pour une amélioration du coefficient de sécurité relativement faible.

L'action sur la géométrie, dans ce cas, portera essentiellement sur, le rééquilibrage des masses en tête et en pied de glissement.

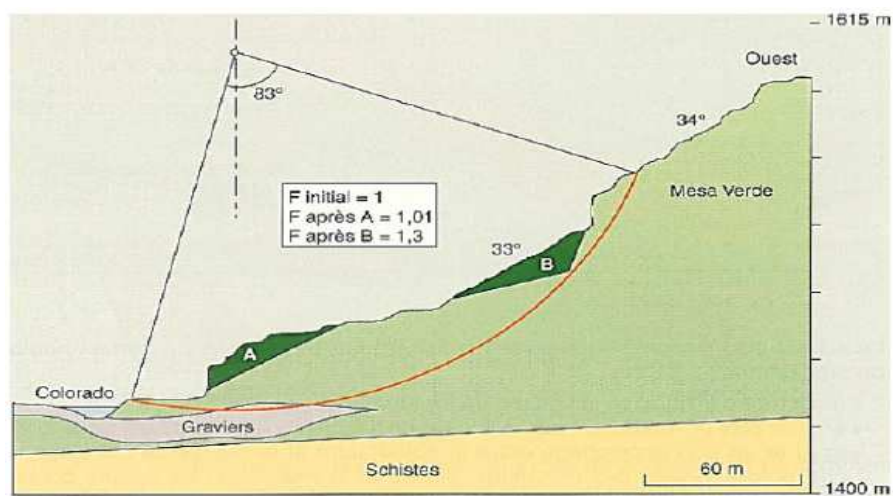


Fig I. 24: Traitement du glissement de Cameot (d'après Peck et Irland).

Source : guide technique : stabilisation des glissements de terrain (1998).

- Substitutions (bêches, contreforts, masques et éperons)

La solution a priori la plus simple pour traiter un glissement est d'éliminer la masse ayant glissée en totalité ou en partie, et de reconstituer le talus à l'aide d'un matériau frottant de bonne qualité, qui assure, le plus souvent, un drainage en plus de son action mécanique.

▪ Substitution totale des matériaux glissés

La substitution totale consiste à venir purger l'ensemble des matériaux glissés et à les remplacer par un matériau de meilleure qualité. Cela permet de reconstituer le profil du talus initial, la vérification de l'efficacité du traitement nécessite de recourir à un calcul de stabilité dans lequel on prendra en compte les caractéristiques du nouveau matériau (matériau de substitution et matériau intact en place).

La substitution du matériau glissé suppose que l'on prenne un certain nombre de précautions :

- Reconnaître à l'avance le volume de matériaux concernés,
- Excaver plus profondément que la surface de rupture sous peine d'inefficacité totale,
- Assurer un bon accrochage entre le substratum et le massif de sol d'apport ; une purge parfaite des matériaux glissés et la réalisation de redans donnent généralement satisfaction,
- Prévoir un drainage correct du massif de substitution et un exutoire.

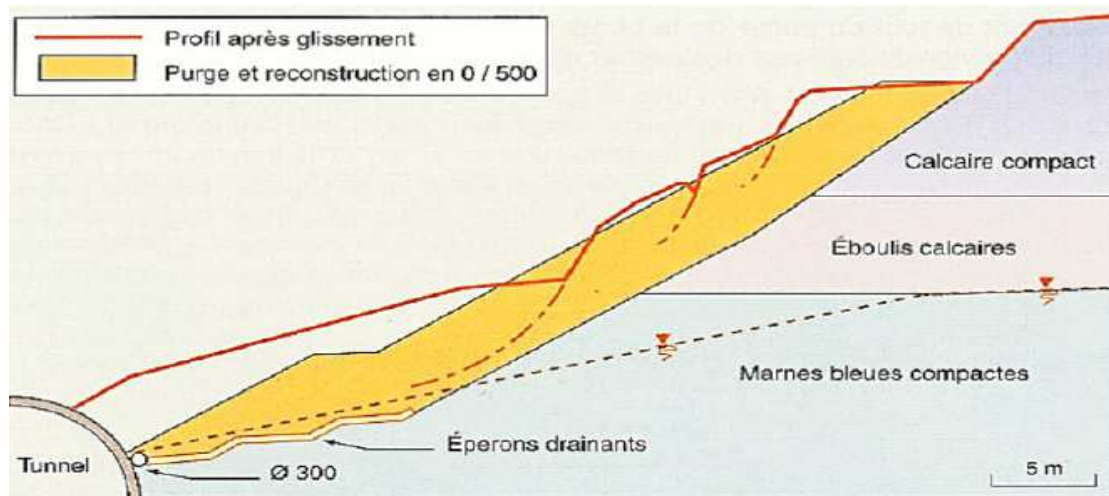


Fig I. 25: Substitution totale des matériaux glissés au droit de la tête sud du tunnel de Marnay

Source : guide technique : stabilisation des glissements de terrain (1998).

▪ Substitution partielle des matériaux glissés

On peut toutefois limiter le terrassement en exécutant des bêches, des contreforts, des masques ou des éperons, qui peuvent suffire à la stabilisation.

Une bêche c'est une fouille réalisée en partie basse du glissement et sur toute sa largeur remblayée par des matériaux frottants et drainants. Les dimensions courantes sont :

- 4 à 10m de largeur.
- 5 à 6m de profondeur.

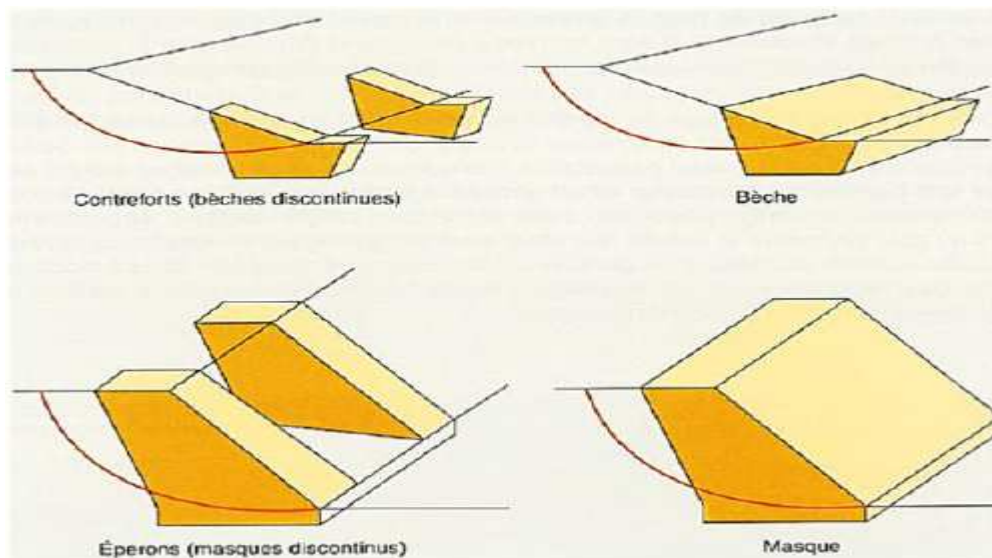


Fig I. 26: Substitution partielle

Source : guide technique : stabilisation des glissements de terrain (1998).

- La bêche est particulièrement bien adaptée aux cas de construction de remblais sur un massif de sol instable de faible épaisseur. Elle permet de transmettre la surcharge du remblai au substratum et un exutoire peut être trouvé, en constituant un drainage à l'aval du glissement.

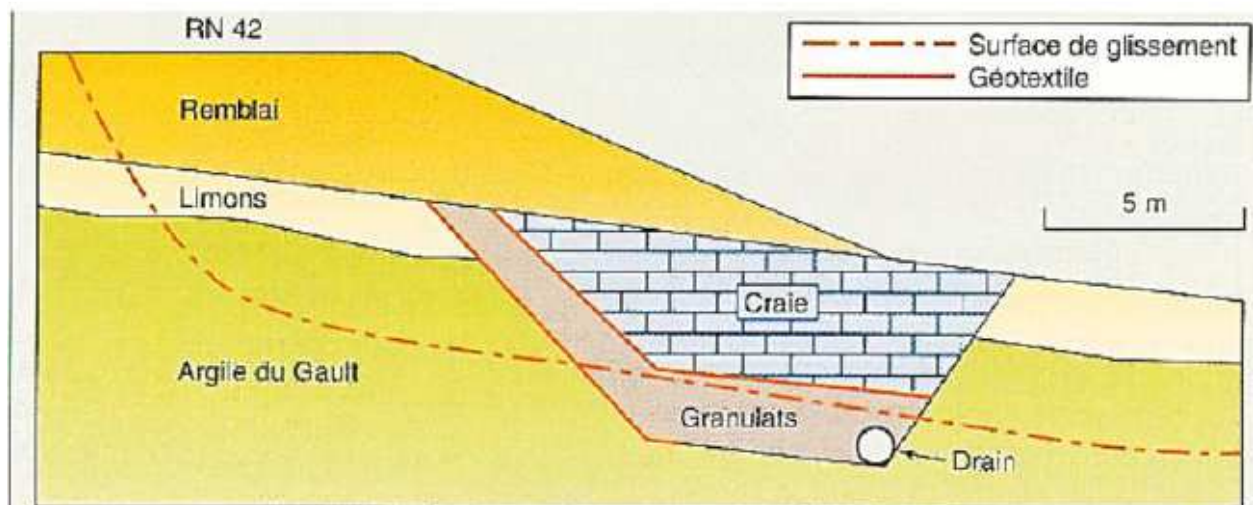


Fig I. 27: Stabilisation par bêche du remblai au PK 1,9 de la déviation Nabringhen (Pas-De-Calais)

Source : guide technique : stabilisation des glissements de terrain (1998).

- **Dispositif de drainage**

Très souvent, l'eau joue un rôle moteur déterminant. Le géotechnicien doit étudier des solutions ayant pour objectif de réduire l'action de l'eau.

Le drainage a pour but de réduire les pressions interstitielles le long de la surface de glissement et ainsi d'augmenter la résistance au cisaillement du terrain. Différentes techniques peuvent être appliquées pour atteindre cet objectif.

- **Collecte et canalisation des eaux de surface (drainage de surface)**

Il s'agit de mettre en œuvre des moyens pour limiter les infiltrations dans le massif en mouvement. Les eaux peuvent provenir d'une couche superficielle aquifère, d'un défaut d'étanchéité sur un réseau ou sur 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 ou en contre pente, mettant ainsi en pression la surface de rupture. Aussi les ouvrages de collecte des eaux (Fossés, caniveaux, cunette). La technique de drainage superficiel était autrefois très fréquemment utilisée pour les terrains agricoles.

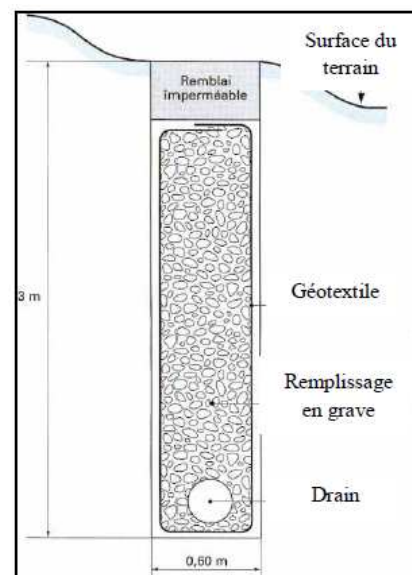
- **Tranchées drainantes**

Les tranchées drainantes sont des ouvrages couramment employés pour rabattre le niveau de la nappe. Elles sont implantées sur le site de façon à venir recouper les filets d'eau.

Le choix de l'implantation dans le sens de la plus grande pente ou en parallèle aux lignes de niveau, ou encore en épis, dépend des résultats de l'étude hydrogéologique et conditionne l'efficacité de la tranchée. L'effet stabilisateur, dans le cas des tranchées drainantes est la diminution des pressions interstitielles au niveau de la surface de rupture. La profondeur de la tranchée peut atteindre 5 à 6 m sur une largeur de l'ordre du mètre.

Fig I. 28: Coupe type d'une tranchée drainante.

Source : guide technique, Surveillance des pentes instables (1994). [18]



- Un drainage par tranchée de grande profondeur 15m, a été réalisé sur glissement de Moissac qui affectait une route nationale et une voie ferrée.

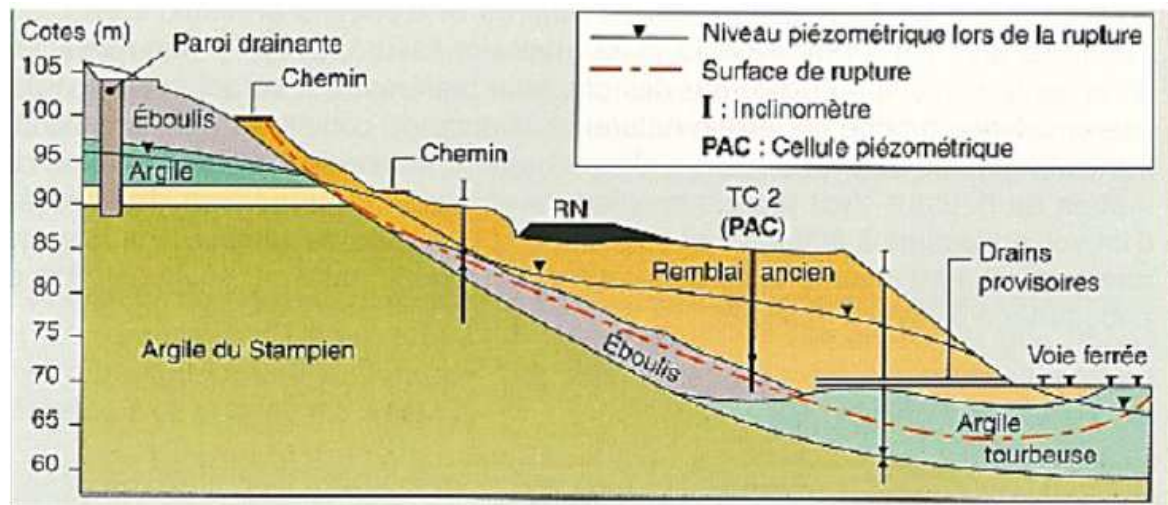


Fig I. 29: Stabilisation du glissement de Moissac (Tarn et Garonne)

Source : guide technique : stabilisation des glissements de terrain (1998).

[17] Guide technique : stabilisation des glissements de terrain (1998), sous la direction de Gilles Sève (LCPC) et Pierre Pouget (LRPC de Clermont – Ferrand).

[18] Guide technique : Surveillance des pentes instables (1994), sous la direction de Jean-Louis Durville (LCPC), Thierry Gouin (LRPC de Lyon), Pierre Pouget (LRPC de Clermont – Ferrand), Gilles Sève (LCPC).

- **Drains subhorizontaux**

Lorsque les contraintes d'accessibilité du site ou les conditions de circulation interdisent la réalisation de tranchées, l'installation de drains subhorizontaux peut permettre de diminuer les pressions interstitielles et de décharger des aquifères localisés.

La technique consiste à réaliser de nombreux forages avec une faible pente sur l'horizontal 2° à 5° et à y placer des tubes crépines. Ces tubes sont généralement en PVC 50 à 80mmΦ, parfois en acier lorsque de grandes déformations sont susceptibles de se produire.

- Le glissement de Chatel-Guyon (Puy-De –Dome) à titre exemple, s'est produit dans des formations de sable argileux surmontant des argiles et marno-calcaires. Il a été provoqué par la construction d'un remblai routier sur ces formations saturées. Pour la solution de stabilisation il a été décidé de réaliser une dizaine de drains subhorizontaux de pente 9°, de 40m de longueur.

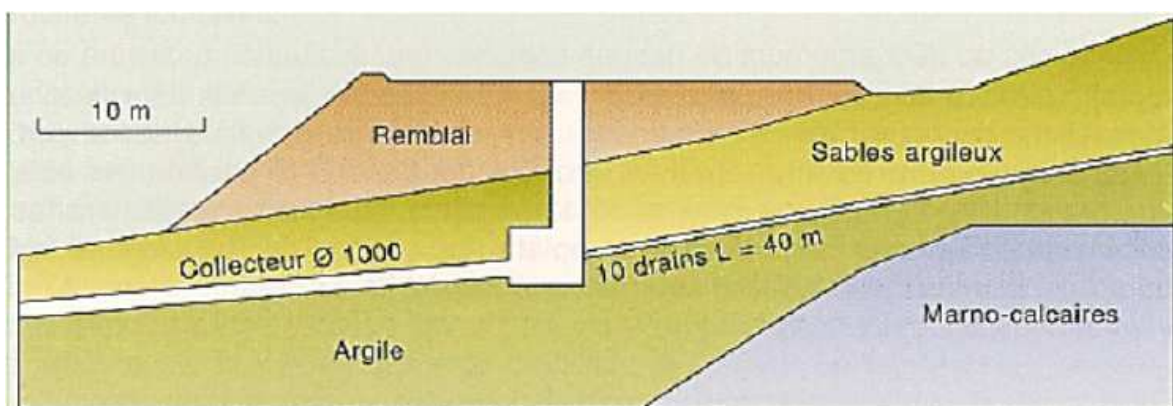


Fig I. 30: Drainage du glissement de Chatel-Guyon (Puy-De-Dome)

Source : guide technique : stabilisation des glissements de terrain (1998).

- **Ouvrage de soutènement**

Dans cette catégorie, il y a deux types d'ouvrages : les ouvrages rigides (mur poids ou ancré) et les ouvrages souples (mur cellulaire, gabions, remblais renforcés par armature ou nappes).

- **Ouvrages rigides**

Ils ne sont pas les mieux adaptés à la stabilisation des glissements de terrain, du fait de leur incompatibilité avec toute déformation ; en outre, le dimensionnement doit prendre en compte les efforts très importants engendrés par le glissement.

- **Les ouvrages souples**

Ils sont des structures obtenues à partir des gabions, des murs cellulaires, ou de sol renforcé par fils, par armatures synthétiques ou métalliques, par nappes de géotextiles, par grilles métalliques ou synthétiques. Ces ouvrages fonctionnent comme les massifs poids décrits ci-dessus. Ces techniques, qui admettent les déformations du sol, sont utilisées plus couramment que les murs rigides.

- **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. Dans de nombreux cas, les tirants sont combinés à un mur ou à des longrines. On appelle tirant d'Ancrage injecté, une armature métallique constituée de tubes, barres, fils ou toron introduite dans un forage et scellée au terrain par des injections de coulis ou de mortier sous pression plus ou moins élevée. Les Tirants d'ancrage réalisés sont des tirants de 20 m et 16 m de longueur, de 120 mm de diamètre avec des barres HA40mm. 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 I. 31: Stabilité du glissement de terrain au niveau du PK de la RN6 liaison FES-TAZA.

Source : <http://www.mtpnet.gov.ma/NR/ronlyres/17F48F90-02BB-4DA2-B42A-2213394AF72B/891/404ConfortementduglissemendeterrainauniveaudelaR.pdf>

- **Renforcement par inclusions**

Le renforcement par inclusions a été largement employé durant les dernières années comme une technique de stabilisation des pentes instables. La raison, il est aisé et rapide à mettre en oeuvre et qu'il n'affecte pas la géométrie du site. On distingue deux catégories d'inclusions, en fonction de l'inertie des armatures utilisées :

- **Les clous et micropieux**, constitués d'une armature de faible inertie (barres ou profilés métalliques par exemple) et d'un coulis d'injection, et placés obliquement ou verticalement.
- **Les pieux et barrettes** (fûts de béton armé, viroles en acier remplies de béton), qui sont des éléments de grande rigidité, mis en place verticalement.

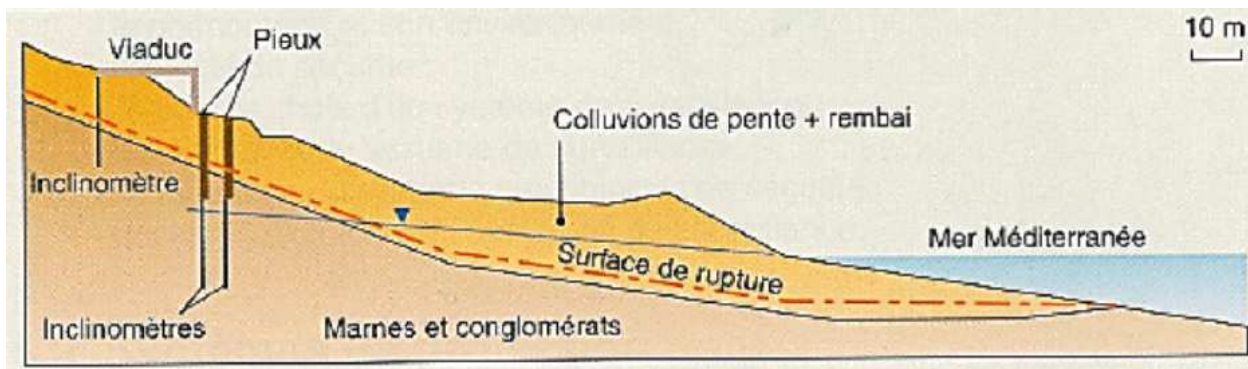


Fig I. 32: Stabilité du glissement d'Aktéa (Grèce) à l'aide des pieux de 1mΦ.

Source : guide technique : stabilisation des glissements de terrain (1998).

I.3. QUELQUES EXEMPLES DES GLISSEMENTS DE TERRAIN

I.3.1. A travers le monde

I.3.1.1. Glissement de Villatina Medellin en Colombie [19]

Le glissement a eu lieu en 1987 au quartier de Villatina Medellin qui est localisé sur le flanc oriental de l'aval du Rio Medellin. Il est l'une des grandes catastrophes naturelles qui ont eu lieu en Colombie dans une zone urbaine. Le nombre des victimes était estimé entre 450 et 500, avec plus de 120 maisons détruites. Le glissement est parti de la zone de Dunites (roches argileuses fracturées) qui a une pente supérieure à 20%, il est descendu en suivant la ligne de plus forte pente.



Fig I. 33: Morphologie de la zone de glissement de Villatina Medellin en Colombie.

I.3.1.2. Glissements de La Leona et de Las Coiinas au Salvador

A la suite d'un tremblement de terre de magnitude 7.6 sur l'échelle Richter survenu en 2001 au large des côtes du Salvador, deux glissements de terrain se sont produits : le glissement de La Leona près de San Vicente et le glissement de Las Collinas.



a/ La Leona.



b/ Las Collinas

Fig I. 34: Glissements de La Leona près de San Vicente (a) et de Las Collinas (b) au Salvador.

Le glissement de la Leona s'est produit au kilomètre 53 de la route Panaméricaine sur un versant de pente moyenne égale à 22° , présentant une paroi raide à sa base, de hauteur égale à environ 120 m et de largeur de l'ordre de 250 m. L'instabilité s'est développée sur une épaisseur de l'ordre de 25 m, son volume est compris entre 500 000 et 700 000 m³.

La zone du glissement est formée de coulées de basalte datant du Pliocène et de nombreuses brèches de pente qui témoignent de l'existence d'anciennes phases de glissement.

Ce glissement de terrain a la particularité de s'être produit sur le site d'un ancien glissement.

Le glissement de Las Collinas est caractérisé par un escarpement qui se situe à une altitude de 1075 m, dans une zone de pente moyenne égale à 32° . La largeur de l'instabilité est de l'ordre d'une centaine de mètres (80-120 m) et la distance parcourue par la masse instable est estimée à 735 m. Le volume de cette instabilité est de l'ordre de 200 000 m³. Le soubassement de la zone du glissement est constitué de dépôts de laves et de pyroclastes indurés. Cette formation est recouverte de deux niveaux plus récents : une couche de cendres volcaniques sur laquelle repose une couche de dépôts pyroclastiques peu consolidés et lâches dont la Terra Blanca.

I.3.2. En Algérie

Le problème des glissements de terrain est couramment rencontré en Algérie et ce depuis fort longtemps. On rappelle :

I.3.2.1. Glissement de terrain à Constantine

A côté des catastrophes naturelles qui ont ébranlé des villes algériennes ces dernières années, Constantine reste la ville la plus régulièrement touchée par les glissements de terrain.

Selon les services de la Wilaya, le phénomène affecte une superficie de cent vingt hectares abritant quinze mille logements avec une population estimée à cent mille habitants.

Il en est ainsi de la rue Kitouni, de l'avenue Belouizdad et de certaines ruelles qui leur sont adjacentes, ou encore de l'avenue Rahmani et du côté de Bellevue la mosquée EmirAbdelkader, et les cités de Bardo, Siloc, Aïn El Bey, Boussouf et Zaouch, la liste est non exhaustive. Ce phénomène est dû à la conjonction d'un certain nombre de causes: fragilité naturelle des lieux, infiltration des eaux pluviales, mais surtout à la vétusté du réseau de distribution d'eau qui entraîne dans le sous-sol une perte très importante, et qui mine alors les fondations des habitations.



Fig I. 35: Glissement de terrain à Belouizdad. [2002].



Fig I. 36: Rue de Verdun. [2002].

Cet immeuble blanc (haut de la rue de Verdun) avec de fausses fenêtres, est totalement vide et fermé. Il est démolé.

I.3.2.2. Glissement des abattoirs Ténès (Chlef)

Le glissement des abattoirs Ténès, se trouvant sur un talus de 10 m environ de hauteur. Ce glissement a été provoqué dans les années 80 par l'effet des infiltrations souterraines ayant fait déplacer une masse de remblai composée d'alluvions récentes.

L'étude a été réalisée par la DTP (Antenne de Chlef), où une solution a été dégagée consistant à recharger le pied du talus tout en proposant des murs de soutènement reposant sur des pieux ancrés à plus de 25m de profondeur, mais cette solution n'a pas été réalisée.

Par conséquent, de graves préjudices ont été observés sur le terrain. La partie du remblai se trouvant en haut du talus s'est déplacée en totalité, touchant même les fondations des bâtiments avoisinants.

I.3.2.3. Glissement de terrain des grands vents sur la rocade d'Alger

Il s'agit d'un glissement de terrain sous forme d'une coulée de boueuse qui a atteint la voie rapide reliant la ville d'Alger à sa banlieue Ouest (axe routier à fort trafic). Parmi ces causes de déclenchement on a :

- L'existence, en amont de la zone, de fondations abandonnées qui forment des cavités de dimensions relativement importantes. Celles-ci jouent le rôle de lagunes. En effet, ces cavités sont remplies d'eau qui alimente en permanence la zone déstabilisée.

Fig I. 37: Stagnation des eaux en amont dans des fondations abandonnées.

Source : ARAB Rabah, ZERMANI Messaoud, TABTI Saïd; 2009.



Fig I. 38: Alimentation en eau de la zone glissée par ruissellement à partir des eaux stagnées en amont.

Source : ARAB Rabah, ZERMANI Messaoud, TABTI Saïd; 2009.



Le déboisement total de la zone fortement perturbée.

Fig I. 39: Déboisement total de la zone glissée.

Source : ARAB Rabah, ZERMANI Messaoud, TABTI Saïd; 2009.



I.3.2.4. Le glissement de Tizi BEJAIA :

Situé sur le djebel Sidi Boudraham, le sol avec des pentes supérieures à 20% est composé d'éboulis de pente plaqué contre un substratum de compacité plus forte. Ces éboulis ont des caractéristiques mécaniques très médiocres. En outre, des circulations d'eaux d'origines diverses ont été observées in-situ.

Fig I. 40: Glissement de Tizi quartier de Bejaia.

Basculement d'une habitation. Source : Bendadouche Pathologie des glissements de terrain;2008.



I.3.2.5. Glissement d'Ain El Hammam (Tizi-Ouzou)

Il s'agit d'un méga glissement qui a touché une grande zone située à Ain El Hammam dans la wilaya de Tizi-Ouzou. La zone touchée est d'environ 10ha.[20]

Il a eu des conséquences néfastes sur une bonne partie de l'ancienne ville d'Ain El Hammam, affectant une pente collinaire abrupte et fortement urbanisée.

Ce mouvement est favorisé par la nature du terrain et les conditions hydro-climatiques de la région.

Fig I. 41: Démolition des immeubles B14 ET B15,

COTE BD AMIROUCHE à cause du glissement.

Source : conseil interministériel du mardi 29 novembre 2011.



I.3.2.6. Le glissement d’Azazga (Tizi- ouzou)

La ville d’Azazga est située dans des terrains argileux et marneux (flysch). Elle est localisée à une altitude d’environ 450 m dans un replat. Cette région a connu depuis 1952 plusieurs manifestations des glissements de terrain.

Fig I. 42: 2012, glissements de terrain à Azazga :

la partie Nord de la ville menacée.



[19] BENKECHKACHE Imene, investigation de la dégradation du cadre bâti sous l’effet du glissement de terrain cas de Constantine, Mémoire de MAGISTER, Option : ville et risques urbains, Fév / 2012. Page 86.

[20] Conseil interministériel du mardi 29 novembre 2011, glissement de terrain de la ville de Ain El Hammam.

I.4. CONCLUSION

A l'instar de ce qui a été développé dans ce chapitre, il se dégage que les mouvements de terrain sont des ennemis redoutables, dans la mesure où leur caractère imprévisible et violent représente un danger pour la vie humaine et les biens. Dans le cadre et à travers notre recherche sur ce phénomène, nous avons noté deux types de mouvements bien distincts qui sont les mouvements lents et rapides.

Les mouvements lents provoquent des changements progressifs qui peuvent se solder par des conséquences brutales. Leurs dommages sont directs et touchent particulièrement les biens et les équipements.

Par contre, Les mouvements rapides se distinguent par leur frappe brusque et immédiate, et sont considérés comme un risque très dangereux pour l'homme.

Ces phénomènes d'instabilité de terrain se traduisent par une manifestation du sol ou du sous-sol, soumis soit à des variations naturelles tels : le séisme, la pluviométrie très forte et la nature du sol,...etc. ou anthropique comme le déboisement, le terrassement, les exploitations des matériaux...etc. Les conséquences de ces mouvements se traduisent par des dégâts considérables sur le plan social et économique, ils provoquent des destructions de multiples habitations et infrastructures.

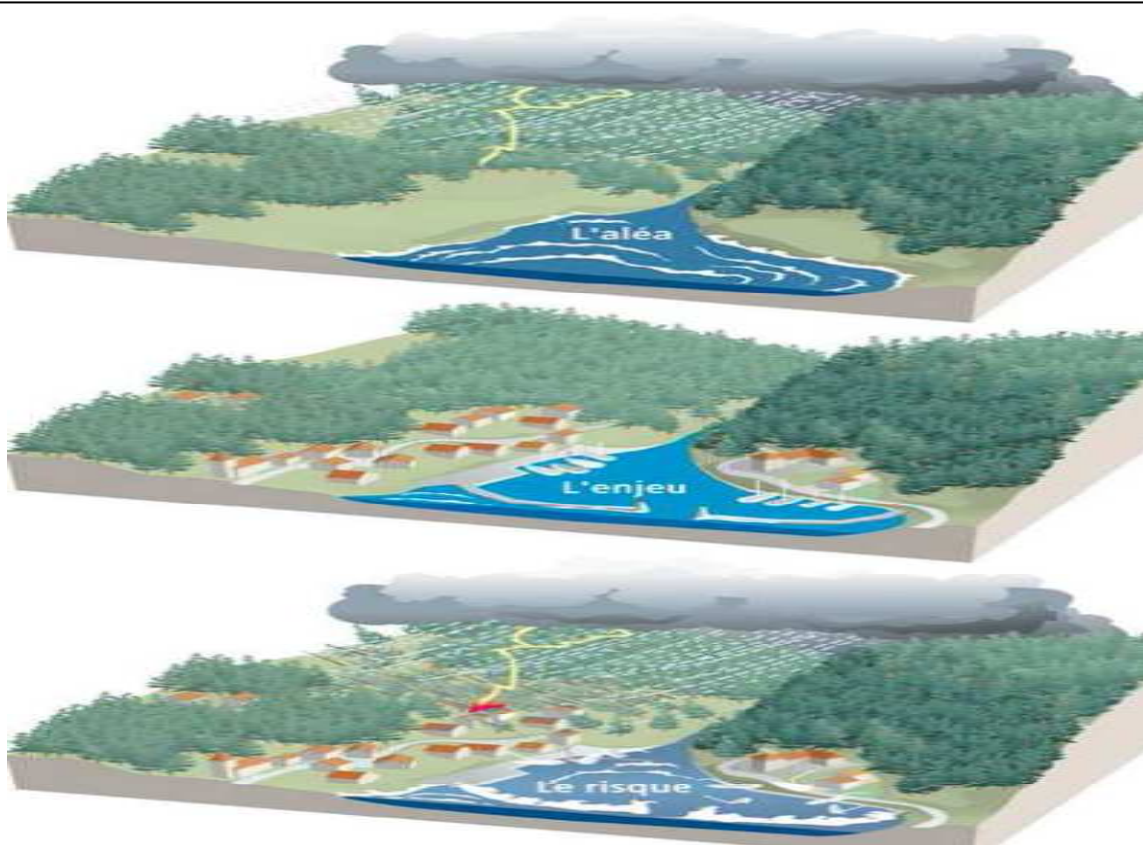
La prévention reste l'outil le plus favorable pour éviter la survenance et la dangerosité du risque glissement de terrain. Sur la base d'analyse de vulnérabilité, la prévention peut prendre, des formes différentes et ce :

A travers les règles d'occupation au sol et d'aménagement du territoire, l'information sur le risque et la cartographie sur les zones affectées par l'aléa.

Les démarches d'évaluation du risque et la vulnérabilité lies aux glissements de terrain sont variées, toutes les méthodes nécessitent l'identification des éléments exposés et la définition de leur valeur (monétaire ou non).

Pour cela le chapitre qui suit exposera quelques méthodes d'analyse et d'évaluation du risque.

CHAPITRE II : METHODES D'ANALYSE ET EVALUATION DES RISQUES DE GLISSEMENT DE TERRAIN



Risque glissement
= Aléa glissement x
Vulnérabilité x
Enjeux En effet,

Les glissements de terrain sont des phénomènes naturels d'origines très diverses. Annuellement, ils provoquent en moyenne la mort de 800 à 1 000 personnes dans le monde et occasionnent des préjudices économiques et des dommages très importants.

II. INTRODUCTION

Au cours des dix dernières décennies, un effort considérable a été effectué dans plusieurs pays pour cartographier le risque et l'aléa du « glissement de terrain ». Cet intérêt s'explique, en partie, par une augmentation de la prise de conscience de la signification socio-économique des risques de glissement de terrain, ainsi que par l'accroissement du développement et de l'urbanisation (Aleotti et Chowdhury, 1999). [21]

Par conséquent, l'évaluation de l'aléa et sa représentation cartographique ont fait l'objet de nombreuses recherches. Plusieurs méthodes sont maintenant proposées dans la littérature.

Ce chapitre présente une revue générale des principales méthodes d'évaluation et de cartographie de l'aléa « glissement de terrain ». Le développement de ces méthodes c'est accru au cours des dernières décennies grâce aux systèmes d'information géographique (SIG).

Une brève introduction de quelques notions importantes impliquées dans le processus d'évaluation du risque est présentée dans ce chapitre, avec l'apport des SIG à l'évaluation et à la cartographie de l'aléa et du risque.

II.1. VOCABULAIRE ET CONCEPTS DE LA PROBLEMATIQUE « RISQUES »

La concentration des hommes et de leurs activités en milieu urbain est génératrice d'une multitude de risques de différents types et de diverses origines. Ainsi distingue-t-on des risques d'origine naturelle et d'autres d'origine anthropique (causés par l'homme), mettant en situation de danger permanent la vie des populations. Et ceci est encore exacerbé par le développement incessant de nouvelles technologies, renouvelant sans cesse la nature des dangers. Chaque catastrophe remet en cause la vieille alliance existant entre la ville et l'industrie. [21]

Il existe deux familles de types de risques auxquels un territoire peut être exposé :

- **les risques naturels** : avalanche, feu de forêt, inondation, mouvement de terrain, cyclone, tempête, séisme, éruption volcanique...

- **les risques technologiques** : d'origine anthropique, ils regroupent les risques industriels, nucléaires, biologiques, rupture de barrage, etc.

II.1.1 Notion et principes de 'Risque'

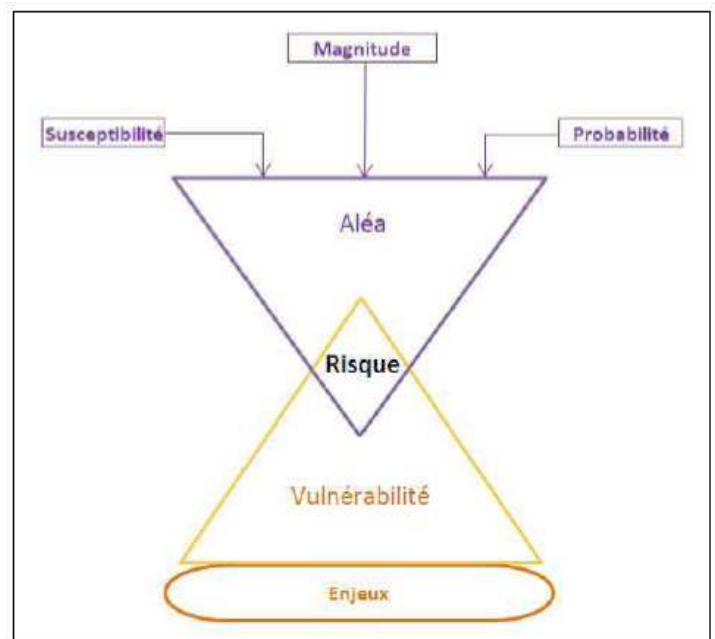
" La définition que je donne du risque majeur, c'est la menace sur l'homme et son environnement direct, sur ses installations, la menace dont la gravité est telle que la société se trouve absolument dépassée par l'immensité du désastre". (Haroun Tazieff)

II.1.1.1 Une définition du risque

Afin d'aider les décideurs à aménager le territoire en prenant en compte le risque, il convient de l'évaluer et de le cartographier. Il est généralement défini comme étant à la croisée d'un phénomène naturel dommageable, aussi appelé **aléa**, et d'**enjeux** (ou éléments à risques) présentant une certaine **vulnérabilité**.

Fig.II. 1: Définition du risque naturel majeur.

Source : Clémence Guillard, 2009. [22]



❖ Exemple : aléa, enjeu, risque

Aléa :

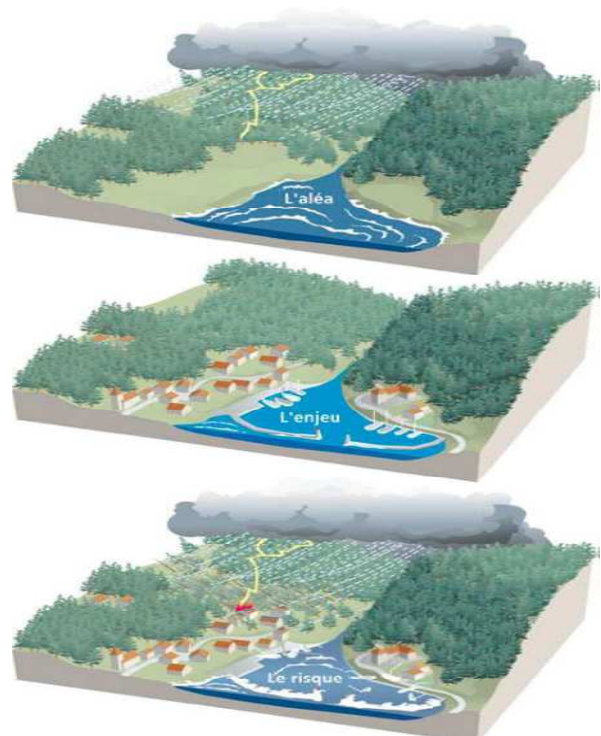
Une rivière arrive à la mer. Une crue torrentielle, conséquence de conditions météorologiques difficiles, peut survenir.

Enjeu :

Des habitations et des infrastructures se situent au débouché de la rivière. Ils constituent les enjeux.

Risque :

En cas de crue, un risque de submersion et d'inondation des habitations situées sur la rive et des infrastructures est possible.



II.1.1.2 Le risque glissement de terrain

Le risque du glissement de terrain représente l'espérance mathématique de pertes au cours d'une période de référence et dans une région bien définie. Il est proportionnel à la vulnérabilité des constructions et infrastructures et aux enjeux (humains économiques et environnementaux) et dépend donc de l'extension de cette région. Il s'agit donc, de la probabilité d'avoir des dégâts.

Son évaluation est mathématiquement exprimée actuellement comme étant le produit entre l'aléa, la vulnérabilité et les enjeux.

$$\text{Risque glissement} = \text{Aléa glissement} * \text{Vulnérabilité} * \text{Enjeux}$$

En effet, il s'agit d'une espérance mathématique de pertes en vies humaines, blessés, dommages aux biens et atteinte à l'activité économique au cours d'une période de référence et dans une région donnée.

D'une manière générale, un risque géologique est défini par la relation non mathématique suivante :

$$\text{RISQUE} = \text{ALEA} * \text{VULNERABILITE} * \text{ENJEUX}$$

(CERG-UNIGE, Martinez, 2003, Centre d'Etudes des Risques Géologiques, Colombie). [23]

- **L'aléa** : L'aléa est un phénomène qui peut engendrer des dommages. Il représente un événement menaçant ayant une probabilité d'occurrence dans une région au cours d'une période donnée. L'aléa glissement de terrain consiste à évaluer la probabilité en un site ou une région, d'être exposé à un mouvement de masse ayant des caractéristiques données et à exprimer ces caractéristiques sous forme de paramètres relatifs au mouvement du sol.

- **La vulnérabilité** : La Vulnérabilité traduit un degré de perte par une quantification des dommages infligés à une région (de 0 % à 100 %), en conséquence ou suite à un phénomène susceptible d'engendrer des victimes et des dommages matériels. La vulnérabilité aux glissements de terrain serait donc l'aptitude des constructions et des infrastructures à subir des dégâts à cause d'un glissement de terrain.

- **Les enjeux** : Les enjeux sont généralement classés en trois types :
 - Les enjeux humains : le glissement est le risque naturel majeur le plus meurtrier, tant par ses effets directs (chutes d'objets, effondrements de bâtiments) .De plus, outre les victimes possibles, un très grand nombre de personnes peuvent se retrouver blessées, déplacées ou sans abri.
 - Les enjeux économiques : un glissement peut engendrer la destruction, la détérioration ou l'endommagement des habitations, des usines, des ouvrages (ponts, routes, voies ferrées, etc.), ainsi que la rupture des conduites.
 - Les enjeux environnementaux : un glissement peut se traduire en surface par des modifications du paysage, généralement modérées mais qui peuvent dans les cas extrêmes occasionner un changement total.

«Les risques naturels se traduisent par la combinaison entre l'aléa qui est le phénomène naturel, potentiel et à la vulnérabilité des éléments exposés à ce phénomène, lié à la présence anthropique» (Alexander 2009). [24]

II.2. CARTOGRAPHIE DE L'ALEA

II.2.1 Tendances générales

Au cours des dix dernières décennies, un effort considérable a été effectué dans plusieurs pays pour cartographier l'aléa « glissement de terrain ». Cet intérêt s'explique, en partie, par une augmentation de la prise de conscience de la signification socio-économique des risques de glissement de terrain, ainsi que par l'accroissement du développement et de l'urbanisation (**Aleotti et Chowdhury, 1999**).

Par conséquent, l'évaluation de l'aléa et sa représentation cartographique ont fait l'objet de nombreuses recherches. Plusieurs méthodes sont maintenant proposées dans la littérature.

Aleotti et Chowdhury (1999) présentent une synthèse des méthodes de cartographie de l'aléa, et proposent une classification des principales approches qui ont été développées à travers le monde (**Figure II.2**).

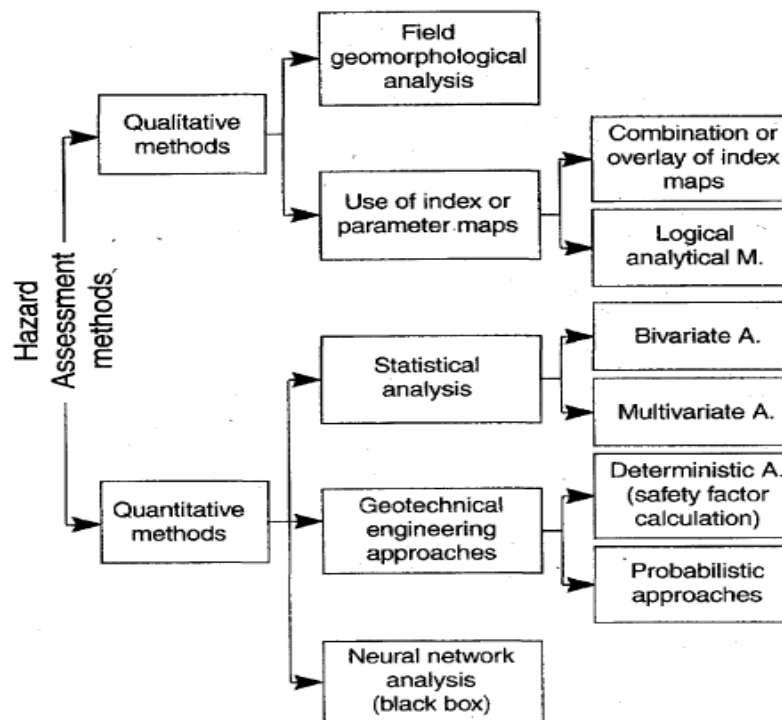


Fig.II. 2: Classification des principales approches d'évaluation de l'aléa« glissement de terrain» (tiré de Aleotti et Chowdhury, 1999). [21]

Selon ces auteurs, elles peuvent se diviser en deux principales catégories : les méthodes qualitatives et les méthodes quantitatives.

Les méthodes qualitatives peuvent être des approches géomorphologiques ou des approches basées sur des opérations simples d'algèbre cartographique.

Les méthodes quantitatives sont basées sur des analyses statistiques, ou sur des modèles déterministes ou probabilistes.

Dans le cadre d'une revue des pratiques suivies en Italie pour cartographier les zones exposées aux risques de glissement de terrain, **Guzzetti et al. (1999)** proposent une autre classification. Elle regroupe les méthodes qualitatives et quantitatives d'évaluation de l'aléa en cinq catégories :

1. analyses géomorphologiques de l'aléa.
2. analyses d'inventaires de glissements de terrain.
3. méthodes heuristiques ou basées sur des indices.
4. modèles statistiques.
5. modèles physiques ou géotechniques.

Les frontières entre ces différentes méthodes ne sont pas toujours nettes et, dans bien des cas, l'évaluation de l'aléa fait appel à plusieurs approches.

Chacune des méthodes d'analyse et de cartographie de l'aléa utilise des données provenant de différentes cartes des facteurs qui influencent la stabilité des talus de la région considérée. Les facteurs sont divisés en plusieurs classes de façon à représenter leur variabilité dans l'espace. Dans la littérature, les facteurs les plus fréquemment utilisés sont la pente, la géologie des dépôts de surface, la géomorphologie, l'utilisation des terres, la végétation, la nature de la roche en place, et la profondeur de la nappe phréatique.

Ainsi, pour évaluer l'aléa à l'échelle régionale, l'utilisation de plusieurs facteurs qui varient dans l'espace nécessite de considérer plusieurs cartes et de réaliser un grand nombre de calculs. Pour ce faire, les SIG sont des outils privilégiés pour manipuler, visualiser, et analyser les données provenant des différentes cartes. [21]

II .3. APPORT DES SYSTEMES D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE (SIG)

Le développement considérable des SIG (annexe A) depuis les dix dernières années a permis d'augmenter la puissance des techniques d'évaluation et de cartographie de l'aléa à l'échelle régionale. Ce développement c'est observé principalement au niveau des méthodes quantitatives qui requièrent des analyses plus sophistiquées que les méthodes qualitatives.

Les premières applications simples datent des années **1970 (Aronoff, 1989)**.

Par contre, c'est au milieu des années 1980 que l'utilisation des SIG c'est répandue grâce au développement d'applications commerciales et de la disponibilité des ordinateurs personnels.

Ces systèmes d'information géographique qui, au départ, n'intervenaient que dans l'automatisation de certaines tâches de reproduction cartographique et de dessin assisté par ordinateur, sont maintenant des outils qui permettent de réaliser des opérations complexes d'analyse spatiale telles que des calculs de pentes, de flux et d'identification, de bassins versants (**Aronoff, 1989**).

Le format matriciel est couramment employé parce qu'il permet de réaliser simplement des opérations d'algèbre cartographique ainsi que des opérations d'analyse de voisinage pour extraire automatiquement des paramètres de forme du terrain naturel.

II.4. CLASSIFICATION DES PRINCIPALES METHODES D'EVALUATION DE L'ALEA «GLISSEMENT DE TERRAIN»

Cette section présente une revue des principales méthodes d'évaluation et de cartographie de l'aléa « glissements de terrain » basées sur l'utilisation des SIG. Ces méthodes sont illustrées par divers exemples provenant de la littérature.

La classification proposée ici reprend pour l'essentiel le travail **d'Aleotti et Chowdhury (1999)**, mais s'inspire également de l'article de **Guzzetti et al. (1999)** et du rapport du Comité français de géologie de l'ingénieur (CFG, 2000). [21]

II.4.1 Méthodes qualitatives

Les méthodes qualitatives sont, selon **Aleotti et al. (1999)** ; soit directes ou semi-directes. Ces méthodes peuvent reposer sur l'expérience régionale d'experts qui déterminent sur le terrain la prédisposition aux glissements de terrain d'une région donnée. C'est le cas des approches essentiellement géomorphologiques. Elles peuvent aussi être réalisées en combinant, par des approches basées sur des opérations simples d'algèbre cartographique, des cartes de facteurs contrôlant la stabilité des talus d'une région.

Les méthodes qualitatives s'avèrent souvent très subjectives puisqu'elles font appel à plusieurs reprises au jugement d'experts.

II.4.1.1 Approches essentiellement géomorphologiques

Les approches essentiellement géomorphologiques sont des méthodes directes qui, reposent sur les connaissances d'experts qui évaluent l'aléa sur le terrain en suivant des règles de décision qu'ils ont préalablement établies selon leur expérience régionale.

Les travaux de terrain sont généralement supportés par une interprétation de photographies aériennes et par diverses cartes de facteurs qui influencent la stabilité des talus.

Dans les approches géomorphologiques, les SIG sont utilisés seulement comme outil de dessin et de visualisation de l'information. À partir des données recueillies, des zones d'aléa plus ou moins élevé sont identifiées et cartographiées à l'aide des SIG. En format vectoriel, les différentes zones forment des polygones à l'intérieur desquels les valeurs d'aléa sont homogènes et, dans certains cas, reliées à une base de données.

Bien que ne faisant pas appel explicitement aux SIG, un des meilleurs exemples d'analyse géomorphologique de l'aléa « glissement de terrain » présenté dans la littérature est la procédure ZERMOS (Zones Exposées aux Risques de Mouvements de Sol).

A titre d'exemple, initialement, le zonage était défini de la façon suivante (CFG, 2000) :

- Le vert : indique qu'aucune instabilité ne semble devoir se produire dans cette zone, dans l'état actuel des connaissances.
- L'orange : indique qu'il existe une menace potentielle d'instabilité et que des incertitudes subsistent quant à la nature et à l'ampleur des mouvements.

- Le rouge : indique que les menaces d'instabilité sont réelles et qu'elles représentent un danger certain.

Un autre excellent exemple d'application de ce type d'approche géomorphologique est présenté dans les travaux de **Lebuis et al. (1983)** du service de la géotechnique du Ministère de l'énergie et des ressources naturelles (MRN) au Québec.

Dans cette étude, des informations recueillies sur des cartes topographiques et sur des profils de talus sont, entre autres, utilisées pour délimiter les zones exposées au risque de glissement de terrain à l'aide de décision établies selon l'expérience d'expert. Un exemple d'une section de carte des zones exposées aux mouvements de terrain réalisée par Rissmann et al. (1985) le long de la rivière Yamaska, entre Yamaska et Saint-Hyacinthe, est présenté à la **figure II.3**.



Fig.II. 3: Zones exposées aux mouvements de terrain; région de la rivière Yamaska

(tiré de Rissman et al., 1985). Feuille nord, carte No. 3. Les zones en pointillées correspondent à d'anciennes coulées argileuses. L'aléa décroît selon l'intensité de la teinte, du plus foncé au plus pâle.

Le principal désavantage de l'approche géomorphologique serait relié, selon **Aleotti et Chowdhury (1999)**, à la subjectivité associée à la sélection des facteurs considérés et à l'établissement des règles de décision. Ainsi, les cartes d'aléa basées sur le jugement de

différents investigateurs ou experts pour un même secteur peuvent s'avérer, dans certains cas, très différentes et leur comparaison est souvent difficile.

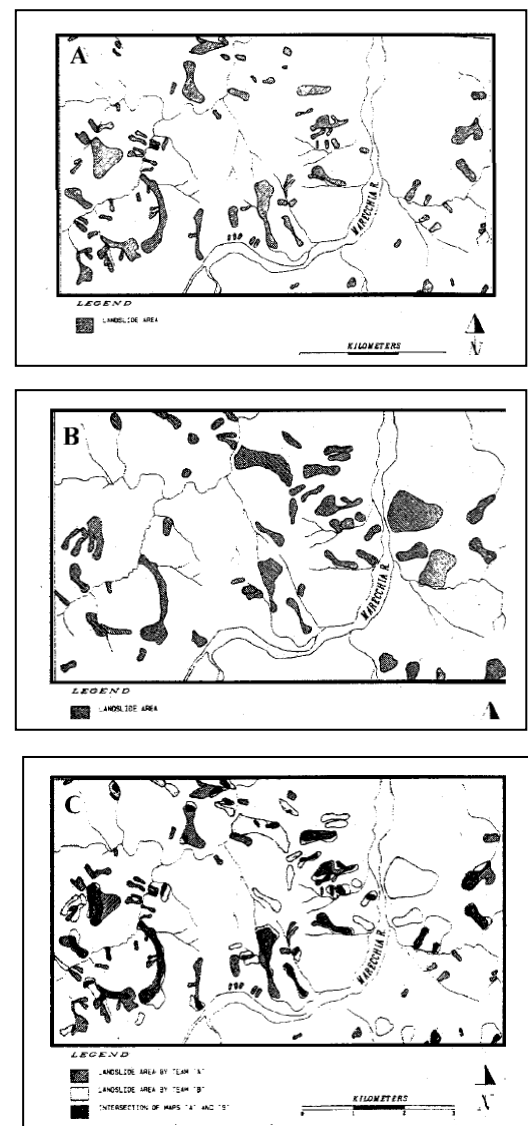
Afin de mettre en évidence la part de subjectivité a priori inhérente à ce type de cartographie, **Carrara et al. (1992)** présentent quelques exemples d'études comparatives où des équipes différentes ont établi une carte des zones exposées aux glissements de terrain pour un même secteur. La **figure II.4** montre un de ces exemples (bassin de Marecchia dans le nord de l'Italie). La carte du bas a été obtenue par le recouvrement des deux cartes préparées par deux équipes différentes. De cette carte, les auteurs ont évalué que seulement 15% de la superficie des zones d'aléa identifiées par les deux équipes sont communes, ce qui donne une erreur de cartographie de presque 85%. Il apparaît donc que le désaccord entre ces deux équipes est important et que la comparaison des cartes résultantes devient très difficile. Il est à noter que ce type d'étude peut varier selon le type de mouvements de terrain et la nature des terrains à analyser. Cela montre tout de même qu'il est extrêmement important de fixer des règles encadrant le jugement du spécialiste.

Fig.II. 4: Étude comparative de deux cartes des zones exposées aux glissements de terrain obtenues par deux équipes différentes pour le bassin de Marecchia dans le nord de l'Italie.

A : Carte des glissements de terrain préparée par l'équipe A, à partir de travaux de terrain et de l'interprétation de photographies aériennes.

B : Carte des glissements de terrain préparée par l'équipe B à partir de l'interprétation de photographies aériennes et de vérifications de terrain.

C : Superposition des cartes des équipes A et B (tiré de Carrara et al., 1992).



II.4.1.2. Approches basées sur des opérations simples d'algèbre cartographique

Selon **Aronoff (1989)**, l'algèbre cartographique consiste à réaliser des opérations logiques telles que l'addition, la soustraction, la multiplication et la division, pour chaque donnée d'une carte en utilisant les données correspondantes d'une ou de plusieurs autres cartes.

Pour évaluer l'aléa « glissement de terrain », ce type d'approche nécessite, en premier lieu, la sélection des cartes des facteurs qui influencent la stabilité des talus de la région considérée. Ensuite, selon l'expérience régionale d'experts, chaque facteur, ainsi que chacune de leurs classes, se voient attribuer un poids en fonction de leur contribution à l'instabilité. Les cartes des poids ainsi créées sont ensuite superposées et des opérations logiques sont effectuées entre les cartes de façon à obtenir la carte résultante de l'aléa.

Les approches basées sur des opérations simples d'algèbre cartographique bénéficient des SIG pour automatiser les procédures de superposition de cartes et pour réaliser les opérations logiques entre celles-ci. Ces opérations sont réalisées de façon plus efficace en format matriciel que vectoriel. En format matriciel, les opérations logiques sont effectuées pour chacun des pixels, et les résultats pour les pixels correspondants sont indiqués sur une carte résultante correspondant à l'aléa « glissement de terrain »

Mejia-Navarro et al. (1994) présentent une approche basée sur l'algèbre cartographique pour évaluer et cartographier certains aléas géologiques de la région de Glendwood Springs au Colorado. Dans son étude, l'aléa « coulées de débris » (Hdt) est évalué, pixel par pixel, à partir d'une série de trois équations (équations 2.1, 2.2, 2.3) qui utilisent l'information combinée provenant de plusieurs cartes de facteurs. Les facteurs considérés sont les suivants: la topographie, l'hydrologie, les précipitations, les processus géomorphologiques, la géologie de surface et du socle rocheux, la géologie structurale, la végétation, les propriétés du sol et l'utilisation des terres. Les équations utilisées sont:

$$\text{Sdf} = \text{slopedf} (\text{aspect} \times 7 + \text{usc-casag} \times 4 + \text{sgrndf} \times 9 + \text{veg} \times 8 + \text{hgdf} \times 5 + \text{shrswell} \times 2 + \text{erosK} \times 7 + \text{lusess} \cdot \times 3 + \text{wsbufx} \times 8 + \text{femahist} \times 10 + \text{isohaa} \times 4) / 67 \quad (\text{équation 2.1})$$

$$\text{Trigger-ps} = (\text{isoseismals} \times 3 + \text{PMP} \times 5) / 8 \quad (\text{équation 2.2})$$

$$\text{Hdf} = \text{Sdf} \times \text{trigger-ps} \quad (\text{équation 2.3})$$

Sdf: susceptibilité aux coulées de débris.

slopedf: angle du talus.

aspect: orientation du talus.

usc-casag: propriétés physico-chimique du matériel altéré en surface.

sgrndf: susceptibilité aux coulées de débris du matériel en surface.

veg: couvert végétal.

hgdf: classe hydrologique du sol utilisée pour estimer le ruissellement suite aux précipitations.

shrswell: concentration d'argile et minéralogie, en relation avec le potentiel de retrait-gonflement.

erosK: potentiel d'érosion de surface.

lulless: utilisation des terres.

wsbuf: ordre du réseau d'écoulement.

femahist: glissement de terrain historique.

isohaa: précipitations annuelles moyennes.

trigger-ps: éléments déclencheurs sismiques et climatiques des coulées de débris.

isoseismals: position et magnitude des séismes historiques, position des failles et susceptibilité de la géologie de surface et du roc à amplifier les ondes sismiques.

PMP: précipitations maximales probables.

Dans les deux premières équations les facteurs considérés sont divisés en classes pour lesquelles un poids relatif est attribué. Chaque facteur est précédé d'un suffixe numérique qui correspond au poids qui lui est affecté. Ces valeurs de poids des facteurs et de leurs classes sont attribuées de façon subjective par les auteurs selon leur contribution à l'instabilité des talus.

La première équation estime la susceptibilité aux coulées de débris pour chaque pixel, tandis que la seconde tient compte des éléments déclencheurs en combinant la carte des accélérations sismiques avec la carte des précipitations maximales probables. Enfin, la troisième équation combine, pixel par pixel, les résultats des deux premières équations et conduit à la carte de l'aléa associé aux coulées de débris.

L'attribution d'une pondération aux différents facteurs contrôlant la stabilité et à leurs classes est un premier pas vers une analyse quantitative de l'aléa. Ces approches, que l'on peut appeler semi-quantitatives, n'en restent pas moins fortement subjectives car elles reposent encore beaucoup sur le jugement d'experts.

Il est donc essentiel d'encadrer ce « jugement » en formalisant et en décomposant les différentes étapes du raisonnement. Par exemple, **Leroueil et Locat (1998)** proposent une grille d'analyse qui permet de guider l'ensemble du processus d'évaluation de l'aléa. Une telle grille permet de caractériser le danger de façon organisée et amène l'investigateur à encadrer de façon rationnelle le processus d'évaluation de l'aléa.

II.4.2 Méthodes quantitatives

Les méthodes quantitatives sont a priori plus objectives que les méthodes qualitatives puisqu'elles font moins appel au jugement d'experts. Ces méthodes sont indirectes et requièrent une approche théorique rigoureuse, et parfois très complexe. Elles peuvent être basées sur des inventaires de glissement de terrain, des analyses statistiques, ainsi que sur des modèles déterministes ou probabilistes de l'aléa.

II.4.2.1. Approches basées sur des inventaires de glissements de terrain

Les approches basées sur des inventaires de glissements de terrain visent à prédire des patrons d'instabilités futures à partir de la distribution passée et présente des glissements de terrain à l'intérieur de la région considérée. Cette approche est basée sur la préparation de cartes montrant la distribution du nombre ou du pourcentage de la superficie couverte par les glissements de terrain d'une région (**Guzzetti et al., 1999**).

Les calculs de densité sur l'ensemble d'une région sont obtenus par interpolation. Plusieurs techniques d'interpolation peuvent être utilisées, et conduire, pour une même carte de base de distribution des glissements de terrain, à des cartes pouvant être très différentes. La fonction d'interpolation utilisée doit être sélectionnée avec soin et être bien adaptée à la nature du phénomène étudié (**Aronoff, 1989**).

Guzzetti et al. (1999), présentent une approche basée sur un inventaire de glissement de terrain afin d'évaluer l'aléa pour les régions de l'Umbria et de Marche en Italie. De façon à illustrer la distribution de l'aléa à l'intérieur de ces régions, les auteurs ont préparé une carte montrant la distribution de la densité de glissement de terrain (**figure II.5**).

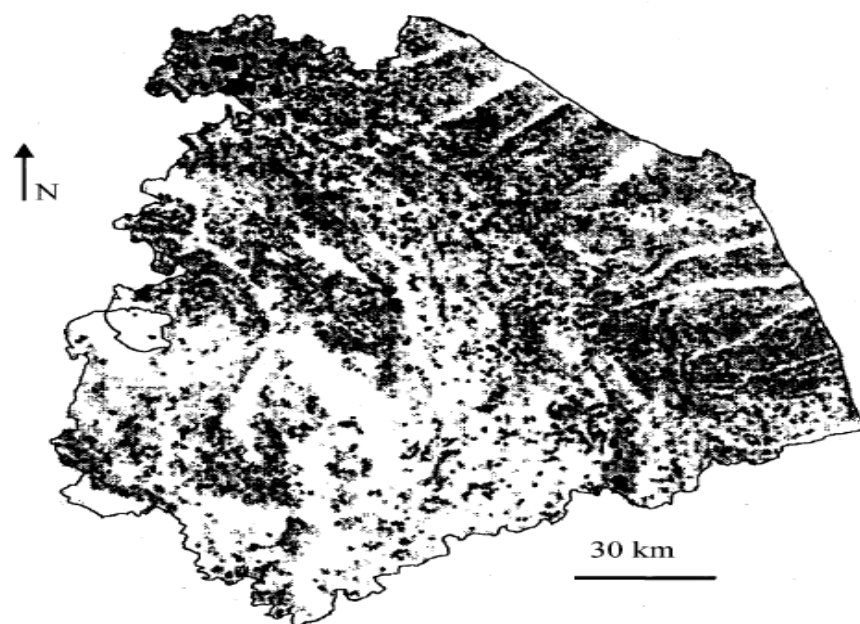


Fig.II. 5: Carte des glissements de terrain des régions d' Umbria et Marche, Italie. Les tons de gris indiquent une augmentation du pourcentage de la superficie occupée par les glissements de terrain, de 1% (blanc) à 100% (noir) (tiré de Guzzetti et al.,1999).

La densité correspond au pourcentage de la région affectée par les glissements à l'intérieur d'une fenêtre circulaire d'environ 1 km². Pour les zones exposées aux glissements de terrain, les valeurs de densité varient de 0.01 à 1.00 (ha/km²). Une valeur de densité égale à 1.00 signifie que l'ensemble de la région est couverte par des glissements de terrain.

II.4.2.2 Approches statistiques

Pour évaluer l'aléa « glissement de terrain », les approches statistiques cherchent à établir une relation entre les facteurs qui contrôlent la stabilité des talus et la manifestation du danger. Pour établir cette relation, des poids sont attribués aux facteurs et à leurs classes à l'aide de relations statistiques établies entre la distribution spatiale des glissements de terrain et celles des facteurs. L'aléa est ensuite évalué en réalisant des opérations d'algèbre cartographique entre les cartes des poids obtenues pour chaque facteur.

En général, c'est seulement la composante spatiale de l'aléa qui est prise en compte, mais il est possible d'incorporer une composante temporelle dans l'analyse, en particulier lorsqu'un lien a été établi entre certains paramètres hydrométéorologiques et l'initiation d'instabilités. Les approches statistiques permettent d'évaluer les poids de façon plus objective en général, puisqu'elles sont basées sur une analyse statistique, contrairement aux approches basées seulement sur des opérations simples d'algèbre cartographique. Pour y parvenir, ces approches ont grandement bénéficié de la disponibilité des SIG qui sont utilisés principalement pour réaliser les analyses statistiques ainsi que les opérations d'algèbre cartographique.

II.4.2.2.1 Analyses bivariées

Les analyses statistiques bivariées s'apparentent aux approches basées sur des opérations simples d'algèbre cartographique. Cependant, ces deux types d'approches se distinguent par les calculs des poids qui s'appliquent aux différentes classes de facteurs contrôlant la stabilité. Dans les analyses bivariées l'attribution des poids aux classes est réalisée en fonction de la densité de glissements de terrain à l'intérieur de celles-ci.

Les étapes suivies dans l'évaluation de l'aléa « glissement de terrain » lors d'une analyse statistique bivariée sont les suivantes (**Aleotti et Chowdhury, 1999**) :

1. Identification et préparation des cartes des facteurs qui contrôlent la stabilité.
2. Établissement de la carte de localisation des glissements de terrain.
3. Superposition de la carte des glissements de terrain aux cartes des facteurs.
4. Attribution d'un poids à chacune des classes de chacun des facteurs en fonction de la densité de glissements de terrain.
5. Attribution d'un poids à chacun des facteurs selon l'expérience régionale d'experts.
6. Calcul et cartographie de l'aléa par des opérations d'algèbre cartographique entre les cartes des facteurs pondérés.

Même si les analyses statistiques bivariées sont considérées comme des approches plus objectives que les méthodes qualitatives, un certain degré de subjectivité est encore associé à ce type d'approche, particulièrement à l'étape 5 pour laquelle l'attribution des poids des paramètres est réalisée selon le jugement d'experts.

II.4.2.2.2 Analyses multivariées

Afin de diminuer la part de subjectivité des analyses statistiques bivariées, les analyses multivariées évaluent les poids des classes mais aussi des facteurs à l'aide d'analyses statistiques. Ce type d'analyse requiert les étapes suivantes:

1. Classification de la région d'étude en unités de terrain homogène;
2. Identification et préparation des cartes des facteurs qui contrôlent la stabilité;
3. Établissement de la carte de localisation des glissements de terrain;
4. Identification du pourcentage des unités de terrain affectées par les glissements de terrain et classification de ces unités en unités stables ou instables à partir de valeurs seuils.
5. Combinaison des cartes de facteurs et de la carte des unités de terrain. Cette étape est suivie par la création d'une matrice absence/présence pour une classe donnée d'un facteur donné à l'intérieur de chaque unité de terrain.
6. Analyse statistique multivariée.
7. Reclassification des unités basée sur les résultats de l'analyse statistique multivariée et classification de l'aléa.

La première étape de l'analyse statistique multivariée requiert de sélectionner une unité de terrain appropriée à l'évaluation de l'aléa « glissement de terrain » pour la région considérée. Dans les premières applications, les unités de terrain étaient des éléments de surface de dimensions variant avec la dimension de la région. Par la suite, les unités ont été définies sur des bases morphométriques (Aleotti et Chowdhury, 1999).

Les analyses statistiques les plus fréquemment utilisées sont les analyses discriminantes et les régressions multiples.

Brunori et al. (1996) présentent une méthode d'analyse statistique multivariée pour évaluer l'aléa d'une région de la Toscane en Italie. Trois facteurs qui contrôlent la stabilité des talus dans cette région sont pris en considération: la lithologie, l'utilisation des terres, et la pente.

Dans cette étude, les auteurs utilisent, comme unité de cartographie, des surfaces occupées par les glissements de terrain possédant une condition unique, c'est-à-dire la même combinaison de classe correspondant aux trois facteurs considérés. Ces unités de terrain correspondent aux surfaces des glissements de terrain ayant des caractéristiques homogènes, c'est-à-dire la même combinaison de lithologie, d'utilisation des terres et de pente.

Les variables utilisées dans l'analyse statistique sont définies à partir des unités de cartographie par des rapports de surface. La variable dépendante (y) est définie, pour chaque unité, comme le rapport de l'aire de l'unité à l'aire totale touchée par les glissements de terrain. De plus, une variable indépendante (x) est définie pour chaque classe qui est représentée dans une même unité. Cette variable correspond au rapport entre l'aire de l'unité caractérisée par la classe et l'aire totale qui est représentée par cette classe dans l'ensemble de la région.

À partir des différentes variables dépendantes et indépendantes, les auteurs appliquent une analyse de régression multiple utilisant une fonction linéaire :

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_ix_i + \dots + a_nx_n \quad (\text{Équation 2.4})$$

Où

a_i sont les coefficients de la régression.

Les coefficients de la régression obtenus par l'analyse statistique permettent d'attribuer un poids aux facteurs et à leurs classes. Enfin, une opération d'addition est effectuée à partir des trois cartes résultantes de façon à calculer l'aléa pour chaque pixel de la région.

II.4.2.3 Approches basées sur des modèles physiques et/ou géotechniques

II.4.2.3.1 Analyses déterministes

Les analyses déterministes sont basées sur les lois physiques de la conservation de la masse, de l'énergie et de la quantité de mouvement (Van Westen, 1993). Dans ce type d'analyse, les principales propriétés physiques sont quantifiées et introduites dans des modèles mathématiques qui calculent le facteur de sécurité.

La plupart du temps, les modèles déterministes sont utilisés pour effectuer des études ponctuelles de stabilité. Cependant, la puissance grandissante des SIG permet de réaliser un nombre extrêmement élevé de calculs, et l'application de ces modèles à la cartographie régionale de l'aléa est envisageable. Dans ce type d'analyse, les SIG sont souvent utilisés pour extraire automatiquement des éléments morphométriques du terrain naturel dont certaines caractéristiques peuvent être requises dans l'équation du facteur de sécurité.

Pour évaluer la stabilité d'une région à l'aide de modèles déterministes, des procédures uni-, bi- et tridimensionnelles peuvent être utilisées, les procédures tridimensionnelles étant les plus complexes.

- **Le modèle de la pente infinie**

Le modèle déterministe le plus utilisé dans la littérature pour évaluer la stabilité à l'échelle régionale à l'aide des SIG, est le modèle de la pente infinie. Dans ce modèle, la hauteur n'est pas considérée et seule la pente intervient, et les SIG possèdent généralement des fonctions qui permettent de calculer la pente locale. Le modèle de la pente infinie est donc très bien adapté aux calculs effectués à l'aide des SIG matriciels. Par contre, ce modèle est applicable seulement à des mouvements de translation dont la surface de rupture est plane et parallèle à la pente, elle-même assimilée à un plan incliné.

Dans le modèle de la pente infinie, le facteur de sécurité est calculé pixel par pixel en utilisant l'information provenant de plusieurs cartes telles que la pente, l'épaisseur des dépôts, la résistance au cisaillement du sol, et la profondeur de la nappe phréatique. De plus, l'effet de l'intensité des précipitations et des séismes sur la stabilité des talus peut être pris en compte. C'est entre autres le cas de l'étude faite par **Van Westen et Terlien (1996)** qui est présentée dans les paragraphes suivants.

Van Westen et Terlien (1996) utilisent le modèle de la pente infinie pour évaluer et cartographier l'aléa « glissement de terrain » de la région de Manizales en Colombie.

Dans leur modèle, ces auteurs tiennent compte de la variation du niveau de la nappe phréatique en fonction de l'intensité des pluies ainsi que de l'accélération sismique.

Le niveau de la nappe phréatique est évalué en utilisant un modèle hydrologique externe au SIG.

Ce modèle est appliqué à un certain nombre de profils ayant différentes combinaisons d'angle et de longueur de pente, d'épaisseur d'unités et de conductivité hydraulique. Les niveaux d'eau maximums pour chacun des profils sont calculés pour une période de temps donnée et utilisés pour construire une courbe intensité-fréquence du niveau de la nappe phréatique. Une fois les calculs réalisés sur les profils, ces derniers sont mis en relation, à l'intérieur du SIG, avec les combinaisons d'angle et de longueur de pente, d'épaisseur d'unités et de conductivité hydraulique retrouvées dans la région d'étude à partir de la base de données géologiques et de la carte topographique.

Ainsi, des cartes des niveaux de la nappe phréatique sont dérivées pour l'ensemble de la région selon des intensités de pluies variables qui correspondent à différentes périodes de retour.

L'accélération sismique est aussi évaluée pour différentes intensités de séismes.

L'équation utilisée par les auteurs correspond à une équation générale d'accélération sismique pour le roc, l'accélération est multipliée par un facteur qui tient compte de l'amplification des ondes sismiques dans le sol due aux conditions topographiques et géotechniques de la région (effets de site). L'équation résultante fait intervenir plusieurs paramètres dont la magnitude du séisme et la distance par rapport à son hypocentre.

À partir d'un inventaire des séismes qui se sont produits dans la région d'étude, les auteurs ont calculé une courbe intensité-fréquence à partir de l'équation de l'accélération sismique en faisant varier la magnitude du séisme tout en conservant la distance de son hypocentre constante. Cette courbe permet de dériver plusieurs cartes de l'accélération sismique pour des intensités variables de séisme qui correspondent à différentes périodes de retour. Finalement, à partir des cartes des niveaux de la nappe phréatique et de l'accélération sismique obtenue aux étapes précédentes, les auteurs calculent le facteur de sécurité pixel par pixel. La pente est dérivée localement à l'intérieur du SIG. Les propriétés mécaniques du sol sont considérées homogènes sur l'ensemble de la région d'étude. Les calculs sont réalisés en fonction de différents scénarios en faisant varier la profondeur de la nappe phréatique et l'accélération sismique afin d'évaluer des événements ayant des périodes de retour différentes.

Pack et al. (1998) proposent aussi une analyse déterministe de l'aléa « glissement de terrain » dans leur approche SINMAP (Stability INDEX MAP). L'approche SINMAP évalue la stabilité, pixel par pixel, par le modèle de la pente infinie en utilisant les facteurs suivant : la pente locale, les propriétés mécaniques des matériaux (cohésion et angle de friction), le climat, la recharge, la transmissivité du sol et la zone de captage des eaux de surface. La pente locale et la zone de captage de chaque pixel de la région sont dérivées à l'intérieur du SIG par des opérations d'analyse morphométrique réalisées sur un modèle numérique d'altitude (MNA) Les autres facteurs sont considérés constants ou comme ayant une distribution uniforme entre deux limites spécifiques. Ces limites sont déterminées et entrées par l'opérateur lors de l'analyse et permettent de réaliser des analyses paramétriques.

La stabilité est évaluée pour chaque pixel sous forme « d'indice de stabilité » en utilisant les données qui leurs sont associées. L'indice de stabilité correspond au facteur de sécurité calculé en utilisant les facteurs les plus conservateurs.

Le modèle de la pente infinie est extrêmement simple d'utilisation; toutefois, ce modèle unidimensionnel d'évaluation de la stabilité a le désavantage de s'appliquer seulement à des conditions géométriques et d'écoulements très particuliers. Afin de considérer une géométrie des talus ainsi que des surfaces de rupture plus réalistes, des modèles bidimensionnels tel que le modèle de la rupture circulaire doit être utilisés.

- **Modèle de la rupture circulaire**

Le modèle de la rupture circulaire évalue la stabilité le long d'un profil en considérant la géométrie du talus et celle de la surface de rupture. Pour évaluer le facteur de sécurité, la méthode de Bishop simplifiée, par exemple, divise la masse de sol impliquée dans le mouvement en une série de tranches verticales pour lesquelles l'équilibre est considéré séparément.

Miller (1995) présente un exemple d'analyse déterministe bi-dimensionnelle de l'aléa réalisée avec le modèle de la rupture circulaire pour une région située au nord-ouest de l'état de Washington, aux États-Unis.

Pour appliquer le modèle de la rupture circulaire à l'échelle régionale, un certain nombre de profils à l'intérieur de la région d'étude doivent d'abord être sélectionnés.

Ces profils sont extraits à l'aide des SIG par des opérations d'analyse morphométrique réalisées sur un MNA. La procédure d'extraction des profils suivie par l'auteur consiste tout d'abord à calculer l'aire de drainage de chaque pixel en fonction de la direction du flux des pixels situés en amont du pixel considéré. À partir des valeurs d'aire de drainage, les crêtes et les ruisseaux de la région sont identifiés, et correspondent respectivement aux pixels ayant une aire de drainage supérieure ou inférieure à une valeur seuil. Ces deux éléments morphologiques correspondent aux sommets et aux bases des profils à identifier.

Ensuite, pour chacun des pixels, un profil est identifié. Chaque profil est délimité au sommet et à la base par le ruisseau et la crête les plus près du pixel considéré. Cette opération produit une couverture dense et uniforme de profils le long desquels l'altitude et les propriétés des matériaux sont interpolées à tous les 30 mètres à partir du MNA et de la carte des propriétés des matériaux. **La figure II.6** présente un exemple de profil. Les points également espacés le long du profil représentent les endroits pour lesquels des données ont été interpolées.

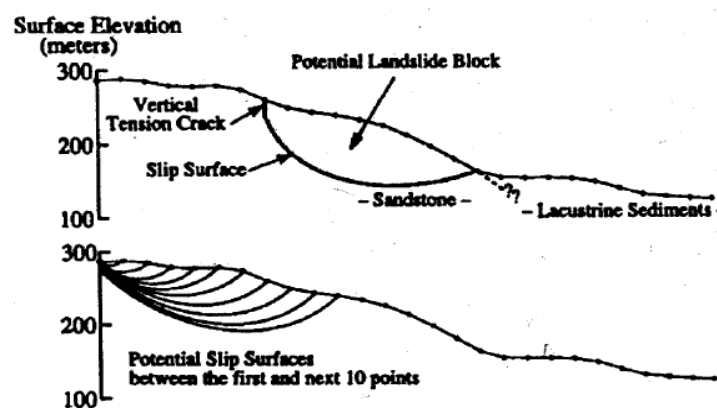


Fig.II. 6: Profil longitudinal d'un talus et surfaces potentielles de rupture.

La masse impliquée dans le mouvement est limitée en amont par une fissure de tension verticale, et par une surface de rupture circulaire ou planaire passant par deux points du profil. En partant du premier point, différentes surfaces de rupture, s'étendant entre chacun des points plus bas, sont examinées. Les dix premières surfaces de rupture potentielles sont indiquées sur le graphique central. Ensuite, cette procédure est répétée pour les autres points jusqu'à ce que toutes les combinaisons possibles soient examinées. Dans chacun des cas, la profondeur de la fissure de tension et le rayon de courbure de la surface de rupture varient de façon itérative pour trouver la géométrie la moins stable. Pour chaque point le long du profil, le facteur de sécurité le plus faible ayant été calculé est assigné au point correspondant (tiré de **Miller, 1995**). Chaque combinaison de deux valeurs d'altitude le long d'un profil définit une surface de rupture potentielle pour laquelle le facteur de sécurité est calculé par la méthode des tranches. Pour ce faire, les données d'altitude et des propriétés des matériaux sont exportées vers un logiciel externe de stabilité à l'intérieur duquel les facteurs de sécurité sont calculés. Plusieurs scénarios sont testés pour des surfaces de rupture circulaires ou planaires, en incluant des fissures de tension de différentes profondeurs au sommet de la surface de rupture. Le scénario qui donne le facteur de sécurité le plus faible est conservé pour chaque profil. Les valeurs de facteur de sécurité des profils sont finalement importées dans le SIG où celles-ci sont interpolées et représentées sous forme de cartes d'isocontours.

La complexité du modèle de la rupture circulaire associée à l'extraction des profils et à l'exportation des données explique pourquoi son utilisation à l'échelle régionale est beaucoup moins répandue que le modèle de la pente infinie.

Un autre exemple d'application du modèle de la rupture circulaire est présenté par le Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM) en France, qui a développé un système d'aide à la décision en matière de glissement de terrain basé sur une évaluation de la stabilité en trois dimensions. Ce système est construit autour des logiciels Arc Info et Oracle pour la gestion des données, et fait appel au code de calcul externe du logiciel **CLARA (Hung, 1987)** pour les études de stabilité. Ces procédures ne sont applicables que pour de petits secteurs pour lesquels un grand nombre de données sont disponibles.

Ces secteurs correspondent à des portions de talus qui sont extraites d'un MNA manuellement à l'écran à l'aide du SIG. Les données sont ensuite envoyées dans CLARA qui retourne une valeur de facteur de sécurité. Puisque cette procédure ne peut être appliquée que pour des petites portions de terrain, celle-ci ne semble pas être utilisée dans la cartographie de l'aléa à l'échelle régionale.

L'utilisation d'analyses déterministes permet de quantifier et de cartographier facilement la stabilité des talus à l'échelle régionale, particulièrement par le modèle de la pente infinie. Par contre, la fiabilité des résultats obtenus par ce type d'analyse est influencée par la représentativité du modèle utilisé et par les incertitudes concernant les variabilités spatiales et temporelles des nombreux paramètres utilisés dans l'expression du facteur de sécurité. Ces incertitudes sont attribuées, selon **Aléotti et Chowdhury (1999)**, aux faits suivants:

- une masse de sol ne peut être échantillonnée que pour un nombre fini de points,
- les essais de terrain et en laboratoire réalisés pour déterminer certains paramètres du sol sont limités par des contraintes monétaires et temporelles,
- les méthodes de calcul ainsi que les instruments de mesure ne sont pas parfaits.

La prise en compte des incertitudes concernant ces paramètres a conduit au développement d'analyses probabilistes de l'aléa.

II.4.2.3.2 Analyses probabilistes

Dans la majorité des cas, l'analyse probabiliste vise à évaluer la probabilité de rupture comme étant la probabilité que le facteur de sécurité soit inférieur à une valeur prédéterminée qui est généralement prise égale à une (pente à l'équilibre limite).

La probabilité de rupture est évaluée en appliquant un cadre probabiliste à l'approche déterministe de l'aléa, de façon à tenir compte des incertitudes sur les différents facteurs utilisés dans l'équation du facteur de sécurité. Pour cela, les incertitudes sont déterminées par des fonctions de densité obtenues à partir de données disponibles sur les facteurs ou selon l'expérience régionale d'experts (Wu et al., 1996).

II.5. LES METHODES D'EVALUATION DU RISQUE GLISSEMENT DE TERRAIN

Les méthodes d'évaluation du risque glissement de terrain sont basées sur l'estimation des conséquences du phénomène sur les éléments exposés « les enjeux ». [25]

Les démarches d'évaluation de la vulnérabilité sont variées, toutes les méthodes nécessitent l'identification des éléments exposés.

Selon **Frédéric LEONE & Freddy VINET**, Il y a deux grandes approches complémentaires : rétrospective et prospective (**Figure II.7**). L'approche rétrospective s'inscrit dans le cadre de retours d'expérience tandis que l'approche prospective est inhérente aux procédures d'évaluation des risques encourus. La première approche nourrit ainsi directement la seconde lors de la conduite de diagnostics de vulnérabilité, eux-mêmes utiles à la mise en œuvre de scénarios (ou simulations) d'endommagement, de pertes ou de gestion de crise. Pour chacune de ces deux grandes approches, qui nous renseignent respectivement sur l'endommagement déclaré et potentiel, il apparaît que la vulnérabilité peut être évaluée, de manière quantitative ou qualitative : [25]

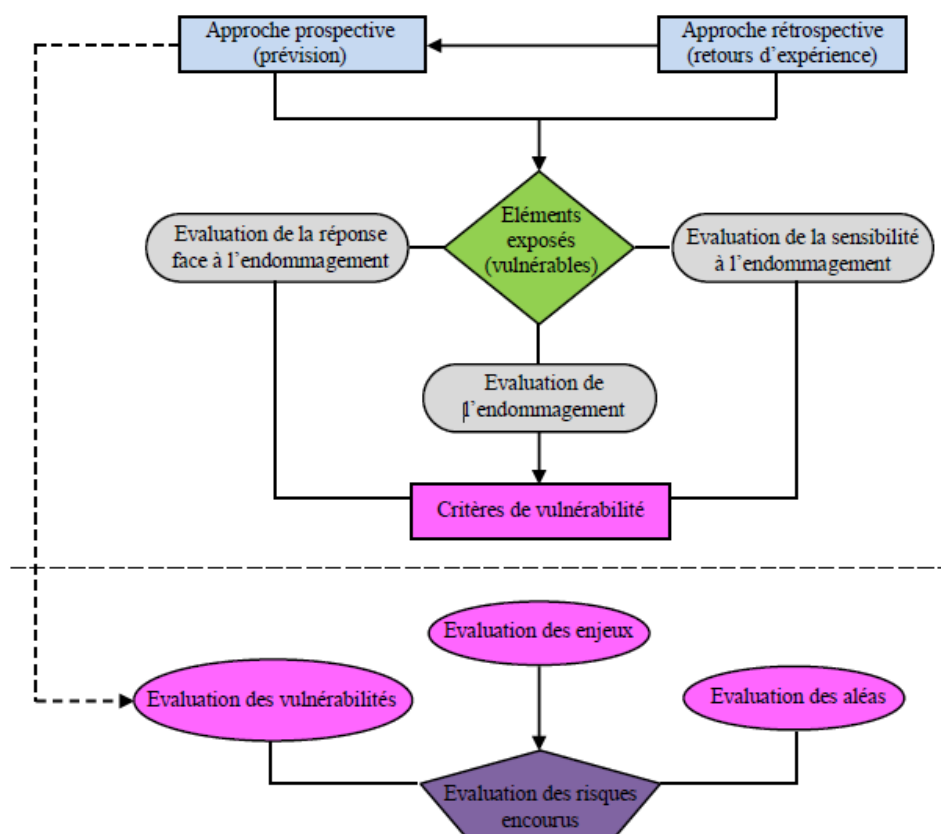
- Soit à travers la sensibilité à l'endommagement,
 - Soit à travers la caractérisation de l'endommagement,
 - Soit à travers la capacité de réponse à l'endommagement.
- **L'évaluation de la sensibilité à l'endommagement** : repose généralement sur l'analyse de facteurs intrinsèques ou extrinsèques à l'élément vulnérable et qui peuvent agir soit directement, soit indirectement. Ces facteurs constituent des causes de vulnérabilité pouvant être quantifiées au moyen d'indicateurs (socio-économique par exemple) ou bien appréciées qualitativement par le biais de diagnostics et d'enquêtes, puis éventuellement pondérés. Cette approche s'inscrit le plus souvent dans une démarche d'évaluation du risque, donc prospective (en cartographie du risque par exemple).

- **La caractérisation d'endommagement** : se traduit par une appréciation des dommages. C'est l'objet même des constats d'endommagement qui peuvent prendre l'aspect de simples descriptions ou bien de quantifications poussées (bilans). Dans le cadre des approches prospectives (scénario), la caractérisation de l'endommagement revêt un caractère le plus souvent quantitatif de mesure et de prévention des dommages ou des pertes potentielles. La vulnérabilité y est alors exprimée :
 - Soit par un taux (coefficient) d'endommagement potentiel (0-1) renvoyant à une échelle d'intensité des dommages (échelles de vulnérabilité) et qui est calculé par rapport à la valeur économique de remplacement (vénale) de l'élément exposé (fonction d'endommagement ou de vulnérabilité). Chaque taux est en général accompagné d'une description des modalités d'endommagement. (Ex. : un taux d'endommagement de 0,1 correspond à un montant économique des dommages équivalent à 10% de la valeur marchande d'une habitation donnée. Cela peut correspondre à des dégâts structurels légers).
 - Soit par un taux de pertes potentielles et relatives (0- 100 %) s'appliquant à un stock d'éléments exposés de même nature susceptible d'être affectés par un même taux d'endommagement potentiel (fonction de pertes). (Ex. : un taux de pertes de 20% correspond à la proportion du bâti concerné par un taux d'endommagement donné).

Le risque correspond alors à l'espérance mathématique du dommage ou des pertes (suivant le type de taux retenu) et son expression analytique est basée sur le produit de la composante temporelle de l'aléa (probabilité d'occurrence), des valeurs des enjeux et de la mesure de leur vulnérabilité (les taux en question). Il va de soi que ces taux d'endommagement ou de pertes dépendent de la nature des éléments exposés (leur résistance ou leur résilience) et de la magnitude du phénomène naturel impliqué (de leurs effets). Ils sont donnés dans le meilleur des cas par des fonctions dites d'endommagement (de vulnérabilité) ou de pertes [25].

- **L'évaluation de la capacité de réponse face à l'endommagement** : passe généralement par l'analyse de l'efficacité des actions et moyens mis en œuvre pour réduire les dommages. Elle s'inscrit donc plutôt dans le cadre de retours d'expérience et est particulièrement adaptée à l'analyse des systèmes et des organisations (institutions) en intégrant à la fois les facteurs aggravant et ceux au contraire limitant la vulnérabilité (analyses de type forces/faiblesses d'un système). On peut cependant chercher à évaluer la capacité de réponse future d'un système dans le cadre de scénarios de gestion de crise basés sur un diagnostic (approche prospective dans ce cas-là). Pour simplifier, on peut établir des correspondances entre ces combinaisons d'approches et les termes usuels s'y rapprochant (**Figure II.7**) : constats d'endommagement, diagnostics de vulnérabilité et scénarii d'endommagement et de gestion de crise, quitte à perdre une certaine information sur la diversité des approches entrant notamment au niveau des constats d'endommagement.

EVOLUTION DES VULNERABILITES



EVOLUTION DES RISQUES

	Rétrospective (déclaré)	Prospective (potentiel)
Sensibilité à l'endommagement		Diagnostics de vulnérabilité
Réponse à l'endommagement	Constats d'endommagement	Scénarii de gestion de crise
Caractérisation de l'endommagement	Retours d'expérience	Scénarii d'endommagement

Fig.II. 7: Synthèse graphique des différentes approches d'évaluation des vulnérabilités. [26]

II.6. AUTRES APPROCHES SUR L'ETUDE DES CONSEQUENCES POTENTIELLES

D'autres auteurs s'intéressaient à la question des conséquences potentielles liées aux glissements de terrain. Si tous s'accordent à dire qu'il faut généraliser les méthodes d'analyses (Léone et al., 1996 ; Glade, 2003 ; Maquaire et al., 2004 ; Bonnard et al., 2004 ou Malet et al., 2006), les approches divergent.

Les méthodes recensées peuvent être classées en trois catégories distinctes : une qui évalue les enjeux et la vulnérabilité, celle qui évaluent les dommages (c.f. tableau 1 de HUBERT et LEDOUX, 1999) et une dernière approche des conséquences potentielles par une analyse semi-empirique et semi-quantitative des enjeux définis en termes de valeur relative d'éléments exposés (Malet et al., 2006).

Le potentiel de dommage ou de perturbation des enjeux n'est pas exprimé comme une grandeur numérique mais comme des classes de valeurs (Maquaire et al., 2004) dans cette troisième approche.[27]

Evaluation des enjeux et de la vulnérabilité	Evaluation des dommages
Méthodes qualitatives	Méthodes quantitatives, monétaire.
Qualifier la vulnérabilité d'un territoire par des indicateurs d'impacts socio économiques, afin d'orienter une stratégie de réduction de la vulnérabilité et des dommages potentiels.	Calcul d'un coût de dommage permettant de savoir si le coût de protection n'est pas supérieur au coût de dommage.
Points positifs	
- Rapide : permet de définir rapidement les zones de déficit de protection nécessitant une étude plus précise. - Facile à mettre en place sous SIG - Adaptée à une analyse à petite ou moyenne échelle.	- Unité monétaire : Facile à comprendre et à présenter pour obtenir des financements pour la protection. Evaluation coût – bénéfice. - Peu paraître plus technique et plus concrète.
Points négatifs	
- Problème de compréhension des indices de risques.	- Difficile de chiffrer monétairement des vies humaines. - Nécessite des estimations de valeur mobilière.

Tableau 1 : comparaison de deux approches (HUBERT et LEDOUX ; 1999) [28]

Le choix d'une méthode d'analyse, plus ou moins complexe, dépend avant tout de l'échelle d'intérêt, des objectifs de l'étude et de la qualité et quantité des données nécessaires. Toutes les méthodes nécessitent l'identification des éléments exposés et la définition de leur valeur, monétaire ou non (Malet et al., 2006).

II.7. CONCLUSION

Suite à ce qu'a été développé dans ce chapitre, l'ambition de toutes ces études est de développer des méthodes d'évaluation de l'aléa et du risque associés aux glissements de terrain.

Cependant, Il n'existe pas de procédé standardisé pour la préparation des cartes de susceptibilité. Il subsiste beaucoup de liberté dans la détermination des étapes à suivre (Suárez 1998).

Par contre, le développement des systèmes d'information géographique (SIG) facilitent maintenant les analyses morphométriques complexes de la surface topographique du terrain naturel, et donc l'évaluation de l'aléa et le risque.

De ce fait, l'objectif de ce mémoire est d'élaborer une méthode d'évaluation du risque, en s'appuyant sur les fonctionnalités des systèmes d'information géographique sous ArcView.

La méthodologie est développée pour le glissement de site urbain d'Azazga, qui sera illustrée dans les chapitres qui suivent.

CHAPITRE III : CARACTERISATION DU GLISSEMENT D'AZAZGA



**VUE
D'ENSEMBLE
DE LA VILLE
D'AZAZGA**

Azazga, une zone sérieusement menacée par le phénomène du glissement. La réactivation du phénomène ces dernières années, a provoqué des dégâts matériels considérables sur les infrastructures et les habitations.

III. INTRODUCTION

L'urbanisation et le développement de la ville d'Azazga, durant ces dernières décennies, ont été largement conditionnés et perturbés par la gestion du phénomène de glissement de terrain, qui s'est manifesté significativement en trois reprises durant les quarante dernières années. C'est ainsi qu'en 1973, 1985 et en 2012 la ville a assisté à des glissements de terrain (sous-sol) relativement importants qui ont touché principalement les parties Nord et Nord-Est de cette agglomération.

Ces moments qui ont marqué l'histoire de la ville d'Azazga et l'esprit de ses habitants, ont été suivis par le lancement d'études géotechniques dans l'objectif est :

- de comprendre et d'évaluer le phénomène et ses comportements dans un premier temps,
- de définir des actions préventives à court terme, a même d'atténuer les effets néfastes de l'urbanisation sur ce phénomène,
- d'apporter des réponses éventuelles quant aux orientations de développement et d'extension urbaine.

Les études ainsi conduites par des laboratoires spécialisés ont permis de cumuler un état de connaissance appréciable du sous-sol qui caractérise le glissement d'Azazga dans différentes parties de la ville. A ce titre ce, chapitre est consacré à une lecture chronologique de ce phénomène de glissement à travers les diverses études entreprises depuis quarante ans. Qu'il s'agisse d'études de glissement ou d'études géotechnique d'urbanisation, toutes ont l'objectif de canaliser la dynamique d'urbanisation de la ville en adéquation avec ce phénomène de glissement.

Aujourd'hui, les zones défavorables à l'urbanisation appelées « zones rouges », constituent 47,65 % du périmètre urbain de la ville, soit une superficie de 439,26 ha sur un total de 921,77 ha. [29]

Les efforts à mener pour contenir cette urbanisation dans un territoire dont la moitié est considéré comme « non constructible » sont importants, et la part des actions préventives d'aménagement de surfaces, de drainage superficiel et de reboisement sont à renforcer et à encourager.

Depuis l'étude de glissement de 1976 qui s'est étalée jusqu'aux limites du périmètre urbain, l'ensemble de celles (études géotechniques d'urbanisation) qui ont suivie et qu' étaient engagées avant le glissement de 2012, ont concerné des aires relativement réduites et préalablement délimitées par des documents d'urbanisme, dont le seul objectif était de vérifier et de définir les conditions de constructibilité ou non, de ces territoires.

Suite au glissement de terrain de 2012, et face au mutisme affiché quand a la maitrise de la vision globale de la gestion de ce glissement, le ministère de l'habitat a confié au laboratoire LNHC une étude spécifique qui devrait s'étaler sur la totalité du périmètre urbain, de rassembler et synthétiser toutes les données disponibles sur le glissement d'Azazga, et enfin de proposer une feuille de route ainsi que la nature des études nécessaires au complètement de l'état des connaissances accumulées afin de cerner ce phénomène.

III.1. SITUATION ET PRESENTATION DE L'OBJET DE L'ETUDE

III.1.1. Situation et position géographique de la ville d'azazga



Fig.III. 1: AZAZGA - ville en plein expansion, menacée par le glissement de terrain.

Azazga, chef-lieu de Daira, est située au Nord-Est de la Grande Kabylie, distante de **137 Km** à l'Est d'Alger et à **37 km** au l'Est de Tizi-Ouzou (Chef-lieu de Wilaya). La région d'Azazga est limitée au Nord par le massif côtier de la Grande Kabylie, à l'Ouest par la vallée du Sébaou, au sud et à l'Est par le massif montagneux de la chaîne du Djurdjura.

La commune d'Azazga, en tant que circonscription administrative, est limitée à l'Est par la commune de Yakourene, au nord par les communes d'Aghribs et Akkerou, à l'Ouest par la commune de Fréha et au Sud par les communes de Mekla, Ait khelili et Souamaa.



Fig.III. 2: Situation géographique de la commune d'AZAZGA

La ville d'Azazga occupe une position stratégique dans l'armature routière régionale. Elle est située au croisement de deux routes nationales, la RN 12 et la RN 71 ; la première la traverse d'Est en Ouest reliant Tizi-Ouzou à Béjaia, la deuxième du Nord au Sud reliant les régions d'Ain El Hammam et Azeffoun.



Fig.III. 3: Situation de la ville d'Azazga par rapport au réseau routier national.

III.1.2. Localisation du périmètre d'étude

La zone d'étude concerne le site urbain de la ville d'Azazga, dont les limites sont définies par les instruments d'urbanisme en vigueur, à savoir le Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme (PDAU) de la commune d'Azazga. Son périmètre couvre une superficie totale d'environ 9,2 Km², dont les coordonnées géographiques sont données ci-dessous :

(Cordonnées correspondantes au système UTM Nord Sahara, fuseau 31)

- X varie entre 616 330.9 et 4 060 701.4 m
- Y varie entre 628 333.6 et 4 072 830.9 m

La zone d'étude est limitée géographiquement :

- au Nord par Ighzer –Aboud (Affluent de l'Oued Dis).
- à l'Est et au sud –est par le massif du Djebel El-Abed.
- à l'Ouest par Freha.
- au Sud par le village de Cheurfa.

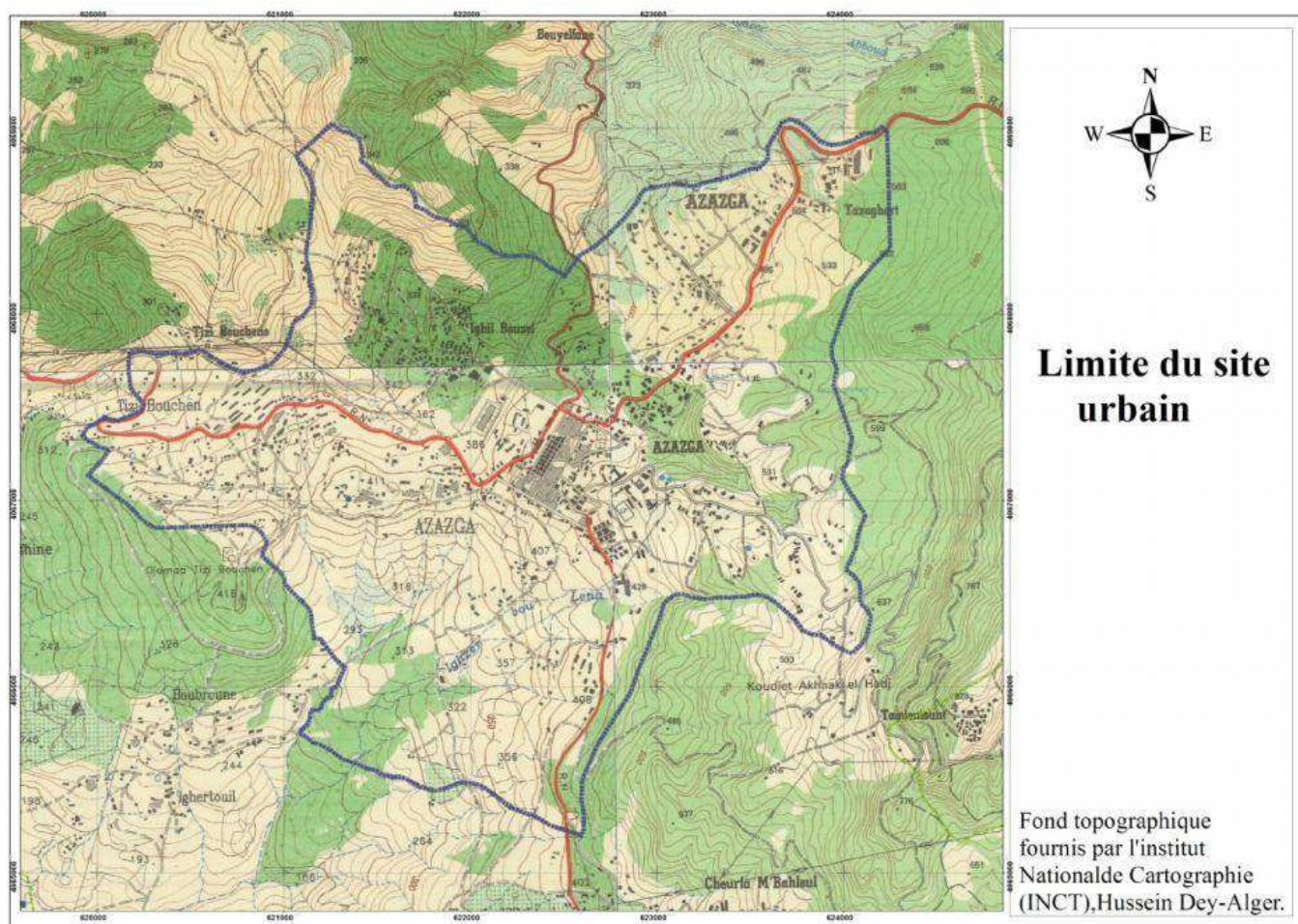


Fig.III. 4: Carte de situation de la région d'étude.

III.1.3 Description du glissement étudié

La ville d'Azazga est située dans des terrains argileux et marneux (flysch). Elle est localisée à une altitude d'environ 450 m dans un replat. Cette région a connu depuis 1952 plusieurs manifestations de glissement de terrain. En 1985, les instabilités ont affectée une superficie d'environ 439.56 ha (LCTP, 2003). La dernière manifestation date de février 2012, où on a assisté à une réactivation des instabilités déjà connues, et ce suite à une longue période neigeuse.

Le glissement du centre-ville s'est manifesté sur un territoire dont la topographie est caractérisée par une faible pente (inclinaison de 10° à 15°) et fortement urbanisé. Ce versant est soumis au processus d'érosion superficielle, dû aux ruissellements et à l'érosion profonde (marquée par la présence de plusieurs sources d'eau dans ce versant). Par ailleurs, les enjeux de ce mouvement sont très lourds, du fait qu'il met en danger un territoire urbanisé et plusieurs ouvrages et infrastructures de base.

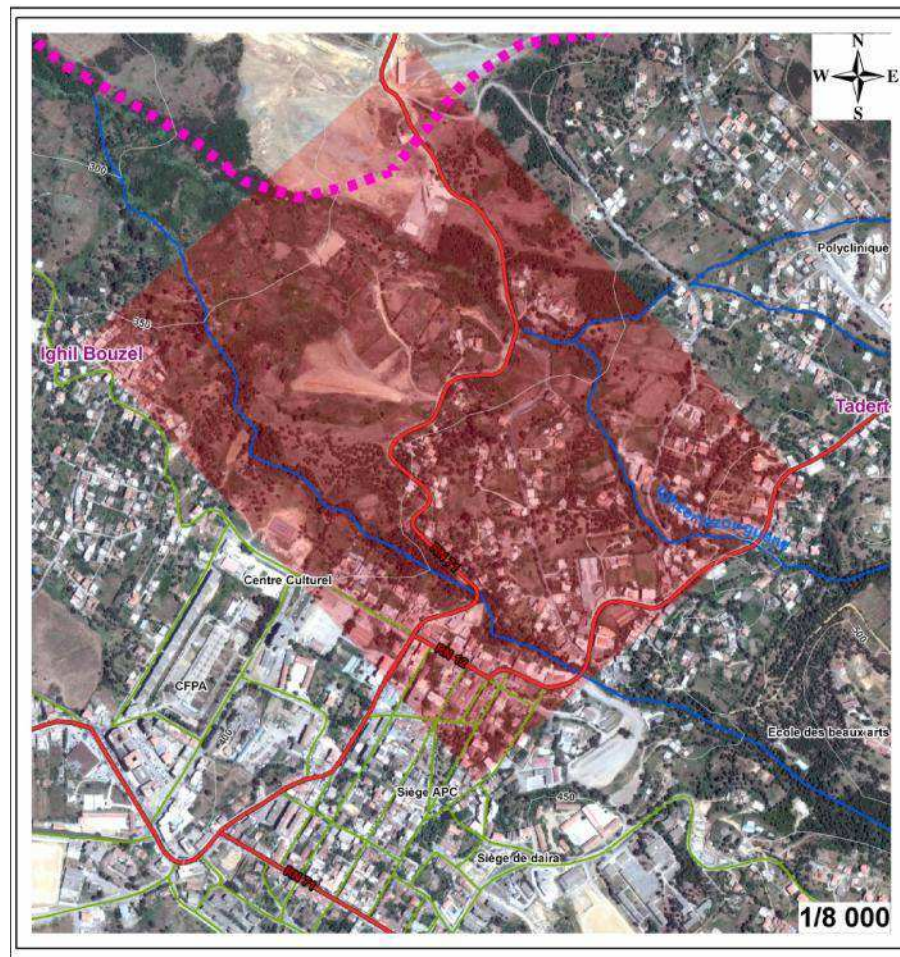


Fig.III. 5. Localisation du glissement du centre-ville d'Azazga

III.2 LES CONDITIONS MAJEURES A LA FORMATION DU GLISSEMENT DE TERRAIN D'AZAZGA

III.2.1. Contexte Géologique

III.2.1.1. Cadre Géologique Régional

La zone objet de la présente étude est située en grande Kabylie, dans les zones internes de la chaîne des Maghrébides.

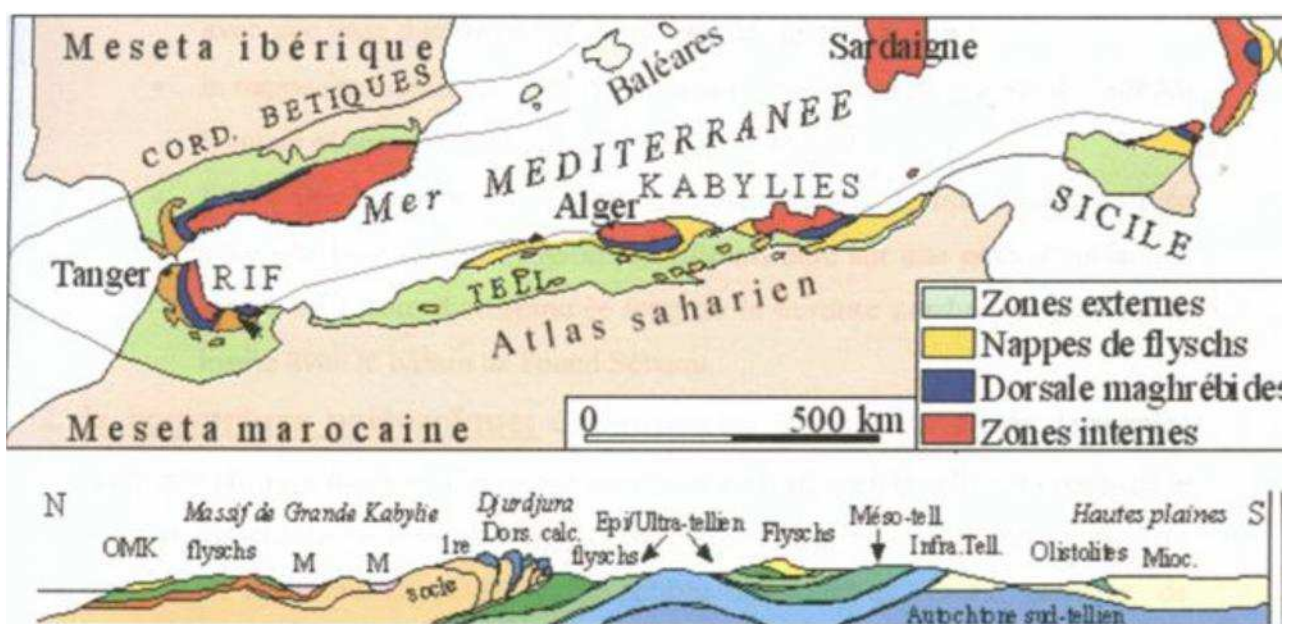


Fig.III. 6: Carte structurale schématique de la chaîne maghrébide montrant la disposition des zones externes et des zones internes de la grande Kabylie (Durand Delga 1980).

La grande Kabylie comprend des massifs cristallins et cristallophylliens anciens, d'âge panafricains et hercynien (G.BOSSIERE et JP PEUCOT ,1986 ; 1991) et la chaîne montagneuse étroite du Djurdjura. Cette dernière, constituée principalement de calcaire mésozoïque, a été qualifiée de chaîne calcaire par L DURANT DELGA(1969) [30].

En grande Kabylie, se succèdent des éléments de relief parallèles, de dimensions inégales, depuis la côte jusqu'aux régions méridionales du versant sud de la chaîne du Djurdjura.

Les éléments majeurs du relief sont les zones élevées, développées en roches dures :

- Au sud, la chaîne du lias du Djurdjura.
- Vers le Nord, les séries cristallophylliennes du socle de la grande Kabylie.
- A l'Est et au Nord, les grès quartzitiques du Numidien.
- Une vaste zone déprimée correspond au synclinal de Tizi ouzou où sont venus s'empiler les séries tendres de l'Eocène « post-nappe ».

Les éléments mineurs du relief sont des chaînons anticlinaux ;

- Développés dans les séries cristallophylliennes pour les massifs de Naciria, Sidi Aali Bounab et Ait Aissa Mimoune, qui s'alignent dans le bassin de Tizi ousou.
- Développés dans les conglomérats ou les molasses du miocène « post-nappe » pour les djebels du Drakarroche et de Litama, qui limitent le synclinal de Tizi ousou au Nord-Ouest et les chaînons côtiers des djebels Bou Berak , Takdempt et Gueblia de la basse vallée du Sebaou.

La lecture des cartes géologiques au 1/50.000 du Nord-ouest et Nord-est de la grande kabylie (respectivement E.Ficher et Jacob 1903, D Raymond 1976 et JP Gélard 1979) nous permet de distinguer les neufs (09) formations suivantes :

■ Le socle kabyle :

Considéré comme étant le substratum de la dorsale kabyle, de formation cristallophylliennes, d'âge protérozoïque et paléozoïque inférieur, il est subdivisé en trois unités distinctes :

- Le cristallophyllien inférieur, gneissique à intercalation de marbre et d'amphibolites, le tout est recoupé par des filons de quartz et de tourmalines.
- Le cristallophyllien supérieur, essentiellement composé de schistes satinés ou phyllades à quartz alternant localement avec des grés, des porphyroïdes œillets et des lentilles de calcaires métamorphiques.
- La couverture sédimentaire d'âge paléozoïque, discordante sur les phyllades ; elles sont de formations pélitiques gréseuses et carbonatées, peu ou pas métamorphique, cette couverture est connue depuis le cambrien supérieur.

■ La dorsale kabyle :

Forme la limite entre les zones externes et les zones internes, elle est discordante sur le socle où elle forme sa couverture d'âge paléozoïque, et est caractérisée aussi par des terrains essentiellement carbonatés (D. Delga 1969) daté du Permo-Trias au Miocène, elle chevauche les flyschs.

La dorsale présente une structure en écaille, (L Powpeir, 1967 ; Durant Delga 1969, Delteil

1974,1979, Coutelle 1979 et Belhai 1987), subdivisée en trois édifices structuraux :

- La dorsale interne : qui se trouve isolée au Nord du massif de Chellata, elle est séparée des autres par de larges affleurements de socle, elle est par ailleurs peu tectonisée (JP Gelard 1979) et constitue l'unité de Berkaise.
- La dorsale médiane : occupe une partie centrale du massif de chellata , formant l'unité de Beni Zikki . Elle est limitée au Nord-ouest par le socle cristallophyllien et au Sud par un accident de direction Sud-ouest –Nord-est.
- La dorsale externe : se trouve dans la moitié Sud du massif de chellata, on lui attribue l'unité de Chellata.

■ L'oligo-miocène kabyle (O M K) :

Décrit sous le nom de l'Oligo-Miocène Kabyle par A.Caire 1965, JP Bouillin et LA. Aoult 1971, l'OMK est une formation conglomératique gréseuse, suivie d'une argile à rares petits bancs microbréchiques riches en débris de socles, cet ensemble se termine au sommet par des calcaires silicifiés.

Formation transgressive, elle repose en discordance sur le socle métamorphique de la grande Kabylie, et affleure à Ain el Bir au Nord-ouest du djebel Belloua , à Kouanine , Azib bou Moussa , dans la région de Draa el Misan , Tbouda , Mreira et les Ouadhias (D. Raymond ,1976 ; JP Gerald , 1979).

■ L'unité Numidienne :

Cette unité est composée de bas en haut par les trois ensembles suivants :

- Les grès sous numidiennes de couleur versicolore d'âge oligocène.
- Les grès du numidien d'âge aquitainien.
- les argiles supra-numidiennes formées par un assemblage d'argiles et de marnes intercalées de sélinites d'âge aquitainien supérieur à burdigalien inférieur.

Ces formations désignent les dépôts succédant à la phase finie oligocène et affleurent selon Gelard (1979) dans les massifs d'Akfadou, à l'Est d'Azazga et dans la forêt de Mizrana.

■ Les flyschs :

Il existe deux types de flyschs :

- Les flyschs Mauritaniens, constitués de matériel provenant de débris du crétacé supérieur de la dorsale kabyle.
- Les flyschs Massyliens, constitués de fragments de roches provenant des zones externes de type Babor .

Entre ces deux types de flyschs s'installent des séries intermédiaires :

- Les flyschs du haut Sebaou- Azazga, ils présentent des affinités à la fois Massyliennes et Mauritaniennes, et affleurent entre le socle et le Numidien dans la forêt d'Aghribs (JP Gélard 1979).
- Les flyschs d'Afir-Azeffoune, qui affleurent au Sud-est de Dellys dans la forêt d'Azeffoun.

■ L'unité Tellienne de Dellys :

Formation connue depuis le Crétacé supérieur à l'éocène, elle occupe de vastes surfaces entre Baghlia et Ait Raouna, on distingue :

- La série d'âge Crétacé supérieur, de formes variables dans le détail mais

montrant une sédimentation rythmique calcaire – marneuse.

- L'éocène très caractéristique, formé par un calcaire d'âge Yprésien-Lutétien inférieur, le tout surmonté par des marnes noires d'âge Lutétien (D. Raymond, 1976).

■ Les Olistostromes ou argiles à blocs :

Formations constituées par une matrice tendre (argileuse et marneuse) litée ou chaotique, contenant des éléments de tailles variables (olistolites) d'âge Aquitanien sub-burdigalien inférieur (JP Bouillon, 1973). Ces formations sont liées à la mise en place des nappes sur les domaines internes.

■ Les Formations « post nappes » :

Formations sédimentaires en discordance sur les nappes, elles sont d'âge miocène et pliocène, forment le bassin de Tizi ouzou qui s'étend d'Ouest en Est sur 70 km de long et sur une largeur d'environ 15 km. On distingue :

- Le miocène qui se manifeste dans la région d'Azazga et Dellys sur une grande zone synclinale.
- Les roches volcaniques, qui se trouvent aux seins des mollasses d'âge Miocène ou se développe un cortège de roches volcaniques, à savoir les basaltes, rhyolites et les tufs. Ces formations sont en relation avec le centre éruptif de Cap djinet et affleurent au djebel Takdempt, à l'Est du djebel Bou barek, dans la région de Guennama et au versant Nord du massif de Naciria.
- Le pliocène, qui repose en discordance sur le Burdigalien supérieur, il est représenté par des marnes grises affleurant dans la région de Dellys, dans la vallée de l'oued El arba et à djebel Arabet.

■ Les Formations Quaternaires :

Elles sont représentées dans la vallée de l'oued Sebaou par des dépôts alluvionnaires anciens et actuels, dont les âges pour les termes anciens et récents sont indéterminés, il s'agit de niveaux à galets, sables gros et fins, graviers, limons et argiles ; ces dépôts se présentent sous formes de terrasses emboîtées ou étagées.

III.2.1.2. La géologie locale

L'exploitation des données d'archives disponibles (rapport d'études géotechniques, carte géologique...) nous a permis d'identifier les faciès présents dans la région d'Azazga.

III.2.1.2.1. Cartographie photo géologique – carte des formations superficielles

La photogéologie est une technique qui permet d'obtenir des informations qualitatives et quantitatives à partir de la photographie aérienne. Elle est basée sur l'interprétation de la photographie aérienne utilisée comme cartes de base, permettant de fournir des données d'ordre géomorphologique (terrasse alluviale, cônes de déjection..), structurelles (fracturations et déformations), sédimentologiques (dispositions des formations géologiques) et hydrogéologique (recensement des sources). [31]

La carte photogéologique de la zone urbaine d'étude, élaborée par le centre de génie parasismique (CGS) en 2010, nous montre la distribution de la formation géologique de surface.

III.2.1.2.2. Description lithologique des formations

Les dépôts de surface dans la zone d'étude urbaine peuvent être subdivisés en ensembles lithologiques distincts (carte au-dessus) :

- **Les flyschs du Crétacé ou les flyschs du Haut Sebaou -Azazga :**

Il couvre le secteur Nord et Ouest de la ville, il est formé d'une épaisse série argileuse de teinte bleue vive (figures III.10 et III.11), très schisteuse, à petit banc de grés et de marnes en plaquettes (photo III.12), intercalées de petit banc de calcaire. Les affleurements sont souvent masqués par un terrain superficiel fortement boisé et par la construction.

L'analyse des descriptions lithologiques des coupes de sondages réalisées à partir des études géotechniques recueillies, a montré la série stratigraphique suivante :

- o Des argiles grises, très remaniées et plastiques à saturation. Cette formation d'épaisseur variable (**4 à 10 m**) est répartie sur l'ensemble de la ville. Ces argiles correspondent au toit altéré du substratum argileux sous-jacent.
- o Des argiles grises verdâtre finement litées et compactes, épaisses (**plus de 20 m**), formant le substratum du site. Elles sont généralement denses, bien récupérées par des sondages, bien qu'elles conservent un caractère fiable, hérité de leur structure plissée et leur litage fin.

De par leur nature, leur forte sensibilité à l'érosion et leur position morphologique, elles ont une forte susceptibilité aux glissements de terrain et peuvent être l'origine des coulées

de boue.

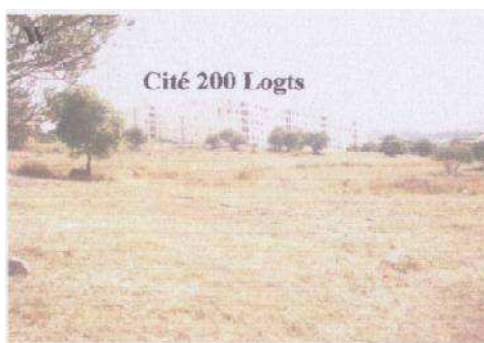


Fig.III. 7. Epaisse série argileuse au centre ville d'Azazga.



Fig.III. 8 Vastes terrains d'argiles schisteuses crétacées au sud de la ville.

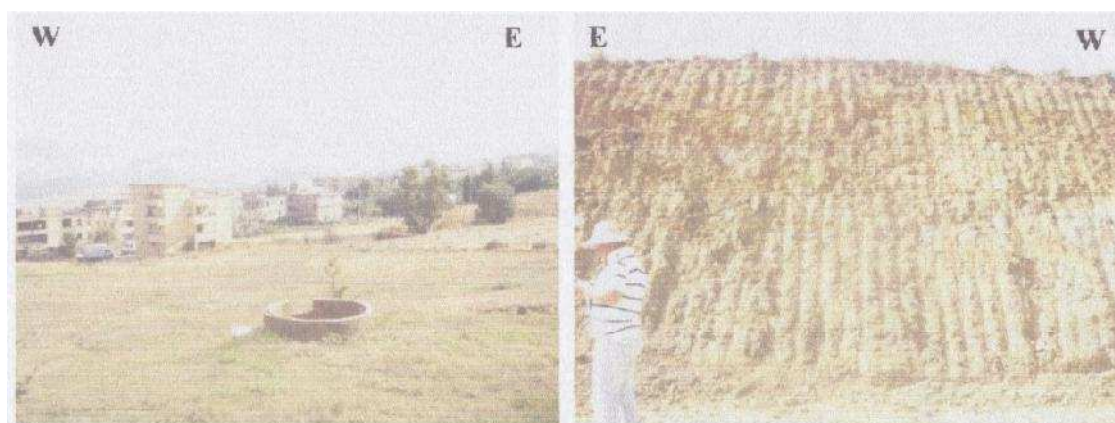


Fig.III. 9. Marnes à plaquette microbréchiques à Tizi Bouchene.

- **Les argiles et grès sous numidiens :**

Correspondent à une puissante assise d'argiles feuilletées, rouges ou vertes avec intercalation de grès et de calcaires marneux, verdâtres assez durs. Elles affleurent au pied du Djebel El Abed et le long de la RN12 menant vers Yakouren.



Fig.III. 10 Séries d'argiles rouges feuilletées, RN 12, terrassements à proximité de l'hôpital



Fig.III. 11 Séries d'argiles rouges feuilletées, terrassements de l'évitement Azazga



Fig.III. 12. Argiles vertes au village de Tala Koucheh (Nord de la ville).

- **Les grès du Numidien :**

Datés de l'Aquitaniien, c'est une épaisse série gréseuse, massive, formant les principaux reliefs entre Azazga et Yakouren, du Djebel El Abed à l'Est, la crête de Djemaa -Bouchen (*photos III 16*) au Sud –Ouest, les corniches du flanc Sud de Tizi-Bouchen (*photos III 17*), ainsi à l'extrémité Sud, au niveau de Tizi n'fliki (*photo III 18*), et à l'extrémité Nord de la ville. Ce sont des grès quartziteux jaunes, massifs, découpés en panneaux par un système de failles, visibles immédiatement à l'Ouest de la ville (*photos III 16*). Dans la région des chalets et en amont du C.W17, ces panneaux sont effondrés par rapport au numidiens en place (reliefs de Djebel El Abed).

L'analyse de la description des coupes de sondages issues des études géotechniques réalisées au niveau de la ville, a montré des grès friable d'épaisseur demi-métrique à la base en alternance avec des sables fins jaunâtres, épais (**8 à 12 m**), limoneux au sommet.

Ces sables meubles proviennent particulièrement de l'altération des grès numidiens qui forment le massif dominant la ville d'Azazga au Nord (Djebel Abed).

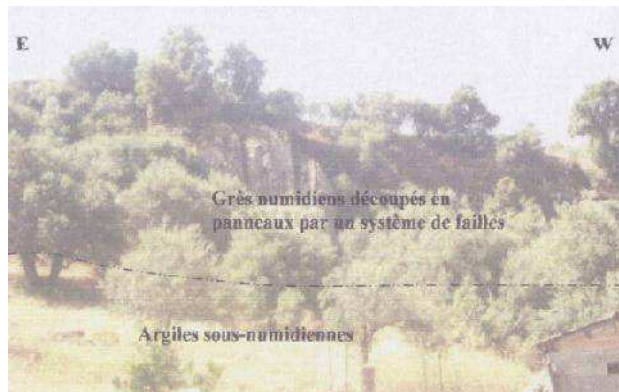


Fig.III. 13.Photo montrant le contact argiles Sous – numidiennes et grès numidiens à Djema-Bouchen.



Fig.III. 14.Grès numidiens fracturés à Tizi-Bouchen (l'extrémité Ouest de la ville).



Fig.III. 15.Grès numidiens fracturés à Tizi-n'flicki (l'extrémité Sud de la ville).

- **Les éboulis numidiens:**

Ces éboulis occupent de vastes surfaces dans la région d'Azazga, où se développe une végétation de maquis, associée au chêne liège. Ce sont des blocs de grès, parfois de taille importante (Plusieurs m³), emballés dans une matrice argilo-sableuse, gris rougeâtre et jaunâtre, provenant de l'altération des grès numidiens du relief du Djebel El Abed.

Les éboulis forment une nappe sur laquelle a été bâtie la ville d'Azazga et sur laquelle se développent les deux principaux vallons (Ighzer-lazoughen et le Bou-léna).

L'analyse des sondages carottés issus des dossiers géotechniques recueillis, a permis de reconstituer l'épaisseur des éboulis qui varie de **30 à 35 m** au Nord de la ville, au niveau des villages de Tala Koucheh et de Ighil-Bouzel, de **10 à 15 m** au centre-ville et moins de **5 m** dans le secteur Sud-Est.



Fig.III. 16. Altération éboulis-marnes-argiles rouges (Terrassements de l'évitement d'Azazga).



Fig.III. 17. Série d'éboulis effondrés lors des terrassements de l'évitement d'Azazga.

- **Le Miocène post-nappes :**

Le Miocène post-nappes du bassin de Tizi-Ouzou est très étendu dans la zone synclinale entre Azazga et Dellys et repose sur le flysch crétacé, entre Fréha et Azazga constituant le substratum des formations alluviales aquifères.

Le Miocènes post-nappes n'affleure pas à l'intérieur du site urbain, il affleure principalement à l'extrémité Nord-Ouest d'Azazga et au Sud de Djemâa Bouchen. Il est formé par une série argilo-marneuse reposant en discordance avec les grès numidiens.

- **Conclusion**

Toutes ces formations décrites sont allochtones, à l'exception des éboulis. Elles ont donc subi un déplacement pendant ou après leurs sédimentations, formant ainsi deux unités principales :

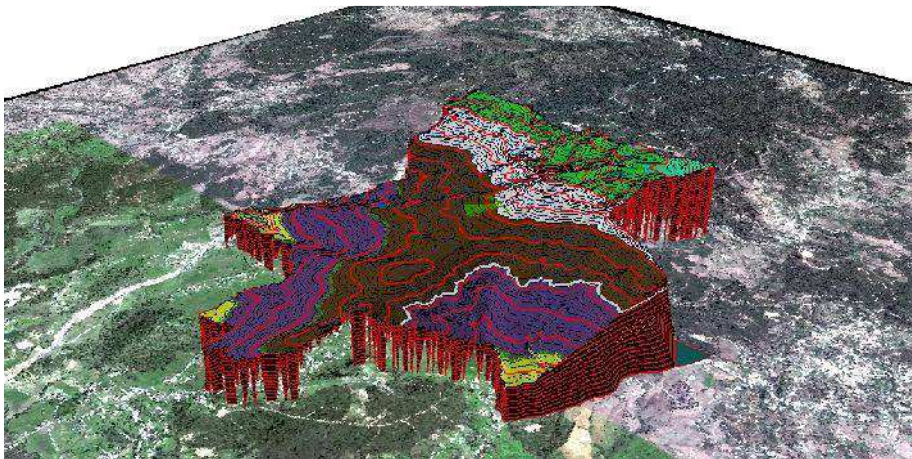
- L'unité des flyschs d'Azazga, composée de deux termes argilo-marneux à petits bancs de grès ;
- L'unité numidienne constituée d'argiles à la base (oligocène) et de grès au sommet (aquitanien).

Ces deux unités sont séparées par un contact anormal majeur de direction Nord-Sud passant à l'Est Azazga. Suite à cette tectonique tangentielle, une tectonique cassante, marquée par un système de failles verticales, découpe les grès numidiens en panneaux effondrés par rapport au grès du djebel Abed.

III.2.2. Contexte Géomorphologique



Fig.III. 18: Vue d'ensemble de la ville d'Azazga.



Le territoire de la ville d'Azazga représente un espace de liaison (piémont) entre la haute montagne et la plaine de Sebaou et correspond à un large versant orienté Est–Ouest qui prend naissance au pied du Djebel El Abed à l'Est et s'étend à l'Ouest vers la vallée. Le Djebel El Abed correspond à une ligne de crête qui borde le site d'étude du côté Nord-Est avec une altitude moyenne de 700 m. [32]

La morphologie du site est assez tourmentée, aménagée dans une structure de nappes telliennes et marquée par des formes plus au moins régulières : talus, replat, boursouflures et contrepentes. D'une façon générale, le territoire de la ville d'Azazga est composé de trois entités physiques, à savoir :

- un plateau,
- Et deux versants, l'un exposé au Nord et l'autre au Sud.

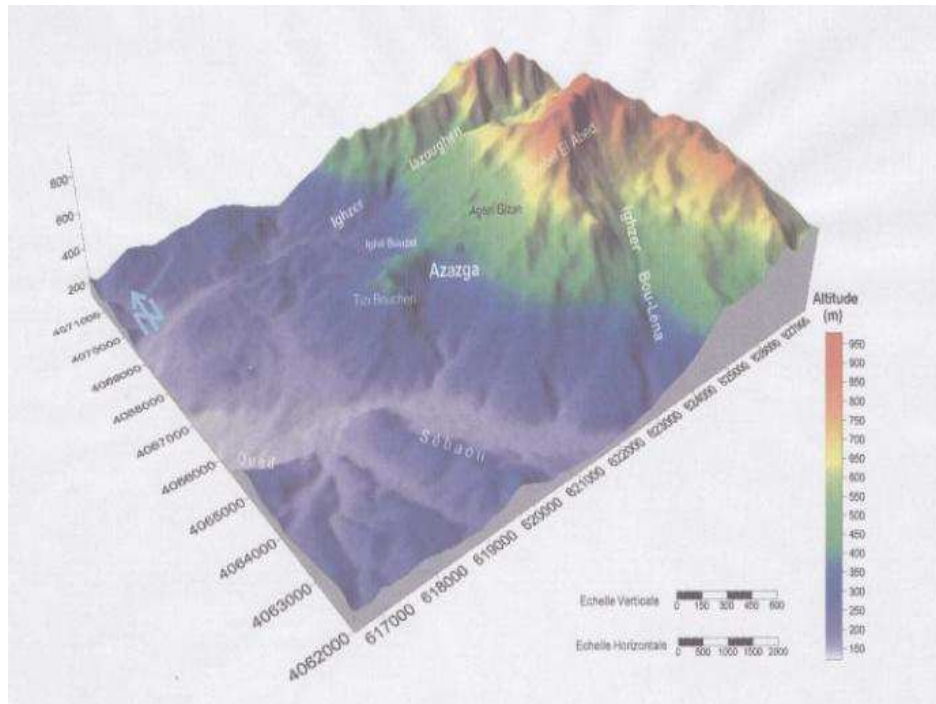


Fig.III. 19.Modèle numérique de terrain (MNT) montrant la géomorphologie de la région d'AZAZGA. [32]

III.2.2.1. Le plateau

Les altitudes varient, en générale, entre **404 m et 576 m**, soit une moyenne de 450m ; d'aspect ondulé, il s'incline du Sud-Est (538m-chalets) vers le Nord-Ouest (404m-Djemâa- Bouchen).

III.2.2. 2. Le versant Nord

C'est un large versant qui s'étale sur près de 1500 m de longueur et 500m de largeur en moyenne, les altitudes varient entre **250m et 380 m**, soit une moyenne de 260 m. Ce versant est découpé en croupes convexes qui s'allongent du Sud-Est au Nord-Ouest et du sud au Nord.

III.2.2.3. Le versant Sud

Il correspond à un large versant concave dont les altitudes varient entre **350m et 150m**. Les pentes sont en générale plus fortes que celle de l'ensemble situé au Nord, elles varient en moyenne entre 25 et 30 degrés. Ce versant est découpé par un réseau hydrographique dense, les écoulements sont intermittents, le plus important étant Ighzer Bouléna dont l'encaissement atteint 20m environ, il se déverse au Sud dans l'Actif N'boubhir (affluent de l'Oued Sébaou).

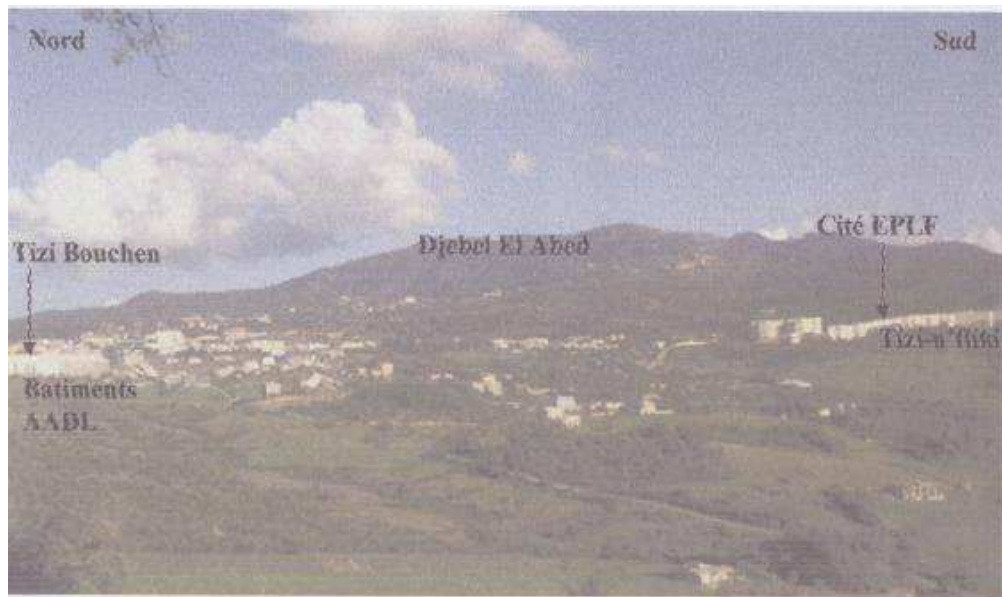


Fig.III. 20. Vue générale du piémont sud de la région d'Azazga

III.2.3. Contexte Sismique

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

Les désordres induits par les séismes au niveau du sol représentent la cause principale des dégâts liés aux glissements de terrain. Ils sont de diverses natures et parfois même le résultat et la combinaison de plusieurs types de désordres.

Tout phénomène sismique se manifeste par des vibrations au niveau du sol, généré par les ondes sismiques, et font état d'apparition de failles en surface lorsque les séismes sont de fortes magnitudes.

Les instabilités liées aux séismes concernent entre autres :

- Les glissements de terrain,
- Les ruptures de failles en surface.

A ce titre, la conception et la réalisation des ouvrages devront donc, tenir compte de la sismicité de la région et se conformer à la réglementation parasismique en vigueur (CGS, 2003) ; celle-ci classe les zones sismiques comme suit : (voir nouvelle carte de zonage sismique du territoire national après addenda).

Classification	Degré de sismicité
Zone 0	sismicité négligeable
Zone I	sismicité faible
Zones IIa et IIb	sismicité moyenne
Zone III	sismicité élevée

Tableau.III. 1 : Zoning sismique de l'Algérie (CGS.2003)

Les valeurs estimées du coefficient d'accélération maximale, suivant le zoning sismique établi, sont donnés sur le tableau suivant :

Groupe	ZONE			
	I	IIa	IIb	III
1 A	0,15	0,25	0,30	0,40
1 B	0,12	0,20	0,25	0,30
2	0,10	0,15	0,20	0,25
3	0.07	0.10	0.14	0.18

Tableau.III. 2: Valeurs d'accélération par zones sismiques (CGS.2003) [33]

La conception et la réalisation de tout projet, doivent prendre en compte l'aléa sismique de la région, en se référant au règlement parasismique algérien réajusté après le séisme de 21/05/2003. La région de Tizi-ouzou est classée dans la zone de moyenne sismicité (Zone II-a).

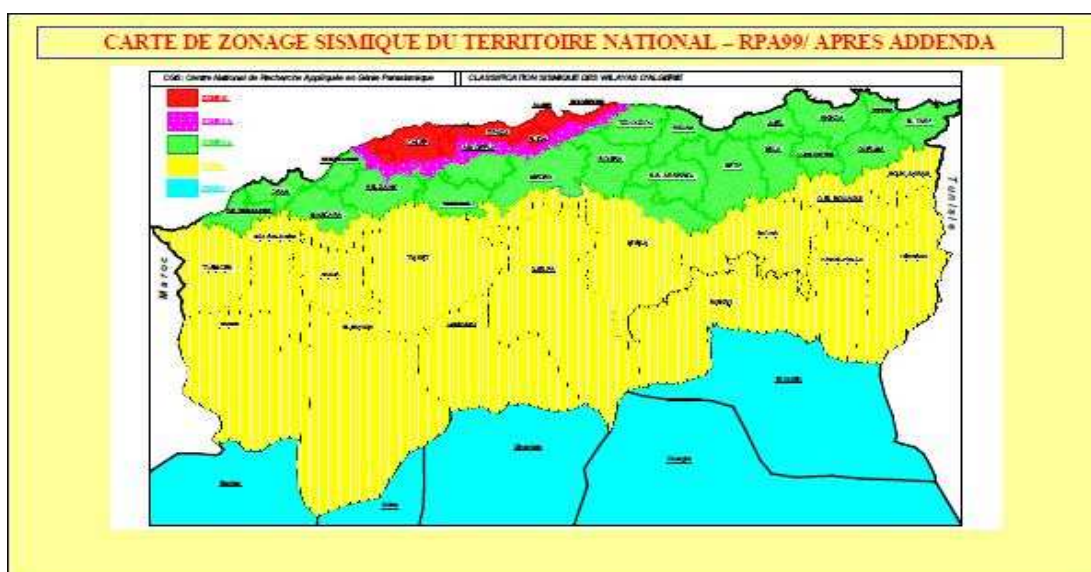


Fig.III. 21.Carte de zonage sismique du territoire national. (RPA99/APRES ADDENDA)

III.2.4. Contexte Hydro-climatologique

Les données hydro-climatologiques sont synthétisées à partir des informations recueillies auprès de la station météorologique de Dar El Beida. [34]

III.2.4.1. Le climat

Le climat de la région d’Azazga est celui d’une moyenne montagne méditerranéenne, la pluviométrie est assez élevée mais également répartie durant l’année. Elle fait apparaître l’opposition d’une saison hivernale relativement humide et une saison estivale beaucoup plus sèche.

A- La température

L’analyse des valeurs mensuelles des températures (tableau III.3), suggère les remarques suivantes :

- La température moyenne est de 18.70°C ;
- La température minimale moyenne mensuelle est observée au mois de janvier avec une valeur de 10.50°C ;
- La température maximale moyenne mensuelle est observée au mois d’août avec une valeur de 28.65°C.
- Une progression de la température de janvier à août (10.50°C à 28.65°C).
- Une régression de la température d’août à décembre (28.65°C à 11.57°C) ;
- Une période chaude dont la température est supérieure à la température moyenne, qui s’étale de mai à octobre.
- Une période relativement froide dont la température est inférieure à la température moyenne, et s’étale d’octobre à avril.

Mois	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou
T° max	31.29	25.92	20.19	16.16	15.48	17.12	19.53	20.88	26.01	30.67	35.12	36.20
T° min	18.20	14.14	10.21	7.02	5.55	5.78	7.29	7.88	13.00	16.83	20.23	20.93
T° moy	24.70	20.00	15.62	11.57	10.50	11.41	13.37	14.85	19.49	23.72	27.62	28.65

Tableau.III. 3: variation de la température moyenne mensuelle.

B- La pluviométrie

En considérant la période comprise entre 1920 et 1997, les moyennes annuelles des précipitations sont de l'ordre de 650mm (Tableau III.4).

Les valeurs minimales sont observées aux mois de juin, juillet et août et les valeurs maximales, aux mois de décembre, janvier et février.

Mois	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Total annuel
1920 / 1938	37	75	127	173	152	100	95	59	49	19	1	6	893
1984	24.5	71.8	76.6	139	98.9	83.6	98.5	75.4	39.2	13	6.5	4.1	731.30
1992	5.7	75.9	21.1	180.2	50.3	71.3	27.2	125.6	53	0.4	0	8.6	619.30
1993	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	587.58
1994	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	717.20
1995	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	649.20
1996	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	711.50
1997	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	224.60

Tableau.III. 4: Variation des précipitations moyennes mensuelles et annuelles.

La période allant de 1984 à 1997 connaît une perturbation des précipitations. La valeur minimale qui est de 224 mm est enregistrée en 1988, quant à la valeur maximale, qui est de l'ordre de 717mm, elle est observée en 1995.

III.2.4.2. Hydrologie

La perturbation des précipitations dans la région d'Azazga engendre un régime hydrographique irrégulier. Durant l'été, les oueds sont à sec, par contre, la période pluvieuse favorise un écoulement notable et un transport important de sédiments.

III.2.4.3. Le régime des eaux

Il existe une présence d'eaux souterraines sous forme de nappes pelliculaires, qui se développent en période pluviale, dans les éboulis du Numidien constitués de grès grossiers altérés à matrice argilo-limoneuse peu sableuse. L'infiltration de ces eaux dans les niveaux sous-jacents à savoir les flysch et les argiles miocènes forme des niveaux d'eau souterraine sous forme de nappes semi-profondes.

Les conditions hydrogéologiques du sous-sol, souvent saturé expliquent bien la faible stabilité des sols en place vis-à-vis des glissements de terrain, dès que les pentes naturelles dépassent le seuil des 15%.

III.3. CAUSES DU DECLENCHEMENT ET REACTIVATION DU GLISSEMENT DE TERRAIN D'AZZAZGA

Pour le site urbain d'Azazga, La nature géologique des terrains en place est un des principaux facteurs d'apparition de ces phénomènes tout comme l'eau et la pente. Les matériaux affectés sont très variés (les éboulis du Numidien constitués de grés grossiers altérés à matrice argilo- limoneuse, les flyschs et les argiles miocènes). Mais globalement, la présence d'argile en forte proportion est toujours un élément défavorable compte tenu de ses mauvaises caractéristiques mécaniques. La saturation des terrains en eau (présences de sources, fortes précipitations, fonte des neiges brutales) joue aussi un rôle moteur dans le déclenchement de ces phénomènes. Pour qu'un phénomène de glissement de terrain puisse prendre naissance, la présence simultanée de plusieurs facteurs est requise. Autant l'instabilité de versant est d'une grande ampleur, autant le nombre de facteurs impliqués dans sa genèse est important. On distingue ainsi les facteurs conditionnant et les facteurs déclenchant :

III.3.1. Les facteurs conditionnant

Les facteurs conditionnant sont ceux qui déterminent les conditions de stabilité ou d'instabilité d'un site :

III.3.1.1. Synthèse des études géologiques et géotechniques du site

La synthèse des études géologiques et géotechniques effectuée a permis de mettre en évidence la lithologie des formations constituant le site étudié et d'apporter une première appréciation sur leurs caractéristiques géotechniques du site de la ville d'Azazga. Elle est basée sur les observations extérieures de surface et l'exploitation des études géologiques et géotechniques antérieures, réalisées au niveau du site et ses alentours.

La multitude d'études géotechniques, sondages et études de sols ponctuelles réalisées dans les différentes parties de la ville (figure III.12), ainsi que les essais de laboratoire in situ effectués par le laboratoire national des Travaux Publics (L.C.T.P), constitue une masse de données non négligeable pour la reconnaissance et l'analyse de sol de la ville d'Azazga.

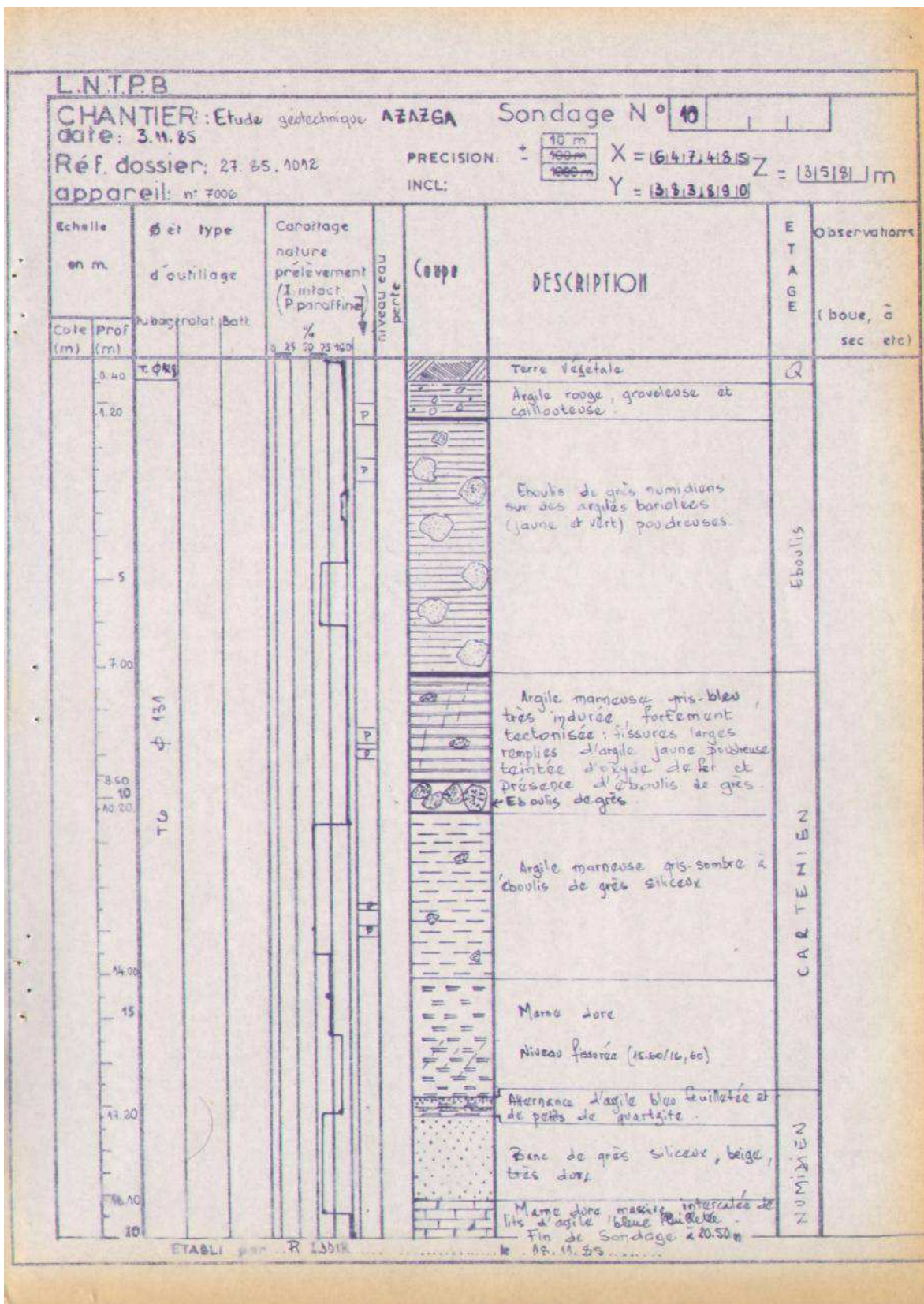


Fig.III. 22. Exemple d'une coupe d'un sondage réalisé dans l'étude géotechnique 1986.

L'investigation et l'analyse des résultats issus des différentes études réalisées à l'intérieur du site urbain d'Azazga et ses alentours, qu'elles soient des études géotechnique d'urbanisation ou des études de sol ponctuelles, nous ont permis d'identifier les diverses formations lithologiques qui caractérisent le sous-sol de ce territoire, objet de notre étude. Les principales formations rencontrées sont :

- Le flysch du crétacé,
- Les argiles et grès sous-Numidiens,
- Les grès numidiens,
- Les argiles et les marnes du miocène,
- Les éboulis du Numidien.

Caractéristiques physico-mécaniques des formations :

L'exploitation des études géotechniques antérieures (LNTPB, 1976 et LTPC, 1985) montre que les argiles miocènes et les éboulis ont des propriétés physico-mécaniques médiocres, par opposition aux flyschs qui sont plus résistants. Le tableau ci-dessous résume leurs principales caractéristiques géotechniques : [33]

Essais	Flyschs Grésopélitiques, altérés	Argiles miocènes	Eboulis argilo-gréseux
Teneur en eau	17 à 32	20 à 25	Supérieure à 30%
Limite de liquidité	65 à 70	40 à 55	50 à 70 %
Indice de plasticité	30 à 45	22 à 34	30 à 45
Densité sèche	1.40 à 1.75	1.60 à 1.66	
Coefficient de compressibilité	0.2 à 0.3		0.30
Coefficient de gonflement	0.08 à 0.11		
Cohésion (Kgf/cm ²)	C _{uu} = 0.35 à 0.75	C _{cu} = 0.50 à 0.70	C _{uu} = 0.25 à 0.50
Frottement (degré)	Ø _{uu} = 14 à 18	Ø _{cu} = 9 à 14	Ø _{uu} = 5 à 25

Les résultats ci-dessus montrent que ces formations n'admettent pas des surcharges importantes et qu'elles sont très sensibles à la présence d'eau. Ces caractéristiques sont toutefois à vérifier, sachant qu'elles peuvent varier dans une large mesure, suivant les sites de prélèvement des échantillons. Néanmoins, les études antérieures mettent l'accent sur la faible portance de ces différents terrains et préconisent dans le cadre de réalisation de projets, lorsque les pentes sont stables, des fondations semi-profondes.

III.3.1.2. Les pentes

Le phénomène de glissement est intimement lié à la pente du terrain. Il peut se produire sur des pentes modérées à raides, d'une déclivité de 10 à 40 degrés généralement. Dans les terrains inclinés, le sol a tendance à glisser vers l'aval. L'ampleur de ce phénomène est principalement déterminée par trois forces : la gravité, la force de frottement et la force de cohésion ; ainsi plus la gravité (pente) est forte, plus la force de frottement et la cohésion sont faibles, plus le versant est instable.

Les glissements observés dans le site urbain d'Azazga se sont produits dans des terrains dont la pente est généralement supérieure à 10 %.

Fig.III. 23. Exemple d'instabilité avec présence de pente dans les terrains d'Azazga



La carte des pentes de la ville d'Azazga, générée à partir d'ArcGis, montre clairement que les zones touchées par le glissement de terrain sont bien situées sur des versants caractérisés par des pentes supérieures à 10%, favorables aux mouvements de sols.

Certaines parties de ces zones instables, situées au Sud de la ville, présentent des pentes supérieures à 25%, où des coulées boueuses ont été observées dans le passé.

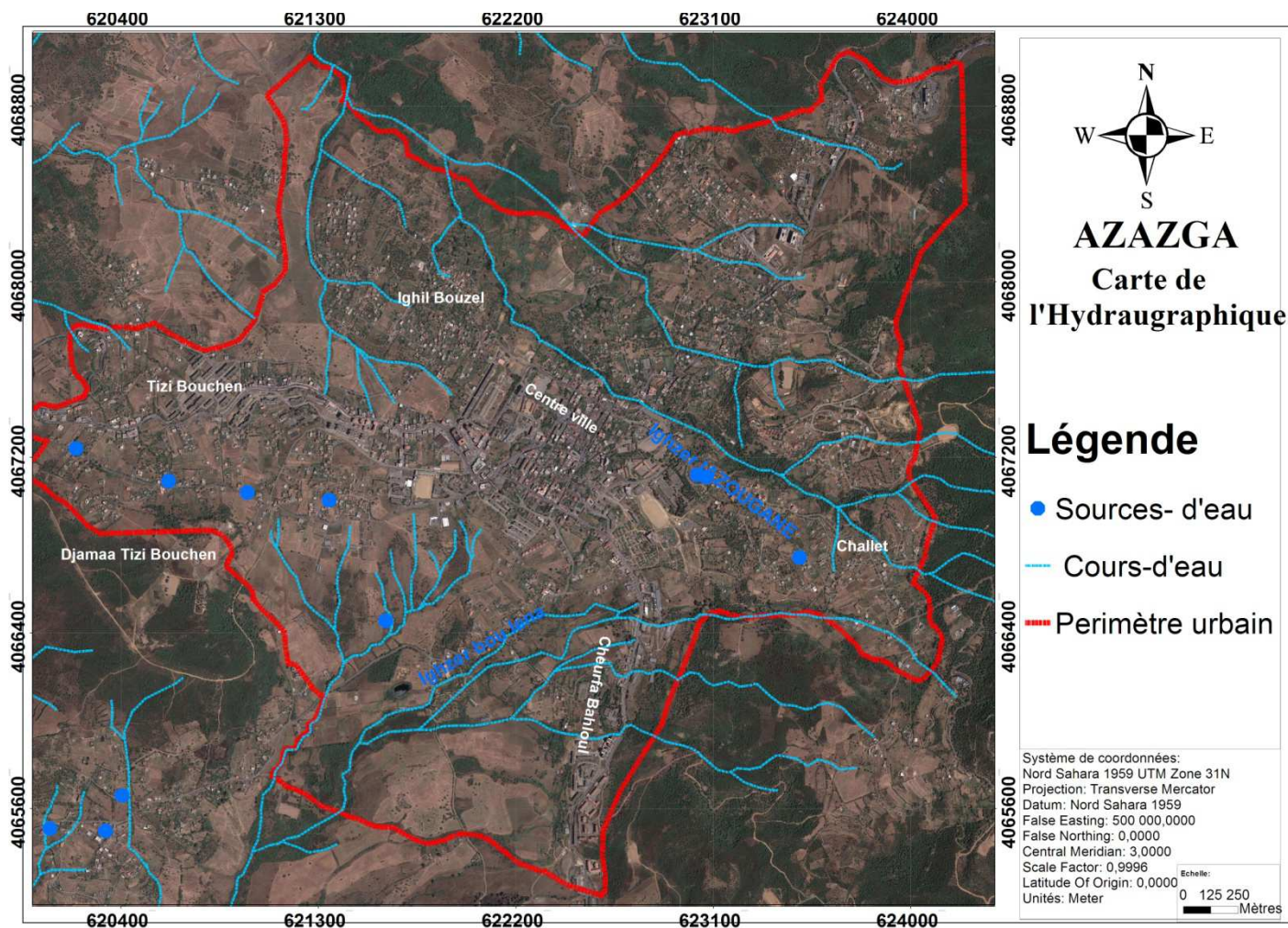
III.3.1.3. L'Hydrologie

Un terrain offrira plus ou moins de résistance au glissement en fonction de sa sensibilité à l'eau.

Les glissements se produisent avant tout lorsqu'un important volume d'eau pénètre dans le sol sur une période prolongée. L'analyse des cartes topographiques et aériennes de la ville d'azazga montrent :

- La ville d'Azazga étant située dans un replat au pied du mont « Aboud », elle constitue par sa typologie un réceptacle relativement important, des eaux de ruissellement venant en amont ;
- La présence de multiples cours d'eau et talwegs qui acheminent les eaux vers deux versants principaux. Deux grands talwegs à écoulement intermittent (Igher Azougane et Bou lén) accueillent l'ensemble de ces eaux au Nord et au Sud. Plusieurs glissements de terrains anciens et récents sont survenus aux abords de ces deux talwegs (figure III.33) ;
- La présence de plusieurs sources d'eau dans le versant instable ;
- La présence d'une éventuelle nappe phréatique.

Ce réseau hydrologique accélère le processus d'érosion et d'altération et tendent à faire disparaître les sols superficiels en mettant à nu les couches sous-jacentes. L'infiltration s'en trouve renforcée et la teneur en eau des couches profondes augmente et induit ainsi une réduction considérable des caractéristiques mécaniques des terrains déjà historiquement affectés et fragilisés.



III.3.2. Les facteurs déclenchant

Les facteurs déclenchant engendrent les mouvements par changements rapides des conditions du versant, les principaux mécanismes déclencheurs sont les suivants :

III.3.2.1. Les précipitations et les fontes des neiges

tiennent un rôle direct dans le déclenchement des glissement de terrain. En effet, la pluviométrie agit directement sur le déclenchement des glissements en diminuant la résistance au cisaillement et en rendant les terrains gorgés d'eau plus plastiques; ce qui a pour conséquence directe le déplacement de la masse sous son propre poids.

Il est à noter que les principaux mouvements de terrain qu'a connus la région d'Azazga ont eu lieu après de fortes précipitations, dépassant une moyenne annuelle de 1200 mm. [35]

En mars 2012, c'est suite à une fonte lente et progressive des neiges qu'on avait assisté à plusieurs désordres et signes d'instabilités qu'a connue le site d'Azazga.



Fig.III. 25. Les failles et l'affaissement de la chaussée menant vers IGHIL BOUZEL.

III.3.2.2. Facteurs anthropiques

L'action humaine constitue l'un des facteurs déclencheurs des instabilités de terrain les plus répandus. Nous avons relevé à Azazga les causes suivantes :

- L'effet de la suppression des réseaux de drainage :

Les anciens réseaux de drainage réalisés du cote amont afin de minimiser les infiltrations et d'éviter la mise sous pression des terrains ont été totalement supprimés et colmatés par les travaux d'urbanisation et les jets anarchiques de remblais. Cette modification a favorisé l'infiltration des eaux et l'altération du substratum rocheux. Ainsi, l'érosion superficielle et profonde du versant a modifié les conditions géométriques d'équilibre et les caractéristiques mécaniques des formations.

- L'effet de la surcharge importante en amont du glissement :

Des constructions et des surcharges importantes ont été réalisées dans des zones instables. En effet, les travaux réalisés ont modifié les conditions de stabilité initiales d'un site se trouvant en état d'équilibre fragile.

- L'effet de la disparition de la végétation :

Les racines des arbres et des arbustes peuvent contribuer à améliorer la cohésion du sol, et une pente peut être fortement déstabilisée en cas de disparition soudaine de la végétation. L'endroit du glissement le plus important d'Azazga était parsemés d'arbres « Zen », (ce qui lui a prévalu ce surnom) mais l'action de défrichage du terrain entretenu par l'homme et son utilisation à des fin agricoles, avec l'arrosage et l'irrigation qui modifie la teneur en eau du sol, a contribué d'une façon certaine à la réactivation du glissement d'Azazga.

- La transformation du site :

Les conditions de stabilité peuvent être fortement altérées si la structure interne d'une pente est modifiée. Les transformations du site et la création de pentes artificielles présentent souvent des caractéristiques moins favorables du point de vue de leur stabilité que les pentes naturelles (compactage, cohésion, drainage des eaux, etc.). L'utilisation de la zone Nord du glissement d'Azazga pendant des décennies comme décharge publique d'ordures ménagères et décharge de terres constitue à lui aussi l'action humaine la plus néfaste ayant accentué l'instabilité de cette zone.

III.3.2.3. L'activité tectonique

L'activité tectonique peut conditionner ou déclencher un glissement de terrain au niveau de la zone de broyage des failles (cisaillements et/ou décrochements) formée de matériaux fragilisés, en l'occurrence des mouvements de masse se trouvent généralement accentués à proximité de ces résurgences.

A Azazga on note la présence des failles dans le site instable, séparées par un contact anormal majeur passant à l'Est d'Azazga et de direction Nord –Sud, suite à cette tectonique tangentielle, une tectonique cassante marquée par un système de failles verticales découpe les grés numidiens en panneaux effondrés par rapport aux grés du djebel Abed.

III.4. GENESSE et HISTORIQUE DU GLISSEMENT DE TERRAIN DE LA VILLE D'AZAZGA

Le phénomène géologique n'est pas nouveau ; ses premiers signes sont apparus en février 1955, février 1973 et avril 1974 ; depuis, des études d'exploration pour circonscrire et comprendre ce phénomène ont été confiées au laboratoire national LNTPB.

Le glissement s'est manifesté une nouvelle fois au printemps de l'année 1985, suite à des fortes pluies qu'a connues la région. Depuis cette date une période d'accalmie (plus de deux décennies) s'en est suivi sans aucune manifestation de glissement particulier, le phénomène a été « oublié », et la ville s'est lancée dans une urbanisation rapide et dense.

En 2012, le phénomène est réapparu, prenant des proportions alarmantes, causé probablement par plusieurs actions simultanées et une multitude de facteurs liés à :

- la longue période neigeuse de février 2012,
- la nature des sols en place (zone localisée dans des flysch),
- l'action des eaux de ruissellement et souterraines, les réseaux d'assainissement endommagés traversant la zone et s'y déversant,
- la surcharge des versants connus pour leur instabilité avec l'urbanisation.

III.4.1 Historique et état des connaissances

Le phénomène du glissement de terrain de la ville d'Azazga, s'est manifesté à plusieurs reprises durant les dernières soixante (60) années, en effet il a été observé pour la première fois en 1952, puis en 1973, 1974, 1985 et enfin en 2012.

III.4.1.1 La coulée boueuse du 22.02.1955

Elle s'est produite au Sud de la ville d'Azazga et touché un territoire rural, La coulée boueuse ayant pris naissance sur le versant Ouest de Ait Bouhouni a déplacée des tonnes de terres et a englouti des arbres sur plusieurs centaines de mètres, a obstrué un ravin (Ighzer Boulina). L'entrée Sud de la ville (actuellement RN12) a été endommagée.

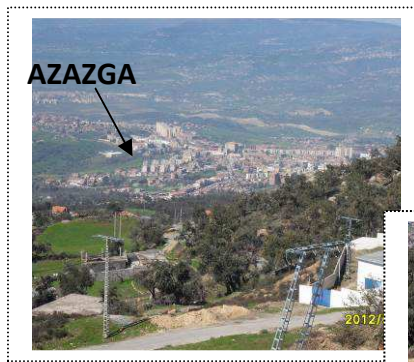


Fig.III. 39. Réactivation de la coulée boueuse à Ait bouhini en mars 2012



Cette coulée de terre et de boue est un déplacement rapide d'un mélange de couverture végétale, de matériaux meubles et d'eau sur des pentes relativement raides, sans qu'une surface de glissement se manifeste.



Facteurs de déclenchement

- Déclivité des pentes généralement supérieure à 25°
- Fortes précipitations
- Nature géologique du sous-sol

III.4.1.2. Le glissement de terrain du 19.02.1973

Le glissement a affecté la partie Nord de la ville d'Azazga. Le plus important mouvement s'est produit au Nord-ouest de la ville et le second, de moindre envergure, aux abords du cimetière chrétien. Ces deux phénomènes ont emprunté deux axes convergeant vers Ighzer lazoughen.

III.4.1.3. Le glissement de terrain du 08.04.1974

Ce glissement est une réactivation du glissement antécédent (1973).

III.4.1.4. Le glissement de terrain de mars 1984

Il a affecté plusieurs quartiers dans la ville, à savoir Ighil Bouzel, Agouni Guizen et Tizi Bouchen. 23 habitations et locaux professionnels ont été endommagés, la RN12 a été fermée à la circulation et des lézardes sont apparues dans plusieurs endroits de la ville. Donc la reprise de ces mêmes mouvements de sol a entraîné d'importants désordres affectant une centaine d'habitations et des édifices publics.

III.4.1.5. le glissement de terrain de mars 2012

Il a affecté la partie Nord de la ville, il se présente comme une réactivation des glissements précédents, les territoires ayant subis des déplacements sont identiques, suivant une première lecture, à ceux affectés par le glissement 1973 / 1974. Les dégâts matériels engendrés sur les infrastructures et le cadre bâti sont considérables.

III.4.2. Etat descriptif des glissements importants

III.4.2.1. Glissement 1973 (référence : rapport préliminaire du 29/04/1973)

Un rapport préliminaire du laboratoire L.N.T.P.B, élaboré suite à la demande de la wilaya de Tizi-Ouzou en date du 29 mars 1973, énonce des problèmes d'instabilités ayant affecté une partie de la ville d'Azazga et ses environs. Il précise que des fortes pluies ont induit une sursaturation du sol, ce qui déclencha un glissement de terrain avec un mouvement de sol s'étalant sur plusieurs dizaine d'hectares. De nombreux affaissements et nombreuses fissures sont apparus dans ce vaste territoire entraînant des dégâts importants sur les infrastructures et le cadre bâti.

- **Caractéristique de ce glissement**

- Ce glissement se déplace du S.E vers le N.W sur une pente assez faible (environs de 10° à 15 °).
- La zone glissée est longue d'environ **1,5 kilomètres** et large de **500 à 1000 m**.
- Deux zones en mouvement ; une sur Azazga (Azazga 1), au niveau du chemin départemental conduisant à Bou-Hiffan et un ancien glissement jouant au niveau de la Route Nationale en direction de Béjaia (Azazga2).

III.4.2.2. Glissement 1974

Ce glissement est une réactivation du glissement antécédent (1973). 183 maisons détruites, 100 autres sérieusement affectées et 690 sinistrés ont été recensés. La reprise de ces mouvements s'est amplifiée suite à de fortes chutes de pluie.

III.4.2.3. Glissement 1984 (Référence; rapport d'expertise du CTC le 03/04/1985)

Ce glissement est de même type que celui de 1974 avec des amplifications plus importantes de phénomène, qui a affecté plusieurs constructions dont des immeubles publiques tels que les Subdivisions de l'hydraulique et de l'agriculture, la Salle de cinéma, le projet de C.D.M.C (ex S.N.M.C) et le dépôt S.N.M.C.

-

- **Type de ce glissement**

Le type de glissement est lié aux différentes formations que l'on rencontre dans la région :

1. Le flysch crétacé.
2. Les argiles et les grés sous numides.
3. Les grés numidiens.
4. Les marnes miocènes.
5. Les éboulis.

Nota : Les zones affectées par les désordres sont en partie constituées par les éboulis numidiens qui recouvrent les diverses formations décrites ci-dessus, leurs épaisseurs sont très variables, elles sont maximales dans la zone de glissement (supérieure à 10 m).

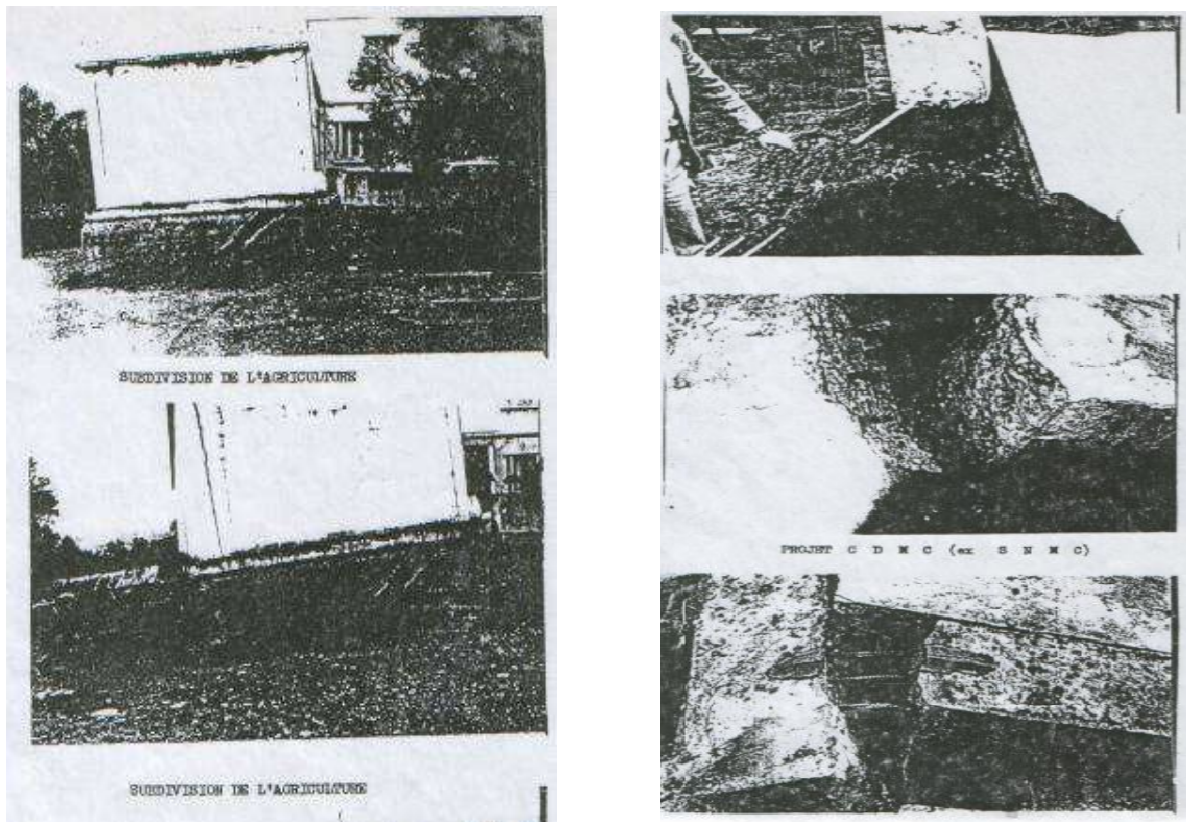


Fig.III. 40: Désordres dans les équipements publics dus au glissement 1985

III.4.2.4. Glissement 2012

La réactivation du glissement a touché la partie Nord de la ville d'Azazga. Ces éboulements ont causé des dégâts considérables : routes coupées, habitations menaçant ruine, éclatement de conduites d'eau et d'assainissement, poteaux électriques inclinés, etc.

Les impacts de ce glissement de terrain sont perceptibles à certains autres endroits proches de la zone, comme à la rue de Jérusalem (débouchant sur le square - jardin du centre-ville). Toute cette zone affectée, touchée par l'urbanisation durant ces deux dernières décennies et sur laquelle ont été érigés d'imposants bâtiments de particuliers, est déjà connue et identifiée, par le passé, pour son instabilité.

Les endroits touchés par le glissement, au Nord de la ville, sont le lieu-dit «Zen», Tala Oukouchah et Ighil Bouzal. Ces quartiers sont situés dans la zone rouge, identifiée en tant que « zone inconstructible » sur la carte de constructibilité, établie par le LTCP depuis 1987 et reprise sur les instruments d'urbanisme (PDAU et POS) de la commune d'Azazga, consacrant l'interdiction de construire dans ces zones.



*Les failles et affaissements de la chaussée :
côté ouest de la ville, route menant vers
Ighil Bouzal, à proximité du nouveau centre
culturel.*



Réseau d'assainissement endommagé.



Un confortement en gabion a été détruit.

III.5. LES ETUDES GEOTECHNIQUES DE LA VILLE D'AZAZGA

Plusieurs études géotechniques ont été menées dans la région en rapport avec le glissement de la ville d'Azazga, particulièrement celle de 1976 et celle de 1985. Des études géotechniques d'urbanisation ont été lancées également par la direction de l'urbanisme et de la construction dans le cadre des études de POS à partir de 2002. A ces explorations s'ajoutent diverses études de sol, menées dans la région.

Celles-ci constituent actuellement, un capital d'informations non négligeables, qu'il sera nécessaire de synthétiser et d'exploiter.

III.5.1. Etude des contraintes géotechniques d'urbanisation 1976 par le L.N.T.P.B

La première étude réalisée par le laboratoire L.N.T.P.B en 1976, a abouti à l'élaboration d'une carte géotechnique sous forme de zoning, qui classe le territoire et les terrains de la ville d'Azazga, en quatre (04) catégories suivant leur aptitude à la construction.

Cette étude a été réalisée en deux phases principales :

- la première nommée « phase A » : phase de définition ;
- la seconde « phase B » : étude d'avant-projet sommaire.

Phase A :

La première phase de l'étude est nommée « phase A » - étude de définition, a été lancée dans le cadre de l'élaboration d'un plan Directeur d'Urbanisme (P.D.U) pour la ville d'Azazga, confié au bureau d'étude Bulgare « Project ». La Direction de l'Infrastructure et de l'Equipement de la Wilaya de TIZI OUZOU (**D.I.E**) à charger le Laboratoire Nationale des Travaux Publics et du Bâtiment (**L.N.T.P.B**) pour l'étude des contraintes géotechniques d'urbanisation de cette ville.

La zone étudiée s'étend approximativement entre les lignes de coordonnées

X : de 647 000 à 651 000 et

Y : de 382 500 à 385 500 (correspondant au centre de l'agglomération d'Azazga).

A l'issue de cette étude, a été élaborée une carte géotechnique qui classa les terrains couverts par l'étude en quatre (04) catégories, selon leurs natures géologiques et les risques présentés par leurs propriétés géotechniques : **[36]**

- **1^{ère} catégorie** : (type I à III) zones favorables à la construction.
- **2^{ème} catégorie** : (type IV à VI) zones incertaines (constructibles mais avec précautions et compléments d'études).
- **3^{ème} catégorie** : (type VII et VIII) zones très incertaines, nécessitant une étude approfondie avant toute construction).
- **4^{ème} catégorie** : (type IX et X) zones dangereuses, non constructibles

1^{ère} catégorie : ZONES FAVORABLES A LA CONSTRUCTION (type I à III)

(I)- zones favorables sur argiles ou marnes (Flysch Crétacé, miocène) :

Les principales zones de ce type sont situées à l'Ouest de l'agglomération, sur les collines de TIZI BOUCHEN, le long de la RN .12 et une bande au Sud –Ouest de la ville d'Azazga.

(II)- zones favorables sur les grès numidiens en place :

Ce sont les zones situées à l'extrême Est de la carte, sur les reliefs de grès qui dominent la ville (**Chalets**) et le long de la route qui longe le nouveau lycée .Notons également la colline de **DJEMAA BOUCHEN** à l'Ouest.

(III)- zones favorables sur le numidien effondré :

On les trouve au Sud –Est de la ville et à l'Est (paquet de numidien effondré entre les deux glissements Azazga I et II).

2^{ème} catégorie : ZONES INCERTAINES (type IV à VI)

Iv)- zones présentant des risques de glissement, dus à des pentes trop accentuées en terrain argileux ou marneux (Flysch Crétacé, miocène) :

Ces zones sont capables de supporter des bâtiments de faible niveau, mais des constructions plus lourdes nécessiteraient une étude complémentaire afin de déterminer par exemple l'épaisseur de l'altération et le niveau d'encrage (puits, sondages mécaniques, géophysiques).

v)- zones des argiles bariolées du sous Numides : Il y en a deux (2) principales :

- Une située au S.E de l'agglomération, entre le C.D.N° 17 et le lycée.
- Une située au Nord –Est de la ville (hôpital civil, polyclinique) le long de la R.N 12.

Ces argiles du sous numide possèdent une cohésion acceptable mais sont souvent recouvertes d'une couche d'éboulis argiles-gréseux qui ont tendances à glisser sur le substratum, de plus le coefficient de tassement de ces argile est assez important.

VI)- zones d'éboulis stables :

Il s'agit principalement de la zone située au Nord-Ouest de l'agglomération actuelle, sur IGHIL BOUZEL. Cette zone est stable, mais il faudrait cependant connaître l'épaisseur des éboulis avant de déterminer le type des fondations à utiliser.

3^{ème} catégorie : ZONES TRES INCERTAINES (type VII et VIII)

VII)- zones dangereuses, présentant des risques certains de glissement dus a des pentes accentuées, en terrain argileux ou marneux :

Ces zones présentent en général une morphologie "moutonnée" caractéristique de glissement de pentes superficiels. On les rencontre principalement a la partie Ouest de la carte, au Nord de la R.N 12 et au Sud de TIZI BOUCHEN, et au N.E dans les argiles du sous Numides entre le C.D. N° 134 et la R.N.12.

VIII)- zone à topographie très accentuée constitués d'éboulis de grés (sud de DJAMAA BOUCHEN).

Il faudrait ici déterminer l'épaisseur des éboulis .Ces zones ne pourront supporter que des constructions individuelles de faibles niveau.

4^{ème} catégorie : ZONES DANGEREUSES, NON CONSTRUCTIBLES (type IX et X)

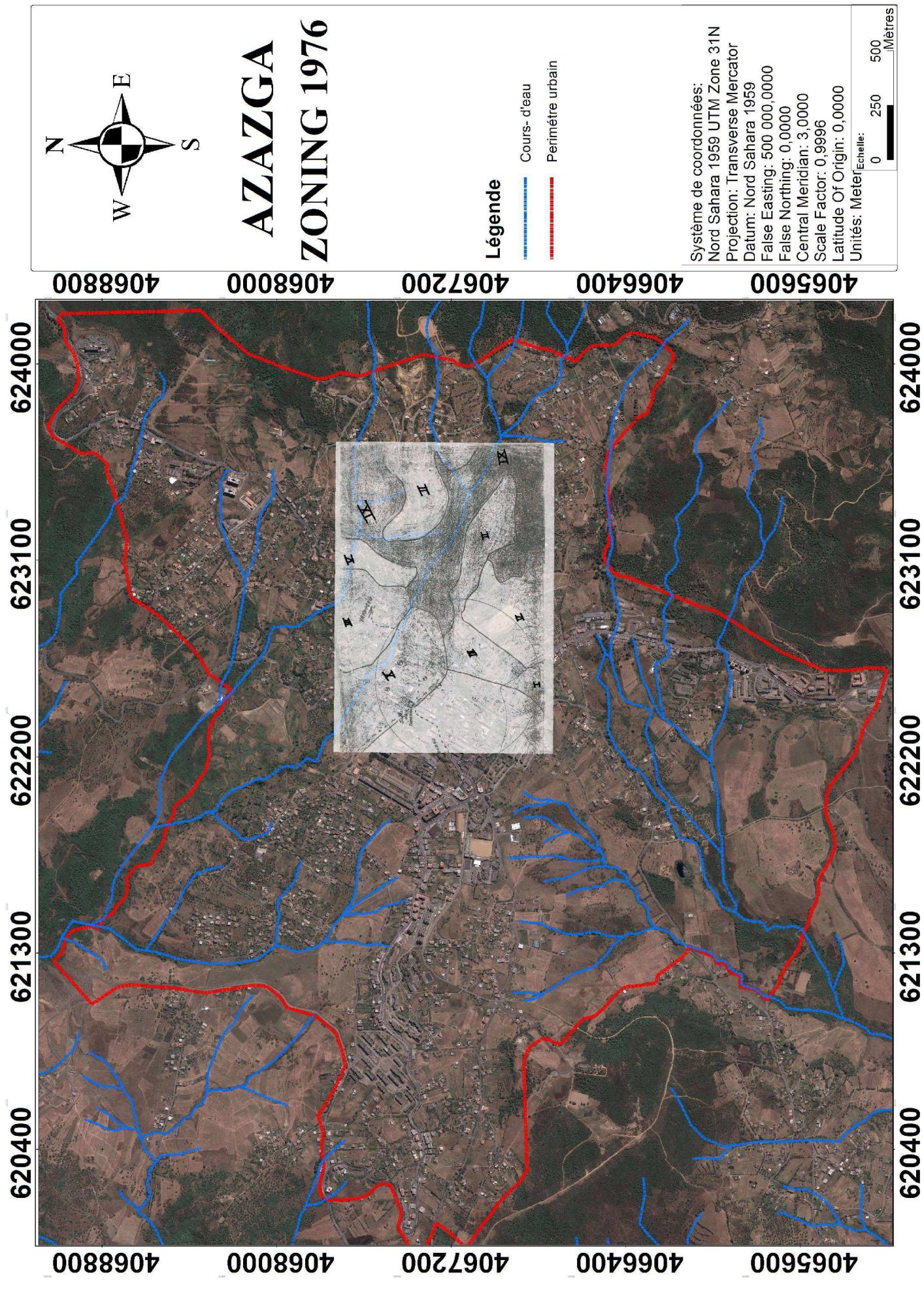
(IX) zones à topographie trop accentuées au pied des falaises de grés.

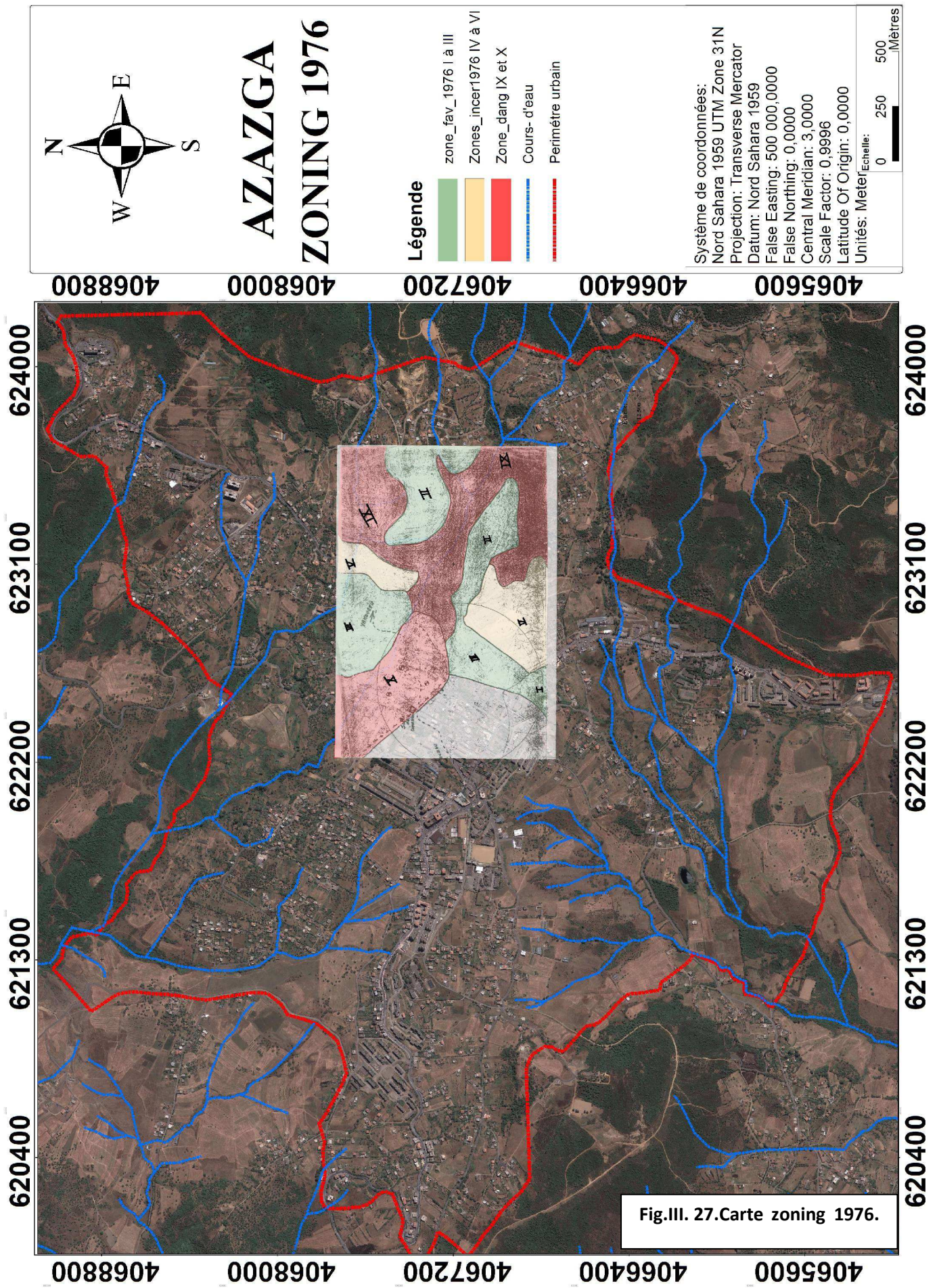
(X) zones très instables, présentant des risques de glissements actifs :

- Glissement du Nord de la ville d'Azazga.
- Zone de l'ancienne coulée boueuse de 1955.
- Glissement à proximité Sud de l'actuel hôpital civil.

Conclusion : Cette étude a fait ressortir deux pôles principaux favorables à l'extension de l'agglomération :

- Le premier se situe à l'Ouest de la ville actuelle le long de la RN 12 reliant AZAZGA à TIZI OUZOU et englobe TIZI BOUCHEN.
- Le deuxième se situe au Nord-est de la ville, à gauche de la ville reliant AZAZGA et YAKOUREN, et englobe le site de l'hôpital civil.





Phase B :

Cette phase traite les premiers résultats géologiques obtenus, elle est destinée à guider le bureau d'étude de l'entreprise d'état Bulgar « Technoexportstroy » dans l'élaboration du Plan Directeur D'Urbanisme. [37]

L'objectif de cette étude est le choix des zones d'investigation, les zones enquêtées ont été divisées en quatre (04) pôles (1, 2, 3 et 4).

Sur l'ensemble des sites, **44 puits** de 4 m de profondeur en moyenne ont été réalisés par le D.I.E de TIZI OUZOU tandis que le L.N.T.P.B effectuait **11 sondages carottés** (dont 05 ont été équipés de piézomètres) et **13 sondages électriques**.

Le but de ces différentes investigations était, la détermination de la nature du substratum et les épaisseurs de la couche d'éboulis de recouvrement, en plus des caractéristiques hydrogéologique des terrains.

Présentation et synthèse des résultats géologiques des pôles étudiés :

POLE 1 :

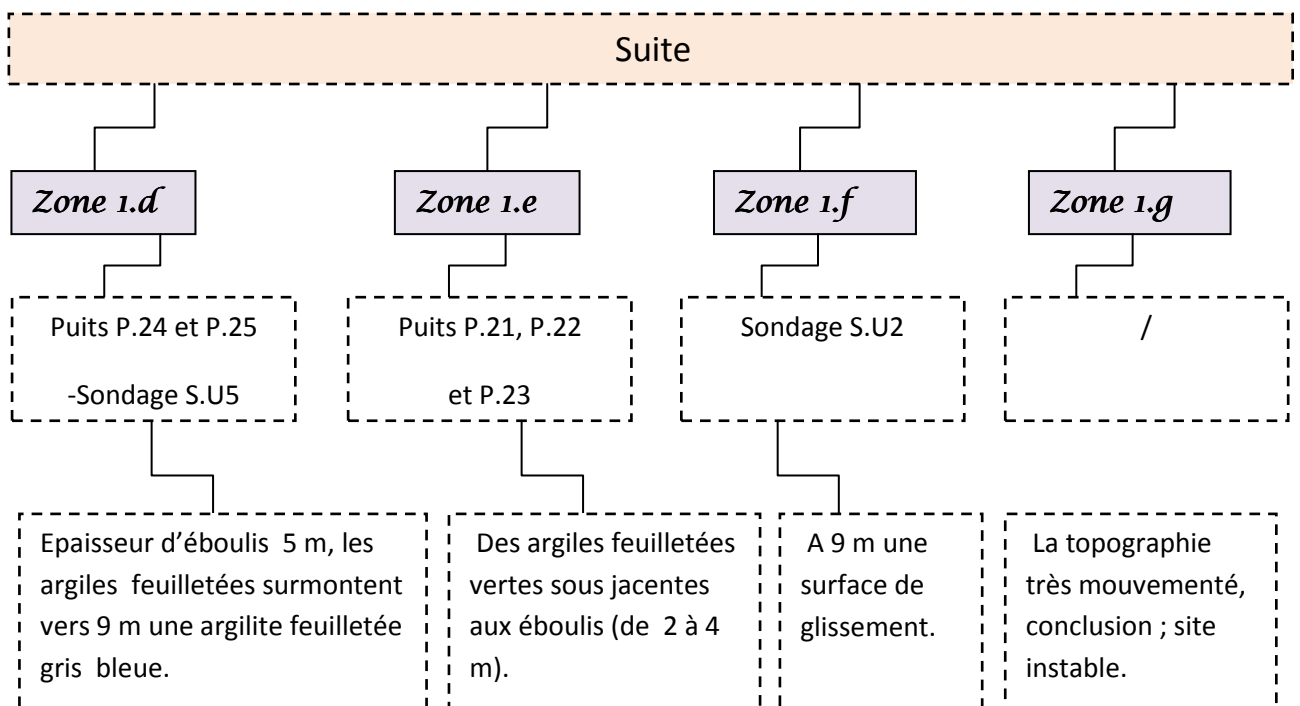
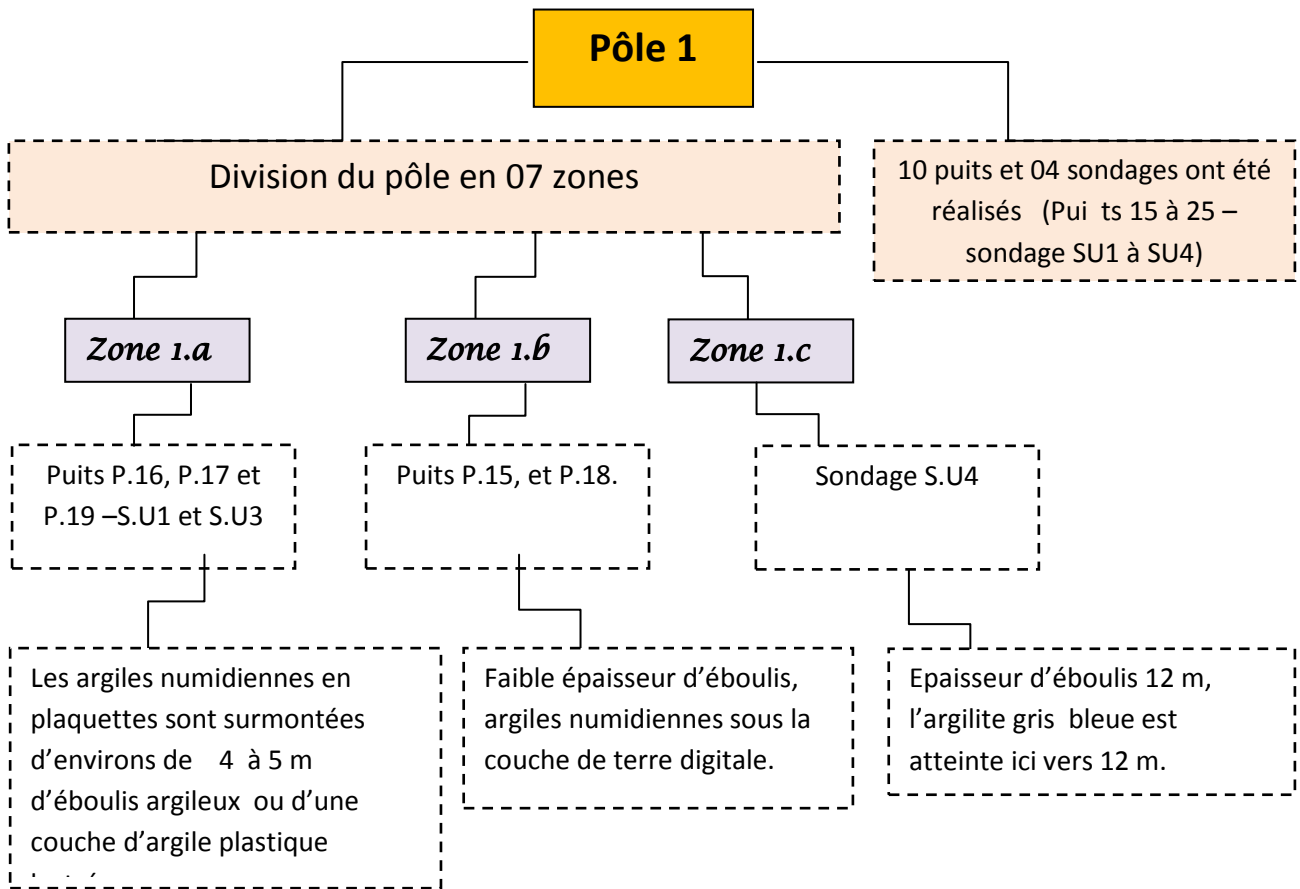
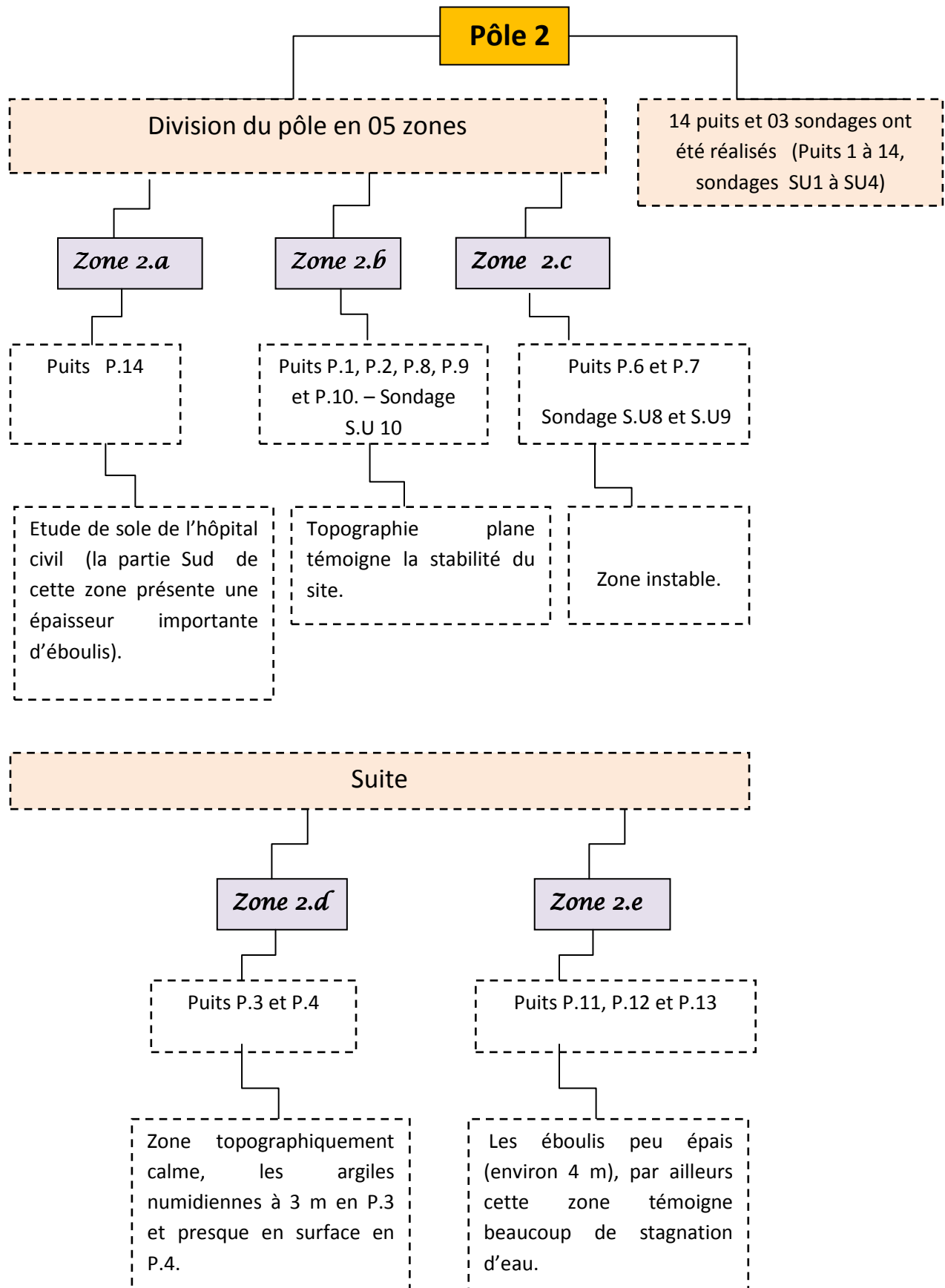




Fig.III. 28: Cartes représentatives du pôle 1 (1976).

POLE 2 :



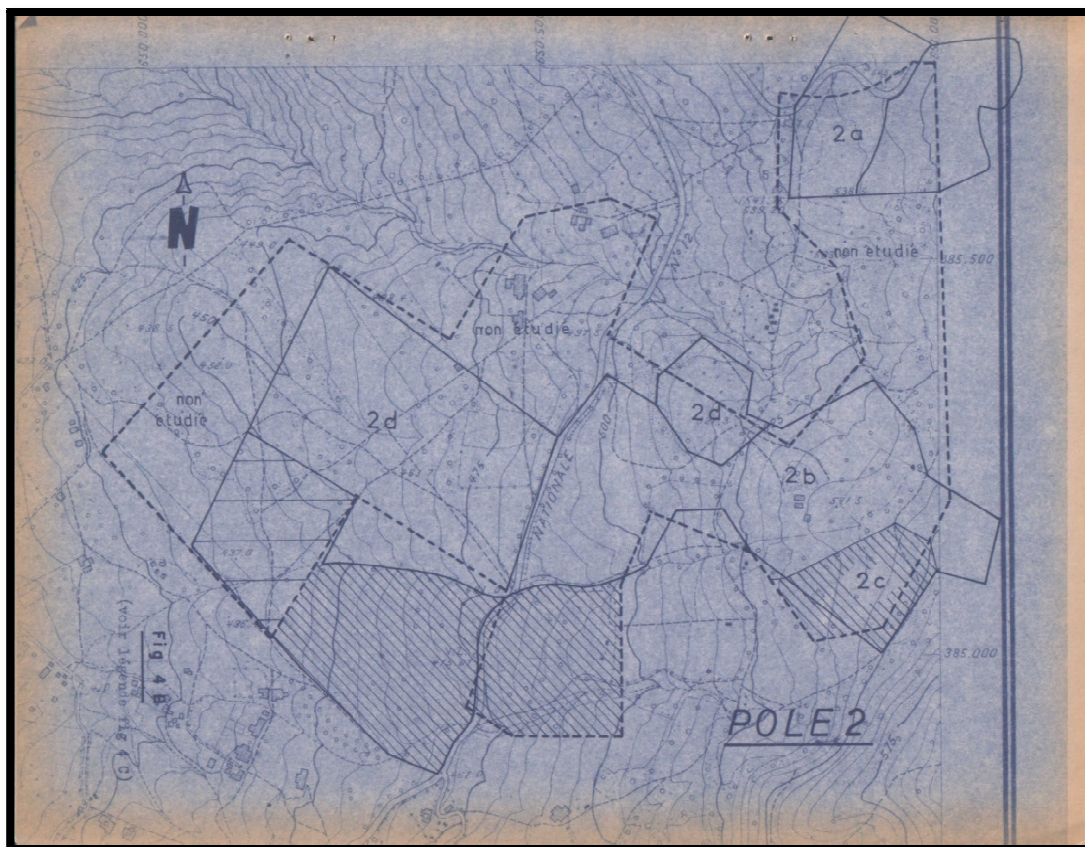


Fig.III. 29: cartes représentatives du pôle 2 (1976).

POLE 3 :

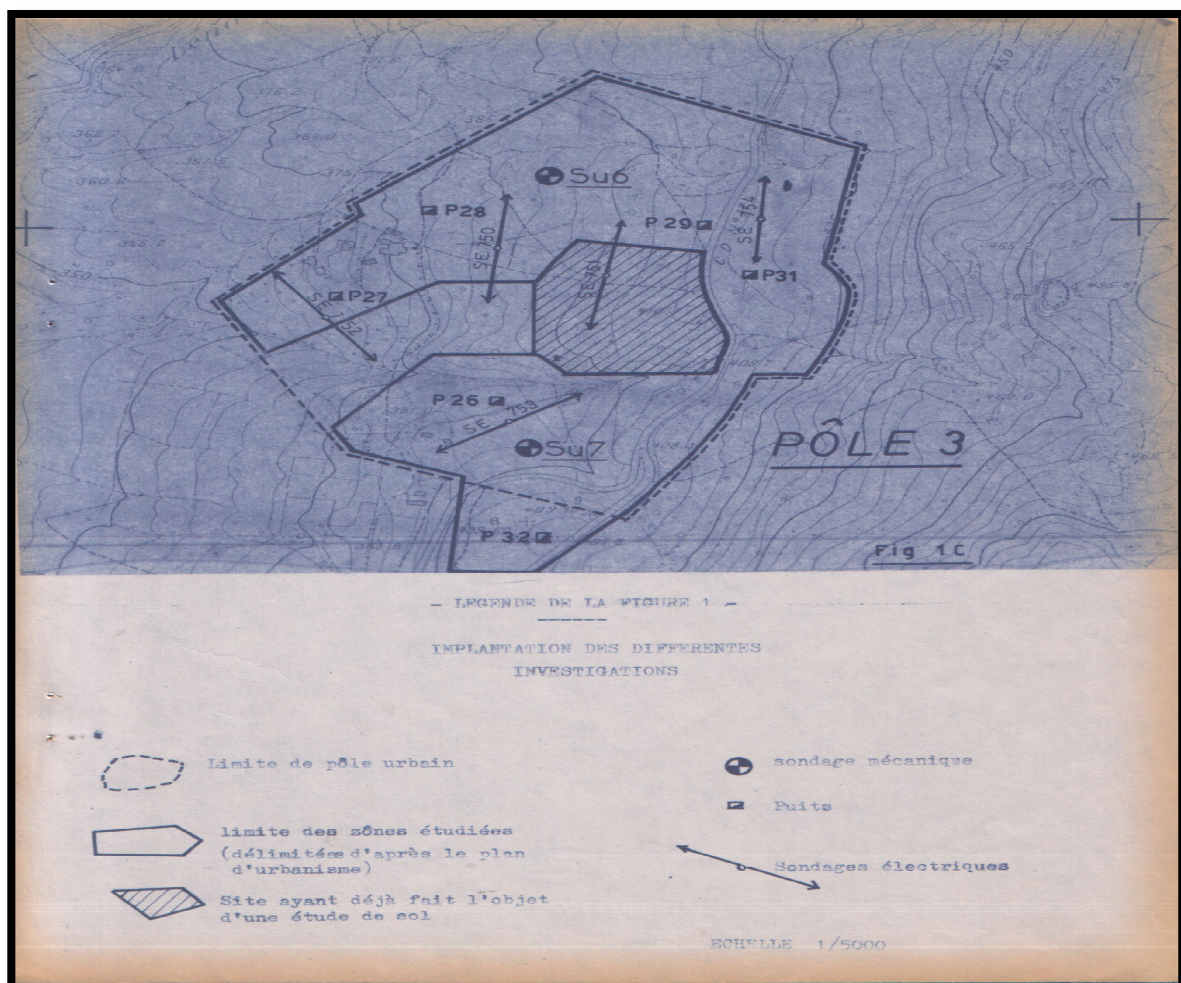
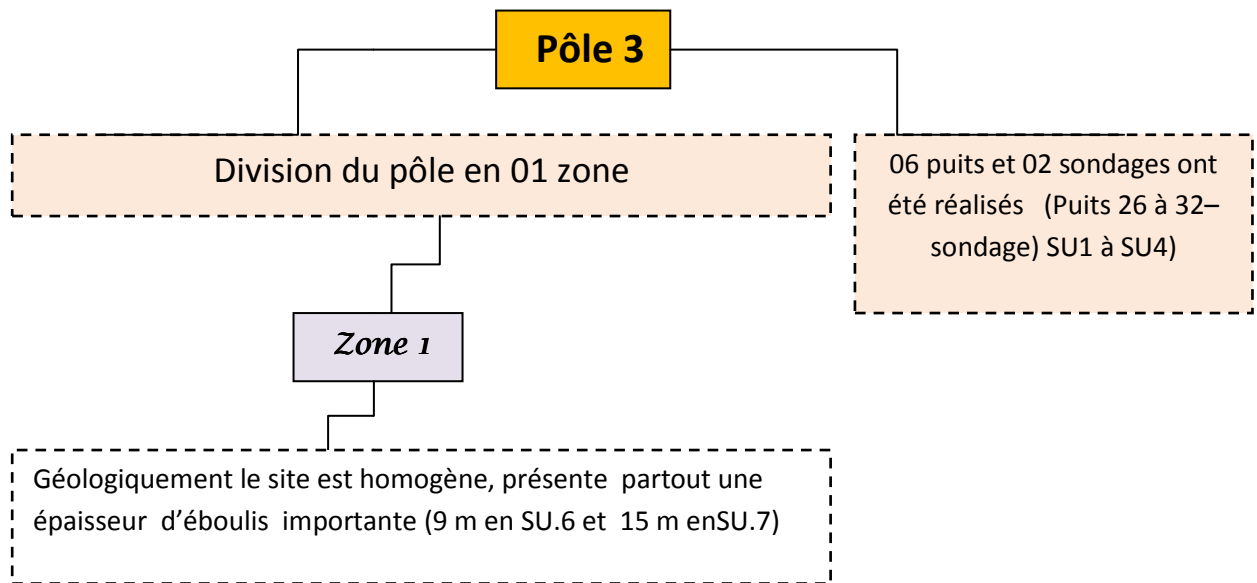
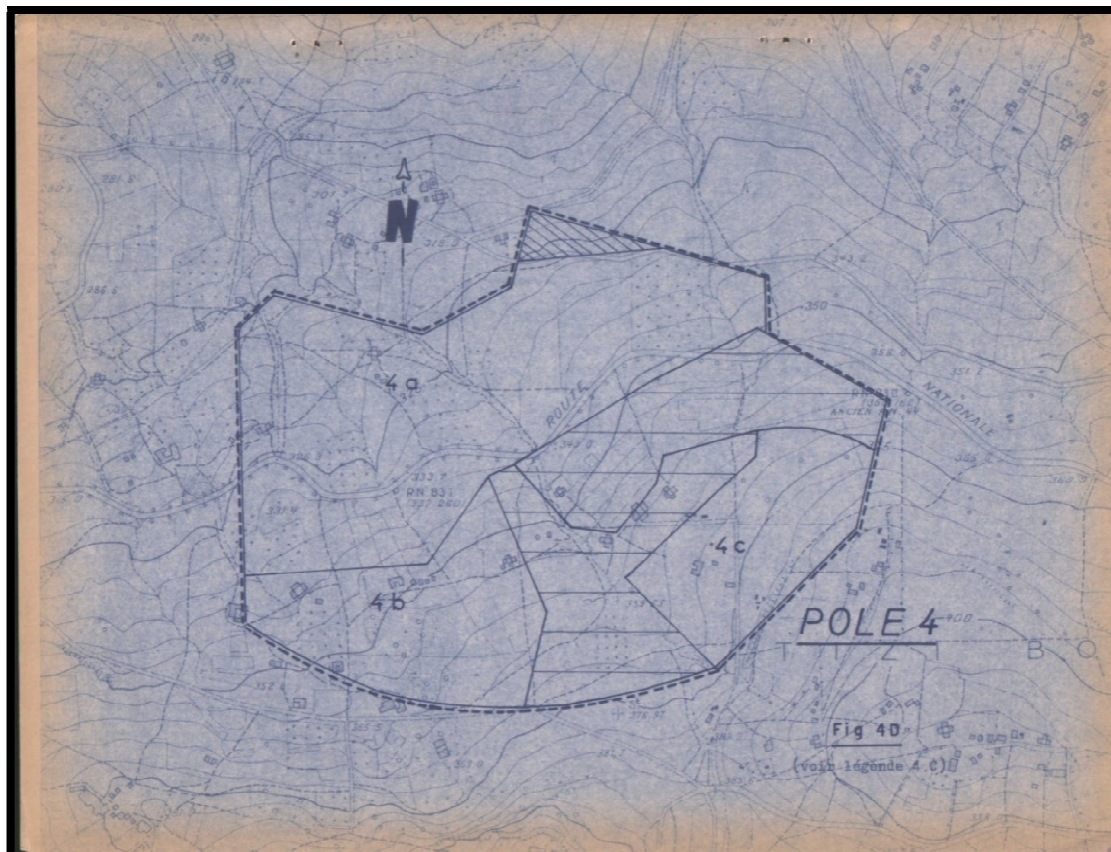
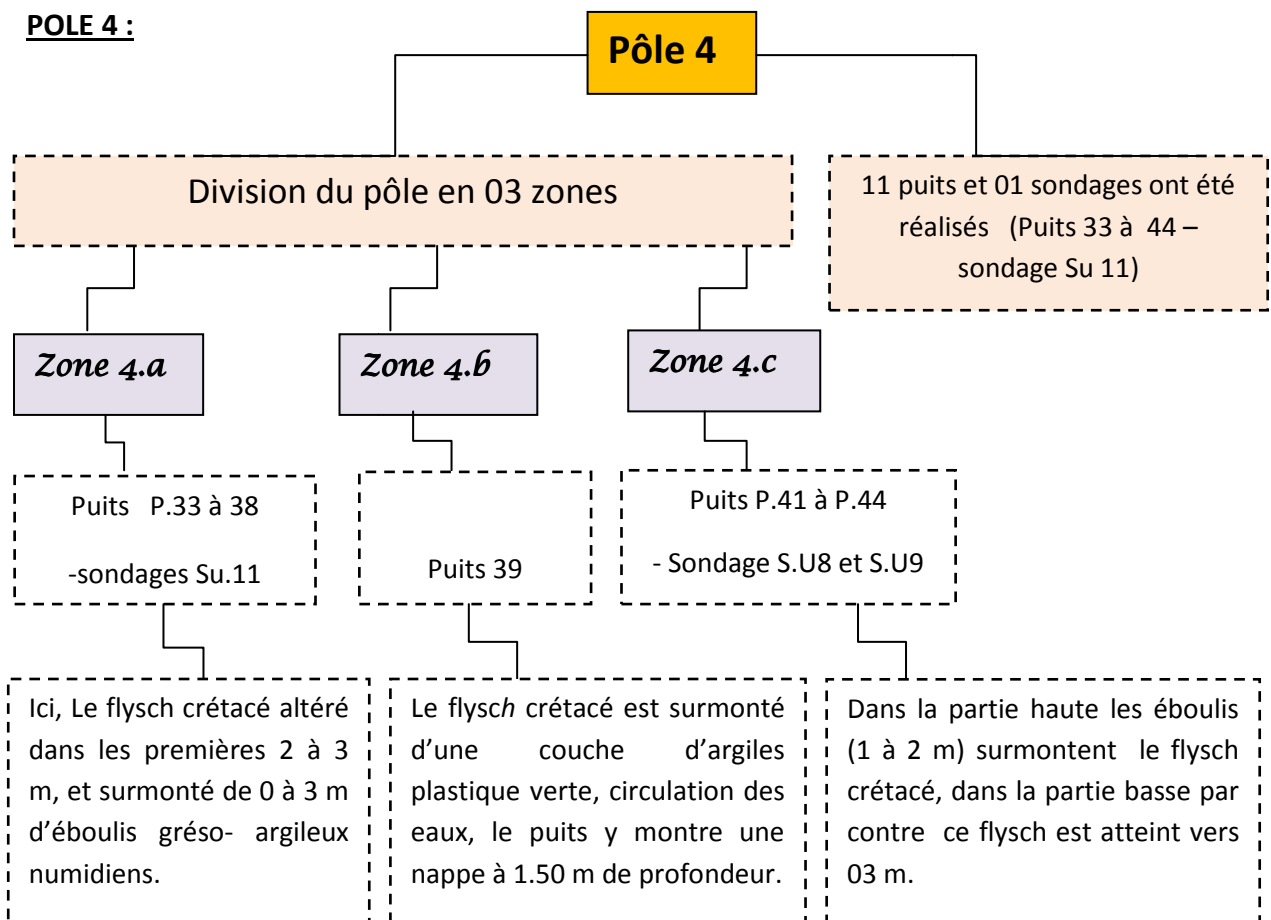


Fig.III. 30: carte représentative du pôle 3 (1976).

POLE 4 :



Conclusions de l'étude

A travers de ces différentes investigations et explorations, il est clairement prouvé que la contrainte géotechnique majeure rencontrée en rapport avec la perspective d'urbanisation de ces secteurs étudiés est la présence des éboulis. Ces derniers sont pratiquement présents dans tous les pôles avec des épaisseurs variables et plus au moins importantes. L'urbanisation devra être appréhendée avec la prise en considération de ces nouveaux paramètres et la constitution du sous-sol de l'aire étudiée.

Des études géotechniques et études de sols détaillées, doivent être un préalable pour tout ouvrage ou construction future. La problématique de l'eau dans le sol et la nature géologique existante devront également faire l'objet d'une attention particulière et appréhender les solutions de drainage des eaux souterraines et superficielles de manières appropriées.

III.5.2. Les études géotechniques réalisées suite au glissement 1985 (I.T.P.C)

(Extraits du rapport 1985 de l'étude géotechnique de la ville d'AZAZGA dressé par le LCTP) :

La Direction de l'Urbanisme, de la construction et de l'Habitat de la Wilaya de TIZI OUZOU, a sollicité l'intervention du L.C.T.P pour une étude géotechnique et l'exploration de la nouvelle situation créée par le glissement de 1985.

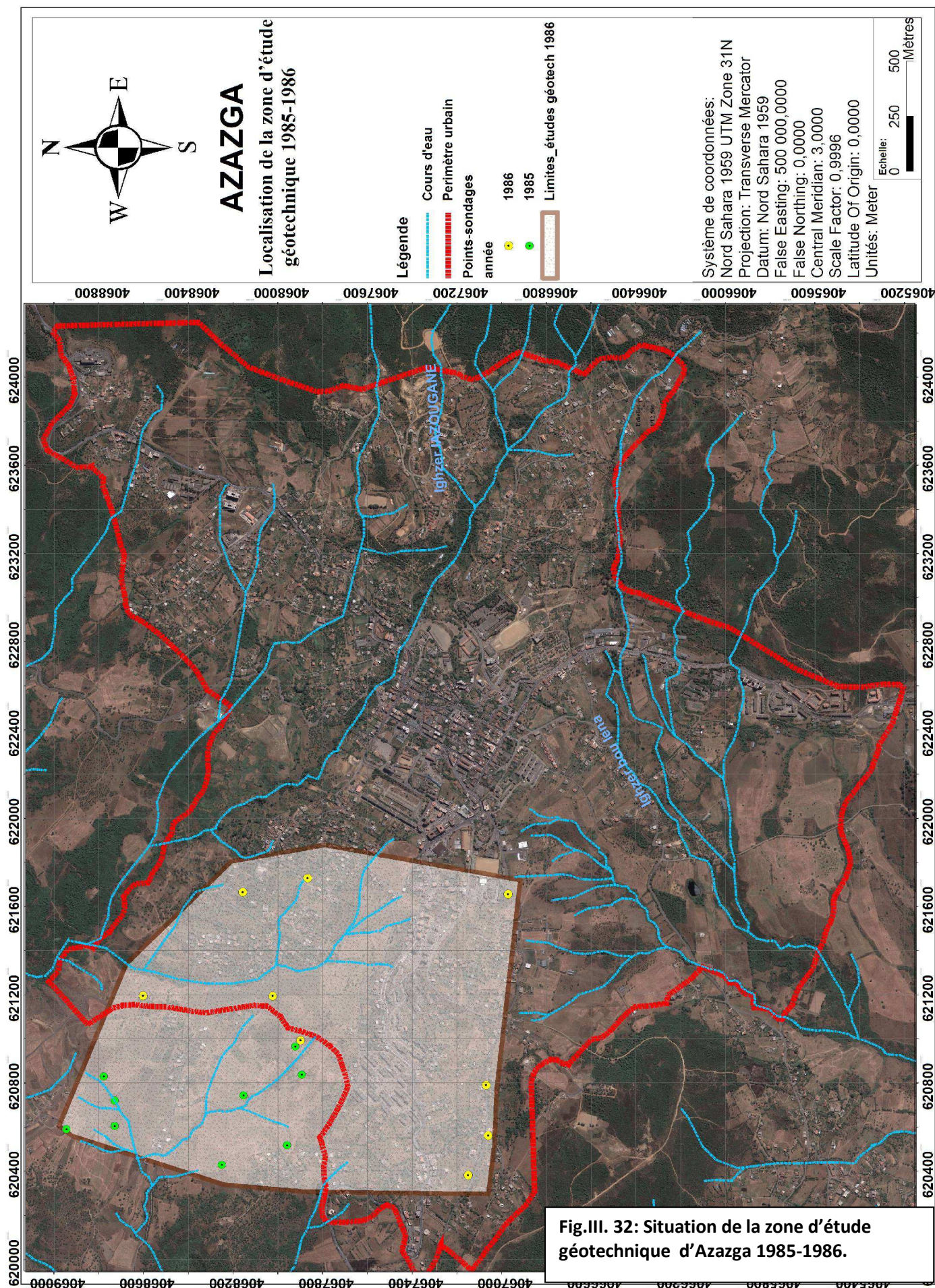
III.5.2.1. Etudes géotechniques d'urbanisation 1985 et 1986

- **Situation de la zone d'étude**

La zone couverte par cette étude est limitée au secteur Nord-Ouest de la région d'Azazga, elle s'étend de la cité des 150 logements au Sud jusqu'à la limite Nord de la ville. (Figure III.59) [38]

Les limites précises en coordonnées Lambert sont les suivantes :

$$\left\{ \begin{array}{l} X_1 = 620\,000 \text{ à l'Est et } X_2 = 622\,000 \text{ à l'Ouest.} \\ Y_1 = 406\,680 \text{ au Sud et } Y_2 = 406\,920 \text{ au Nord.} \end{array} \right.$$



- **Synthèse des données géologiques et géotechniques**

L'ensemble des résultats de cette étude, énumérés ci-dessous, définit la distribution des faciès ainsi qu'à leurs caractères géologiques et géotechniques :

- Le sommet de DJEMAA BOUCHEN est occupé par le numidien représenté par l'alternance, grès-argile gréseuse raide surmontant des bancs épais de marne et marno-calcaire massif.
 - La colline de TIZI BOUCHEN à l'Est est formée par le flysch crétacé qui est une succession d'argile grise à débit schisteux et d'argile gris-bleu à feuilletage fin. On note souvent des intercalations de grès en très petits bancs.
 - Les flancs de ces collines sont occupés par le flysch jusqu'en aval de la RN 12.
 - Les éboulis sont présents au pied de DJEMAA BOUCHEN et augmentent en épaisseur sur le côté Ouest de ce secteur.
 - La plaine au Nord-Ouest d'Ighil Bouzel est également constituée par le dépôt du faciès flysch. On note dans ce secteur, les épaisseurs plus importantes des argiles grises et la présence plus fréquente de bancs de marno-calcaires.
 - Le secteur d'IGHIL BOUZEL comprenant la partie aval du village est une épaisse formation d'éboulis dont le support est très profond et n'apparaît dans aucun sondage.
-
- Les caractéristiques géotechniques obtenues pour ces faciès sont les suivantes :
 - Flysch crétacé : $\varphi = 10^\circ$; $C_u = 0,1$
 - Argile numidiennes : $\varphi = 20^\circ$; $C_u = 1$
 - Eboulis numidiens : $\varphi = 10^\circ$; $C_u = 0$

Ces valeurs tiennent compte de l'action rhéologique qui se traduit, dans les milieux argileux, par une réduction des caractéristiques mécaniques et une augmentation de la déformabilité. Ainsi une élévation même modérée de la teneur en eau s'accompagne toujours d'une chute de 2/3 et de moitié respectivement de l'angle de frottement et de la cohésion, dans les milieux franchement argileux.

- **Critères de stabilité et classification des terrains**

Les critères suivants constituent la base de la classification des terrains adaptée dans cette zone :

- La topographie,
- La lithostratigraphie,
- Le facteur hydrologique,
- Les qualités géotechniques, des sols.

On insistera cependant, sur le fait que cette classification est destinée à orienter les futurs plans d'aménagement de la zone. Chaque secteur retenu pour l'implantation de projets devra faire l'objet d'une étude minutieuse permettant de calculs précis de stabilité notamment dans les terrains en pente.

Conclusion

L'objet de ces études (référence au rapport LCTP N°27.85.1012, Etude géotechnique de la ville d'Azazga/ zone étudiée : TIZI BOUCHEN, IGHIL KARBOUDJ /laboratoire centrale des travaux publics; Alger, (09/11/1986), est de définir et de classer les terrains selon les critères de stabilité :

1/ Les terrains stables :

Ils forment principalement trois grands secteurs :

- Le premier regroupe les sommets de DJEMAA BOUCHEN et de TIZI BOUCHEN. Ces terrains sont tous les deux caractérisés par des reliefs tabulaires offrant toutes les garanties de stabilité.
- Le second se situe le long de la RN 12 dans le prolongement vers l'Ouest de la zone des « 200 logements ». Ce secteur est stable car il est marqué par un adoucissement de la pente. Il est en outre caractérisé par une faible épaisseur des éboulis. Il nécessite toutefois une étude poussée, ponctuellement à l'endroit de chaque projet en particulier le long d'un axe SE/NO passant à l'Ouest de la cité des 150 logements qui coïncide avec un ancien chenal comblé par des éboulis.
- Le troisième secteur, parfaitement stable, appartient à la zone des plaines au nord de la carte. Il s'étend de l'extrême Nord jusqu'à l'Ouest d'IGHI BOUZEL le long d'un dôme anticlinal.

2/ Les terrains incertains :

Ce sont les terrains qui, en raison de leur situation géomorphologique, de leur pente assez prononcée et de critères lithostratigraphiques, présentent à des divers des risques d'instabilité.

Ils sont, dans la plupart des cas, intercalés entre les terrains instables et les zones favorables.

- Le premier secteur forme une bande allongée de direction Est-Ouest, sur les flancs Nord de DJEMAA BOUCHEN et TIZI BOUCHEN. La pente, irrégulière, varie de 12% à l'Est à 15% à l'Ouest. Elle atteint 18% en certains endroits de la partie-Ouest.

On signale en outre de nombreux chenaux comblés le plus souvent, par des dépôts d'éboulis, et qui constituent les axes préférentiels des écoulements souterrains.

- Le deuxième secteur étroit, se compose de deux parties menacées à des degrés différents.

L'une contourne du côté aval la zone des 150 et 200 logements. Elle est marquée par une rupture de pente atteignant 22%. Le faciès dominant est composé d'argile en plaquettes et d'argiles gris-bleu fortement plissées et décomprimées. Ces argiles sont constamment saturées par les eaux de pluie et les eaux usées. Elles subissent, par conséquent, une altération chimique accentuant leur ramollissement. Ce processus affaiblit la consistance du sol et favorise les glissements.

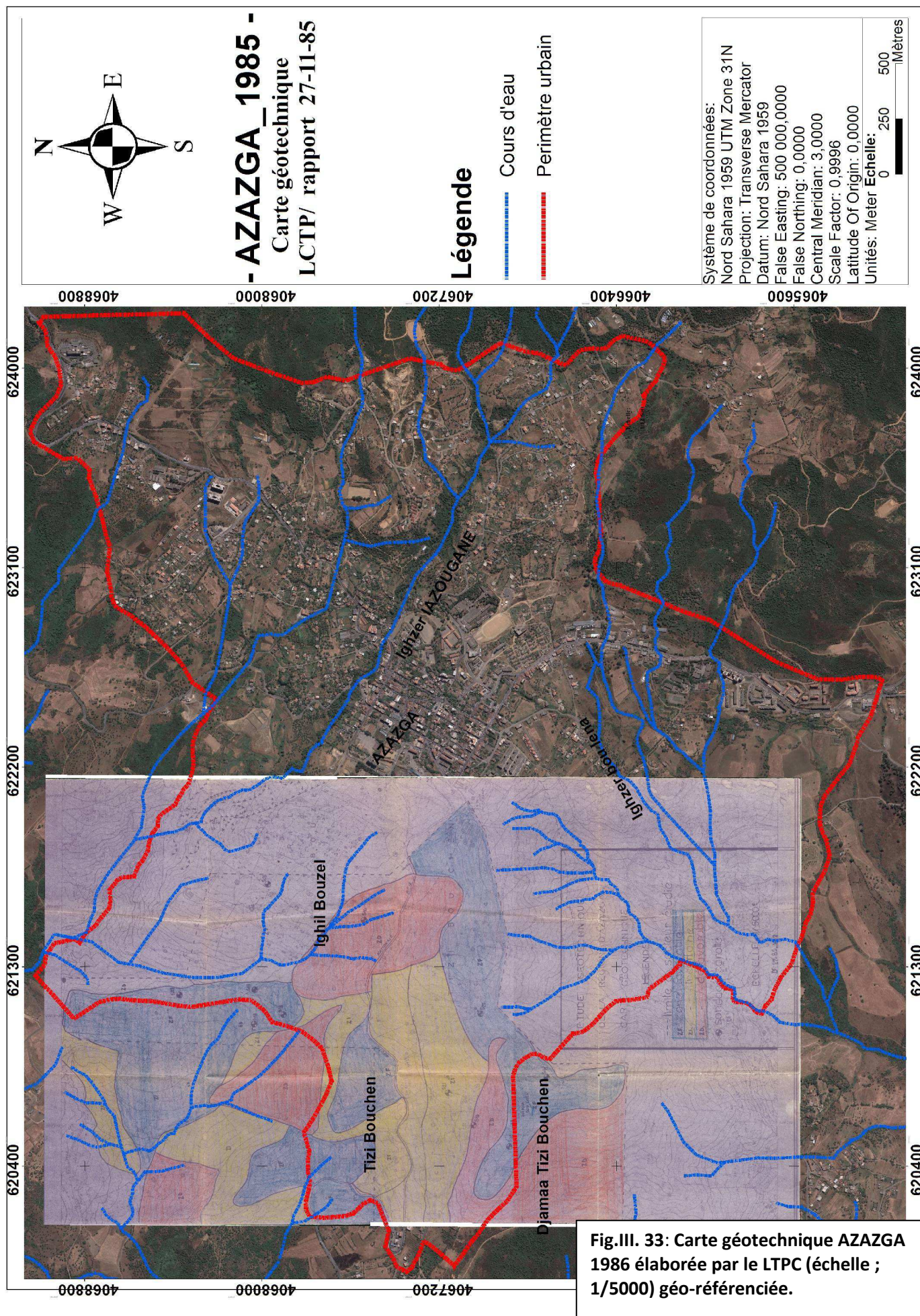
L'autre partie se situe à l'extrémité Ouest en aval de la RN 12. Son caractère incertain est dû à la présence d'éboulis en nappe assez épaisse et à une hydrologie marquée par une multitude de chenaux ayant raviné le secteur.

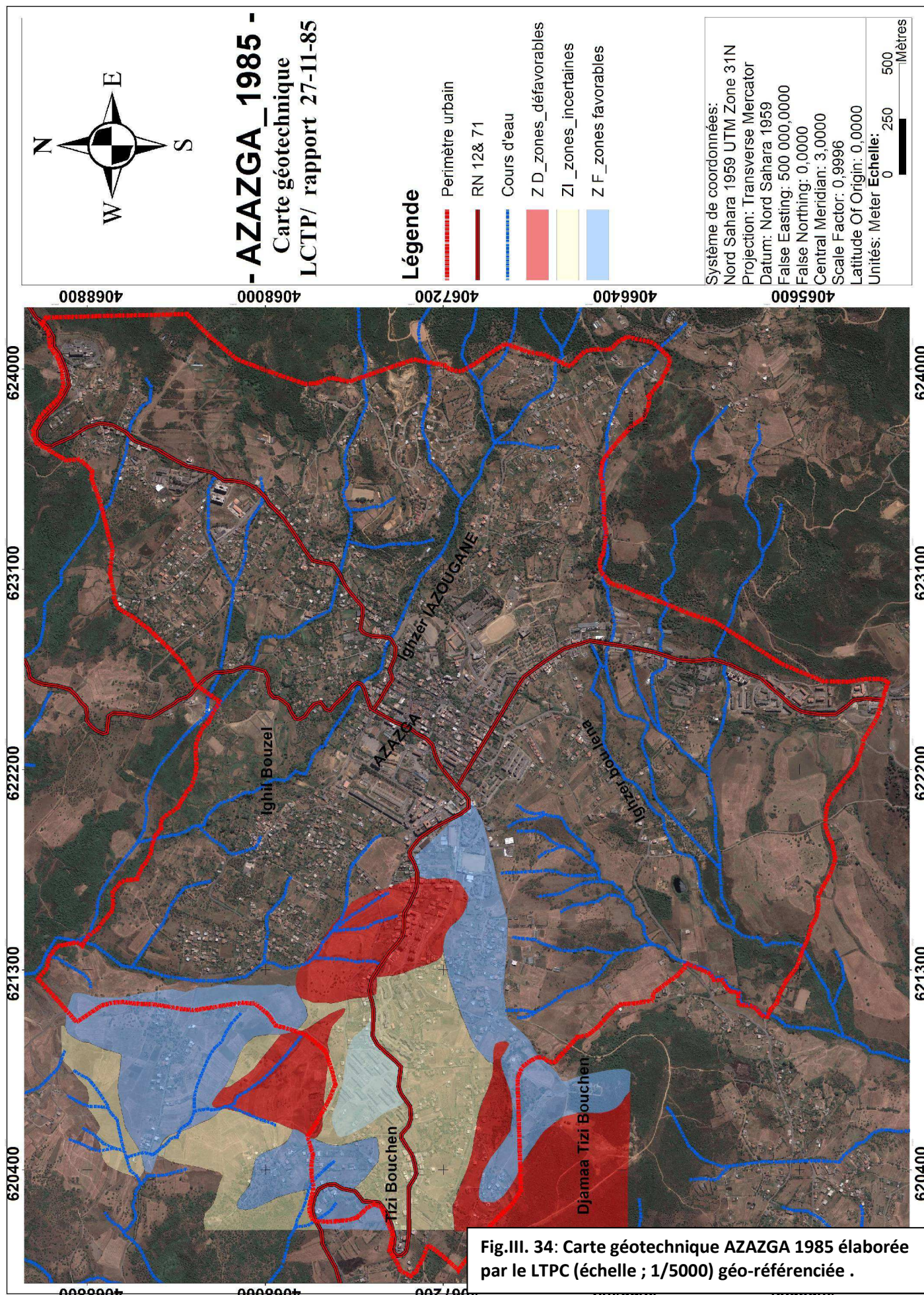
Le troisième secteur incertain concerne l'agglomération d'IGHIL BOUZEL. Formé uniquement d'éboulis dans une argile plastique, ce secteur accumule de grosses quantités d'eau de surface et d'infiltration. Malgré une topographie relativement modérée, la stabilité de ce secteur est très incertaine.

3/ Les terrains défavorables :

On les trouve principalement dans trois zones :

- A l'ouest d'IGHIL BOUZEL, dans un secteur en continuité avec un terrain instable de la zone Nord-Ouest. On note ici une pente assez forte et l'existence d'un chenal en cours de ravinement.
- Immédiatement au Sud-Ouest d'IGHIL BOUZEL sur un versant abrupt de part et d'autre de la RN 12, on observe au pied de la colline de TIZI BOUCHEN une rupture de pente assez brutale qui confère au site un caractère très incertain. L'instabilité en aval de la route est encore plus évidente et marquée par de nombreuses loupes de glissements et des fissures de traction.
- Autour de la colline de DJEMAA BOUCHEN, sur des flancs très raides constitués principalement par des nappes d'éboulis, on observe sur le flanc Nord de cette zone de fréquents glissements et des coulées boueuses.





III.5.2.2. Carte géotechnique de tout le site urbain depuis 1976

Suite au rapport N°06 du 31/08/1987 de l'étude géotechnique de la ville d'AZAZGA dressé par le LCTP, une carte zoning couvrant tout le site urbain à l'échelle de 1/5000, fait apparaître quatre niveaux de stabilité, vis-à-vis le glissement, dénommés : [39]

- 1- De niveaux stable (**F**) : favorables à l'urbanisation.
- 2- Des niveaux de stabilité incertaine (**I1**) : liés à des pentes de stabilité critique.
- 3- Des niveaux de stabilité très incertaine (**I2**) : liés à leur proximité des zones franchement instables.
- 4- Des niveaux instables (**D**) : soulignés par la présence de fissures apparentes et des morphologies caractéristiques des glissements.

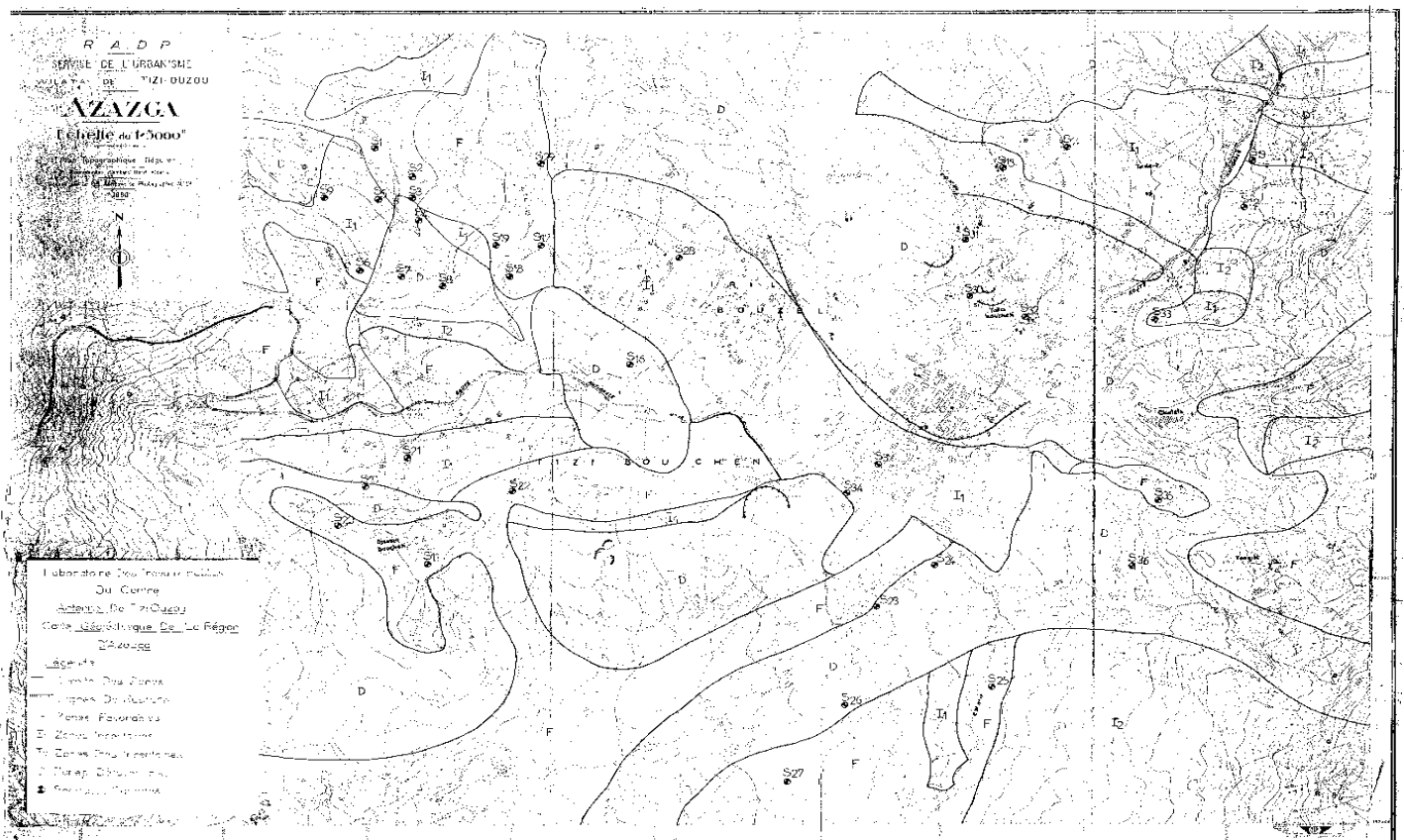
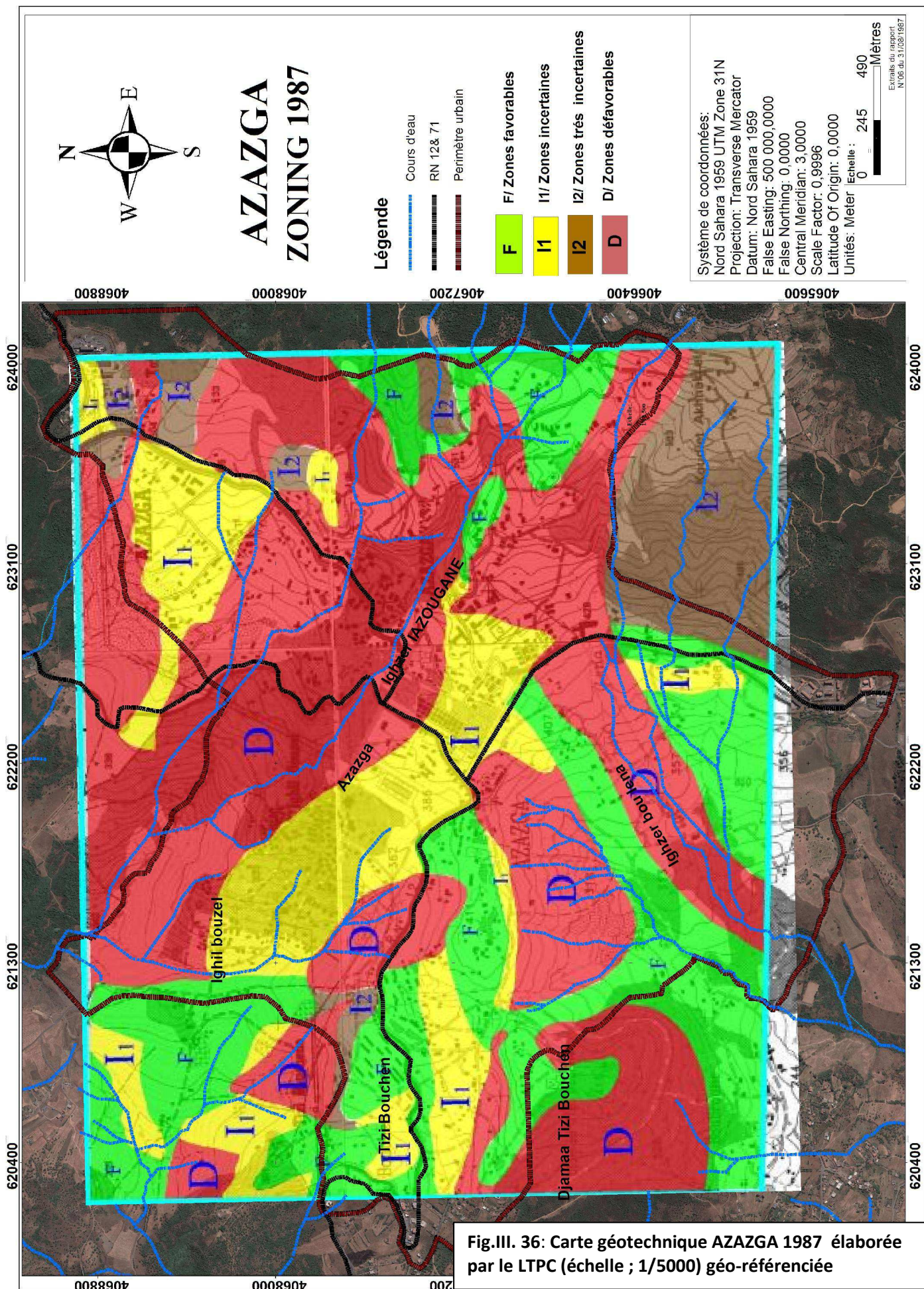


Fig.III. 35: Carte de zoning 1987 - LTPC (échelle ; 1/5000)



Etat descriptif de chaque Zone

Une carte sous forme de zoning a été dressée et permet de distinguer principalement trois types de terrains :

1. Les terrains favorables **(F)** : Seules quelques zones restreintes peuvent être retenues à l'extrémité Est. Mais c'est principalement au Sud de la région que l'on peut observer les plus grandes étendues de terrains stables.
2. Les terrains incertains **(I1 et I2)** : Ces terrains présentent des risques d'instabilité à des degrés différents, en raison de leur position géomorphologique, de leur pente assez prononcée et de leurs caractères lithostratigraphique. Ces terrains sont répartis principalement au Nord Est (site de la polyclinique et au centre (sur une partie de la ville et Ighil Bouzel

La partie Sud de la ville et le secteur d'Ighil Bouzel peuvent être rangés dans cette catégorie de zones incertaines (I 1). Ils sont constituées principalement d'éboulis accumulés bloc par bloc. Ce mode de dépôt explique l'état d'équilibre dans lequel se maintient actuellement ce versant. Cet équilibre peut être rompu par des travaux de fouilles ou de terrassements qui supprimeraient la buté de pied.

Certaines règles sont donc à observer avant toute construction dans cette zone :

- Procéder à des études de sols ponctuelles et à des études de fondations ;
 - Opter dans la majeure partie des cas pour des fondations semi profondes ;
 - Réduire l'ampleur des terrassements en adaptant les constructions à la topographie.
 - Limiter l'importance des ouvrages en autorisant que les constructions légères.
3. Les terrains défavorables **(D)** : Ces terrains sont soit le siège de glissements et d'une érosion très active, soit caractérisés par des pentes trop fortes et des ravinements.

III.5.3 Etudes géotechniques d'urbanisation des POS

Jusqu'aux années quatre-vingt, les instruments d'urbanisme comme outils de gestion de l'espace bâti pour l'ensemble du territoire national, accordaient peu d'importance à l'analyse des conditions naturelles des sites à bâtir et jusqu'à nos jours, l'importance accordée à la géologie dans les études de sols, est souvent réduite à des extraits de documents bibliographiques (cartes géologiques de petites échelles) dont le caractère fondamental ne donne pas toute l'information appliquée et utile.

Depuis le début des années 1990, de nouveaux instruments d'urbanisme sont mis en place (PDAU et POS), la gestion de l'espace urbain est subordonnée à l'élaboration de Plans d'Occupation des Sols (POS), dont le contenu exigé tente de mieux cerner au préalable les conditions naturelles des sites, en précédant celles-ci par des études géotechniques confiées aux Laboratoires pour mener des investigations géologiques.

Dans ce contexte, des études géotechniques d'urbanisation ont été lancées pour la ville d'Azazga par la direction de l'urbanisme et de la construction dans le cadre des études de POS à partir de 2002.

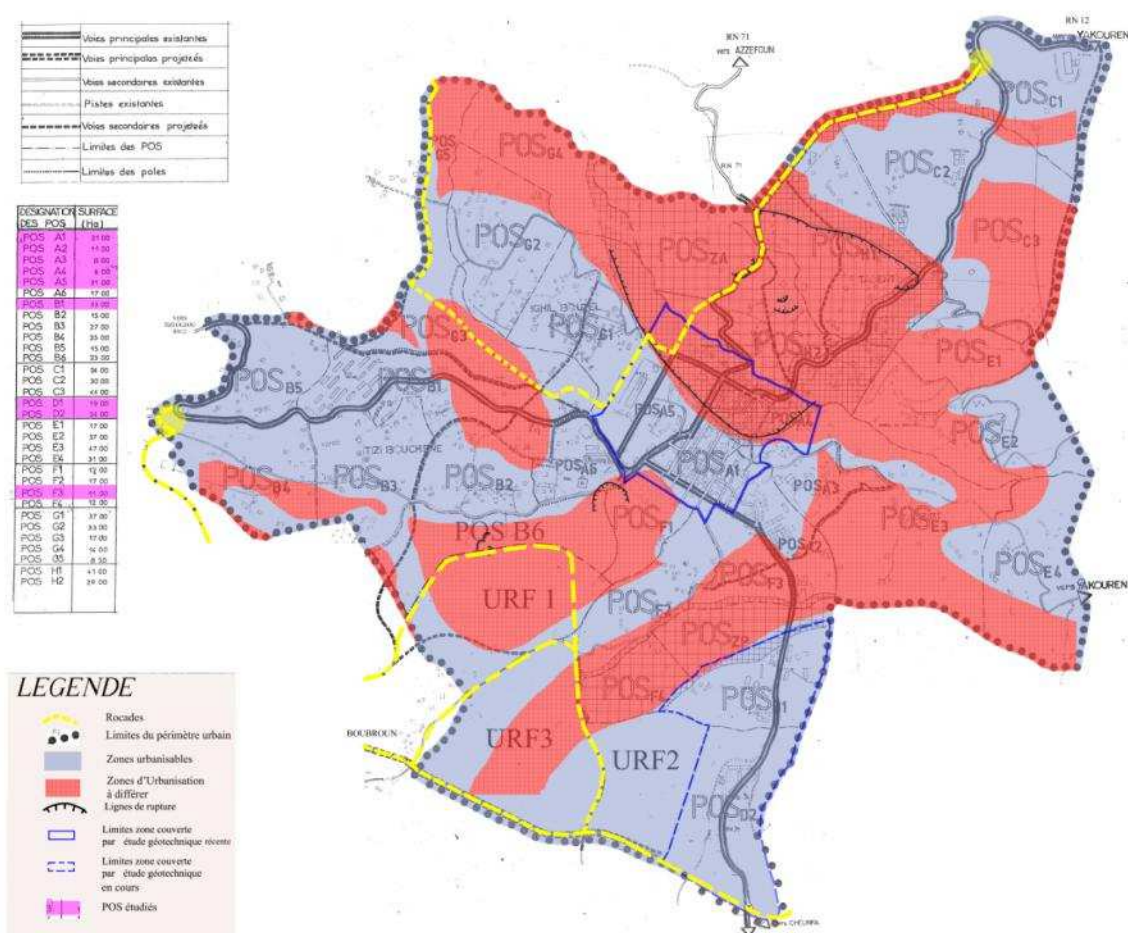


Fig.III. 37: Carte de délimitation des POS (PDAU d'Azazga) avec application de la carte de constructibilité (LCTP/2006)

III.5.3.1. Etude géotechnique d'urbanisation POS A1 et A5 AZAZGA (LCTP 2004)/ Dossier N°31.03.0042

Une étude géotechnique d'urbanisation des POS A1 (21ha) et A5 (31 ha) a été élaborée par le Laboratoire Central des Travaux Publics (LCTP), suite à la demande de la Direction de l'Urbanisme et de la Construction de la Wilaya de Tizi Ouzou,

- **Situation de la zone étudiée**

Le secteur d'étude correspond aux POS A1 et A5 situés à l'intérieur du périmètre urbain d'Azazga tel que délimité dans la carte de délimitation des POD du PDAU d'Azazga

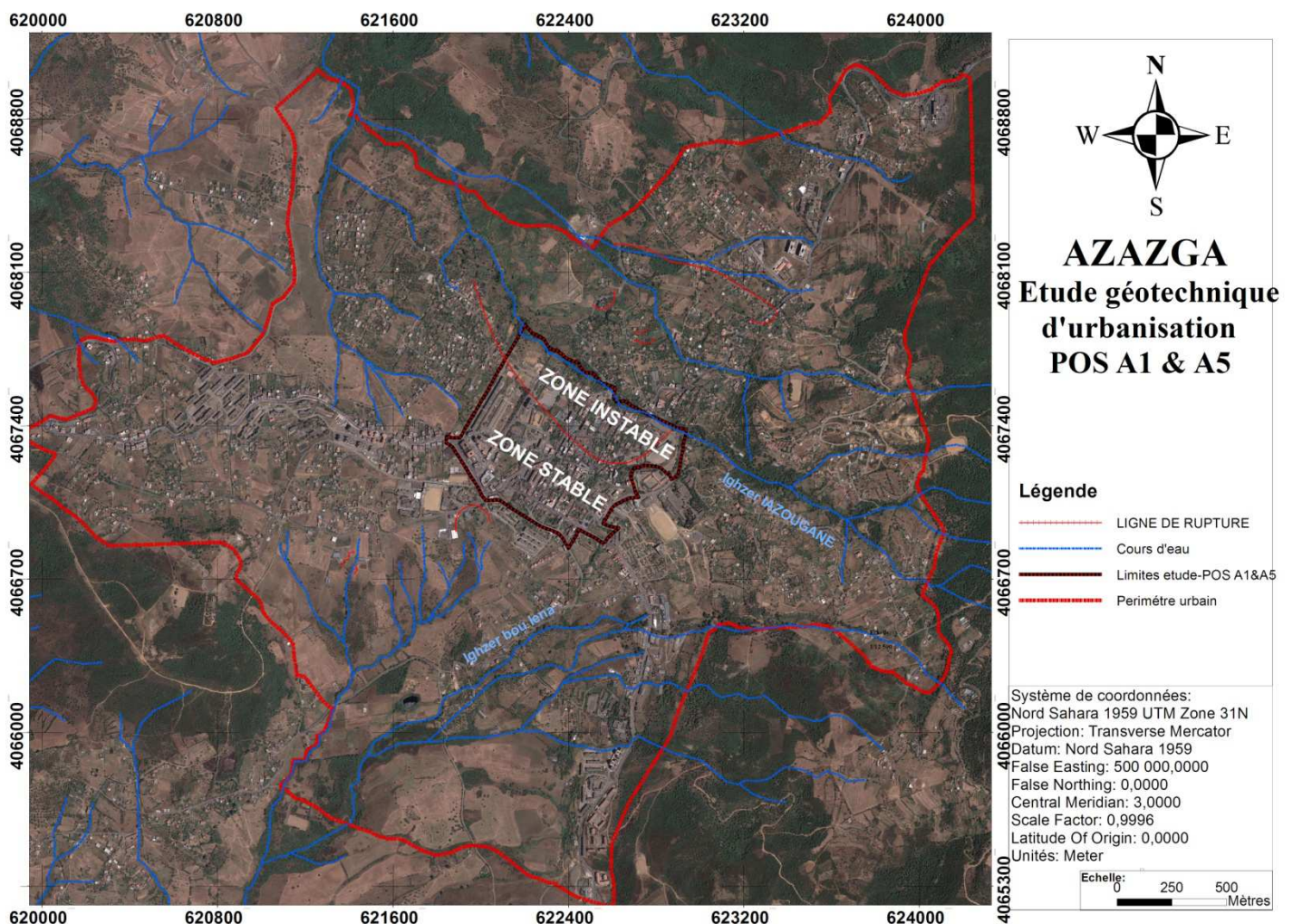


Fig.III. 38: Situation du site des POS A1&A5 (AZAZGA)

- **Géologie spécifique aux POS**

L'investigation du sol et du sous-sol des POS A1 et A5 a porté sur 9 sondages carottés (S1 à S9) de 35m de profondeur chacun. Leurs positions sont répertoriées sur les figures 38 et 39.

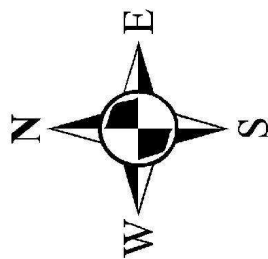
622400



4067400

[157]

4066700



AZAZGA SONDAGES POS A1 & A5

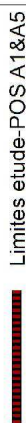
Légende



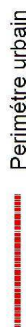
2004



Cours d'eau



Limites étude-POS A1&A5



Périmètre urbain

Système de coordonnées:
Nord Sahara 1959 UTM Zone 31N
Projection: Transverse Mercator
Datum: Nord Sahara 1959
False Easting: 500 000,0000
False Northing: 0,0000
Central Meridian: 3,0000
Scale Factor: 0,9996
Latitude Of Origin: 0,0000
Unités: Meter

Echelle:

0

75

150

Mètres

4066700

L'analyse des coupes de sondages montre que le site des deux POS est représenté par des flyschs formant le terrain substratum, et recouverts par des colluvions sablo-gréseuses épaisses que l'on peut assimiler aux éboulis du complexe argilo-gréseux numidien. Le contact entre le flysch argileux et le recouvrement sablo-gréseux est souligné par un niveau d'argiles très altérées, de faibles caractéristiques géotechniques

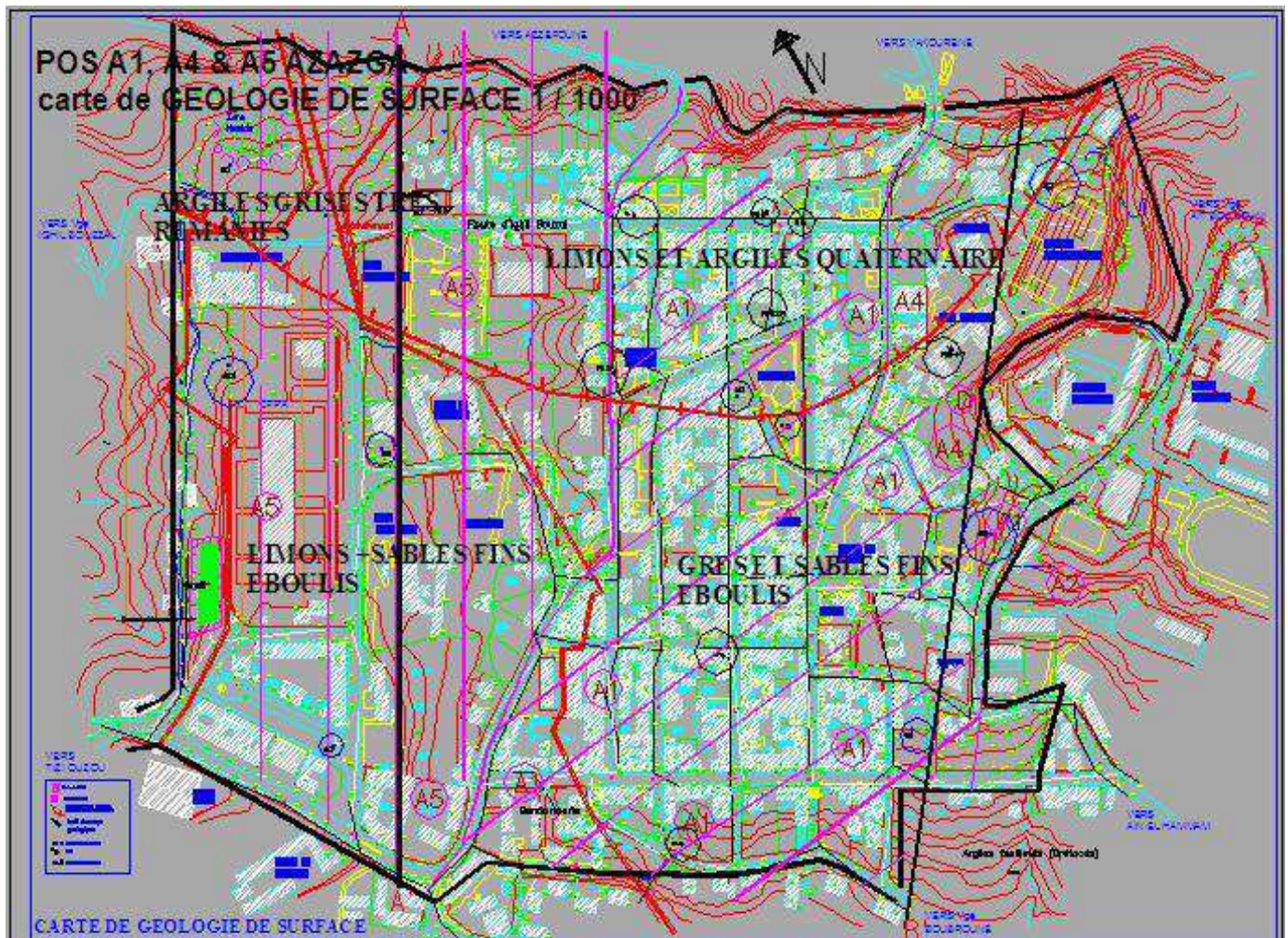
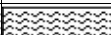
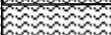
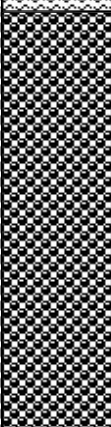
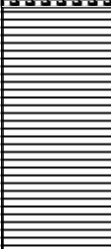
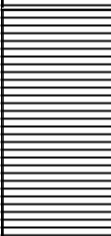
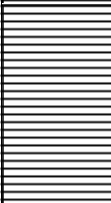


Fig.III. 40: Carte de géologies de surface des POS A1, A4&A5

N° dossier: 27.85.1012 Chantier : Etude géotechnique Azzazga Lieu: AZZAZGA Etabli par :R IDDIR									X=647.485 Y=383.890 Z=		Sondage n°10	INCL: 90°
Echelle (m)	Diamètre et type d'outillage			Carottage nature prélèvement %					Coupe	Description		
	tuba	Rota	Batt	0 25	25 50	50 75	75 100	Echantillon paraffiné				
01										Terre végétale	0.40	
02										Argile rouge graveleuse et caillouteuse	1.20	
03										Eboulis de grès numédiens sur des argiles bariolés (jaune et vert) poudreuses		
04												
05												
06												
07												
08										Argile marneuse gris bleu très indurée fortement tectonisée : fissures larges,remplies d'argile jaune poudreuse teintée d'oxyde de fer , et présence d'éboulis de grès		
09												
10												
11												
12										Argile marneuse gris sombre à éboulis de grès siliceux		
13												
14												
15										Marne dure niveau fissurée (15.60/16.60)		
16												
17												
18										Alternance d'argile bleu feuilletée et de petits quartzites	17.20	
19										Banc de grès siliceux	18.10	
20										Marne dure massive intercalée de lits d'argile bleue feuilletée		
										Fin du sondage	20.50	

- **Caractéristiques physico-mécaniques des formations**

Le tableau ci-dessous résume leurs principales caractéristiques géotechniques :

Essais	Flyschs Grésopélitiques, altérés	Argiles miocènes	Eboulis argilo-gréseux
Teneur en eau	17 à 32	20 à 25	Supérieure à 30%
Limite de liquidité	65 à 70	40 à 55	50 à 70 %
Indice de plasticité	30 à 45	22 à 34	30 à 45
Densité sèche	1.40 à 1.75	1.60 à 1.66	
Coefficient de compressibilité	0.2 à 0.3		0.30
Coefficient de gonflement	0.08 à 0.11		
Cohésion (Kgf/cm ²)	C _{uu} = 0.35 à 0.75	C _{cu} = 0.50 à 0.70	C _{uu} = 0.25 à 0.50
Frottement (degré)	Ø _{uu} = 14 à 18	Ø _{cu} = 9 à 14	Ø _{uu} = 5 à 25

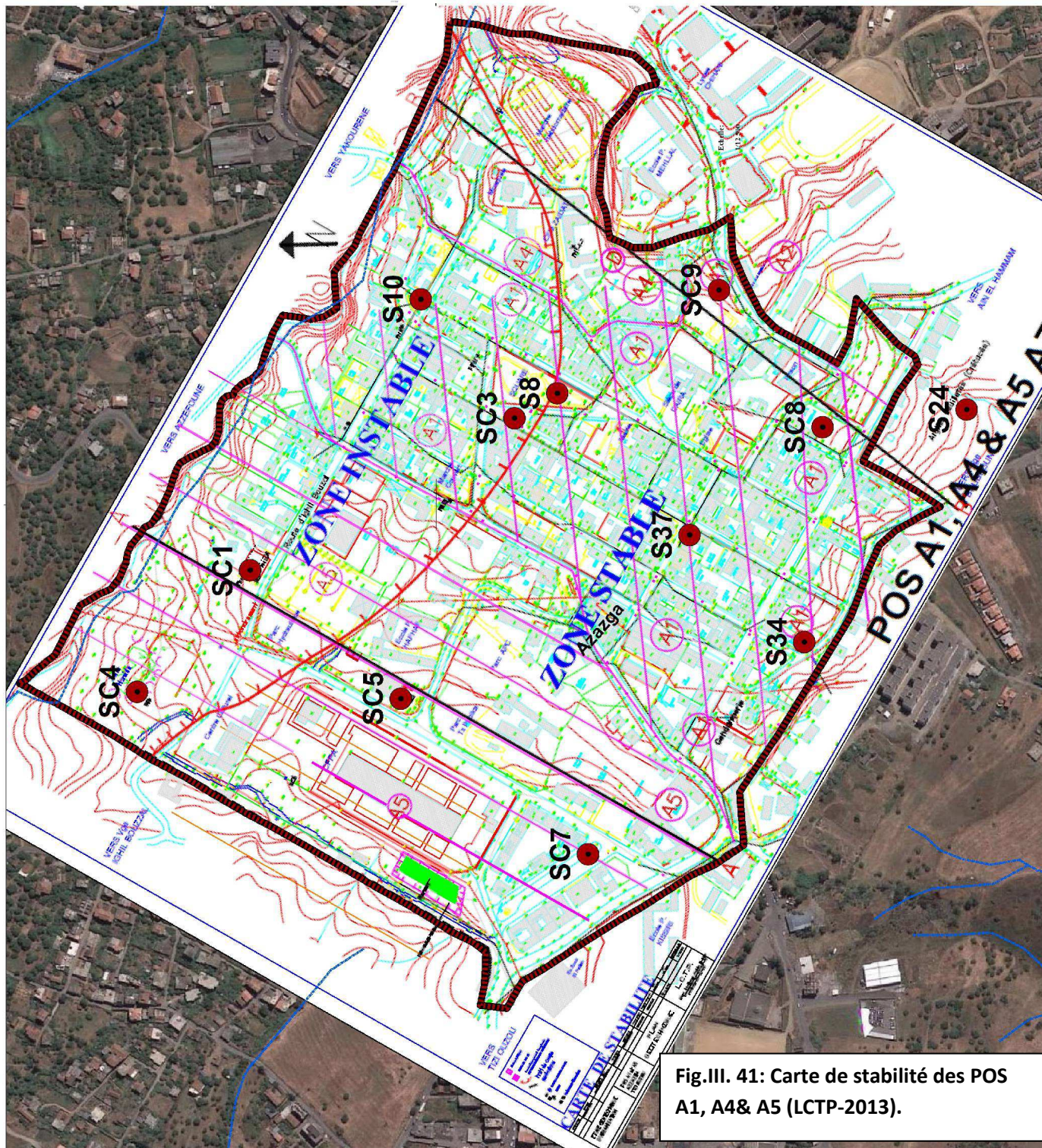
Les résultats ci-dessus montrent que ces formations n'admettent pas des surcharges importantes et qu'elles sont très sensibles en présence d'eau. Ces caractéristiques sont toutefois à vérifier, sachant qu'elles peuvent varier dans une large mesure, suivant les sites de prélèvement des échantillons. Néanmoins, les études antérieures mettent l'accent sur la faible portance de ces différents terrains et préconisent, lorsque les pentes sont stables, des fondations semi-profondes.

- **Constructibilité**

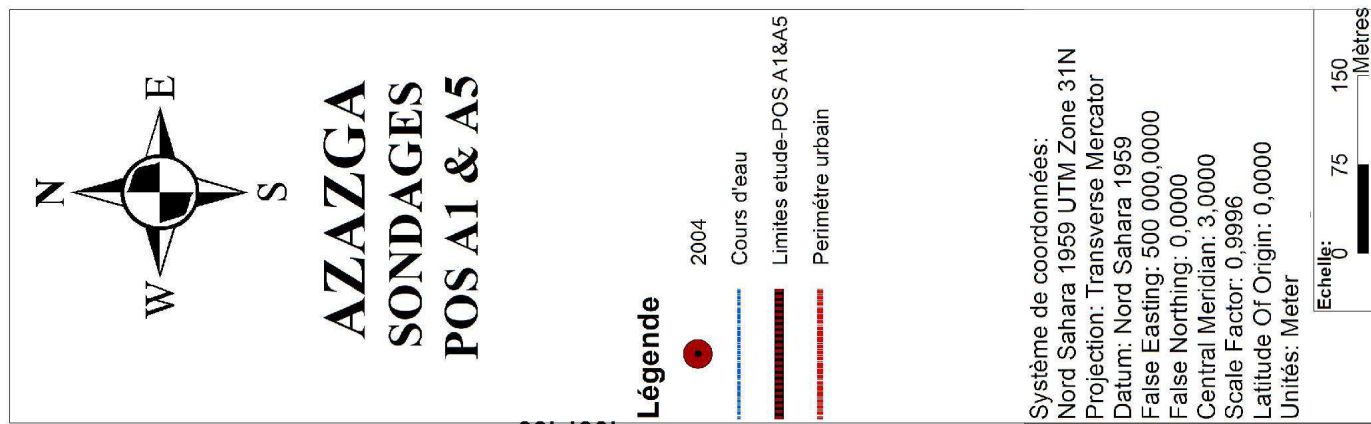
A l'issue de cette étude, deux zones ont été délimitées quant à leur constructibilité :

- 1) La zone Nord, instable et non constructible, sauf, éventuellement dans le cas de fondations profondes (constructions sur pieux), et ce après instrumentalisation du site par le placement d'inclinomètres pour déterminer les coefficients et paramètres de calcul de ces pieux.
- 2) Le reste du site, stable et constructible, mais nécessitant des études géotechniques ponctuelles, tenant compte des résultats et orientations de la présente étude.

622400



4067400



III.5.3.2.Etude géotechnique d'urbanisation POS D1&D2 AZAZGA (LCTP 2006)

Une étude géotechnique d'urbanisation du site des POS D1et D2, a été élaborée suite à la demande de la Direction de l'Urbanisme et de la Construction de la Wilaya de Tizi Ouzou, (Bon de commande N73/04, daté de 15/05/2004) par le Laboratoire Central des Travaux Publics (LCTP).

- **Situation de la zone étudiée**

Zone d'étude est située au Sud de la ville d'Azazga, au quartier dénommé « Tizi-Nfliki ». Elle est traversée par la RN 71, qui mène vers Ain El Hammam.

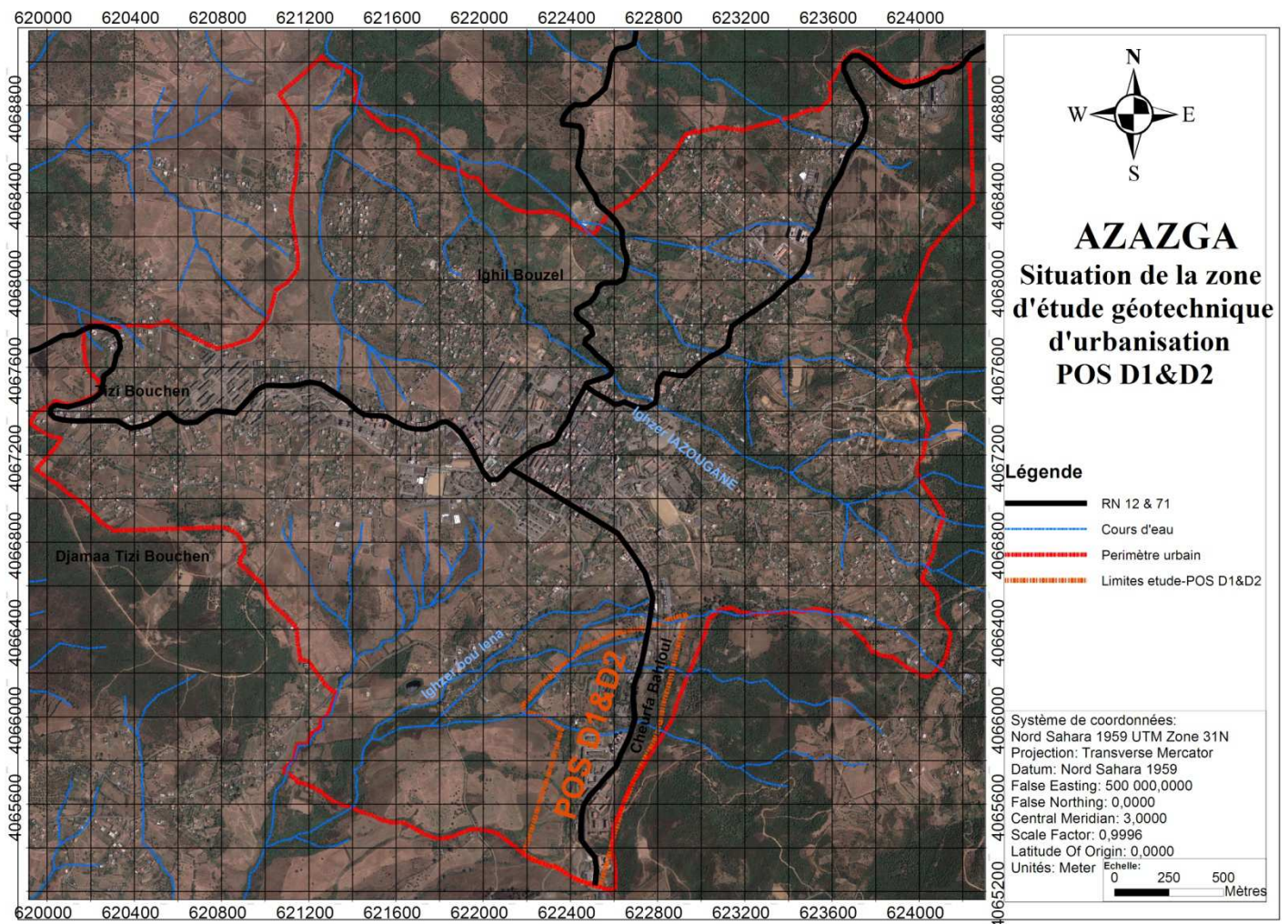


Fig.III. 42: Limite du site des POS D1&D2 (AZAZGA)

Les POS D1 et D2 correspondant au versant Sud-Ouest du massif du Djebel El ABed qui domine la ville d'Azazga. Ses pentes topographiques sont irrégulières. Elles varient généralement de 5° à 30°. Leur superficie s'étend sur 43 hectares.

- **Géologie et données générales du site**

La structure géologique du site est déterminée à partir des sondages carottés exécutés dans la zone (4 sondages ont été réalisés).

La campagne de sondages carottés, réalisée confirme la nature du sol déjà décrite, à savoir :

- Les éboulis numidiens
- Les argiles et grés sous-numidiens
- Les argiles du Crétacé qui correspondent probablement à une des unités de flyschs, décrites par les auteurs.

Les principales caractéristiques géotechniques de ces unités sont résumées sur le tableau ci-dessous :

CONSTRUCTIBILITE DU SITE

Trois zones d'aptitude à la construction ont été distinguées (Figure III 43):

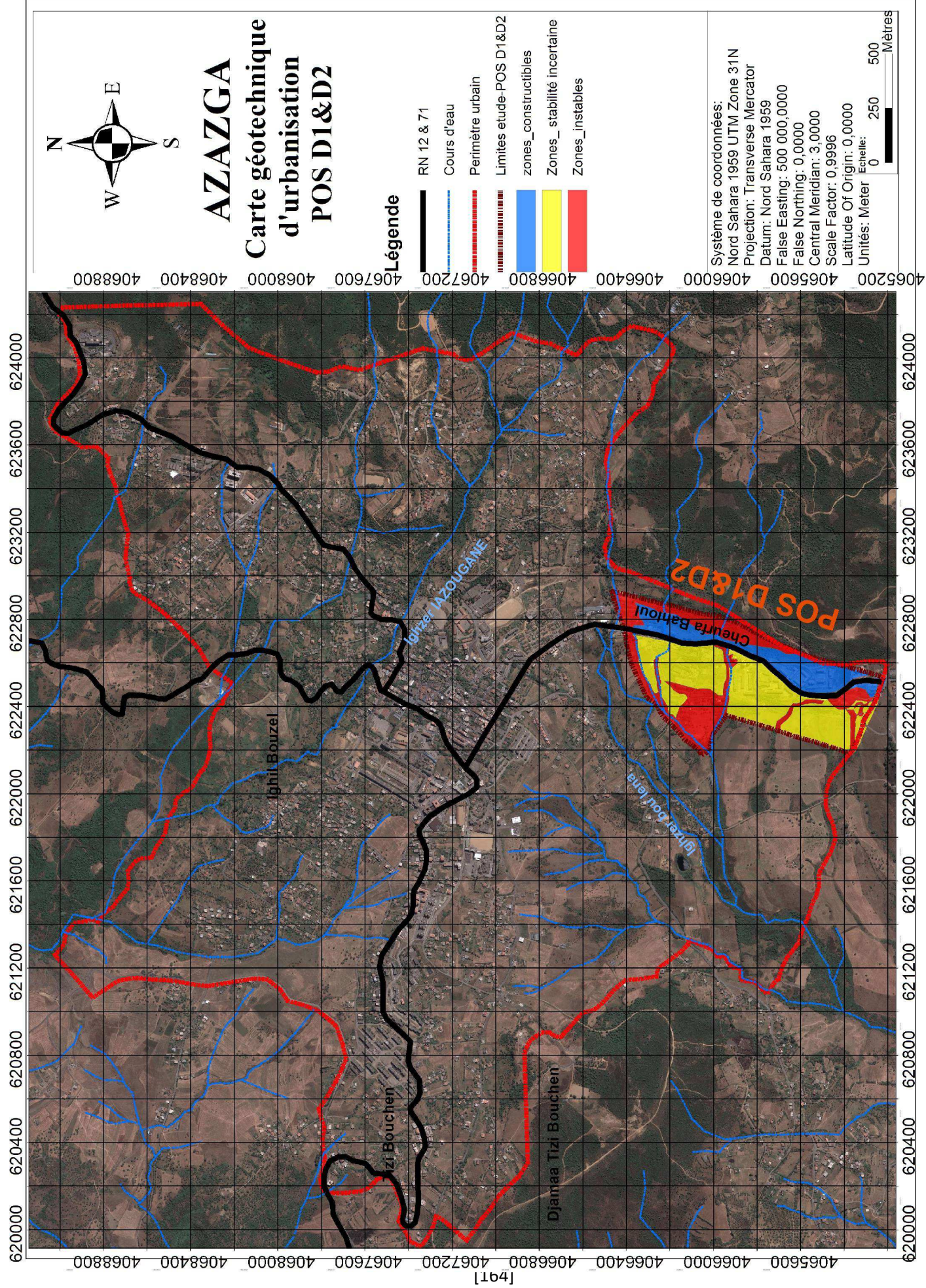
A) Zones constructibles : elle correspond à la zone amont de la RN° 71 (bordure Est des POS), caractérisée par des pentes douces et régulières. Dans l'ensemble le terrain est stable vis-à-vis des glissements de terrains.

B) Zones de stabilité incertaine : elle correspond à la zone aval de la RN71, qui représente la plus grande surface des POS D1 et D2.

L'incertitude de la stabilité de cette zone est liée à un recouvrement épais d'éboulis.

C) Zones " instables " : Elle correspond aux extrémités Est et Nord-Ouest du site du POS.

Ce secteur comprend les zones instables, zones de fortes pentes et les proximités des thalwegs.



III.5.4 Etude élaborée après glissement d'AZAZGA 2012

(Référence : Investigations géotechniques de la zones instables des POS A1 ET A5, rapport final/décembre 2012) :

La réactivation de glissement terrain dans la partie Nord du site urbain d'Azazga s'est produite aux mêmes limites cartographiques que du dernier mouvement. Des désordres importants ont été enregistrés sur les édifices publics (hydraulique, centre culturel et ADE..), canalisations, routes et voir centaine d'habitations individuelles.

Suite à la demande de la direction de l'Urbanisme et de la construction de la wilaya de Tizi ousou, le Laboratoire Central des Travaux publics à entrepris des investigations géotechniques spécifiques de la zone instable des POS A1 ET A5 située au Nord de la ville d'Azazga.

Cette étude comprendra la pose de piézomètre et d'inclinomètre (*Fig III.44*) pour mieux évaluer le mouvement de sol.

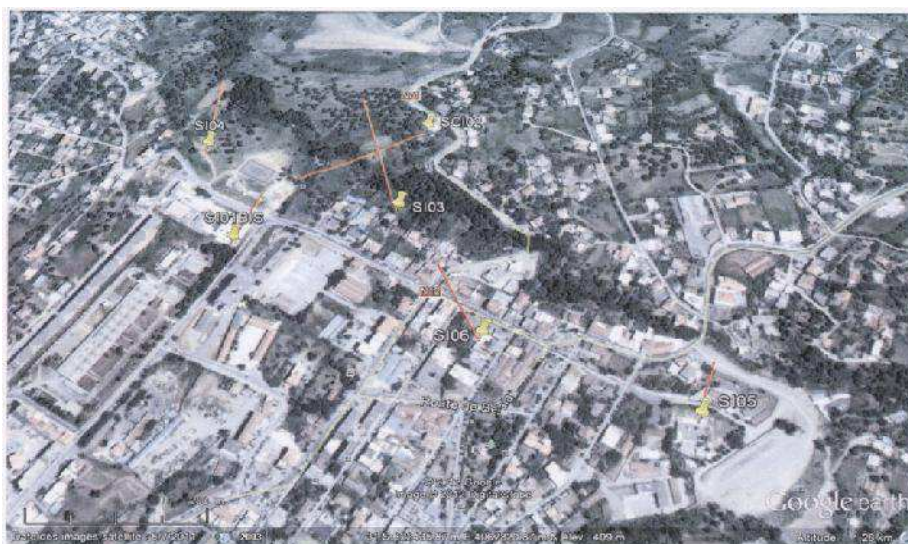


Fig.III. 45:Photos position et orientation des sondages inclinométriques.

Le tableau donné ci-dessous comporte les coordonnées UTM de quelques points du périmètre délimitant la partie étudiée :

Points	X	Y
P1	622039	4068032
P2	622072	4068144
P3	622171	4067829
P4	622292	4068020
P5	622336	4067657
P6	622491	4067902
P7	622460	4067596
P8	622564	4067554
P9	622709	4067748
P10	622756	4067625

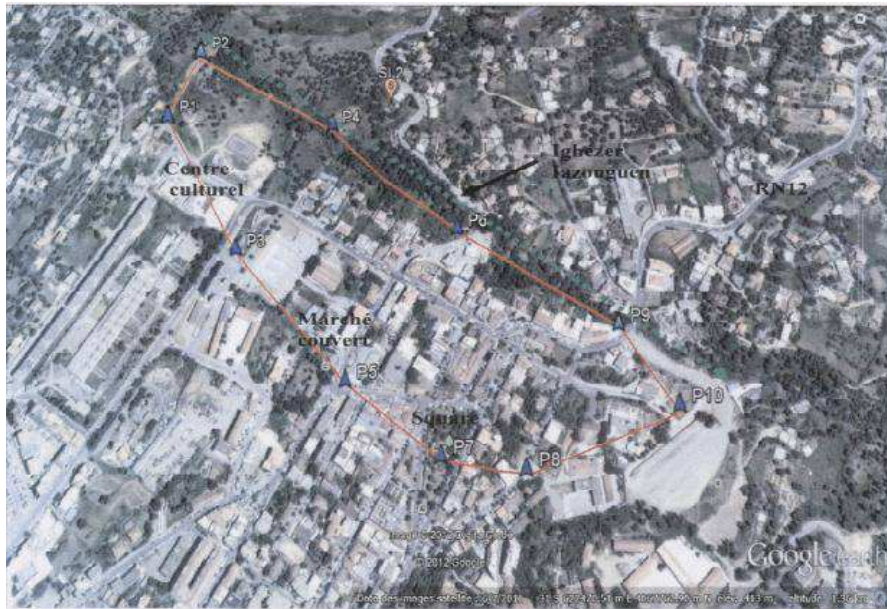


Fig.III. 46.Localisation de la zone d'étude à partir de Google earth.

III.5.4.1. Programme de la campagne géotechnique

Il s'agissait de réaliser :

- Six (06) sondages carottés de 35 ml de profondeur équipés d'inclinomètre.
- Trois (03) sondages carottés de 20 ml de profondeur équipés de piézomètre.
- Essais de laboratoire.

La situation des sondages carottés réalisés sont données en fonction de leurs coordonnées UTM dans le tableau ci-dessous :

Sondages	Lieu	Coordonnées	
SI 1Bis	Centre Culturel	622138	4067875
SI 2	Jardin	622378	4068096
SI 3	ADE	622346	4067928
SI 4	Maison (Nord du Centre Culturel)	622078	4068039
SI 5	Mosquées	622695	4067628
SI 6	Parkings du restaurant	622455	4067732
SP 1	Cour (menuiserie)	622575	4067711
SP 2	Cour (annexe CFPA)	622322	4067813
SP 3	Jardin	622274	4067957

III.5.4.2. Résultats de la campagne géotechniques

III.5.4.2.1. Synthèse géologique du site

Les sondages carottés réalisés dans la zone ont permis de mettre en évidence trois horizons distincts :

- a) **Les éboulis du Numidien** : l'épaisseur de cette formation varie de 10 à 20 m et couvrent le versant suivant des pentes élevées par endroits, sachant que cette formation présente des caractéristiques géotechniques médiocres (forte plasticité souvent

saturés), ce qui explique la faible stabilité de cette formation vis-à-vis du glissement en présence d'eau dès que la pente naturelle de stabilité est dépassée.



Fig.III. 47.Structure de la nappe d'éboulis

- b) **Les argiles feuilletées et les grès sous-numidiens** : l'épaisseur moyenne de cette formation est 2 m, souvent altérés au niveau de l'interface éboulis –argiles (accumulation de l'eau).

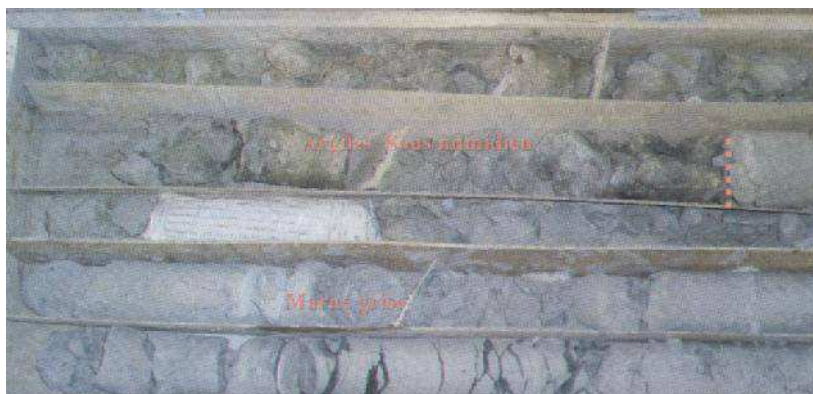


Fig.III. 48.Caisse à carotte montrant l'interface Argiles-Marne.

- c) **Les argiles en plaquettes (flysch)** : ce faciès occupe la majeure partie des terrains explorés, constituant ainsi le substratum de secteur étudié, ces argiles présentent des caractéristiques physico-mécanique acceptables, et souvent recouvertes par une importante couche d'éboulis.

III.5.4.2.2. Compagne piézométrique

Le relevé du niveau piézométrique à partir des puits payants et des sondages carottés montre que les éboulis sont aquifères. La nappe est située environs 2 à 3 de profondeur, elle peut remonter jusqu'en surface en période pluvieuse.

III.5.4.2.3. Résultats des essais inclinométriques

L'objectif des mesures inclinométriques est de déterminer au cours du temps l'amplitude et la direction des déplacements horizontaux du terrain en profondeur. Pour cela, après avoir scellé un tube spécial dans un forage, on vient mesurer régulièrement l'inclinaison de ce tube à l'aide d'une sonde de mesure (inclinomètre).

■ Programme de mise en place et de surveillance

L'implantation et l'exécution des sondages inclinométriques ainsi que l'orientation dans le sens présumé du glissement (direction A+) sont résumés dans le tableau suivant :

Sondages	Lieu	Orientation A+
SI 1Bis	Centre Culturel	20° N
SI 2	Jardin	245° SW
SI 3	ADE	345 °N
SI 4	Maison (Nord du Centre Culturel)	0° N
SI 5	Mosquées	20° N
SI 6	Parkings du restaurant	336° NW

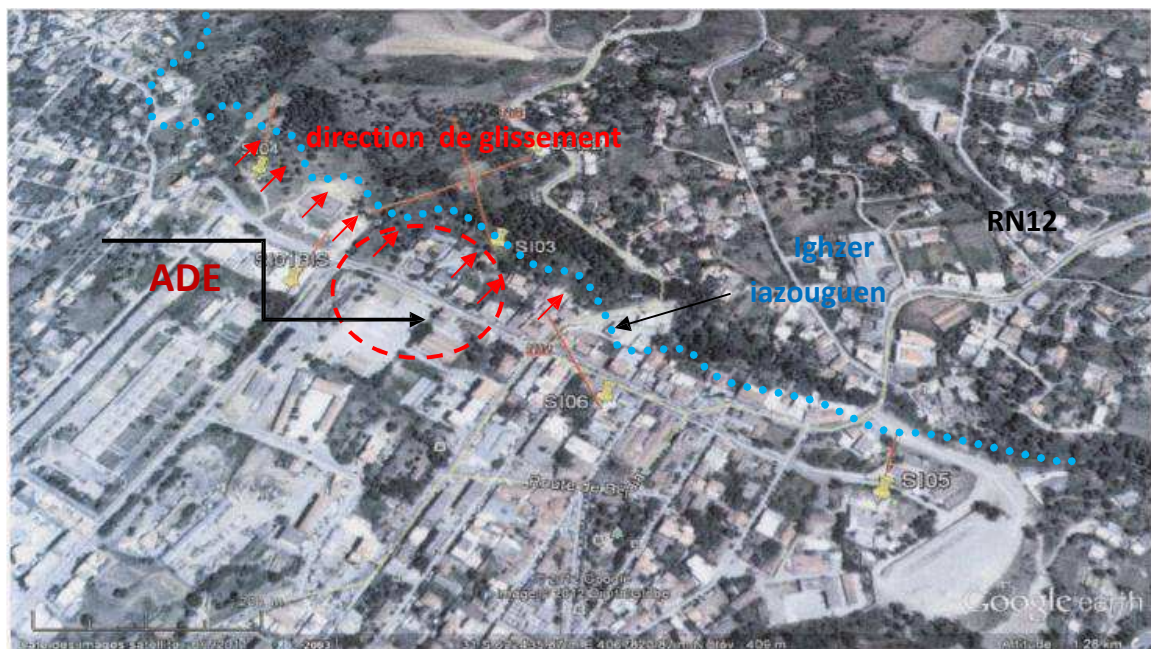


Fig.III. 49. Localisation et orientation des sondages inclinométriques.

■ Résultats des mesures et interprétation

Analyse :

Les mesures inclinométriques traitées sont représentées avec, pour chaque inclinomètre :

- les courbes de variations angulaires et déplacements dans la direction A.
- les mêmes types de courbes suivant une direction B perpendiculaire à A.

Plusieurs courbes sont superposées sur chaque graphe, montrant l'évolution des variations angulaires ou des déplacements en fonction du temps. Ces courbes font nettement apparaître la profondeur des surfaces de glissement. Pour les variations angulaires, les courbes présentent un pic correspondant à cette surface de glissement .L'amplitude et la

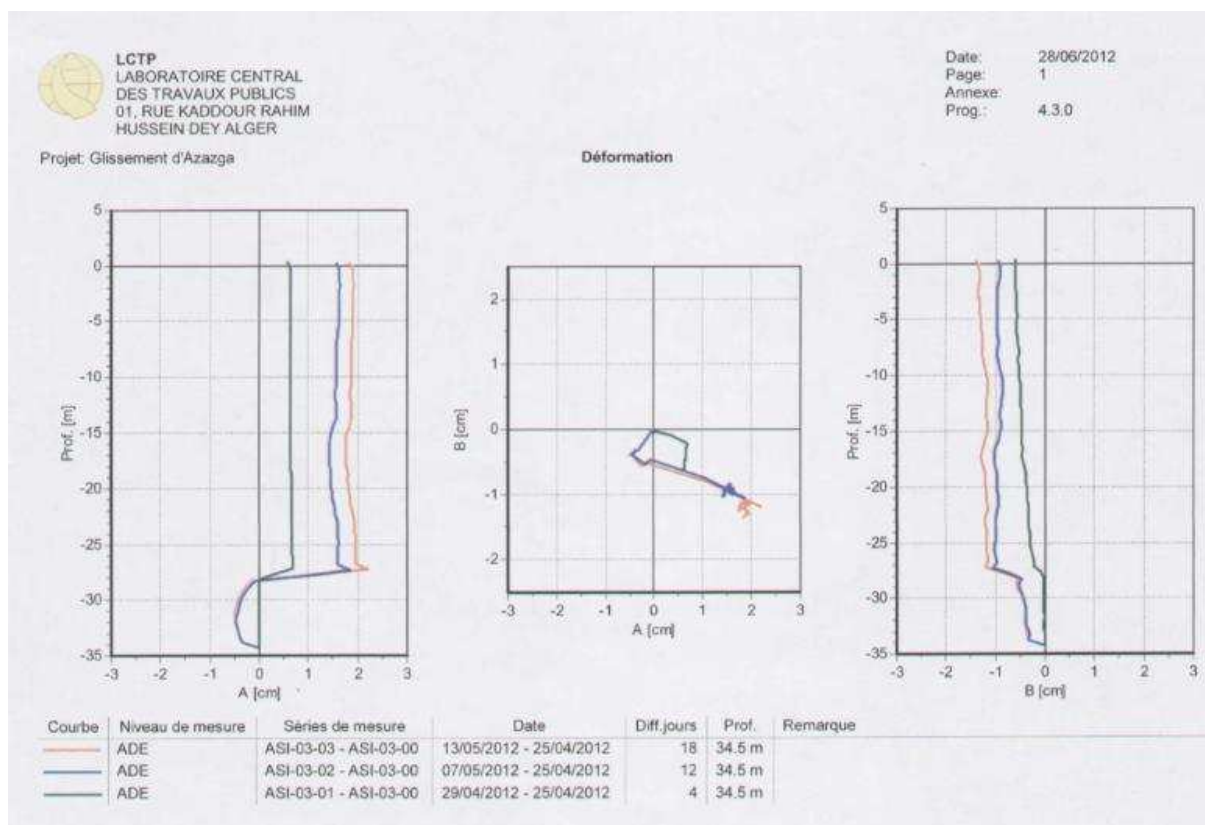
direction des déplacements résultants sont calculées par composition des déplacements calculés dans la direction A et dans la direction B perpendiculaire (B+ à 90° dans le sens des aiguilles d'une montre).

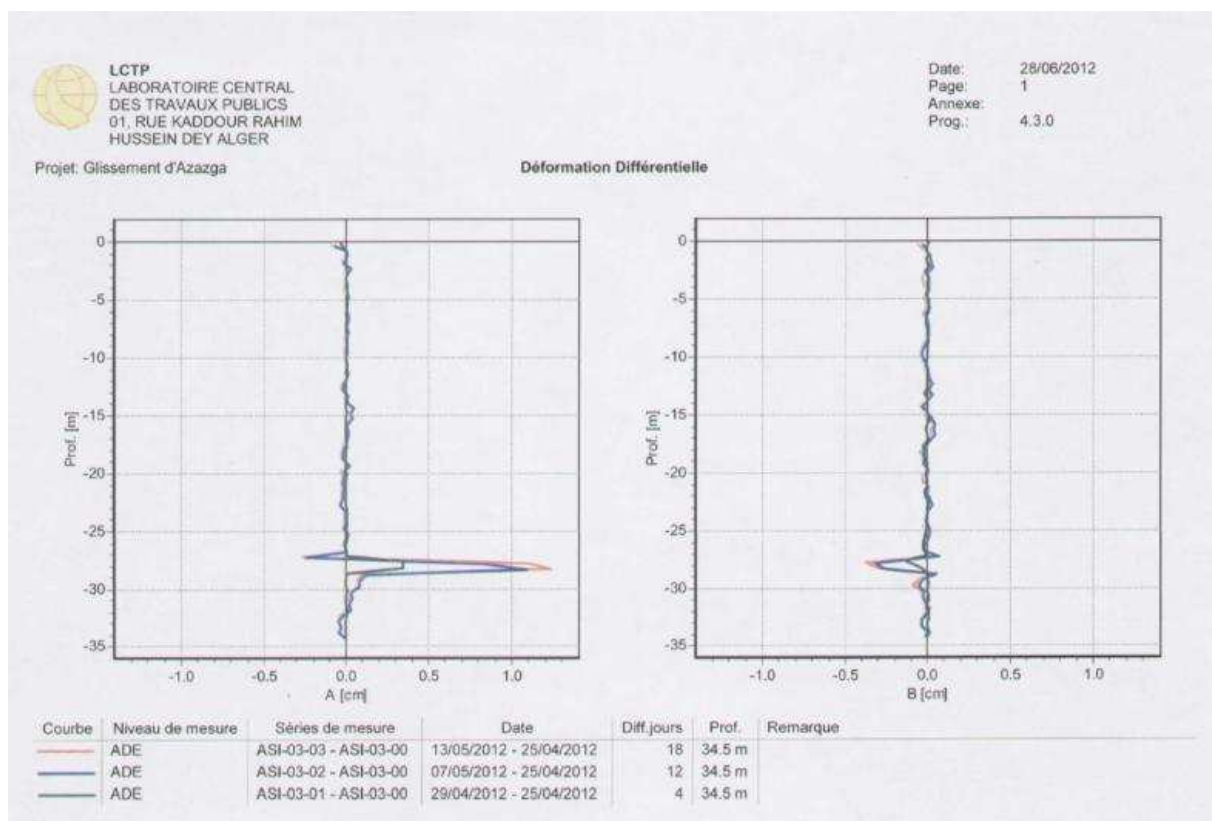
- Exemple de résultat d'un sondage inclinométrique :

Sondages SI3 (ADE Azazga):

Sondage N°	Datte	N° de la Mesure	Profondeur Mesure	Observation
SI 3	18/042012	-	-	- Miss en place de l'inclinomètre
	25/04/2012	00	34.50m	- Mesure de référence
	29/04/2012	01	34.50 m	- Difficulté de passage de fausse sonde au voisinage de 28,00m de profondeur.
	07/05/2012	02	34.50 m	- Difficulté de passage de fausse sonde au voisinage de 28,00m de profondeur.

Les résultats de mesures montrent que le tube inlinométrique est déstabilisé sur 28,50 m de profondeur avec une déformation millimétrique dans les deux directions, la mesure n°01 indique que la déformation atteinte au sommet du tube est de 0.58 cm dans la direction A et de - 0,61 cm dans la direction B.





Le diagramme «Déformation différentielle» a mis en évidence un pic de déformation entre 28.00m et 28,50 m de profondeur par rapport à la surface du terrain naturel actuel.

Les résultats de mesures confirment l'évolution de la déformation de ce dernier à la profondeur de 28,5 m par rapport à la surface de sol naturel ; la déformation est centimétrique dans les deux directions, elle atteint au sommet du tube inclinométrique la valeur de +1.86 cm dans la direction A et -1.37 cm dans la direction B.

Conclusion

Les résultats des essais inclinométriques confirment l'instabilité de la zone étudiée. En effet, l'ensemble des inclinomètres montrent une déformation caractérisant les mouvements de terrains. La corrélation entre les différents résultats montre que le plan de glissement varie d'un endroit à un autre et converge, en générale, vers la partie Nord du site (Ighzer lazouguen). Il correspond probablement au contact éboulis – flysch ou argiles et grès numidien-flysch.

III.6. DESCRIPTION DES DESORDRES ET DES INSTABILITES

III.6.1 Historique des désordres

L'exploitation des données d'archives et les fiches d'évaluation des dommages constatés suite aux différents glissements d'Azazga, nous renseigne sur l'importance des désordres enregistrés.

1. Rapport de la commission des affaires sociales de l'.A.P.C (13 mars 1985)

Enquête sur les zone sinistrés des villages : Ighil Bouzel –Tadert- Cheurfa-Flikki

- a) Maisons évacuées (06) —————> Nombre de personnes (63).
- b) Maisons évacuées en urgence (20)—————> Nombre de personnes (232).
- c) Habitations exposées aux risques (25) —————> Nombre de personnes (186).
- d) Construction nouvelles non terminés exposées (07).

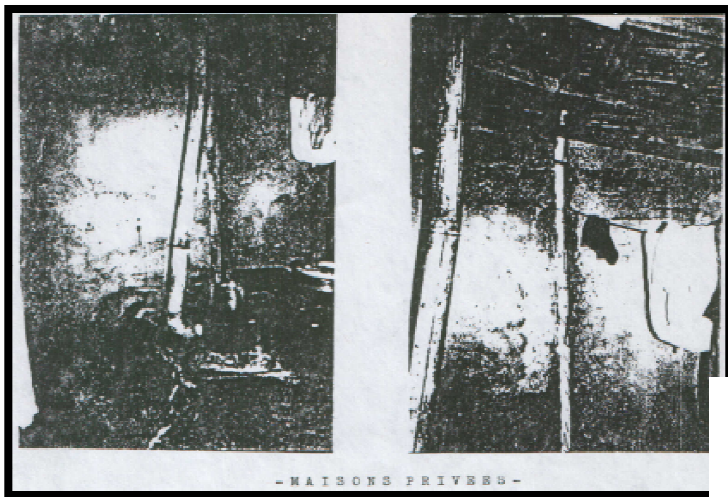
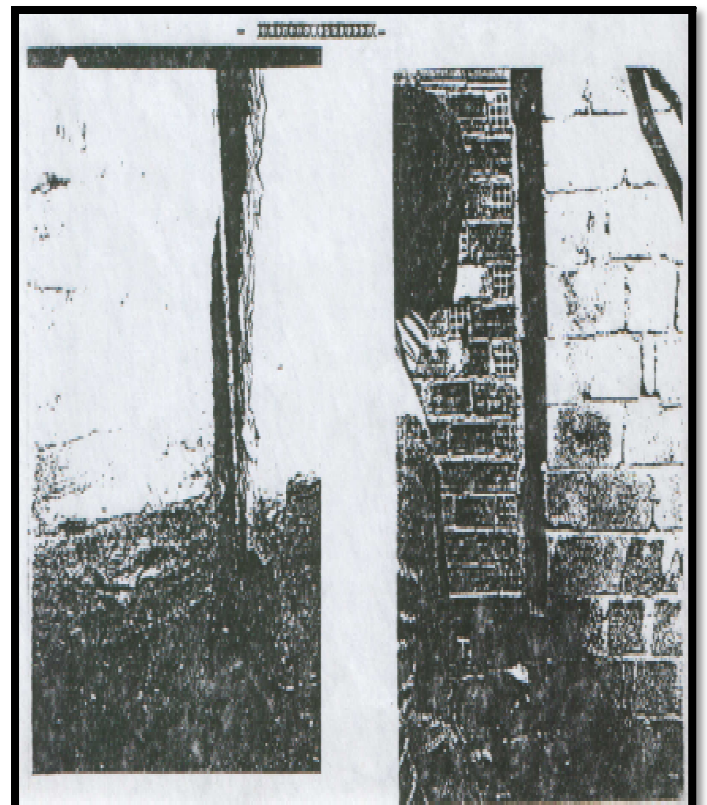


Fig.III. 50: Désordres et lézardes dans des maisons privées (1985).



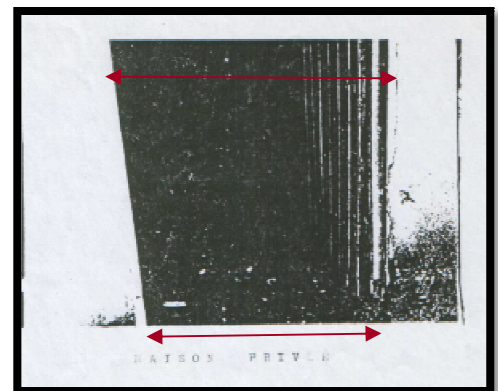
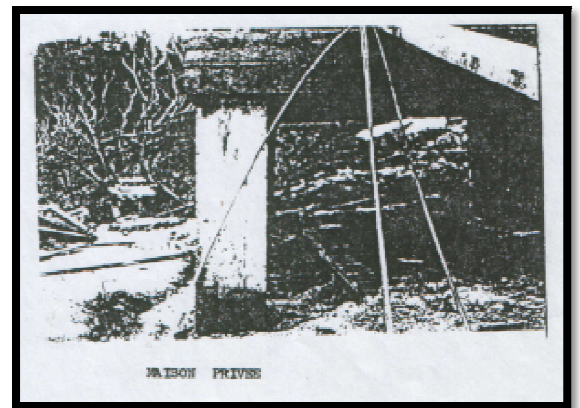


Fig.III. 51: Désordres et lézardes dans des maisons privées.

2. Rapport de sur le glissement d'Azazga (03 avril 1985)

- Effets sur les immeubles publics :
 - 1) Subdivision de l'hydraulique.
 - 2) Subdivision de l'agriculture.
 - 3) Salle de cinéma.
 - 4) Projet de C.D.M.C (ex S.N.M.C).
 - 5) Dépôt actuel S.N.M.C.

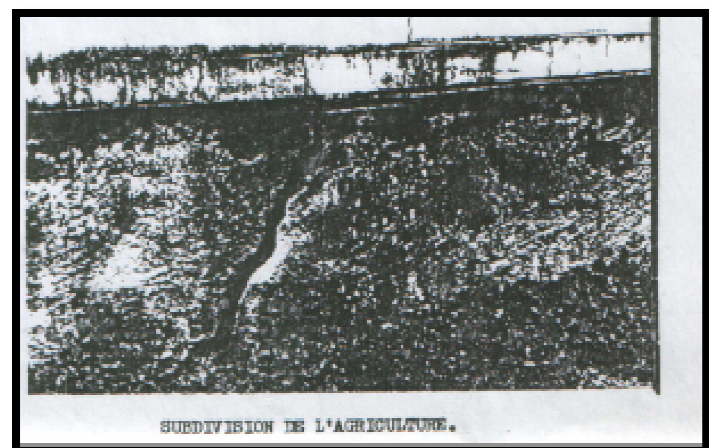
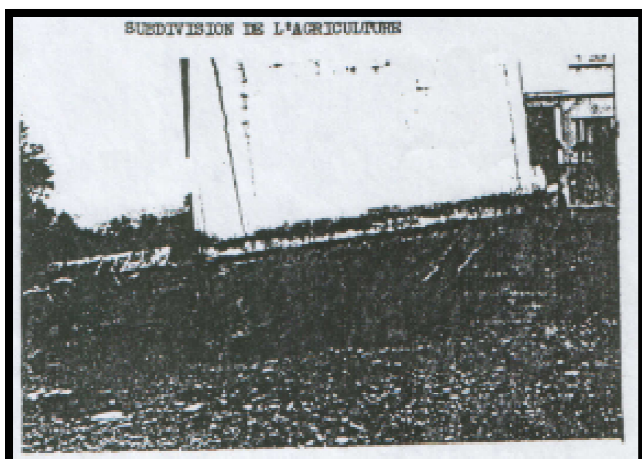


Fig.III. 52: Glissement 1985 (Désordres Subdivision de l'agriculture).

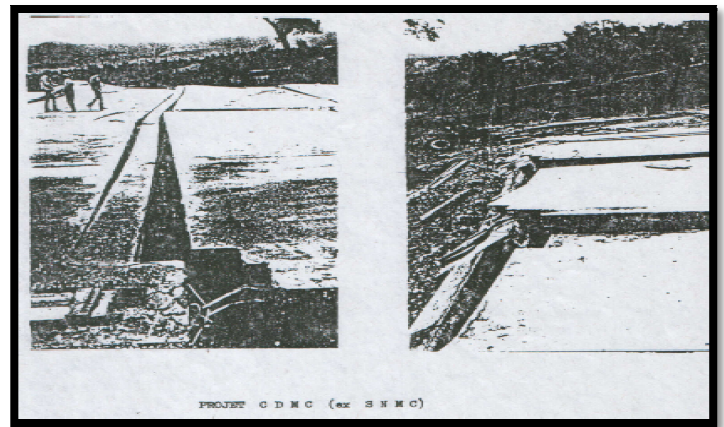
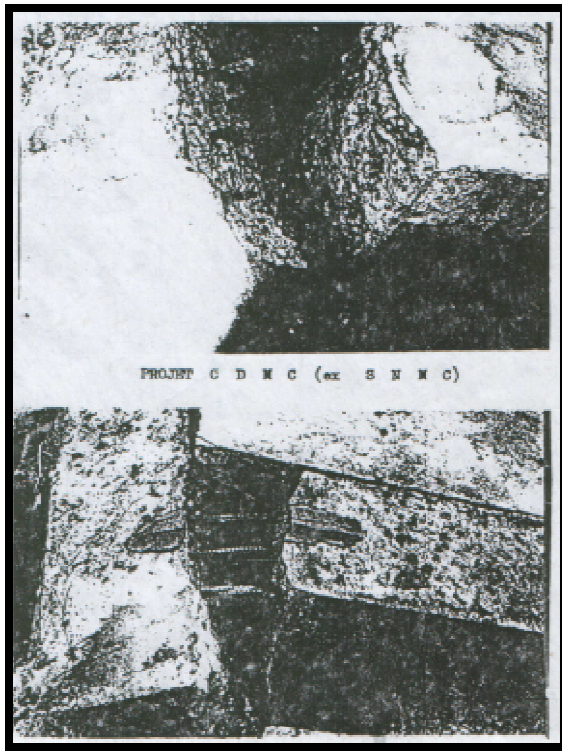
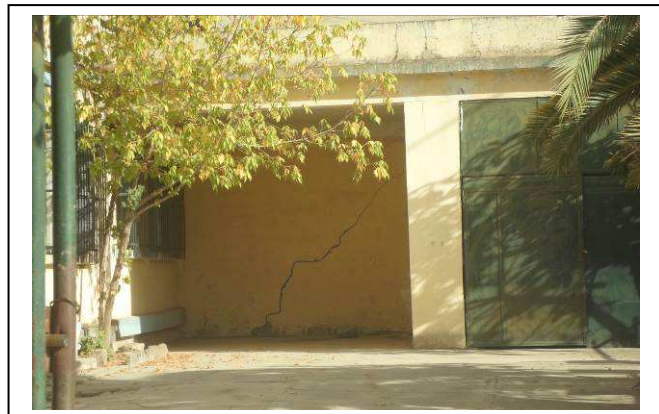
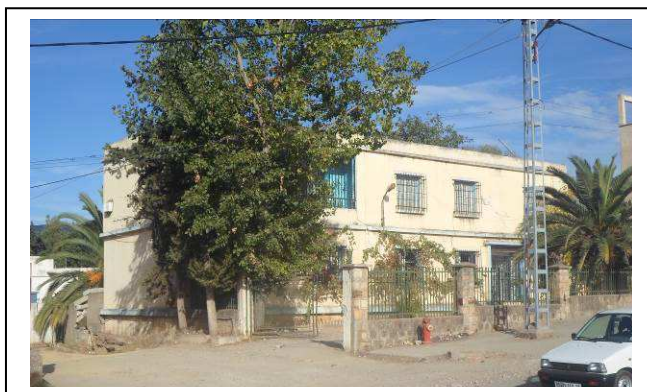


Fig.III. 53: Glissement 1985 (Désordres projet de C.D.M.C (ex S.N.M.C).

- **Effets sur les réseaux :**
 1. **A.E.P** : des résurgences d'eau apparaissent en plusieurs endroits.
 2. **GAZ naturel** : différentes fuites de gaz ont été décelées.
 3. **Assainissement** – (eaux usées) : déboitements des bus.



**Fig.III. 54.montrant
l'affaissement de la chaussée et
fissuration du muret de la subdivision
de l'agriculture.**



Subdivision de l'agriculture et l'hydraulique, deux bâtiments touchés par les différents glissements qu'a connu la région (1973, 1985, 2012).

Zone critique de glissement

Reportage photos extraits

POS A1 et A5(AZAZGA)

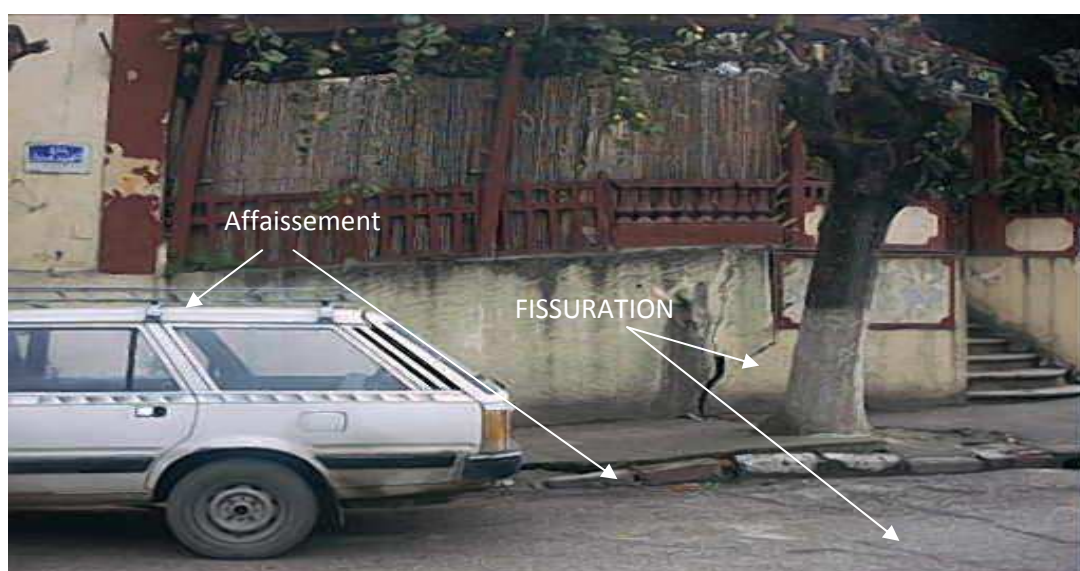


Fig.III. 55.Fissuration d'une vielle bâtisse (2003)



Fig.III. 57.Affaissement de la chaussée et fissuration du mur de soutènement du marché couvert



Fig.III. 56.Affaissement de la chaussée et fissuration du muret de la subdivision de l'agriculture.



Fig.III. 59.Basculement d'un bloc de classes R+1 avec dislocation du joint et rejet de 10 à 15 cm (CEM ZAIDAT).



Fig.III. 58.Affaissement de la chaussée et fissuration du muret de la subdivision de l'agriculture,

témoin en plâtre mis en place le 01.10.87, indiquant la continuité du mouvement (joint entre deux blocs de classes en R+1 CEM). ZAIDAT, photo prise au 1 étage)



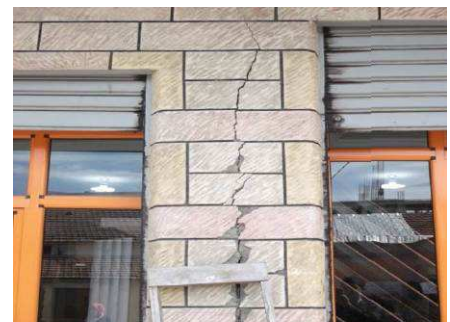
Fig.III. 60.Témoins en plâtre mis en place le 01.96 et 12.97, indiquant la continuité du mouvement

(joint entre deux blocs de classes en R+1 CEM ZAIDAT, photo prise au 1 étage).

Glissement février 2012



Fig.III. 61. Une série de photos prises sur les lieux montre l'évolution et l'ampleur des dégâts engendrés sur les constructions (nouveau centre culturel, maisons individuelles), la chaussée, les trottoirs et les différents réseaux.





Échantillons issus des carottages réalisés en mars 2012 à Azazga

III.7.MORPHOLOGIE ET INDICES D'INSTABILITE DU VERSANT NORD SUITE AU GLISSEMENT DE 2012

Les observations effectuées sur le terrain ont permis de déceler divers indices d'instabilité. Suivant le mécanisme de leur déclenchement, l'importance du volume des terres affectées et les désordres générés, il a été distingué ;

- Des ravinements.
- Des instabilités superficielles dues au phénomène du retrait –gonflements.
- Des loupes d'arrachement.
- Des glissements profonds, affectant de grandes étendues.

a- Les ravinements

Ce phénomène est favorisé par plusieurs facteurs, à savoir ;

- Le caractère argileux et marneux qui caractérise la lithologie du site et qui présente une grande sensibilité vis à vis de la présence d'eau.
- L'absence du couvert végétal protecteur de l'érosion.
- Les pentes généralement assez accusées que présente le site.
- Le facteur anthropique ayant modifié et souvent de façon défavorable les conditions de drainage initiales à chaque réalisation d'un projet d'aménagement.

b- Retrait- gonflement

La couverture argileuse, produit d'altération de la formation marneuse, est régulièrement sujette au phénomène de retrait - gonflement, résultant des cycles humidification - dessiccation. En saison sèche, la teneur naturelle diminue considérablement, les liaisons entre les feuillets d'argile deviennent intenses, entraînant une diminution de volume et il en résulte une fragmentation du matériau, se traduisant par l'apparition de fentes de dessiccation en surface. Quand les premières pluies surviennent, elles sont, généralement, violentes et torrentielles. L'eau pénètre à travers les fissures et s'introduit entre les feuillets, saturant ainsi la couverture argileuse et lui faisant perdre sa résistance mécanique.

A chaque cycle de retrait- gonflement, on enregistre une progression de la couche argileuse vers le bas et il en résulte des fissures et des affaissements affectant les ouvrages ancrés sur la couverture argileuse.



Les versants argilo-marneux instables sont relativement faciles à reconnaître : dans le cas des mouvements lents, par fluage, ils se manifestent tous par une morphologie ondulée (moutonnée) caractéristique avec des fentes de retrait suffisamment ouvertes (quelques centimètres), profondes et persistantes en période humide ; ce qui permet de les distinguer du simple phénomène de retrait qui se développe en période sèche.

c- Loupes d'arrachements

Ce type d'instabilité est observé fréquemment au niveau des talus de déblais quasi -verticaux. Il s'agit d'une rupture superficielle, localisée et affectant essentiellement la couverture d'altération. Ce type d'instabilité est engendré par les suppressions de butées naturelles, l'action anthropique en est la cause principale.



Fig.III. 62.Morphologie moutonnée, avec contre- pentes, caractéristique des versants de faible stabilité

d- Glissement profond, affectant de grandes étendues

Ce type de mouvement se distingue par son extension latérale et en profondeur, ainsi que l'importance du volume des terres mises en mouvement.

Au niveau du site étudié, une zone assez étendue, située à la limite Nord-Est est affectée par ce type de mouvement. Les limites sont matérialisées sur l'esquisse lithologique.

L'ampleur du glissement de terrain affectant la zone et les désordres observés sont illustrés sur les photos données ci-dessous.

Les glissements de terrain, proprement dits, se manifestent par des escarpements abrupts en tête de glissement, distincts des pentes limitrophes plus régulières, des replats tout aussi singuliers, suivis de masses glissées assez chaotiques.

Ces critères morphologiques sont souvent associés à d'autres indices révélateurs tels que sont présents dans le versant Nord, instable, d'Azazga : l'inclinaison des arbres, des poteaux électriques, la déformation de chaussées, le basculement de murs, la fissuration dans le bâti et le ravinement profond, montrent des terrains remaniés propices aux infiltrations d'eau.

Les valeurs des pentes naturelles ne constituent pas, à elles seules, un critère suffisant pour estimer la stabilité des versants, dans la mesure où ce facteur reste interdépendant d'autres paramètres tels que les caractéristiques physico-mécaniques du terrain et les conditions de drainage. Néanmoins, à partir de 10% de pente, les versants argilo-marneux mio-pliocènes, peuvent atteindre leur seuil de stabilité critique au-delà duquel les mouvements peuvent se déclencher.



Fig.III. 63. Signes d'instabilité : l'inclinaison des arbres, de poteaux électriques. Glissement 2012 de cote de nouveau centre culturel.



**Fig.III. 64. Route menant à Ighil Bouzem
continuellement affaissée et déformée**



- **Synthèse générale des observations**

A travers les exemples d'instabilité de versants présentés, il ressort que les formations argilo- marneuses sont extrêmement sensibles aux phénomènes gravitaires.

Nous verrons que le quartier urbanisé du côté Nord de la ville, pose avec plus d'acuité, le problème d'instabilité dans la mesure où de nombreuses constructions individuelles et collectives sont, outre celles qui sont fissurées, menacées par ces mouvements du sol et du sous-sol.

III.8. CONCLUSION

Cette première partie a permis de présenter de la manière la plus précise possible les différentes caractéristiques géographiques du secteur d'étude, en décrivant les conditions morpho-structurales et météo-climatiques, ou encore l'exposition du secteur aux aléas de glissement. Puis, les caractéristiques géomorphologiques, morphométriques et cinématiques des principaux glissements de terrain ont été décrites et précisées en rappelant la chronologie des événements majeurs survenus récemment.

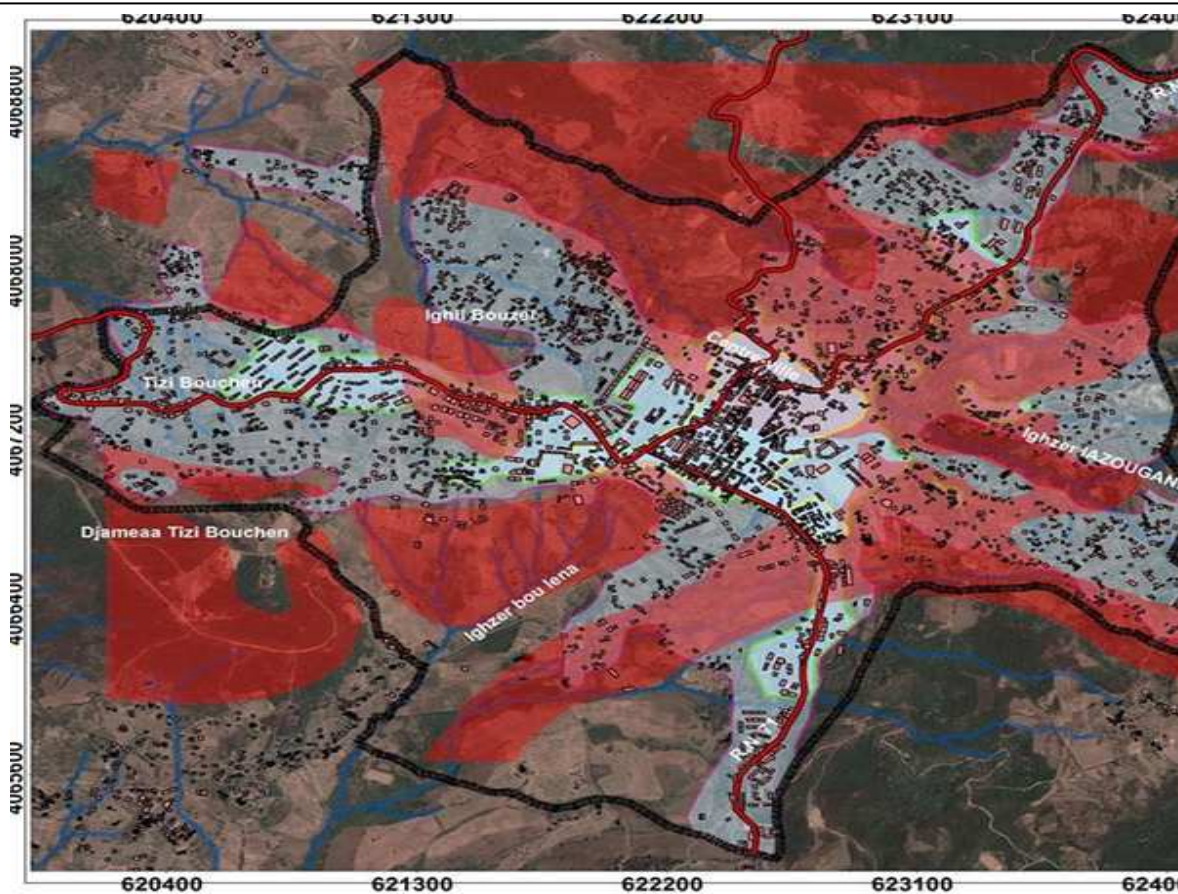
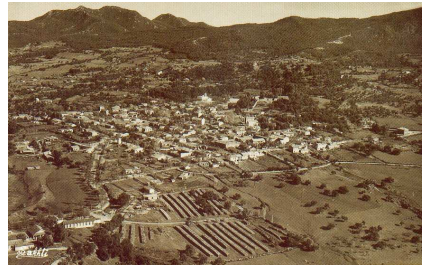
Ces zones instables apparaissent d'un fort intérêt scientifique, pour mieux comprendre notamment leurs fonctionnements, compte tenu de la fréquence des crises connues et de l'importance des éléments exposés.

Les travaux de recherches menés depuis 1976 se sont focalisés principalement sur les secteurs Nord et Nord-est. Ces études ont permis de mettre en avant le rôle des différents forçages hydro-climatiques dans le déclenchement de ces glissements de terrain et leur fonctionnement mais de nombreuses questions et incertitudes demeurent, notamment sur :

- la structure interne de ces glissements,
- leurs dynamiques saisonnières et long terme,
- le poids respectif des différents forçages,
- les relations entre les conditions climatiques, en particulier la pluviométrie et les variations des nappes phréatiques,
- la provenance et les temps de résidence des eaux alimentant la nappe dans les secteurs instables,
- la nature précise des dommages engendrés depuis la réactivation de 2012, sur les modes de gestion mis en place, ...

Les multiples techniques employées pour ces travaux de recherche ont pour objectif de répondre aux différents questionnements soulevés ci-dessus sur ces instabilités et réduire les incertitudes, afin de mieux préciser les niveaux d'aléas et la cartographie des zones à risque. Les méthodes mises en œuvre et les éléments de réponse seront présentés au fur et à mesure des problématiques abordées au cours des chapitres suivants.

CHAPITRE IV : CARTOGRAPHIE DE L'ETENDUE ET DE L'EVOLUTION DU TISSU URBAIN DE LA VILLE D'AZAZGA DANS DES ZONES INSTABLES



Zones rouges
superposées au
périmètre urbain
actuel d'Azazga

Azazga, Aujourd'hui, les zones défavorables à l'urbanisation appelées « zones rouges », constituent 47,65 % du périmètre urbain de la ville, soit une superficie de 439,26 ha sur un total de 921,77 ha

IV. INTRODUCTION

Les risques majeurs constituent l'un des défis réels que les milieux urbains doivent relever et prendre très au sérieux en vue d'un développement durable. Ils sont généralement classés en deux types: les risques naturels à effet dévastateur tels que les glissements de terrains dans les milieux urbains qui peuvent être dans certains cas de véritables catastrophes naturelles dans la mesure où il est pratiquement impossible de les prévoir ou d'empêcher qu'elles se produisent, et les risques technologiques, affectant la santé humaine, l'environnement et l'écosystème, qui sont souvent le fait de l'homme lui-même.

Afin de mieux comprendre le phénomène du glissement dans la ville d'Azazga, une analyse de l'évolution du tissu urbain sera appréhendée à travers d'une part l'évolution physique du cadre bâti depuis sa création à nos jours, associé aux instruments d'urbanisme qui ont constitué le support de gestion et de développement spatial de cette agglomération depuis plusieurs décennies.

Parallèlement à cette lecture de l'évolution de la ville, nous procéderons dans ce chapitre à spatialiser l'état des connaissances des zones de glissement sur le tissu urbain, au fur et à mesure du lancement de ces études géotechniques. Nous tenterons de comprendre les raisons qui ont contribué directement ou indirectement à construire et ériger des ensembles immobiliers, voir des quartiers entiers sur des terrains instables.

Cette approche nous permettrait d'évaluer les raisons de ces extensions urbaines dans des zones classées comme des zones de glissement depuis plusieurs décennies, d'évaluer également la tendance d'évolution de l'occupation de ces espaces fragiles.

Aussi, à travers la structuration de la ville de par ses voies de communication, sa densité, la typologie de l'habitat et l'emplacement des équipements publics par rapport aux zones de glissement, nous tenterons de dégager une première lecture liée à la vulnérabilité liée au risque de glissement de certaines parties de la ville, déjà urbanisées ou à urbaniser.

IV.1. EVOLUTION DU TISSU URBAIN

IV.1.1. Première période

(Période coloniale : de la genèse – 1962)



A la création, la ville d'AZAZGA est à l'origine (1882) prévue comme village colonial sous forme de damier occupant une superficie total de **12 hectares**, implanté sur un terrain à pente faible et régulière. Le village est prévu initialement : **[40]**

- Pour recevoir les structures administratives civiles et militaires nécessaires à la gestion du territoire (commune mixtes à partir de 1886). L'ensemble des équipements ont été implantées dans la partie haute du tissu colonial ; On y recense le siège de la commune mixte, l'église, le juge de paix, la gendarmerie, la salle des fêtes, l'école primaire, la place publique, le square, le monument et la caserne.
- Pour la mise en place d'un lotissement pour accueillir les colons.

La ville a subi une première extension en 1892 sur ses parties Nord, Sud et Ouest sur une superficie de **14 ha**, elle est organisée dans trois directions par la création de boulevards urbains (le boulevard Tamgout, le boulevard du Djurdjura et la route d'Alger).

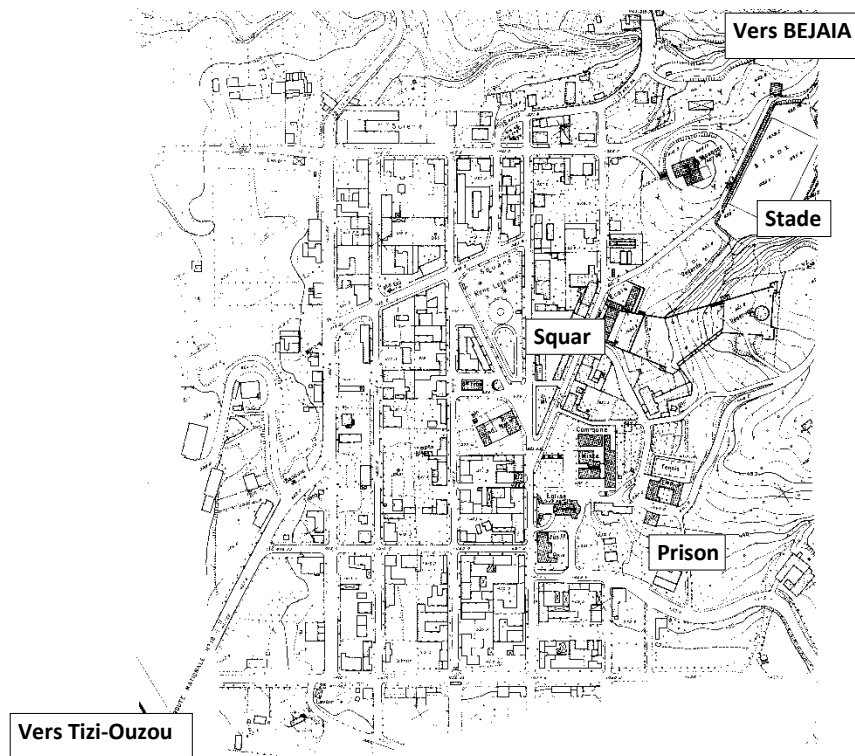


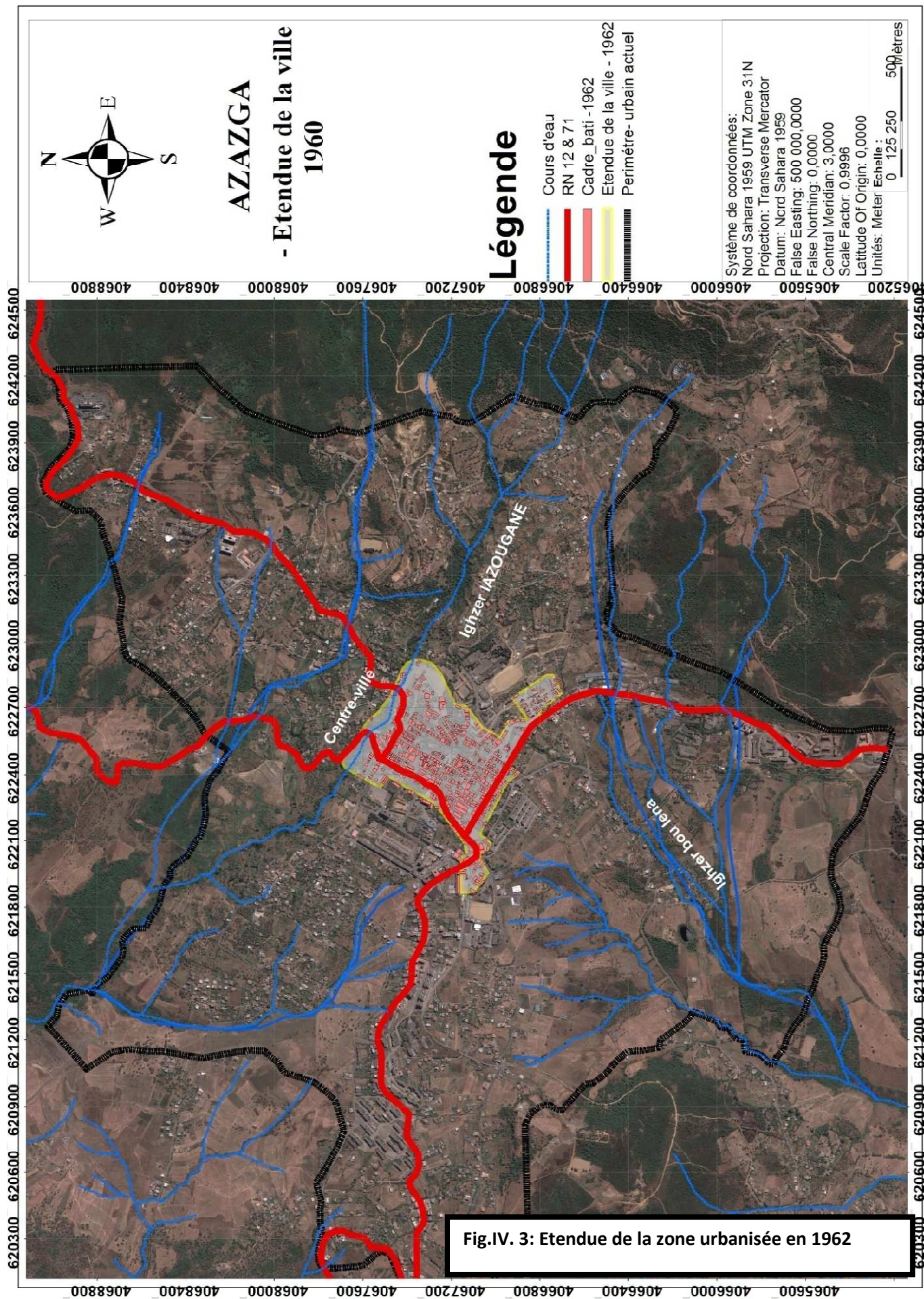
Fig.IV. 1: Plan ville d'Azazga 1951

Jusqu'à 1962, la ville n'a pas véritablement subi de transformations majeures depuis sa création, ni sur le plan structurel ni du point de vue fonctionnel. L'étendue de la zone urbanisée jusque-là avoisinait les **40 hectares** et occupait le plateau le plus favorable du point de vue topographique



Fig.IV. 2: Etendue de la ville d’Azazga 1960 [40]

La carte ci-dessus nous renseigne sur l’étendue de la ville en 1962 et situe sa superficie par rapport au périmètre urbain actuel. Ce noyau colonial conservera, à nos jours, la fonction et la dénomination de centre-ville d’Azazga.



Selon les récits historiques de l'époque, aucun événement lié au glissement de terrain dans le village d'Azazga, sur ses parties urbanisées, n'était observé ou signalé, et ce depuis sa création jusqu'au premier glissement de 1973.

Coulée boueuse 1951 :

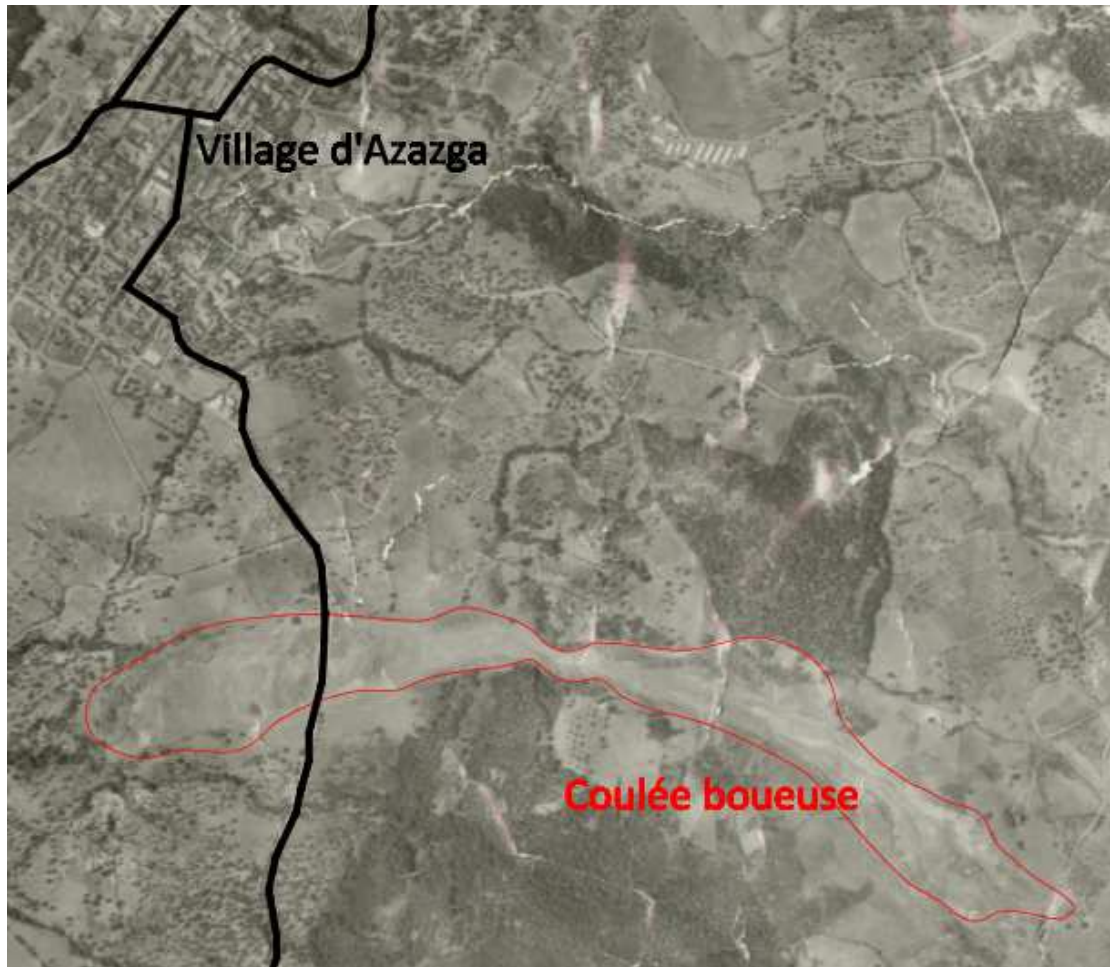
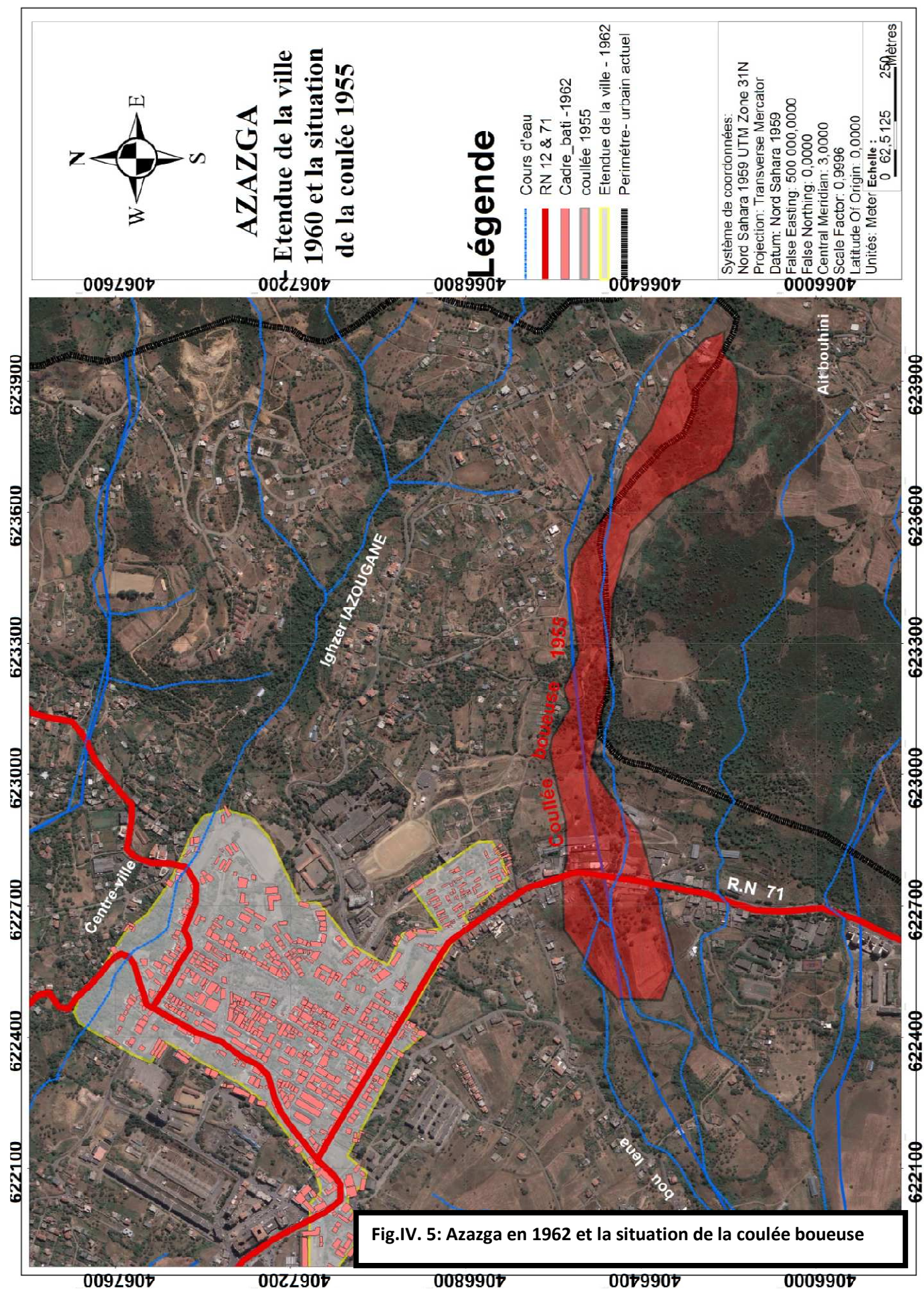


Fig.IV. 4: Photo aérienne 1955 montrant la coulée boueuse de 1955

Le premier « glissement de terrain » connu dans la région d'Azazga, est survenu en 1955 à l'extérieur et au Sud de l'agglomération, il s'agissait d'une coulée boueuse qui s'était manifestée suite à une longue période pluvieuse, dont le point de départ est situé au Sud sur le versant du Djebel Abed (**Fig.IV. 4**). La coulée boueuse a suivi le cours d'eau « Ighze Bouléna » vers l'Ouest sur une trajectoire de plus de **1800 mètres**, avec une superficie infectée d'environ **22 hectares**.

La seule infrastructure touchée par ce glissement était l'obstruction de l'accès Sud (actuelle RN 71) à la ville qui était emportée par cette coulée, le reste du territoire était des terrains vagues.

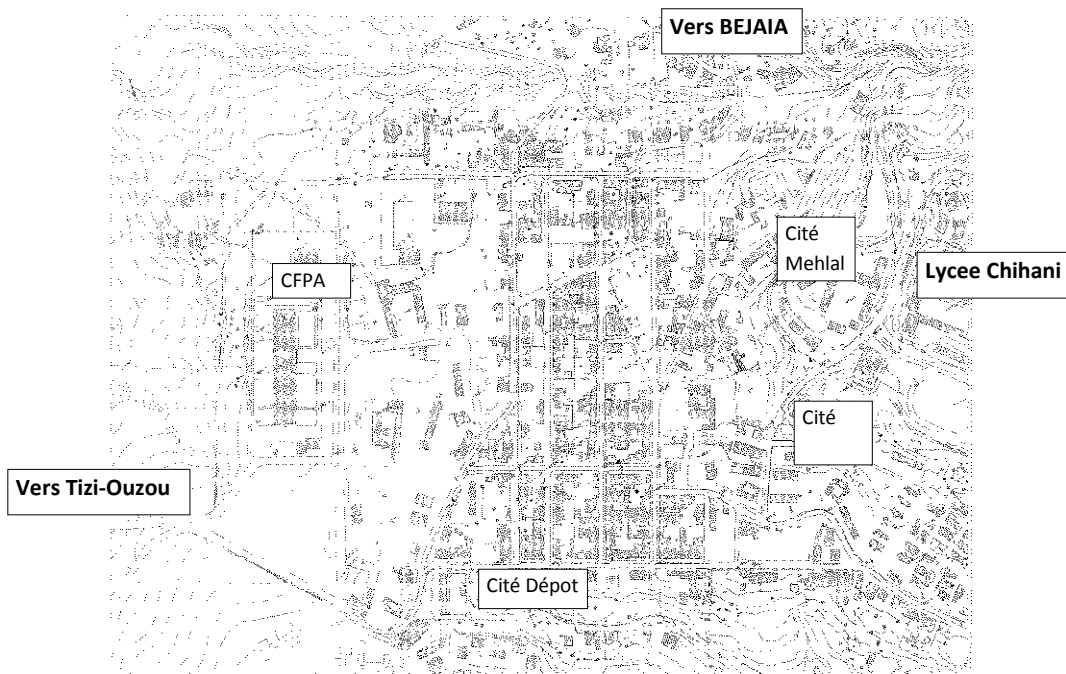


IV.1.2. Deuxième Période

(1962 – 1990)

IV.1.2.1. L'évolution multidirectionnelle

Pendant la première décennie qui a suivi la période de post – indépendance, la ville n'a pas subi de transformation sensible, ni sur le plan qualitatif ni quantitatif. C'est à partir des années 70 que la ville a commencé à connaître des extensions multidirectionnelles, s'organisant le long des deux axes de communication importants qui traversent la ville, à savoir : la RN 12 et la RN71.



Carte Orthophoto-plan : centre-ville d'Azazga 1986

L'action de l'Etat jusque-là, à travers l'implantation des programmes de logements et des équipements publics, constituait les principales interventions sur le tissu urbain de la ville. À ce titre on cite :

- L'extension Ouest (RN 12) avec la réalisation des cités de Tizi-Bouchene,
- L'extension Sud (RN71) avec le début de réalisation de la cité de Tizi-n Fliki,
- L'extension Est le long du chemin allant vers Ait Bouhouni, avec la réalisation du Lycée Chihani,
- L'extension Nord (RN12) avec la réalisation de l'Hopital (actuelle polyclinique).

Pendant cette période, l'évolution du tissu urbain est marquée par un développement linéaire le long des axes routiers, qui convergent vers le noyau de la ville coloniale.

IV.1.2.2. Les instruments d'urbanisme

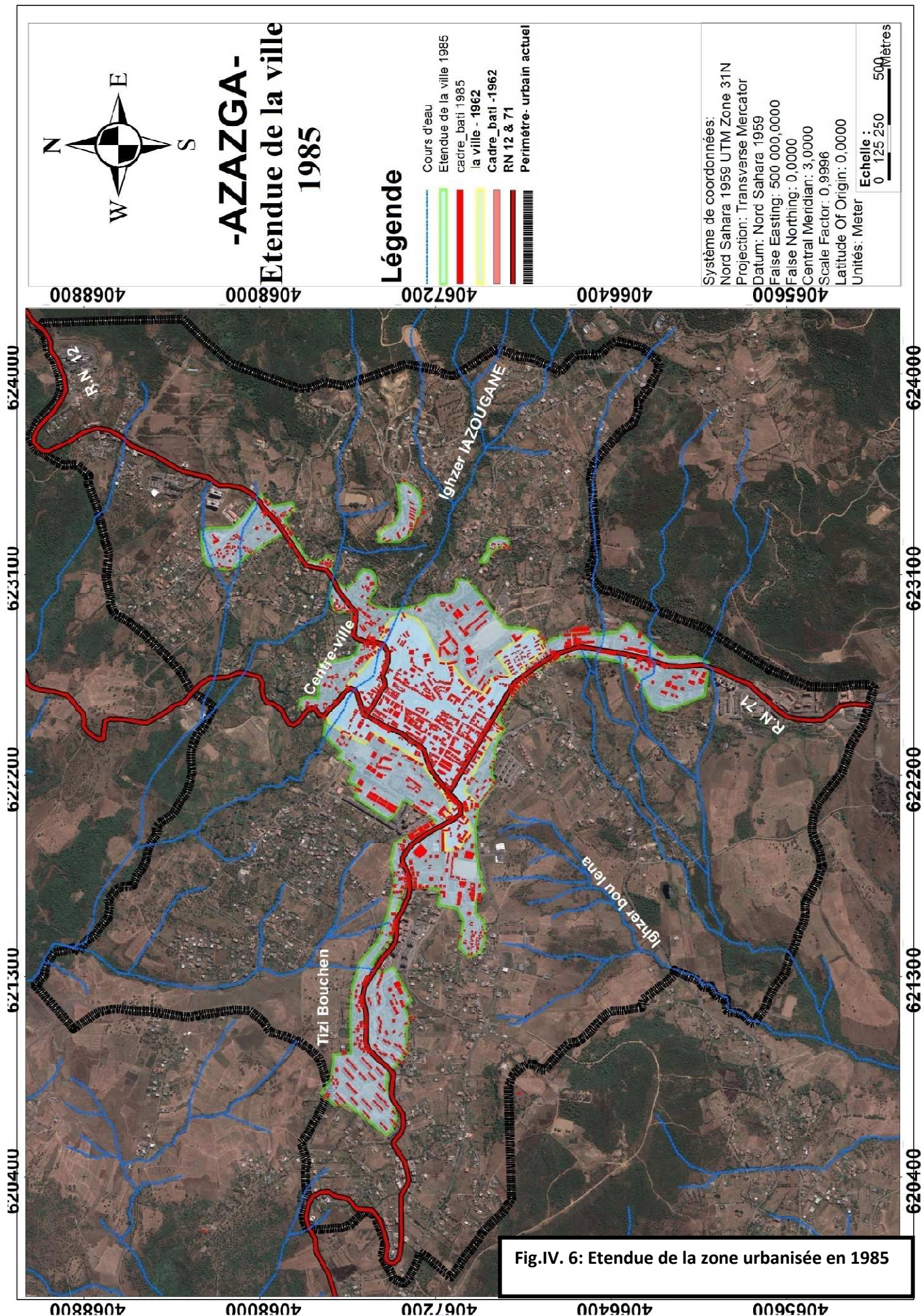
Jusque-là, la ville était gérée par des instruments d'urbanisme inadaptés. Les plans d'urbanisme directeurs (PUD) ou les plans d'urbanisme provisoires (PUP), qui définissaient un périmètre de développement de la ville étaient érigés en réserves foncière, où l'état était seule habilité à intervenir ; l'initiative et la participation privée étant, de ce faite, marginalisée et écartée dans la construction de la ville. Les PUD permettaient la délimitation des zones d'habitat nouvelles (ZHUN) pour l'implantation des programmes de logements public et des équipements d'accompagnement.

IV.1.2.3. La formation de noyaux périphériques comme extensions extra-muros de la ville

La carte ci-dessous nous renseigne sur l'extension multidirectionnelle et linéaire du tissu urbain qui a marqué cette période. On remarque également l'apparition de noyaux périphériques d'habitat individuel sur des territoires considérés par les instruments d'urbanisme (PUD, PUP) comme extra-muros (territoires ruraux ou villageois), on cite :

- Le village d'Ighil Bouzzal,
- Tazagharth – thadarth,
- Thaazibth,
- Tizi-Bouchene.
-

Ces formations récentes à partir de hameaux embryonnaires ont, eux aussi, tendance à se développer le long des axes routiers allant vers la ville d'Azazga, renforçant ainsi l'émergence d'un tissu urbain linéaire.

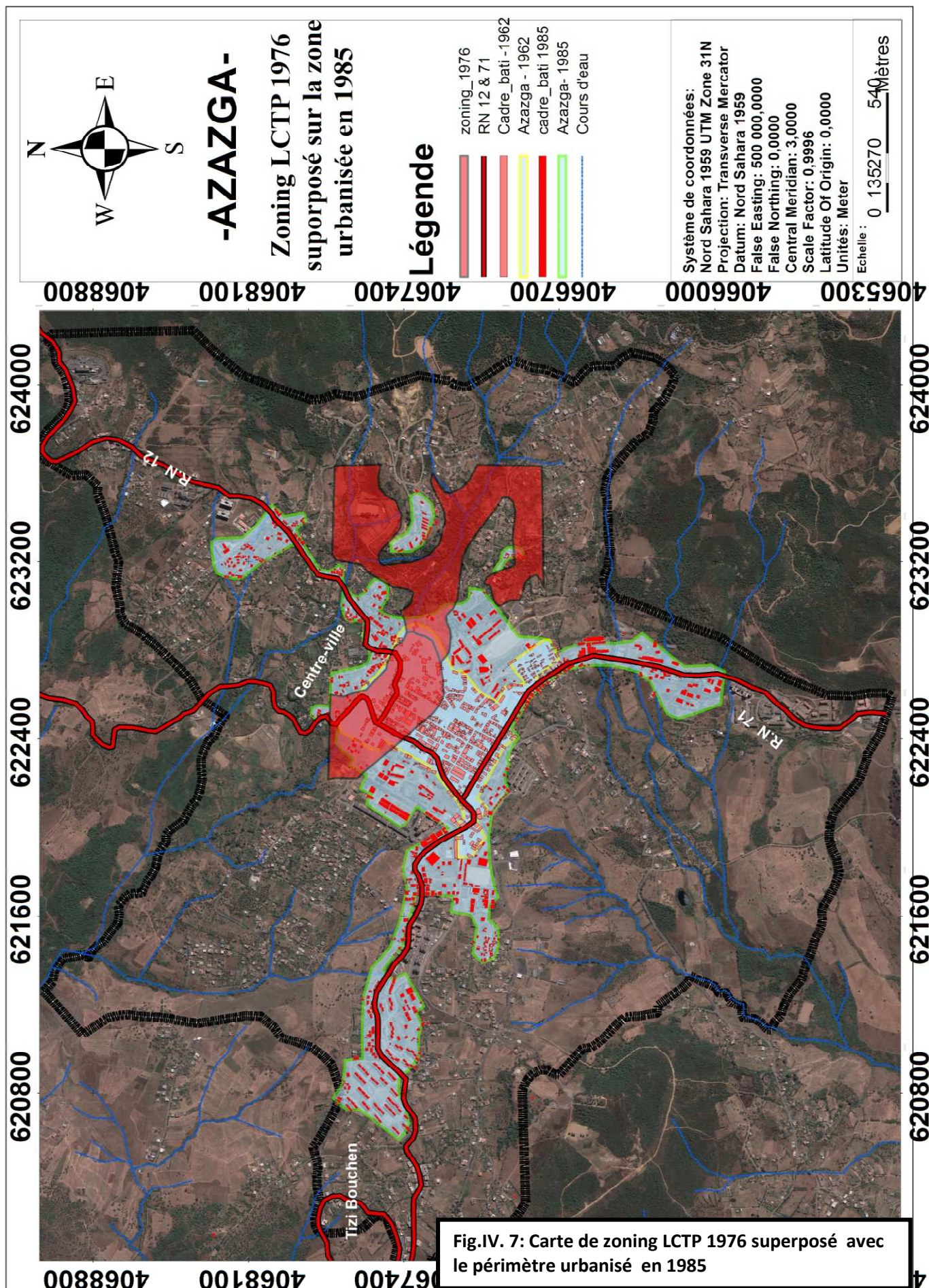


IV.1.2.4. Les glissements de terrain de 1973 et de 1985

En 1973 et 1985, la ville d'Azazga a connu des glissements de terrain importants, ayant affectés le milieu urbain ; la partie nord de la ville était touchée par des glissements de terrains en profondeur, relativement important, qui s'étaient étalés sur plusieurs dizaines d'hectares, et ayant entraînés des destructions de maisons d'habitation et des réseaux routiers. [38]

L'ampleur de ces deux catastrophes ne pouvaient pas passer inaperçues, sans poser la problématique de la gestion des extensions urbaines futures de la ville d'Azazga face à ce nouveau phénomène. Devant cette confusion et la situation d'urgence qui prévalait à l'époque, les autorités locales devaient faire face à la gestion du développement de la ville en rapport avec ces glissements de terrain.

À cet effet, des études géotechniques sont confiées au laboratoire LCTP pour mener des investigations afin de comprendre ce nouveau phénomène auquel était confrontée la ville d'Azazga, et sortir avec des orientations et recommandations à prendre en compte pour les perspectives d'extension urbaine.

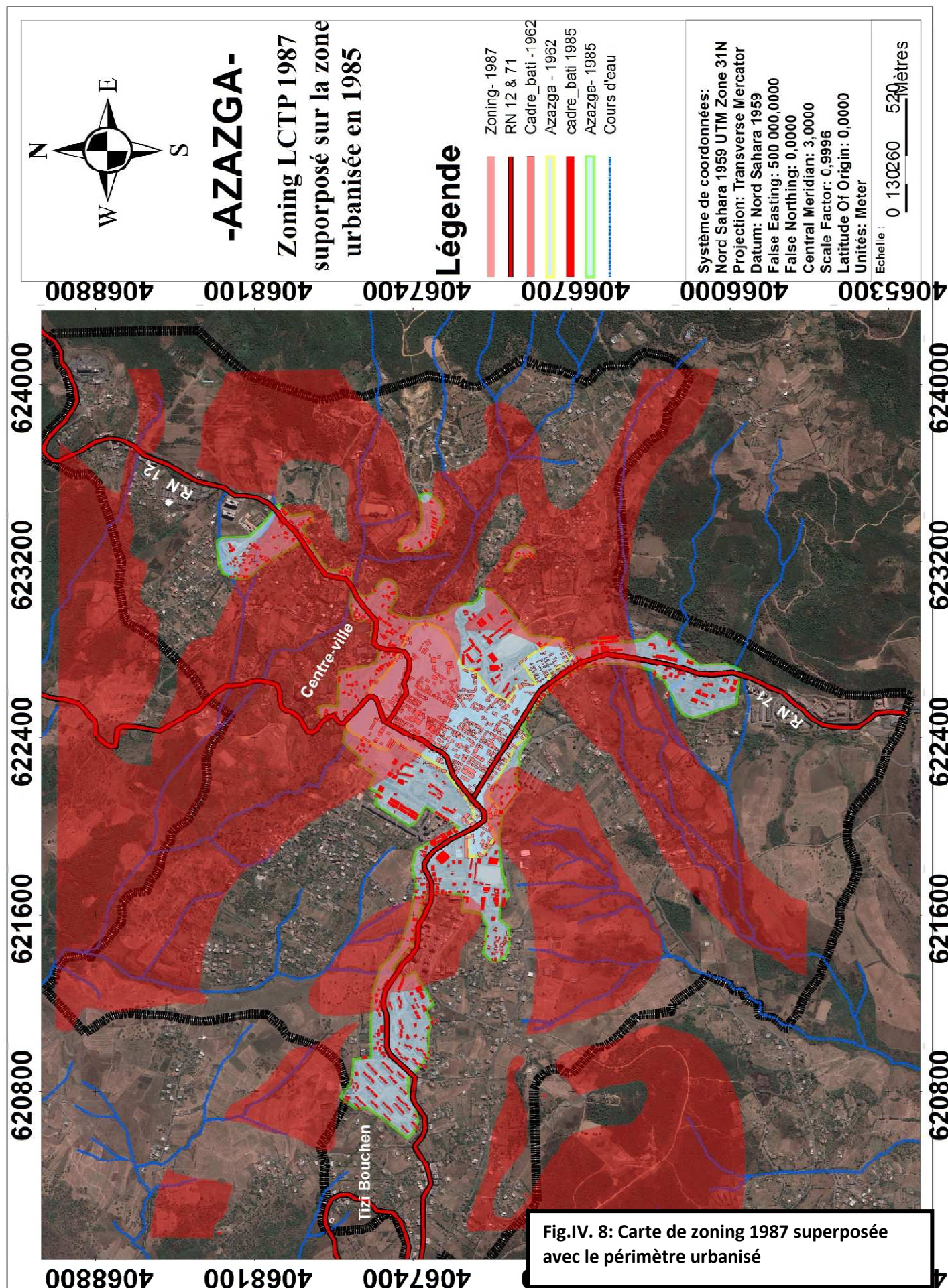


La carte de zoning produite par de l'étude géotechnique élaborée en 1976, classe déjà une partie de territoire de la ville comme zone rouge. La superposition de cette carte de zoning avec les limites du périmètre urbanisé, fait ressortir que le un territoire touché par le glissement de **1973** est évalué à plus de **20.25 hectares**. Cette partie située au Nord est classée non constructible.

Durant la période allant de 1973 jusqu'à 1986, la ville n'a pas connu de dynamique d'évolution de son tissu urbain au niveau du noyau colonial et sa périphérie immédiate. Les investissements publics ont été freinés par l'apparition de cette nouvelle situation, ils restèrent attributaires des résultats des études géotechniques engagées.

Suite au glissement d'Azazga de 1985, les investigations de l'étude géotechnique entreprise par le LCTP se sont étalées sur les nouvelles limites d'extension de la ville (Tizi-bouchen, Taddert ...). A l'issue de cette étude, une carte de zoning a été produite, classant les territoires de la ville en fonction de leur constructibilité. Sur la zone étudiée, les zones défavorables à la construction à l'intérieur du périmètre urbain étaient prédominantes (carte géotechnique de la région d'Azazga-1986). **[39]**

La superposition des données relatives à la constructibilité des terrains et le périmètre réellement urbanisé à la même période, fait ressortir que plus de **50 hectares** d'espace construits sont situés dans des zones rouges, soit **35 %** du périmètre urbanisé. **(Fig.IV. 8)**



A partir de 1987, la carte de zoning établie par le LCTP devenait le document de référence de la gestion du développement de la ville, utilisé par les services technique chargés de la programmation et les choix de terrains des nouveaux programmes d'équipements ou de logements. Il constituait également le document de référence pour l'instruction des permis de construire quand ceux-ci sont situés à l'intérieur du périmètre urbain.

IV.1.3. Troisième période

De 1990 à nos jours

IV.1.3.1. la nouvelle vision de l'aménagement et la planification spatiale

La constitution de 1989 qui a promulgué le système économique libre et a voué le droit de la propriété privé et sa protection, a donné lieu à la promulgation de plusieurs lois importantes en 1990, notamment celles concernant le foncier, l'aménagement et l'urbanisme :

- la loi 90/25 de la 18/11/1990 portant orientation foncière qui annule le dispositif des réserves foncières et libère l'initiative privée et les transactions foncières,
- la loi 90/29 du 01/12/1990 relative à l'aménagement et l'urbanisme qui instituât le plan directeur d'aménagement et d'urbanisme(P.D.A.U) et le plan d'occupation des sols (P.O.S),
- L'amendement de la loi 90/29 relative a l'aménagement et l'urbanisme : le séisme du 21 Mai 2003, de par les dégâts qu'il a causé aux constructions de la région centre, a rendu nécessaire l'adaptation des dispositions en matière d'urbanisme et de construction pour prendre en charge de manière préventive et rigoureuse les risques naturels et/ou technologiques.

Les amendements introduits dans la nouvelle législation concernent principalement :

- L'obligation de la délimitation des zones soumises aux aléas naturels et/ou technologiques par les instruments d'urbanisme,
- L'élaboration conjointe des dossiers des permis de construire par l'architecte et l'ingénieur agréé pour tout projet de construction quel que soit son lieu d'implantation.

Cette nouvelle approche de l'Etat a eu un effet « boule de neige » sur l'évolution de la ville d'Azazga, à l'instar de toutes les villes d'Algérie. La participation du secteur privé et la libération de l'investissement immobilier en milieu urbain, a transformé l'image de la ville en moins de deux décennies, et ce malgré la contrainte de la constructibilité du sol lié aux glissements de terrain.

IV.1.3.2. L'extension de la ville

L'urbanisation et le développement de la ville d'AZAZGA, durant les dernières décennies, ont été largement marqués par les effets de la promulgation de la loi foncière et celles relatives à l'aménagement et l'urbanisme. A partir de 1990, les investissements immobiliers privés ont été importants et les besoins dans de multiples domaines se sont multipliés, la ville d'Azazga a pris de l'ampleur et est devenue un carrefour commercial et de services important, à l'échelle régionale.

Conditionnée et perturbée par la gestion du phénomène du glissement de terrain, auquel se sont ajoutées de nombreuses incohérences de la gestion urbaine, la ville d'Azazga a subi le blocage pur et simple du développement du noyau historique pendant plusieurs années (début des années 1990).

Ce gel de l'évolution du centre-ville et des zones de glissement, s'est traduit par une urbanisation orientée dans les zones urbaines dont le sol est favorable à la construction, mais surtout au-delà du périmètre urbain défini jusqu'alors par le PUD. Les noyaux périphériques Est, Ouest et Sud ont été marqués par une évolution dynamique du cadre bâti et de leur tissu urbain.



Extension de la ville au-delà du noyau colonial



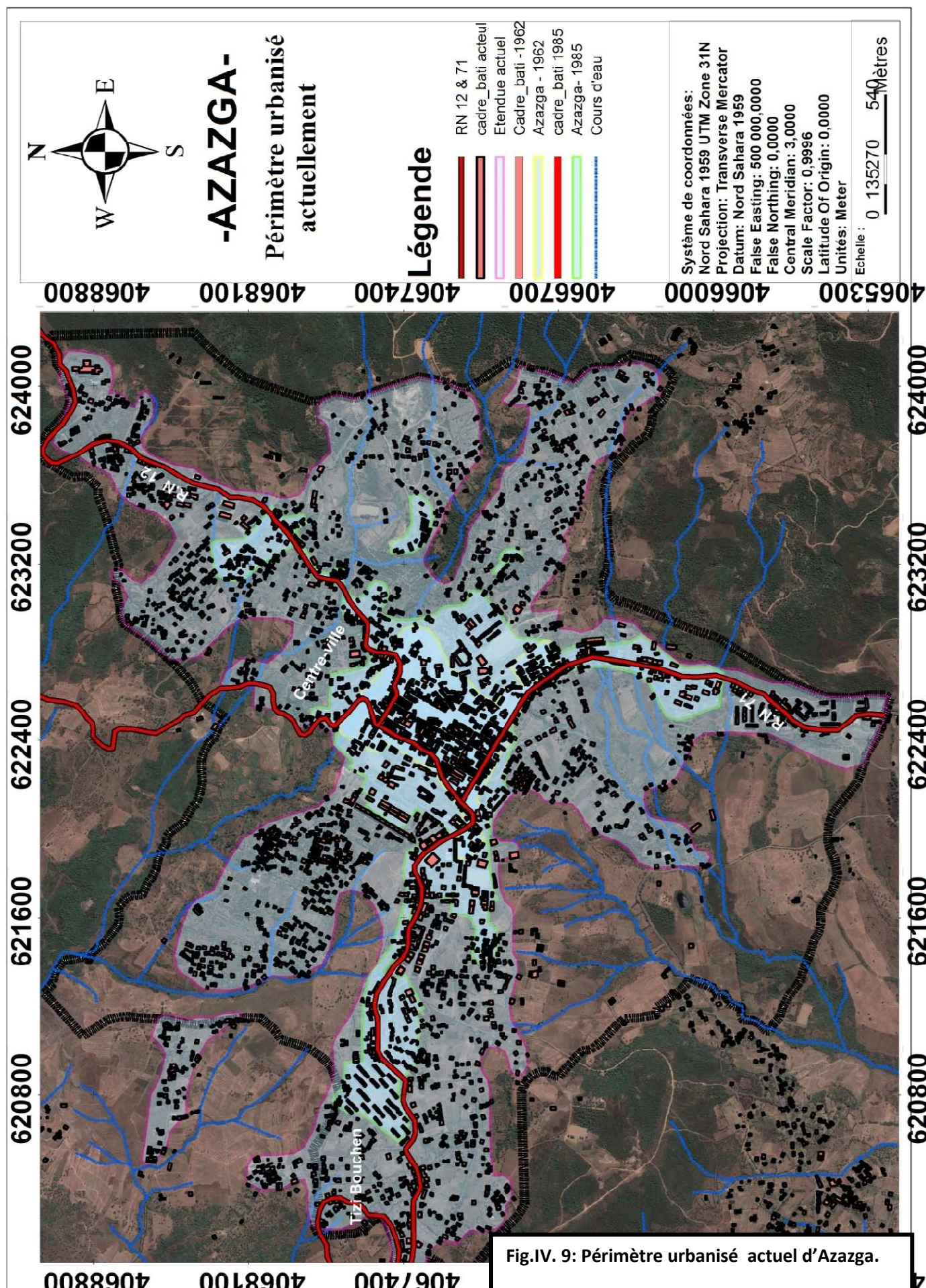
Extensions Est (Taddert)



1995, date de mise en œuvre du Plan Directeur D'aménagement et d'Urbanisme (PDAU), comme nouvel instrument de gestion des actes d'urbanisme et du développement de la ville, était considérée comme une date charnière qui allait insuffler une accélération de l'extension urbaine et un dynamisme sans égal de l'immobilier dans la ville d'Azazga. La PDAU ainsi approuvé a :

- Etendu du périmètre urbain au-delà des limites « admises » de la ville, incluant tous les pôles périphériques (ou villages) d'Ighil bouzzal, Agouni guizan, Tadderth, Thazaghath, les chalets, Tizi bouchene et Imejrouadh,
- Réglementé le territoire de la ville ainsi délimitée sans se référer à l'étude géotechnique établie par le laboratoire LCTP en 1986. Seules les zones de « Tala Oukouchah » (centre de glissement de la partie Nord) et « Sikh » au Sud étaient reconduites dans le règlement d'urbanisme comme zones où les constructions sont prohibées.

Ce nouvel instrument a été exploité très vite par les promoteurs immobiliers et les auto-constructeurs, la ville s'est vite étendue et pris forme y compris dans les zones considérée jusqu'alors zones instables.



La ville d'AZAZGA se présente aujourd'hui sous la forme d'un centre urbain (noyau colonial) autour duquel gravitent un ensemble de noyaux secondaires non structurés et sans hiérarchie réelle. Au-delà du centre-ville organisé en damier, les extensions se sont développées le long des axes routiers (urbanisation linéaire)

Cette situation se trouve aggravée par l'incohérence et l'insuffisance du réseau local de communication qui fait du centre historique de la ville un lieu de passage obligé pour les réseaux de transit et de dessertes locales.

IV.1.3.3. Gestion du développement de la ville, et les instruments d'Urbanisme

IV.1.3.3.1. Le PDAU 1995

Le Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme (PDAU) dresse une carte des secteurs à l'échelle communale, divise son territoire en secteurs urbanisés, à urbaniser, d'urbanisation future et secteur non urbanisable, où chaque zone est accompagnée par un règlement qui circonscrit leurs affectations dominantes, et permet d'autoriser, d'exclure ou d'interdire les occupations du sol incompatibles avec le caractère de l'espace considéré. [41]

Les interdictions sont d'autant plus strictes que l'espace est fragile.

Le document de synthèse (règlement d'urbanisme PDAU) approuvé en 1995, stipule dans sa partie consacrée au règlement et à la gestion des zones de glissement en matière d'aménagement et d'urbanisation à l'intérieur du périmètre urbain, que :

« D'une manière générale nous distinguerons trois parties :

- Les zones **incertaines** : sont des zones de glissement constructibles ;
- Les zones **tampons** : sont des zones de glissement constructibles moyennant des études de sols préalables ; des dispositions spécifiques complémentaires peuvent être édictées en matière d'emprise au sol, de hauteurs autorisées et d'affectation.
- Les zones **dangereuses** (zones rouges) : sont des zones de glissement où les droits à construire sont momentanément suspendus ; l'autorité compétente peut, sur la base d'une appréciation globale et fondée, résultat de la stabilisation relative du phénomène de glissement ou d'études et de travaux spécifiques de confortement, se prononcer, globalement ou ponctuellement sur la suspension provisoire ou définitive de l'interdiction de construire ».

« Les hauteurs autorisées (nombre de niveaux) seront établies compte tenu des particularités des zones de glissement ;

Pour les zones constructibles du centre historique, les hauteurs autorisées sont fixées comme suit :

o De 02 à 04 niveaux pour la zone tampon ; »

La carte ci-dessous (extrait PDAU de la commune d'Azazga - 1995) contenant la délimitation du périmètre urbain et orientations d'aménagement de la ville, agglomération du chef-lieu, nous renseigne sur l'abstraction faite de l'étude géotechnique d'urbanisation (LCTP 1987) dans la délimitation des zones non constructibles.

Le concept de « zone tampon » introduit dans la réglementation de certaines parties de la ville, n'était pas justifié et reste sans références ; il a néanmoins autorisé la construction sur des zones de glissement (zones rouges) !

A titre illustratif, concernant les permis de construire et certificats de morcellements délivrés dans la zone du centre-ville (POS A1, A4 et A5), on notera que 40 permis de construire ont été délivrés de 1981 à 1992 alors que la dernière décennie 93/ 2003 a connu un rythme plus soutenu, soit 91 permis délivrés représentant plus du double de la décennie précédente. Cette croissance est due au « déblocage » de la délivrance des permis de construire à l'intérieur des zones géotechniques défavorables (33 permis délivrés).

IV.1.3.3.2. La révision du PDAU - 2007

La révision du P.D.A.U de la commune d'Azazga, approuvée par arrêté de Monsieur le wali de Tizi-ouzou en date du 22-04-1995 sous le n°15, obéit à plusieurs objectifs qui sont les suivants : [42]

- situer les zones d'aléas naturels,
- tenir compte des études géotechniques réalisées sur le site,
- revoir les secteurs d'urbanisation en fonction du développement urbain de la commune ainsi que des contraintes à l'urbanisation telles que : zones d'aléas naturels, zones forestières et agricoles à préserver.
-

La révision du P.D.A.U d'Azazga en 1997, dans sa carte de règlement, a pris en considération les données de l'étude géotechnique établie par le LCTP en 1987, en déclarant toutes les zones de glissement définies dans la carte de zoning comme zones instables, où les constructions sont interdites.

Fig.IV. 10: Carte – extrait PDAU de la commune d'Azazga – 2007. [42]

Ainsi, le document révisé répertorie les zones de glissement sous le sigle **ZG**. Elles sont réglementées comme suit :

« L'urbanisation dans les zones de glissement est différée jusqu'à finalisation d'étude géotechnique d'urbanisation dans ces zones .L'objectif de ces études étant de préciser les conditions de construction et de déterminer les dispositions à observer en vue de la stabilisation des zones déjà urbanisées »

« Conformément à l'article 3 du décret exécutif 91-175 du 28 Mai 1991 fixant les règles générales d'aménagement et d'urbanisme ; lorsque la construction ou l'aménagement est projeté sur terrain exposé à un risque naturel, tel qu'inondations, érosion, affaissement, éboulement, séisme, avalanche, le permis de construire ou de lotir peut être refusé ou n'être accordé, qu'à des conditions spéciales.

« La construction dans les zones de glissements répertoriées dans le présent PDAU, ou délimitées par arrêté de Mr le wali, est proscrite jusqu'à finalisation d'études géotechniques sur ces zones ».

IV.2. LECTURE DE LA VILLE ENTRE EVOLUTION ET GLISSEMENT

La lecture du tissu urbain de la ville d'Azazga à travers son évolution, depuis sa création à nos jours, fait ressortir que l'aménagement et la logique d'occupation du territoire de la ville sont largement déterminés par plusieurs facteurs, dont les plus importants sont :

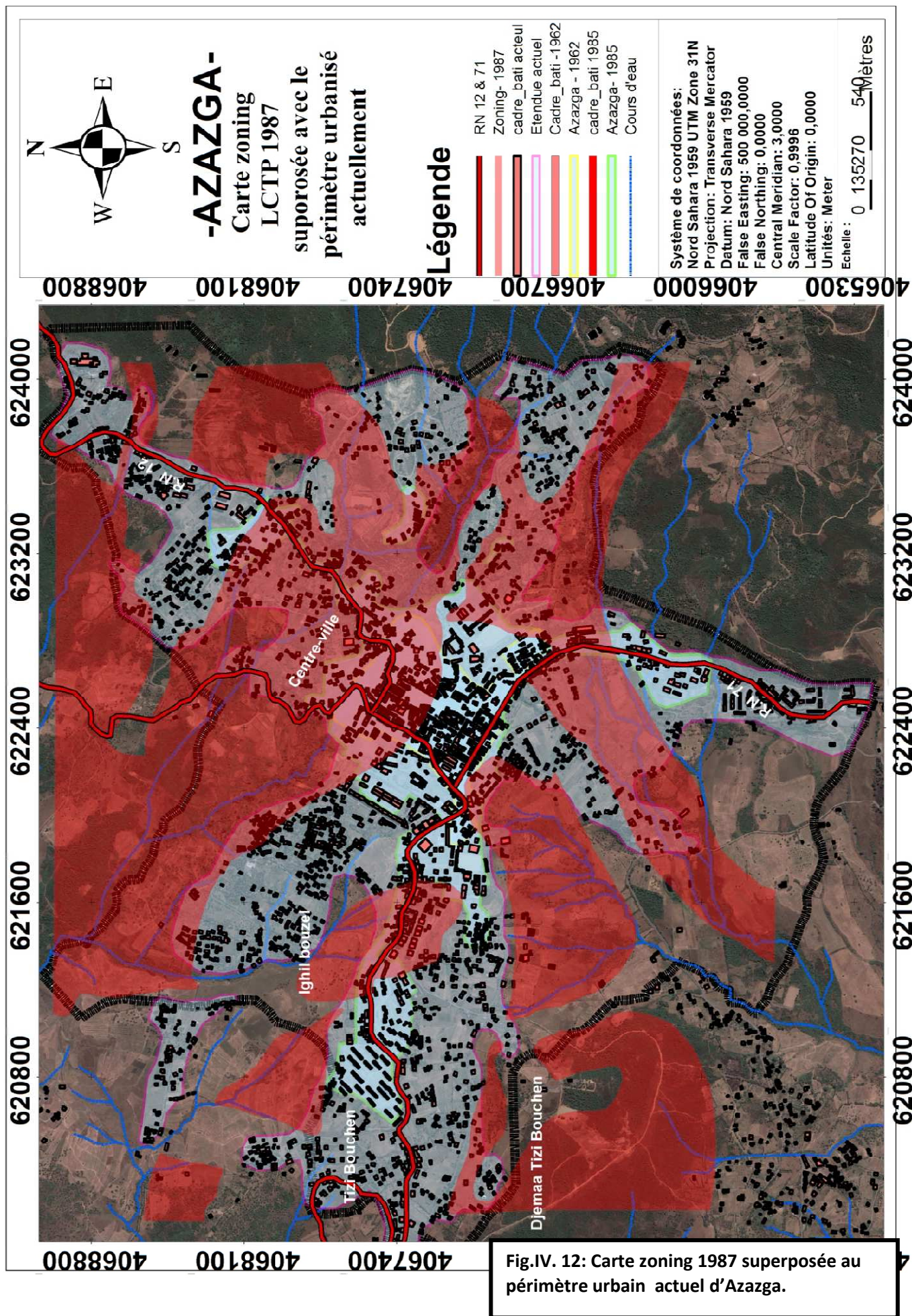
- le tissu colonial caractérisé par son niveau d'urbanité, situé géographiquement au centre du périmètre urbain, entouré de plusieurs pôles avec un développement linéaire le long des voies de communication ; le reste du tissu est de type pavillonnaire, éparse sans structure préalablement étudiée,
- l'existence des deux axes routiers majeurs (RN 12 et RN 71) qui traversent la ville d'Est en Ouest et du Nord au Sud, qui ont joué le rôle de colonnes vertébrale et les supports d'une urbanisation linéaire,
- **Le phénomène de glissement depuis son apparition en 1973**, a joué un rôle relativement important dans l'orientation du développement de la ville, particulièrement pour les programmes publics dont les choix de terrain prennent en considération la carte de zoning géotechnique de la ville d'azazga.

L'absence d'alternative et de proposition claires pour le développement de la ville, conjugués avec la rareté des transactions foncières, l'attractivité qu'exerce la ville d'Azazga à l'échelle régional et la faiblesse du contrôle de l'état, ont fait que le phénomène de glissement a

certes, freiné la construction dans les zones dites « rouges » mais, n'a pas empêché la population a continué à y ériger des quartiers entiers, et ce malgré les risques encourus.



Fig.IV. 11: Photo montrant l'extension Nord de la ville dans les zones rouge (tala oukouchah)



La carte ci-dessus illustre l'étendue du tissu urbain érigé sur les zones de glissement, cette occupation a été plus importante depuis les années 90 comme l'a montré l'analyse de l'évolution de la ville.

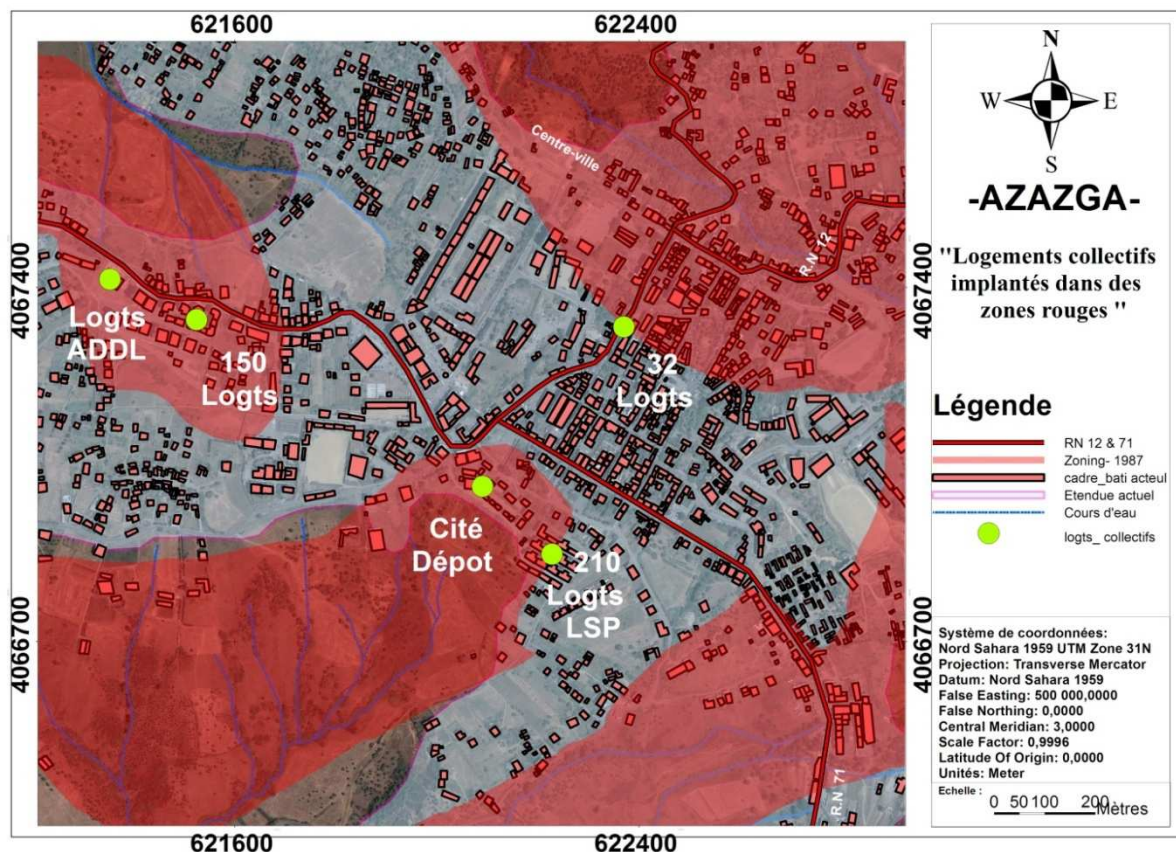
La superficie actuelle de la zone réellement urbanisée ou en cours d'urbanisation est de 577 hectares, dont plus de 217.36 hectares sont situés dans des terrains inconstructible (zone rouge), représentant 37.67 %.

Dans la partie Nord de la ville, à elle seule, 120.13 hectares d'espace urbanisé sont situés dans la zone rouge (Tala Oukouchah, les chalets). Il s'agit de la partie où le glissement est les plus actifs (1973, 1976, 1985 et 2012).

Durant la période allant de 1995 à 2007, suite à l'approbation du PDAU de la commune d'Azazga, plusieurs programmes d'habitat collectifs et d'équipement publics ont été implantés et réalisés :

- A l'intérieur des zones de glissement : 300 logements AADL à Tizi-Bouchene, 150 logements LPL à Tizi-Bouchene, partie des 185 logements LSP à Imedjrourad, la poste à Tizi-Bouchene.
- A proximité des failles connues : 72 logements LSP, Centre culturel.

L'habitat résidentiel et pavillonnaire représente la typologie d'habitat prédominant et le plus important qui a été érigé sur les zones de glissement. Il s'agit de l'habitat spontané initié par les propriétaires des terrains, dans le cadre de l'auto-construction et des extensions de leurs habitations, sans planification préalable des services publics et souvent sans permis de construire.



IV.3. LES EQUIPEMENTS : ANALYSE SUR LEUR SITUATION DANS LA VILLE

IV.3.1. Les équipements publics

La ville d'Azazga, de par son statut de chef-lieu de Daira, est dotée d'un niveau d'équipement important dont le rayon d'influence dépasse les limites de son territoire, tels que l'hôpital, le centre de formation professionnel et l'annexe de l'école des beaux-arts.

les équipements administratifs tels que le siège de Daira, l'APC, le tribunal, la sureté urbaine, la protection civile et la brigade de gendarmerie ainsi que la poste et les sièges de subdivisions des différents secteurs participent d'une manière certaine à rehausser le niveau d'urbanité d'Azazga.

La carte ci-dessous nous renseigne sur la répartition et l'implantation de tous les équipements existant à l'intérieur du périmètre urbain. La première lecture de cette carte nous suggère les éléments suivants :

- La plus grande partie des équipements sont concentrés dans le centre-ville (noyau colonial), regroupant tous les équipements du pouvoir (Daira, APC, tribunal, sureté), les structures éducatives et divers administrations et services publics.
- Deux autres pôles d'équipements sont à relever, le premier au Nord avec l'Hôpital 240 lits, la polyclinique et les structures éducatives, le deuxième au Sud avec la protection civile, la Sonelgaz, 02 CEM et la gendarmerie
- Le reste du territoire de la ville, en dehors du noyau colonial et le long des routes nationales traversant l'agglomération, n'est généralement pas structuré pas l'implantation des équipements.

L'analyse de l'implantation des équipements par rapport à la carte de zoning géotechnique d'Azazga fait ressortir ce qui suit :

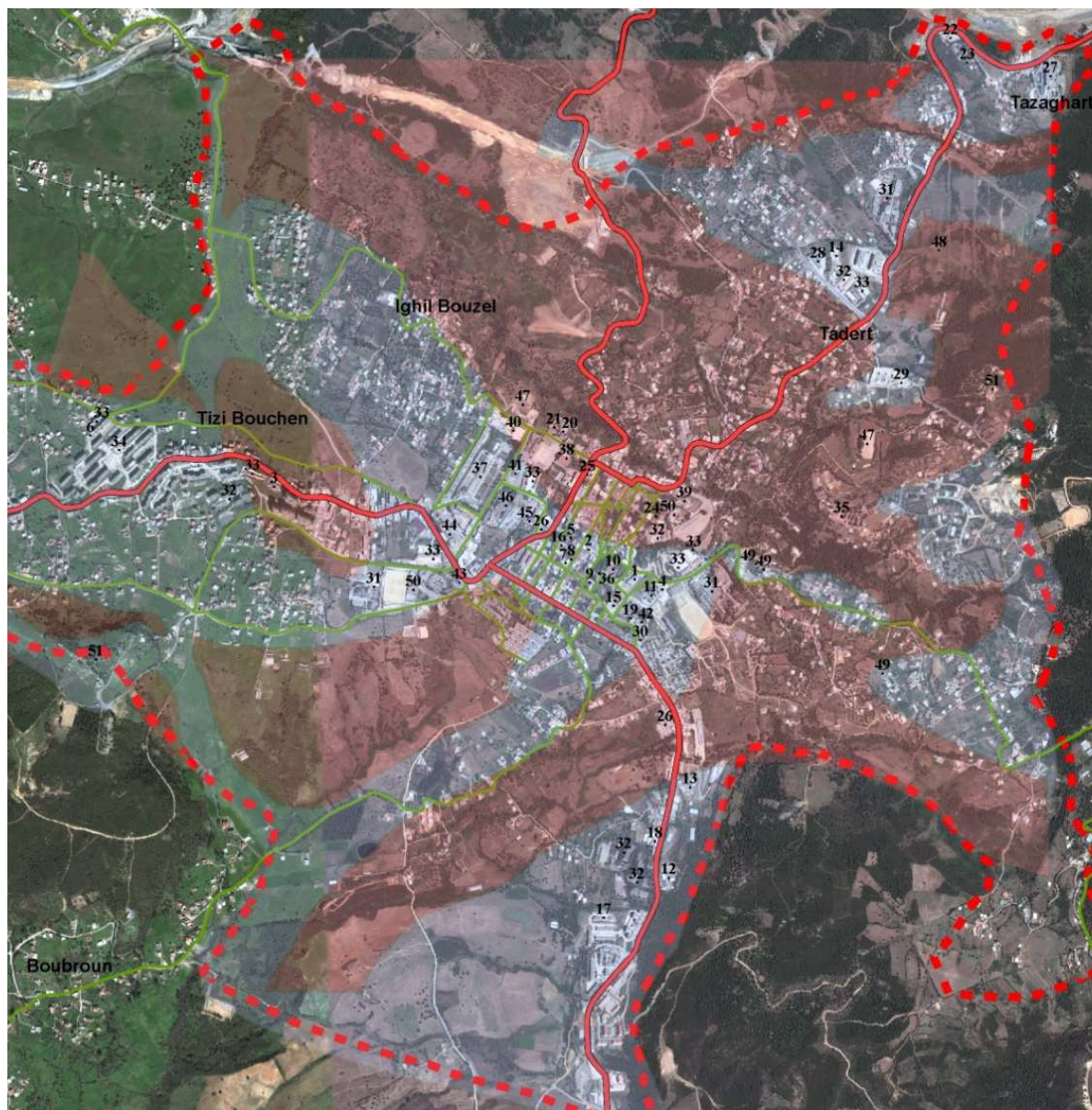
- Plusieurs sièges d'équipement publics sont situés dans des zones rouges, parmi les plus importants on cite la station essence (26), la maison de jeunes (39), l'école des beaux-arts (35), l'annexe de CFPA (38), centre de santé (30), poste de Tizi-Bouchene (3), la mosquée et plusieurs subdivisions technique et établissement scolaires (EP Abdous, CEM Zaidat et partie du Lycée Chihani,
- Des équipements d'importance capitale sont situés a proximité des limites des zones rouges tel que la protection civile (proximité de l'empreinte de la coulée boueuse), le centre culturel (proximité d'une faille), les réservoirs de tête de Taazibt.

Il y a lieu de noter que la majorité des équipements se trouvant dans les zones de glissement y étaient déjà implantés bien avant l'avènement du glissement en 1973, mais aussi il est à relever qu'aucun effort de la part de l'administration n'a été constaté pour délocaliser ces structures après l'établissement de l'étude géotechnique et la carte de zoning depuis 1986.

IV.3.2. Les infrastructures de base (les routes)

Azazga est traversée par deux axes structurants (routes nationales RN 12 et RN 71) qui assurent son accessibilité et son rattachement au reste du territoire. Ce niveau d'accessibilité peut être, aux premiers abords, considéré comme étant élevé, mais au regard de l'importance des zones de glissement que traversent ces routes, le rend fragile et augmente sa vulnérabilité avec le risque de glissement.

La réalisation de l'évitement nord de la ville, prévu en axe autoroutier, dont la réception est programmée pour l'année 2014, vient renforcer considérablement le niveau d'accessibilité de l'agglomération, en prévoyant deux accès supplémentaires transversaux du côté Nord.



1. Siège de Diara
2. Siège d'APC
3. Poste
4. Tribunal
5. Annexe APC
6. Antenne APC
7. Ancienne poste
8. Contribution des Impôts
9. Ancien tribunal
10. Ancien siège de Daira
11. Sûreté de Daira
12. gendarmerie
13. Protection civile

14. BMPJ
15. Prison
16. Central téléphonique
17. Centre de santé
18. Sonelgaz
19. Inspection de l'urbanisme
20. Subdivision de l'agriculture
21. Subdivision de l'Hydraulique
22. Forêt-école
23. Centre de recherche des forets
24. Inspection des forêts
25. Subdivision des travaux publics
26. Station-service
27. Hôpital 240 lits
28. Polyclinique
29. Clinique médicale
30. Salle de soins
31. Lycée
32. CEM
33. Ecole primaire
34. crèche
35. Annexe de l'école des beaux-arts
36. Ex. église
37. CFPA
38. Annexe CFPA
39. Foyer de jeunes
40. Centre culturel
41. Salle polyvalente
42. BDL
43. BADR
44. BNA
45. CNEP
46. Parcs (communal + travaux publics)
47. Aires de jeux (stade)
48. Stade
49. Réservoirs d'Aep (Taazibt)
50. Mosquée
51. Cimetière

IV.4. CONCLUSION

Le développement de la ville d'Azazga et l'extension de son tissu urbain, ont connu une accélération sensible durant les deux dernières décennies, cette évolution s'est faite dans toutes les directions à partir du centre historique et n'a pas épargné les zones de glissement, particulièrement celles situées au nord et le long des axes routiers.

L'étendue des zones rouges à l'intérieur du périmètre urbain défini par le PDAU est de 439.26 Ha, dont 217.36 Ha sont considérés comme urbanisés ou en cours d'urbanisation, où il y a formation de tissu et de quartiers entiers.

L'analyse cartographique conduite dans les chapitres précédents, avec l'application des résultats des études de glissements sur les espaces urbanisés fait ressortir qu'en 1976, la zone urbanisée dans des terrains inconstructibles était de 20.25 Ha, elle est passée à 50 Ha en 1985 et elle est aujourd'hui de 217.36 hectares. Cette évolution d'occupation d'espaces sensés être protégés, avec de telles proportions alarmantes nous montre l'absence d'actions préventives et de consolidation des terrains exposés aux glissements d'Azazga.

Cette agression de l'homme sur ces territoires « fragiles » a sensiblement, contribué et contribuera à fragiliser d'avantages ces zones et les rendras encore plus vulnérables au glissement.

Malgré l'avènement du glissement à Azazga (1973, 1985, 2012) et les destructions qu'il a occasionné à chaque fois aux biens des personnes, les populations continuent à ériger leurs constructions dans les zones rouges, et ce malgré leur interdictions prescrites par le règlement d'urbanisme en vigueur.

CONCLUSION GENERALE

Cette étude a permis de conjuguer l'analyse descriptive sur l'aléa de glissement de terrain et la vulnérabilité dans le site urbain d'Azazga, avec la reconnaissance et la quantification de ces derniers. Cette approche pluridisciplinaire à l'interface des sciences de géoscience offre de nombreuses perspectives, qui permettront d'apporter de nouveaux points de vue et d'outils, au service de l'appréhension et de la compréhension des phénomènes géologiques entrant dans l'évaluation des risques naturels.

La cartographie des zones exposées à des risques de glissement dans le site urbain d'Azazga est assez délicate, cela a nécessité la collecte d'importantes informations et une très bonne connaissance du site.

En premier lieu, pour tenter de mettre au point une représentation cartographique plus fine de l'aléa de glissement, on a combiné quatre paramètres jugés comme causes principales à l'apparition du glissement, qui sont les suivants :

- La géomorphologie de site,
- L'inclinaison de la pente,
- La géologie ou lithologie de sols,
- Le régime hydraulique.

Certains de ces facteurs peuvent être appréhendés facilement (pente issue de TIN d'Azazga), d'autres, tels que la géologie et l'hydrographie, sont plus difficiles à juger, en particulier en ce qui concerne leur reconnaissance en profondeur.

La méthode de caractérisation et de cartographie utilisée dans cette étude s'appuie sur l'analyse multicritère et sur l'utilisation du système d'information géographique. La résultante de cette démarche est l'élaboration d'une carte thématique finale qui s'avère un document utile pour identifier facilement les zones exposées aux trois types d'aléa (faible, moyen et fort).

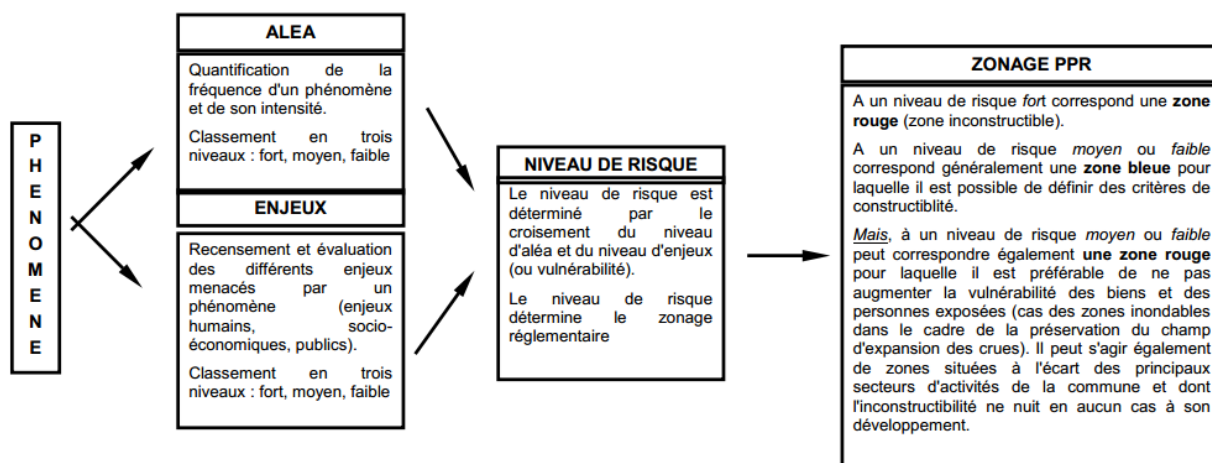
En ce sens, cette cartographie des classes d'aléa constitue une approche d'aide à la décision pour les gestionnaires et les aménageurs de la région. L'utilisation d'un SIG présente un double avantage à savoir, la possibilité d'utiliser des données multi-sources et de les regrouper en différentes couches d'information, lesquelles peuvent être remaniées suivant les besoins exprimés par les utilisateurs.

Par ailleurs, l'application d'un SIG permet d'actualiser et d'intégrer ultérieurement des données additionnelles qui peuvent être fortement utiles dans l'évaluation du niveau de l'aléa associées aux phénomènes de glissement ainsi que celui des enjeux et de vulnérabilité

En revanche, la stabilité définitive des terrains vulnérables à Azazga, ne peut être garantie par la mise en œuvre des solutions de confortement. Le site est affecté par des glissements dont les déplacements sont rapides. Il constitue un cas d'une grande gravité, il est très difficile de se prononcer face à une dynamique des versants très active.

Pour mieux délimiter les zones les plus exposées au risque dans ce site, nous avons utilisé la cartographie des risques naturels pour la réalisation d'un **plan de prévention des risques naturels liés aux glissements de terrain**. Cette méthode favorise le diagnostic, grâce à une rapide visualisation et permet une meilleure orientation vers les décisions à prendre dans le cadre d'une politique de prévention de risque liée au glissement de terrain.

La démarche de notre étude est conduite en fonction du schéma suivant :



Cette démarche nous a permis d'élaborer une carte de potentiel de risques liés au glissement de terrain du site étudié, définissant en finalité un zoning réglementaire, faisant ressortir trois zones principales :

- **Les zones exposées au risque** : elles sont représentées sur la carte par une couleur rouge, elles s'étalent sur une superficie de **288.79 ha** soit **31.33 %** de la surface totale du site étudié. Il s'agit principalement des zones urbaines de forte densité d'habitat et de concentration d'équipement publique, situés sur des zones de glissement et le long des voies de communication primaire.
- **Les zones non directement exposées** : elles sont représentées sur la carte par une couleur bleu, elles s'étalent sur une superficie de **449.73 ha** soit **48.79 %** de la surface totale du site étudié. Elles constituent la plus grande partie de par sa superficie, située principalement au prolongement et à la périphérie des « zones exposées au risque ».
- **Les zones protégées ou stabilisées** : c'est les zones représentées sur la carte par la couleur verte, elles s'étalent sur une superficie de **183.28 ha**, représentant **19.88 %** de la surface totale du site étudié. Minoritaire de par leur consistance, ces zones sont multiples, éparpillées aux différents endroits de la zone d'étude, généralement en petites poches situées en périphérie avec des densités d'habitat faibles à très faibles.

Recommandation par zonage et gestion de risque

▪ Les principes réglementaires par zone

L'assimilation d'un règlement précise les mesures associées à chaque zone du document cartographique. Il évoque successivement pour chaque type de zone, les règles d'urbanisme applicables aux constructions nouvelles ou tout nouvel usage du sol et celles concernant les projets nouveaux liés à l'existant, en distinguant les mesures d'interdiction et les autorisations avec prescriptions. Il définit également des dispositions communes à toutes les zones (les règles de construction notamment). Dans notre cas :

1) Zones d'interdiction R1: (La zone rouge), Il s'agit des secteurs « à risques géotechniques forts » pour lesquels il conviendra d'exclure tout projet de construction, terrassement, et d'une manière générale toute transformation modifiant les équilibres existants. Les bâtiments détruits par un sinistre dont les causes des dommages concernent un phénomène naturel de type glissement de terrain ne pourront être reconstruits.

Seuls pourront être autorisés :

- les travaux de créations de pistes nouvelles, nécessaires à l'entretien des zones exposées qui n'impliquent pas de travaux de terrassement sur plus de 1 m de hauteur ;
- les travaux d'entretien et de réparation courants des constructions et des installations implantées antérieurement à l'adoption du règlement ;
- les travaux de génie-civil destinés à prévenir ou conforter les phénomènes de type glissement de terrain ;
- les aménagements hydrauliques permettant d'améliorer la continuité des écoulements (ruissellements, eaux usées, circulations profondes ...).

Les constructions existantes en zone R1 doivent normalement être maintenue si les critères ci-après sont tous respectés :

- une étude sur les structures doit démontrer que le bâtiment occupé ne présente pas des désordres préjudiciables à sa stabilité à moyen terme. Les éventuelles déformations non préjudiciables à la stabilité à moyen terme devront être décrites et faire l'objet de travaux de confortement (renforcement des structures par chaînage, colmatage des fissures, reprise d'étanchéité, ...). En attendant la réalisation des travaux, un programme de suivi annuel de l'évolution des déformations est recommandé.
- un plan de gestion et d'évacuation des eaux superficielles (ruissellement, eaux de toiture, ...) ou usées doit être établi afin de supprimer tout risque d'infiltration dans les sols en zone R1 ;
- la collectivité s'engage à mettre en place un réseau de suivi des déformations du sol (inclinomètre, topométrie) et des niveaux d'eau dans le sol (piézométrie) dans les zones R1 occupées ; la surveillance fournira des informations précises en cas de réactivation des mouvements ;
- des plans d'évacuation et de secours doivent être établis, avec une définition des moyens de relogement temporaire des personnes, en cas de réactivation brutale des désordres.

1) Zones de prescription R2 : (La zone bleue)

- Tout projet de construction de type Rez-de-chaussée à R+3, de démolition et d'excavation, pourra d'une façon générale être envisagé sous réserve de s'assurer par des études préalables que le projet ne perturbe pas les conditions d'équilibre local. L'étude géotechnique fondée sur la connaissance générale de la géologie et de l'hydrogéologie du secteur, ainsi que sur une campagne de reconnaissances spécifiques du site par tous moyens tels que des sondages et essais in-situ ou en laboratoire, devra être réalisée par un bureau d'études spécialisé. En fonction de l'importance du projet.
- Continuité des régimes hydrogéologiques superficiels et souterrains : Les projets de construction ne devront en aucun cas modifier de façon préjudiciable la circulation des eaux superficielles ou profondes. Cette condition impose notamment une viabilisation préalable des terrains à construire, qui s'inscrira dans le cadre d'un schéma général d'assainissement et de drainage de la zone urbanisable. L'objectif sera d'éviter tout rejet non maîtrisé vers les terrains aval, avec les risques de glissements et de ravinement que cela génère dans les sols argileux.

La mise en place de réseaux séparatifs est imposée sur tout nouveau projet de construction ou de viabilisation d'une parcelle.

Par ailleurs, les démarches suivantes sont conseillées pour prévenir les apports d'eau accidentels dans des versants sensibles à l'aléa mouvement de terrain :

- o créer des réseaux d'amenée et d'évacuation des eaux sous double enveloppe ;
- o entretenir et curer régulièrement les caniveaux et fossés d'évacuation des eaux de ruissellement ;
- o surveiller les circuits de distribution d'eau, et réparer rapidement les fuites identifiées ;
- o interdire l'assainissement par fosse septique, sauf justification de l'absence d'impact sur la saturation et la stabilité des sols à l'aval.

2) Zone non réglementée R 3(zone verte) :

Cette zone correspond à une zone exposée à un aléa négligeable à faible. Le règlement ne contient pas de prescription ni d'interdiction particulière dans cette zone. Néanmoins, de manière évidente, l'ensemble de la réglementation en vigueur (la loi sur l'eau et les codes de l'environnement, rural, de l'urbanisme etc.) s'y applique.

Les nouveaux secteurs de développement urbains seront à privilégier dans les secteurs cartographiés en zone R3 qui présente moins de contraintes naturelles.

A l'issue de notre étude, il est apparu que plus de 80.12 % du territoire de la ville d'Azazga présente un risque moyen à élevé par rapport à sa constructibilité. La carte de risque produite peut constituer un support pour le classement des actions de développement, de protection et de prévention à engager par les collectivités locales pour la gestion des risques naturels auxquels est confrontée la ville d'Azazga.

BIBLIOGRAPHIE



- [1] Selon les travaux de Dave Petley, Wilson Professeur à l'Université de Durham en Angleterre publiés sur le premier Blog relatif aux glissements de terrain.
- [2] Varnes, D.J., 1984. Hazard Zonation: A Review of Principal and Practice.
- [3] Schuster, R.L., 1996, Socioeconomic significance of landslides, in A.K.
- [4] Natural Disaster Hotspots: A Global Risk Analysis, © 2005, International Bank for Reconstitution and development / The World Bank and Columbia University.
- [5] Suggested nomenclature for landslides. International Association of Engineering Geology.
- [6] WP/WLI - International Geotechnical Societies, Working Party on World Landslide Inventory (1991) - A suggested method for a landslide summary.
- [7] Varnes, 1978. Slope movements. Typical and processes.
- [8] USGS (United States Geological Survey, « Institut d'études géologiques des États-Unis », 1982, Goals and tasks of the landslide part of a ground failure hazard reduction program. U.S. Geological Survey Circular.
- [9] Etude pour la réalisation d'une cartographie et d'un système d'information géographique sur les risques majeurs au Maroc/ Secrétariat d'Etat auprès du Ministère de l'Energie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement chargé de l'Eau et de l'Environnement Département de l'Environnement Direction de la Surveillance et de la Prévention des Risques/ mission 1 identification des risques les glissements de terrain / Version 1.0 Septembre-2008.
- [10] Affaissements et déformations au-dessus des exploitations minières : mécanismes, conséquences et facteurs influents J.P. PIGUET [LAEGO, Ecole des Mines de Nancy/INERIS], Lille : France (1997).
- [11] Processus de retrait-gonflement des sols argileux, BRGM 2010.
- [12] Varnes, 1996. Landslide Types and Processes, National Research Council, Wasington, DC.
- [13] Astrid Leutwiler, Septembre 2009, Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC), Office fédéral de l'environnement, Division Prévention des dangers.
- [14] DJERBAL Lynda, Analyse des mécanismes de déformation et de la rupture progressive du versant instable d'Ain El Hammam, thèse de doctorat, juillet 2013. Page 14-18.
- [15] Fawzi Boudaqq : Urbanisation et risques naturels à Alger et son aire métropolitaine.

[16] Mezhoud lamia : La vulnérabilité aux glissements de terrain et les enjeux dans la partie Ouest et Sud-Ouest de la ville de Constantine ; thèse magistère, option : Aménagement des milieux physiques ; 103p.

[17] Guide technique : stabilisation des glissements de terrain (1998), sous la direction de Gilles Sève (LCPC) et Pierre Pouget (LRPC de Clermont – Ferrand).

[18] Guide technique : Surveillance des pentes instables (1994), sous la direction de Jean-Louis Durville (LCPC), Thierry Gouin (LRPC de Lyon), Pierre Pouget (LRPC de Clermont – Ferrand), Gilles Sève (LCPC).

[19] BENKECHKACHE Imene, investigation de la dégradation du cadre bâti sous l'effet du glissement de terrain cas de Constantine, Mémoire de MAGISTER, Option : ville et risques urbains, Fév / 2012. Page 86.

[20] Conseil interministériel du mardi 29 novembre 2011, glissement de terrain de la ville de Ain El Hammam.

[21] MAGALIE Levasseur, Contribution des systèmes d'information géographique à l'analyse quantitative de l'aléa « glissement de terrain » - Exemple d'application au secteur de Ville de La Baie, Québec. Mémoire présenté pour l'obtention du grade de Maître ès sciences (M.Sc.), Université du Québec INRS-E.T.E. 2003.

[22] GUILLARD Clémence, mémoire de MASTER, « système Territoriaux, Développement Durable et Aide à la décision », sujet : Evaluation et cartographie du risque glissement de terrain d'une zone située au Nord de LIBONNE. 15 Septembre 2009.

[23] Adiola MARTINEZ, Mémoire de certificat de spécialisation en Géomatique Faculté des Science, sujet : Elaboration d'un SIG pour la gestion des zones à risque de glissements de terrain dans le quartier de VILLATINA Medellin, Colombie/ Université de GENEVE / / Février 2003.

[24] Alexandre Magnan (Iddri), La vulnérabilité des territoires littoraux au changement climatique : Mise au point conceptuelle et facteurs d'influence, n° 01/2009, changement climatique.

[25] M. Jean-Claude MICHEL/Président du groupe de travail « Prévention des risques naturels et technologiques »/ Contribution n° 2013-18/17 Septembre 2013.

La prévention des risques naturels et technologiques: enjeu de société/ Conseil économique, social et environnemental régional Rhône-Alpes/ Rapporteur.

[26] La vulnérabilité des sociétés et des territoires, face aux menaces naturelles, Analyses géographiques, Sous la direction de Frédéric Leone et Freddy Vinet, Université Paul-Valéry — Montpellier III, 2003.

[27] Maquaire et al. 2006 : Analyse spatiale, évaluation et cartographie du risque "glissement de terrain". Revue Internationale de Géomatique, Vol spécial, n°4/2006.

[28] Céline Ronté, étude et analyse critique des méthodes d'évaluation des risques naturels par l'exploitation des SIG, dirigé par Régis Caloz et Sandrine Durler, Application au bassin versant de l'Avançon (Aigle, Vaud, Suisse) , Mai – Septembre 2003.

- [29] Mr.Aoudj. M-A, Présentation du glissement qui affecte la ville d’Azazga (13/0303/2012).
- [30] Rapport final LCTP N°27.85.1012, Etude géotechnique d’urbanisation Pos A1 et A5 Azazga; laboratoire centrale des travaux publiques, Alger, (01/2004).
- [31] Etude de microzonge sismique de la ville d’AZAZGA/étape A2 ; carte photogéologique/décembre 2010.
- [32] M^{elle} HADJAZ Djamilia, Calcul de la stabilité de glissement de terrain d’Azazga, Mémoire de master 2, Université Mouloud Mammeri Tizi ousou, (2012).
- [33] Etude : investigation géotechniques spécifiques de la zone instable des POS A1& A2. (Décembre 2012).
- [34] RPA : règlement parasismique Algérienne ; version 2003.
- [35] Rapport Azazga Khoukhi 2eme phase préliminaire N73/04, Etude géotechnique d’urbanisation pour les POS D1et D2, Azazga ; laboratoire centrale des travaux publiques; Alger, (15/05/2004).
- [36] Rapport L.N.T.P.B /dossier : 74/75/G (phase “ A ”étude de définition, Etude des contraintes géotechnique d’urbanisation la ville d’Azazga; laboratoire National des Travaux Publiques et Bâtiment ; Alger, (17/07/1976).
- [37] Rapport L.N.T.P.B /dossier : 74/75/G (phase “ B ”étude d’avant projet sommaire, Etude des contraintes géotechnique d’urbanisation la ville d’Azazga; laboratoire National des Travaux Publiques et Bâtiment ; (1976).
- [38] Rapport LCTP /Etude géotechnique de la ville d’Azazga; laboratoire centrale des travaux publiques; Alger, (1985).
- [39] Rapport LCTP N°27.85.1012, Etude géotechnique de la ville d’Azazga/ zone étudiée : TIZI BOUCHEN, IGHIL KARBOUDJ /laboratoire centrale des travaux publiques; Alger, (09/11/1986).
- [40] Azazga, créé par des Ardechois, mercredi 7 décembre 2011, <http://www.miages-djebels.org>
- [41] Plans Directeur et d’aménagement d’urbanisme –PDAU 1995.
- [42] Révision de PDAU de la commune d’AZAZGA- Edition définitive : Règlement, bureau d’études ; ADS. OULD-FELLA Kamel- Sep 2007.
- [43] SIG 2006 – Paris - 11 et 12 octobre 2006/Dangers naturels en Suisse et dans les Cantons du Jura et de Neuchâtel Comment prévenir à l’aide des SIG/Présentation par ; Sitadel Sàrl et Manuel Lachat.
- [44] MEZHOUD LAMIA-mémoire de magister Filière : Aménagement du territoire- Option : Aménagement des milieux physiques- sujet : La vulnérabilité aux glissements de terrain et les enjeux dans la partie Ouest et Sud Ouest de la ville de Constantine.

[45] Thèse présentée à l'Université de Liège par Olivier DEWITTE en vue de l'obtention du titre de Docteur en Sciences, cinématique de glissements de terrain et prédiction de leur réactivation : approche probabiliste dans la région d'LOUDENARDE, 14 mars 2006.

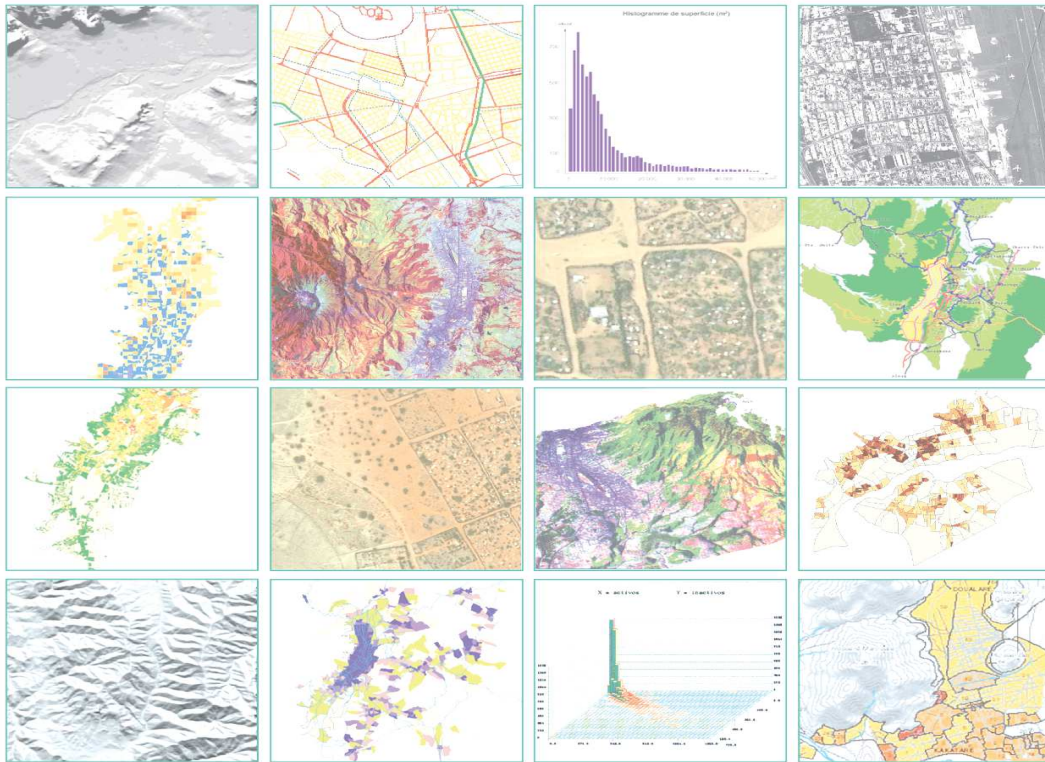
[46] Elaboration de la carte de risque de glissement de terrain de la zone de Ksar-Sghir (Rif septentrional, Maroc) Cartography of the risk of landslide in the area of Ksar-Sghir (Northern Rif, Morocco)- Oumar FOFANA¹, Abdelhak BOUABDI¹, Bouamar BAGHDAD² et Faïçal SOSSEY-ALAOUI.- Département de Géologie - Facultés des Sciences, Université Ibn Tofaïl, Kénitra, Maroc.

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE A

Le Système d'information géographique (SIG)

A. Qu'est ce qu'un système d'information géographique(SIG)? [1]



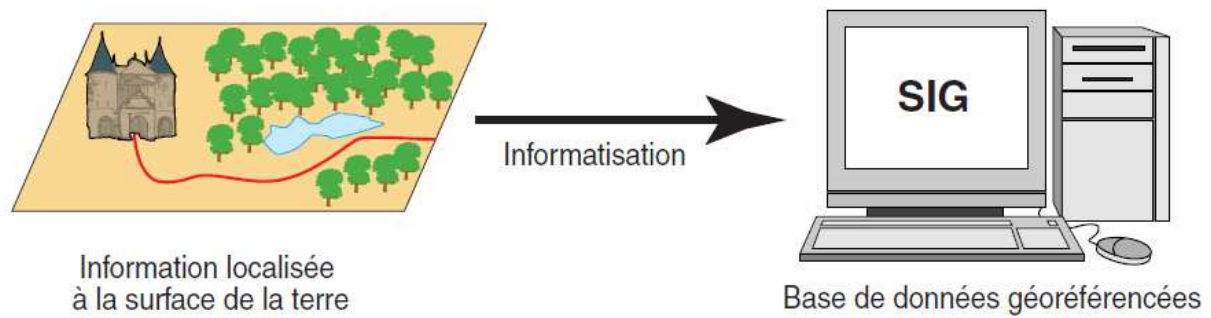
Que signifie SIG ?

Un système d'information géographique (SIG) est un système visant à décrire et caractériser le monde et d'autres géographies, afin de visualiser et d'analyser les informations référencées géographiquement.

De nombreux spécialistes considèrent le système SIG comme l'une des technologies de l'information les plus performantes, car elle vise à intégrer des connaissances provenant de sources multiples (par exemple, des couches d'une carte) et crée un environnement plurisecteurs idéal pour la collaboration. De plus, le SIG séduit les nouveaux utilisateurs par son côté intuitif et cognitif. Il réunit un environnement de visualisation performant, utilisant des cartes pour communiquer et visualiser, et une puissante infrastructure d'analyse et de modélisation spécialement adaptée à la géographie.

Cette association a donné naissance à une technologie scientifique, éprouvée et aisément accessible par le biais de cartes et autres vues géographiques. [2]

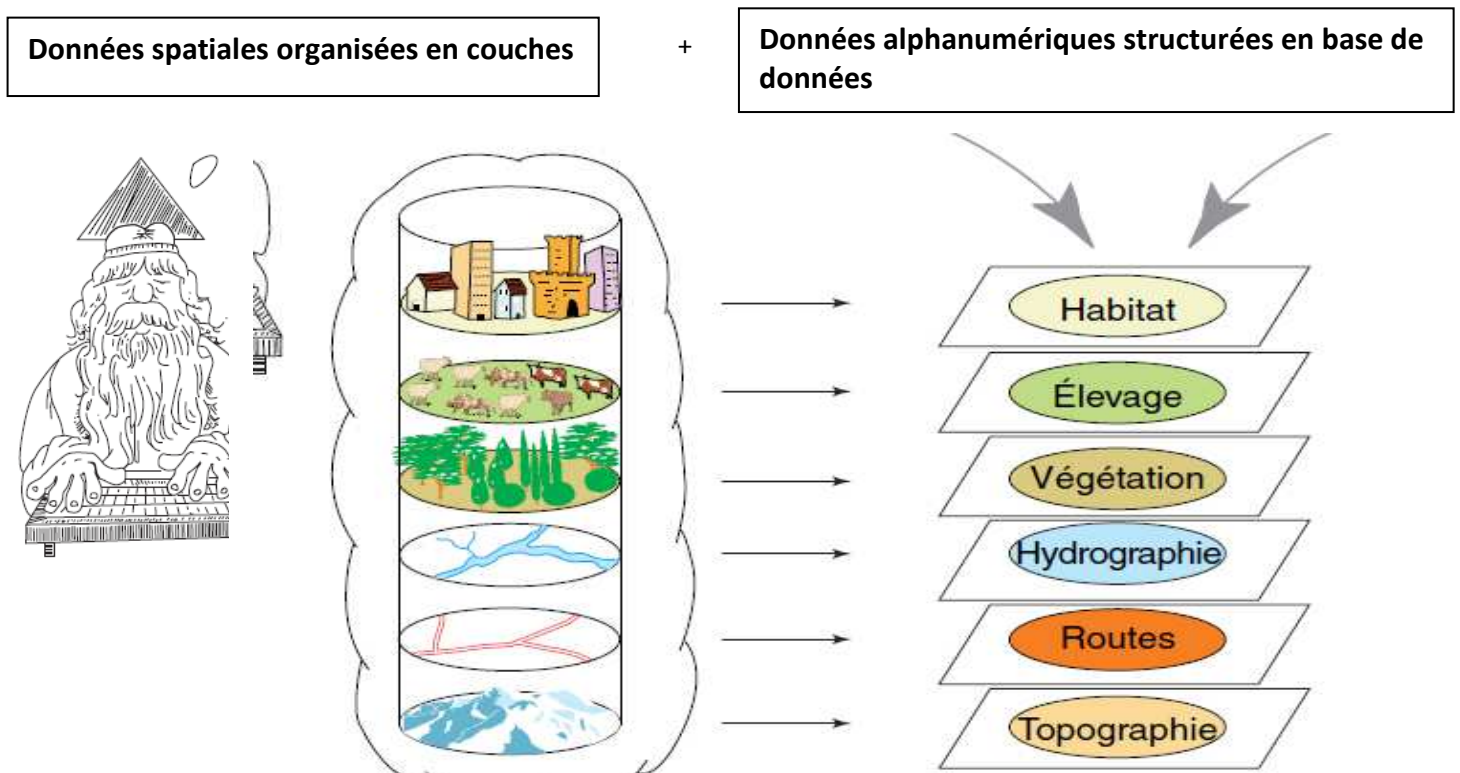
A.1. Définition du SIG



Système d'informations géographiques :

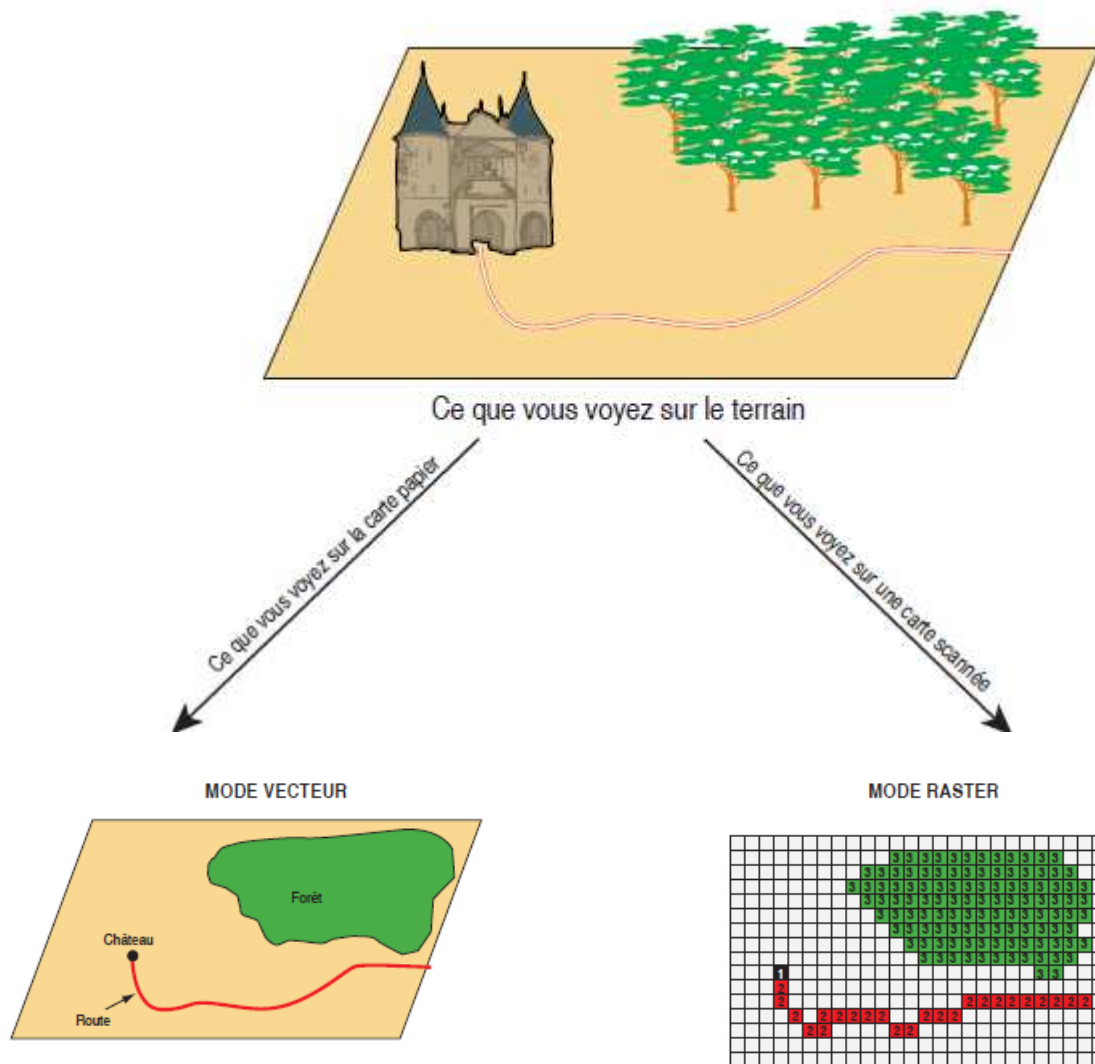
Système informatique permettant, à partir de diverses sources, de rassembler et d'organiser, de gérer, d'analyser et de combiner, d'élaborer et de présenter des informations localisées géographiquement, contribuant notamment à la gestion de l'espace.

A.2. Structurer l'information géographique



Base de données géographique = ensemble de couches superposables

A.3. Mode de représentation de l'information géographique dans un SIG

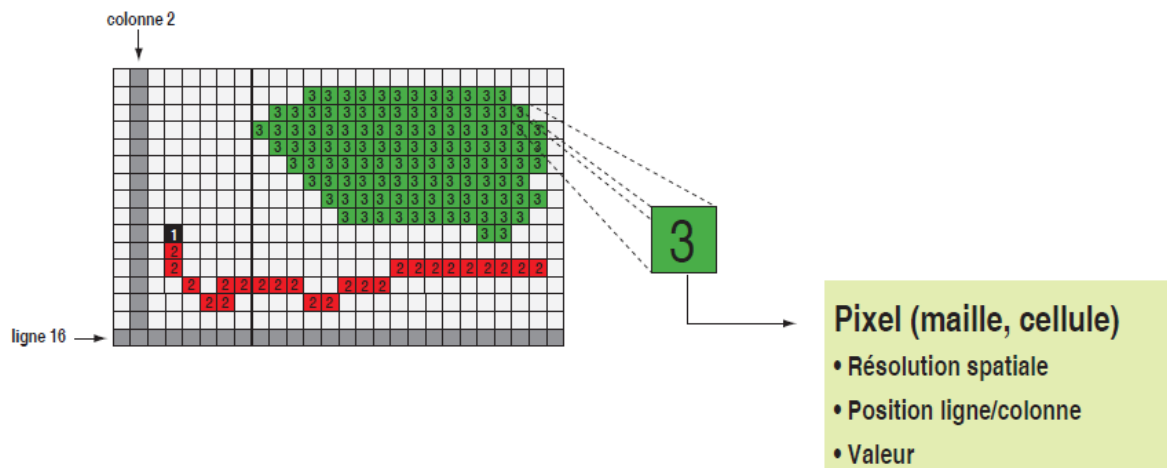


À partir de quelles données?

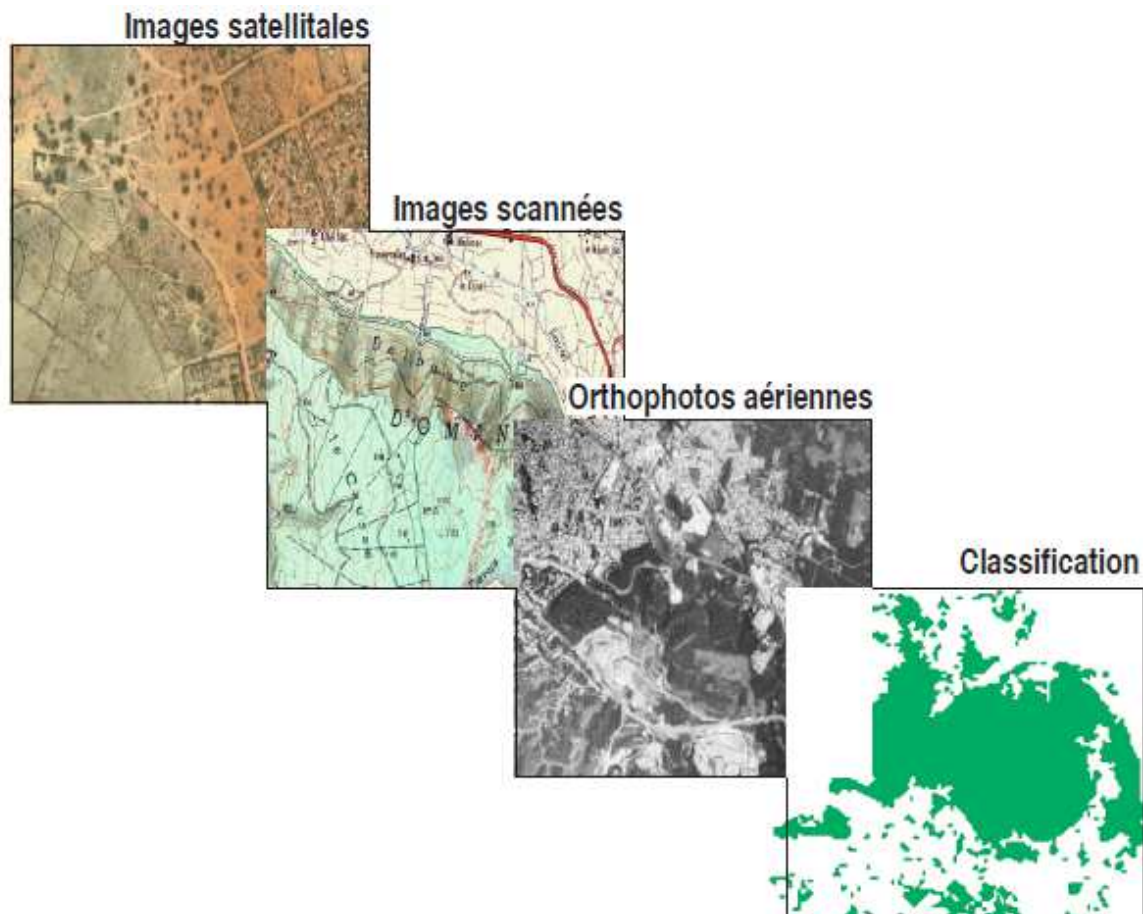
a) Données raster

La réalité est décomposée en une grille régulière et rectangulaire, organisée en lignes et en colonnes, chaque maille de cette grille ayant une intensité de gris ou une couleur.

La juxtaposition des points recrée l'apparence visuelle du plan et de chaque information. Une forêt sera "représentée" par un ensemble de points d'intensité identique.

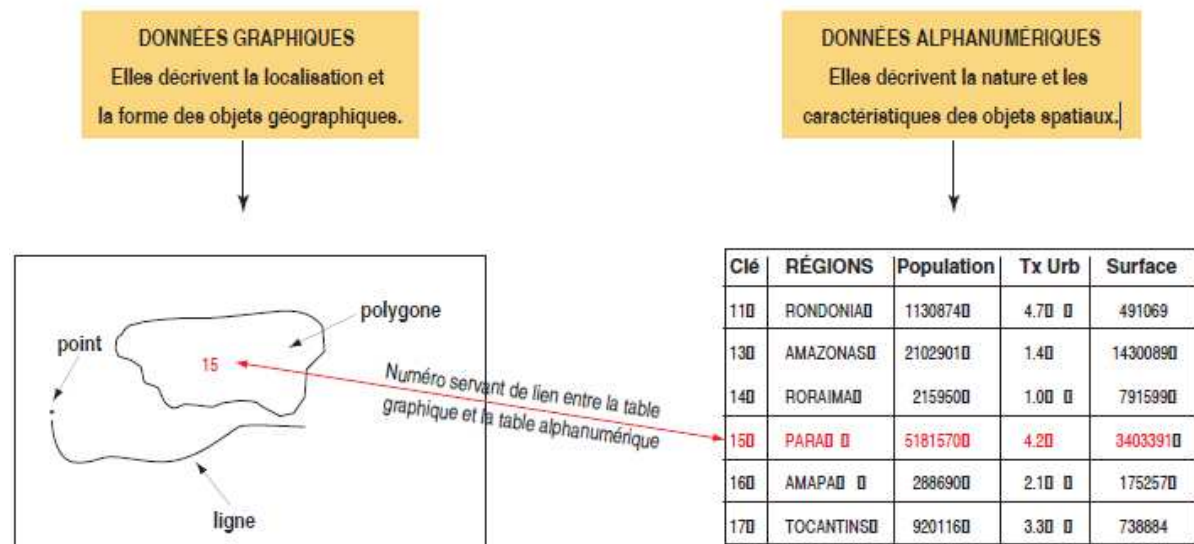


DONNÉES RASTER : EXEMPLES



b) Données vectorielles

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



Les points :

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

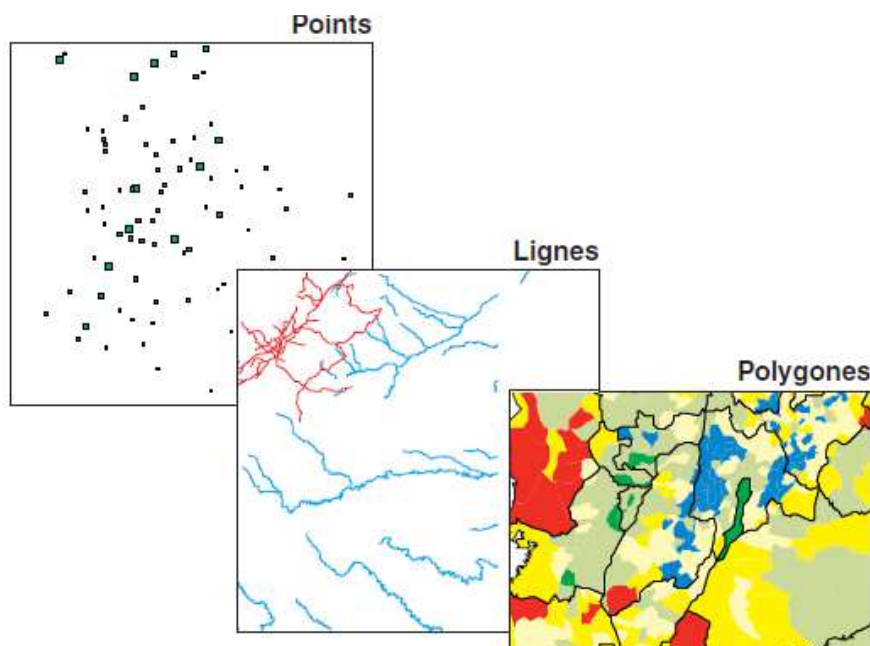
Les lignes :

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

Les polygones :

Ils représentent la forme et la localisation d'objets homogènes comme des pays, des parcelles, des types de sols.....

Données vecteurs : exemples



A.4. Les domaines d'application

Les domaines d'application des SIG sont aussi nombreux que variés.

Citons cependant :

- Tourisme (gestion des infrastructures, itinéraires touristiques).
- Marketing (localisation des clients, analyse du site).
- Planification urbaine (cadastre, POS, voirie, réseaux assainissement).
- Protection civile (gestion et prévention des catastrophes).
- Transport (planification des transports urbains, optimisation d'itinéraires).
- Hydrologie.
- Forêt (cartographie pour aménagement, gestion des coupes et sylviculture)
- Géologie (prospection minière).
- Biologie (études du déplacement des populations animales).
- Télécoms (implantation d'antennes pour les téléphones mobiles).

Qu'est-ce que cela apporte ?

Les informations sont stockées de façon claire et définitive.

- gérer une multiplicité d'informations attributaires sur des objets.
- comprendre les phénomènes, prévoir les risques (simulations).
- établir des cartographies rapides.
- localiser dans l'espace et dans le temps.
- réagir rapidement après des événements ayant un impact sur le territoire.
- calculer des coûts ou des bénéfices.
- associer un plus grand nombre de partenaires aux choix d'aménagement.
- fournir des itinéraires, des plans adaptés.

[1]- SIG. Laboratoire de cartographie appliquée - Élisabeth HABERT - IRD – 2000.

[2]- Aide **ArcGIS®**

ANNEXE B

Outil de travail : ArcGIS© 10

Qu'est-ce que ArcGIS ?

Le logiciel **ARC GIS** © est un système d'information géographique développé par la société **ESRI** (Environmental Systems Research Institute). C'est un outil pour gérer, visualisé, cartographier, interroger et analyser toutes les données disposant d'une composante spatiale.

ArcGis se décline en trois licences aux fonctionnalités croissantes : **ArcView**, **Arc Editor** et **Arc Info**.



Quelques liens utiles :

<http://www.sig-gps.net/>
<http://www.esrifrance.fr/>
<http://www.esri.com/>

I. Les composantes de l'environnement ArcGis

I.1. Les applications : ArcGis comprend une suite d'applications intégrées :



ArcMap : Est utilisé pour toutes les tâches de cartographie et de mise à jour ainsi que pour les analyses associées aux cartes.



ArcCatalog : Permet de gérer les fichiers de données et l'organisation des bases de données ainsi que d'enregistrer et de visualiser les métadonnées.



ArcToolbox : Est une boîte à outils permettant d'effectuer des conversions et de transferts de format et aussi de projection.

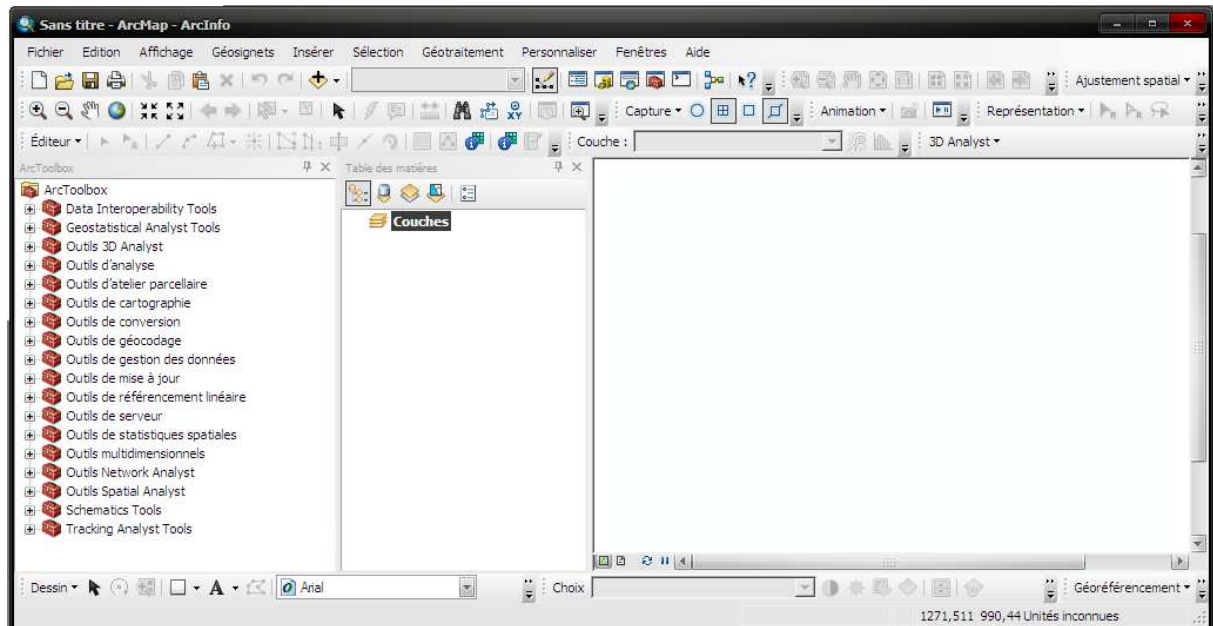


Fig 1.fenêtre Arc Map © 10

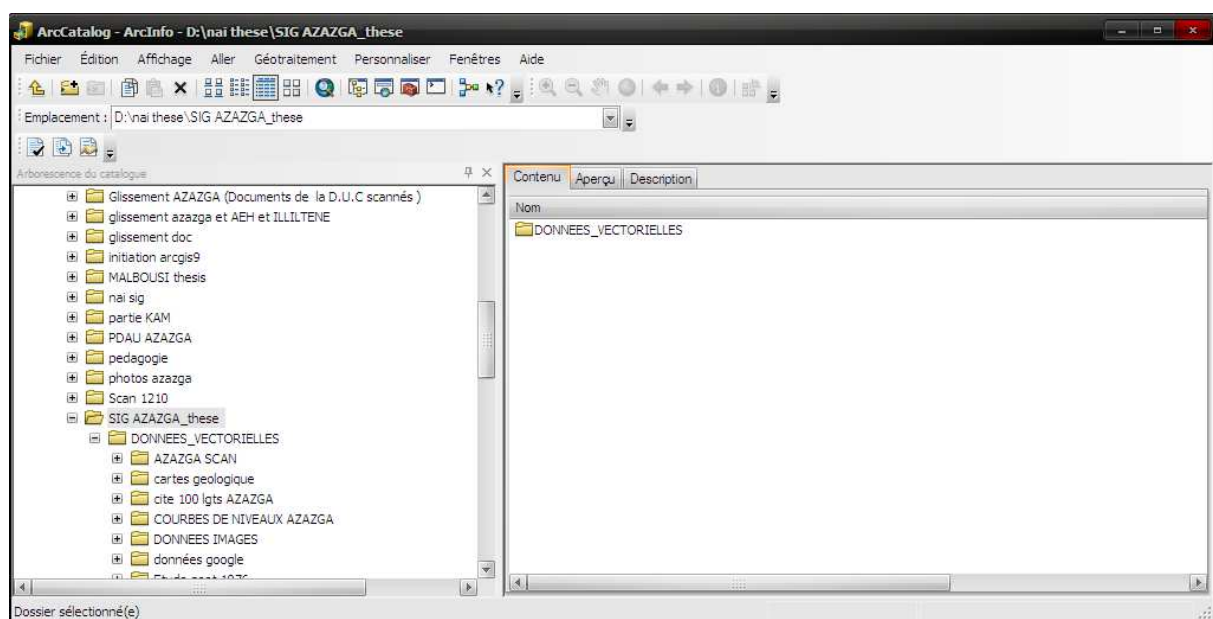
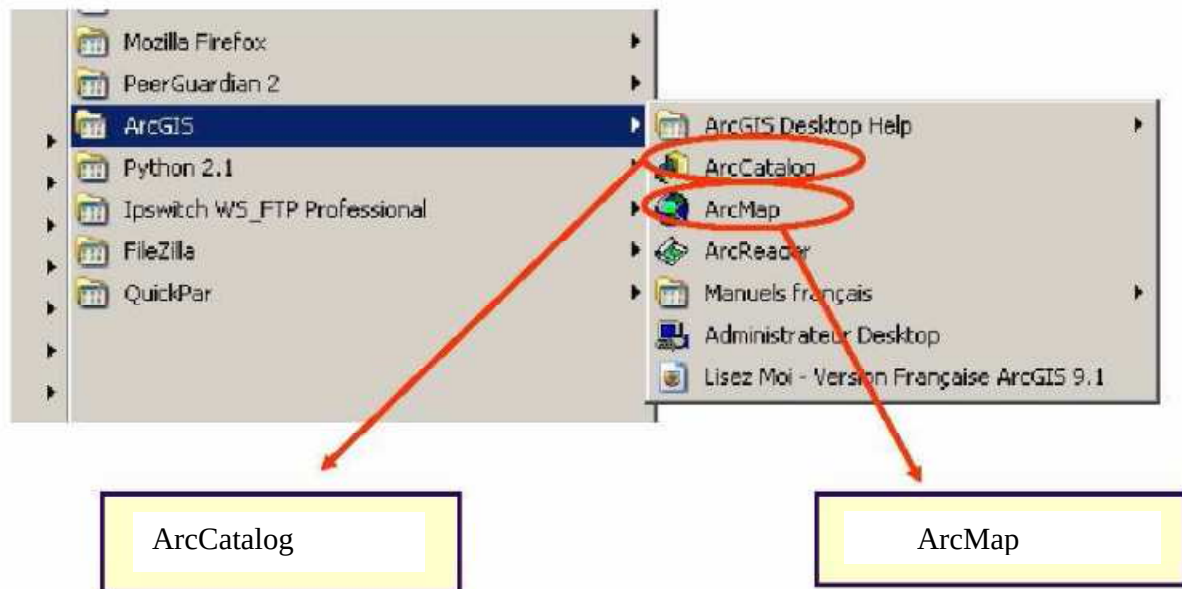


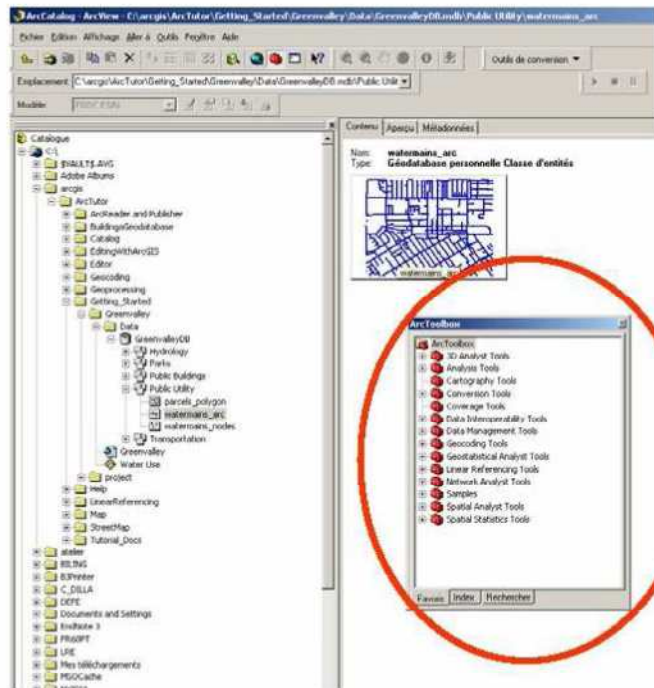
Fig 1.fenêtre ArcCatalog © 10

A l'aide de ces trois applications, vous pouvez effectuer toutes les tâches SIG, de la plus simple à la plus avancée, y compris la cartographie, la gestion des données, l'analyse géographique, la mise à jour des données et le géotraitement....etc.



Permet de gérer les fichiers de données et l'organisation des bases de données ainsi que d'enregistrer et de visualiser les métadonnées.

Est utilisé pour toutes les tâches de cartographie et de mise à jour ainsi que pour les analyses associées aux cartes.



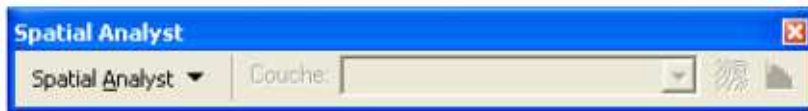
ArcToolbox :

Est une boîte à outils permettant d'effectuer des conversions et de transferts de format et aussi de projection.

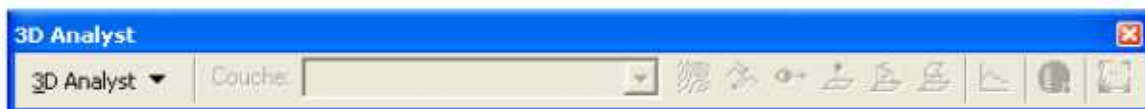
I.2. Les extensions

Les extensions les plus connues d'ArcGis sont les suivantes :

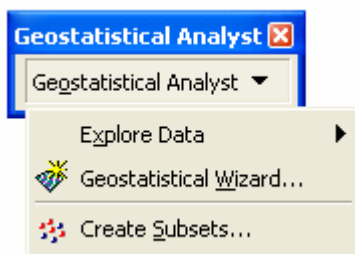
- **Spatial Analyst** : Modélisation spatiale avancée.



- **3D Analyst** : Modélisation 3D :



- **GéoStatistical Analyst** : Analyses et cartographie avancée

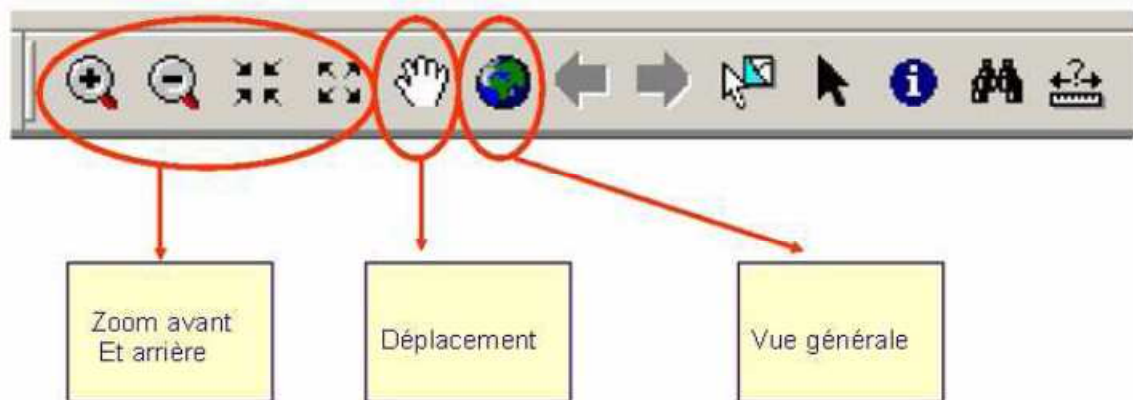


- **Tracking Analyst** : Analyses de données temporelles.

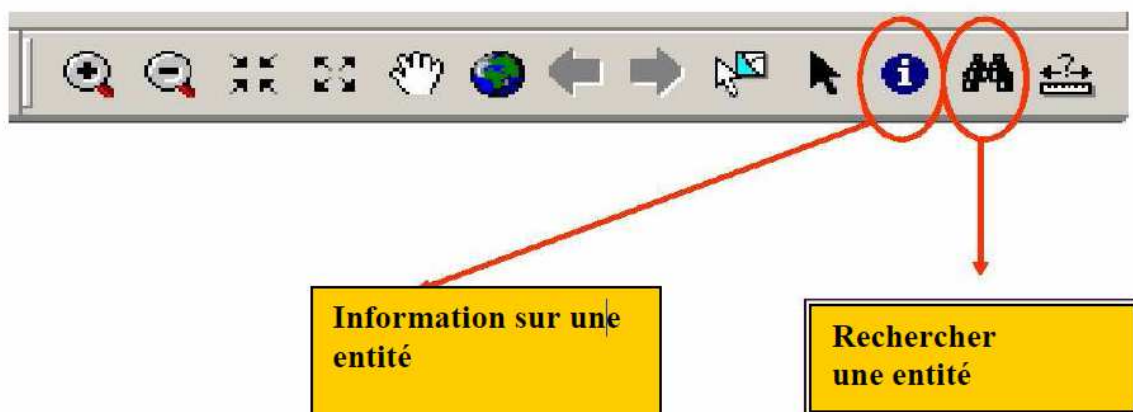


I.3. L'outil de navigation

Outil permet d'effectuer certaines opérations :



Nous pouvons zoomer sur l'étendue d'une couche (clic droit sur la couche / zoom sur la couche) et également définir des seuils de zoom pour cette dernière.



II. Etapes de production d'une carte

Puisque la carte utilise une symbolique conventionnelle, pour transmettre un message, on peut la considérer comme un langage. Mais alors, pourquoi avoir créé un autre système de communication différent de l'écriture ou des mathématiques ?

En fait, ces deux modes de communication sont des systèmes linéaires qui ne délivrent leur message qu'au terme du développement et ne permettent pas non plus la superposition.

Au contraire, le langage graphique est un système spatial qui possède en propre certaines particularités : un message aisément structuré grâce aux capacités particulières de notre perception visuelle.

II.1. Géoréférencement

II.1.1. Notion de géoréférencement

Le géoréférencement est un processus permettant d'établir une relation entre les entités affichées dans votre système d'information géographique et leur position dans le monde réel.

La terre est sphérique, et les cartes étant plates, la conversion de positions géographiques sur une surface de la terre en une surface plate nécessitant une formule mathématique appelée **projection cartographique**

Pour bien exploiter les données sur notre **SIG** on utilise un système de coordonnées projetées (**UTM**) ou géographiques (**WGS 84**).

Le géoréférencement transforme des données spatiales en données géographiques. Le géoréférencement peut correspondre à trois types d'opérations différentes :

- la transformation des données spatiales en données géographiques par la déclaration d'un système de coordonnées,
- la transformation d'un système de coordonnées géographiques à un autre.
- La transformation des données spatiales en coordonnées géographiques par transformation Algébrique.

II.1.2. Manière de géoréférencement

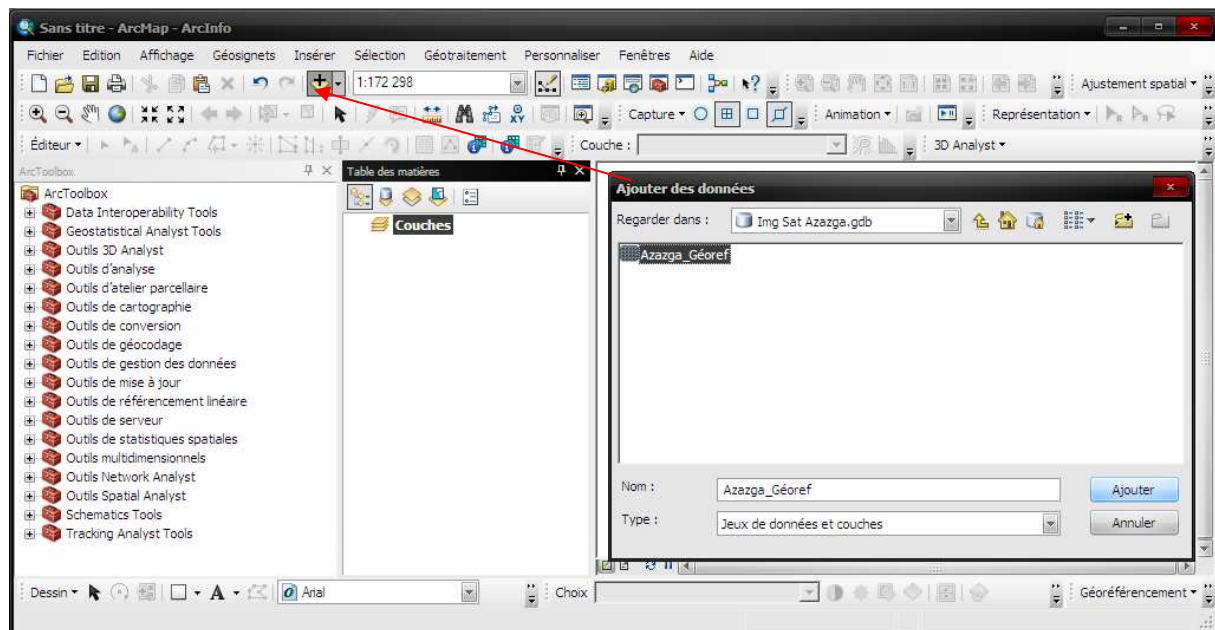
II.1.2.1. Lancer ArcMap

La fenêtre principale d'**ArcMap** représente un document ArcMap. Un document est un fichier d'extension ***.mxd** contenant une carte et sa mise en page. Il stocke les références aux emplacements des sources de données (les couches) et toutes les personnalisations d'interface, de couches, de mise en page, etc.

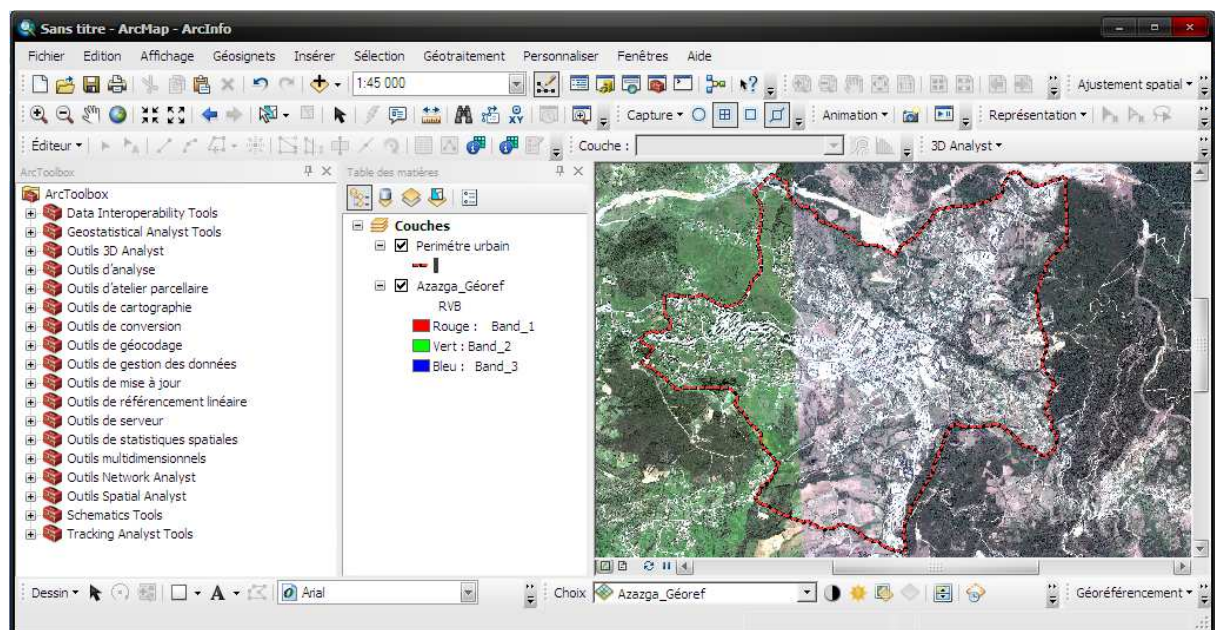
II.1.2.2. Ajouter les données

Pour ajouter les données au document, utiliser cette commande :



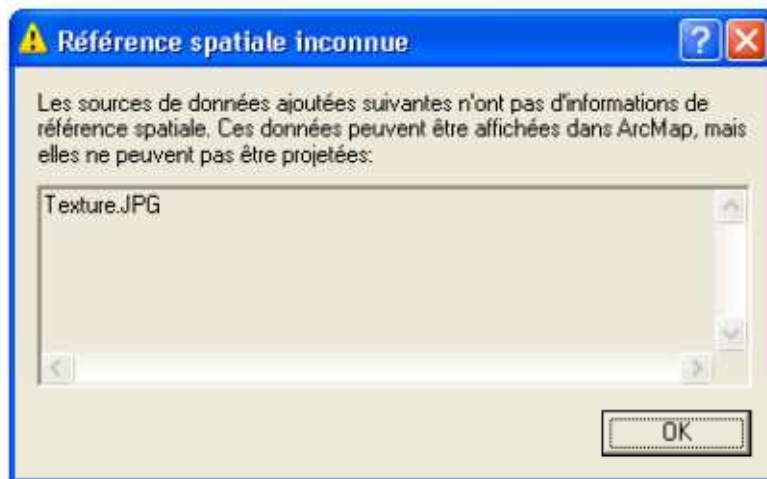


Les données sont automatiquement ajoutées à un bloc de données :

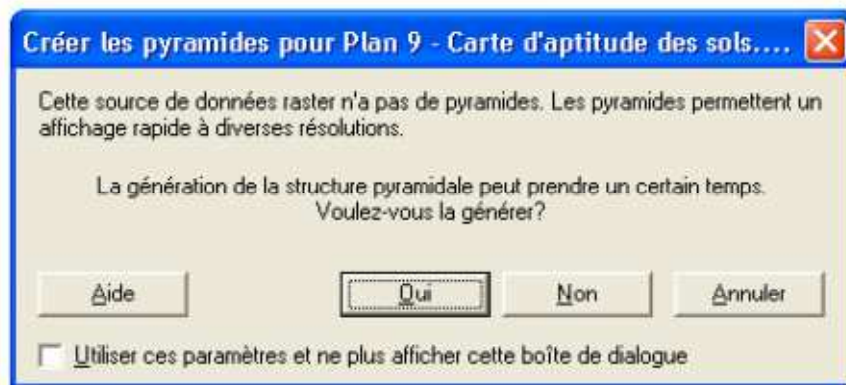


Après cette opération on aura deux possibilités :

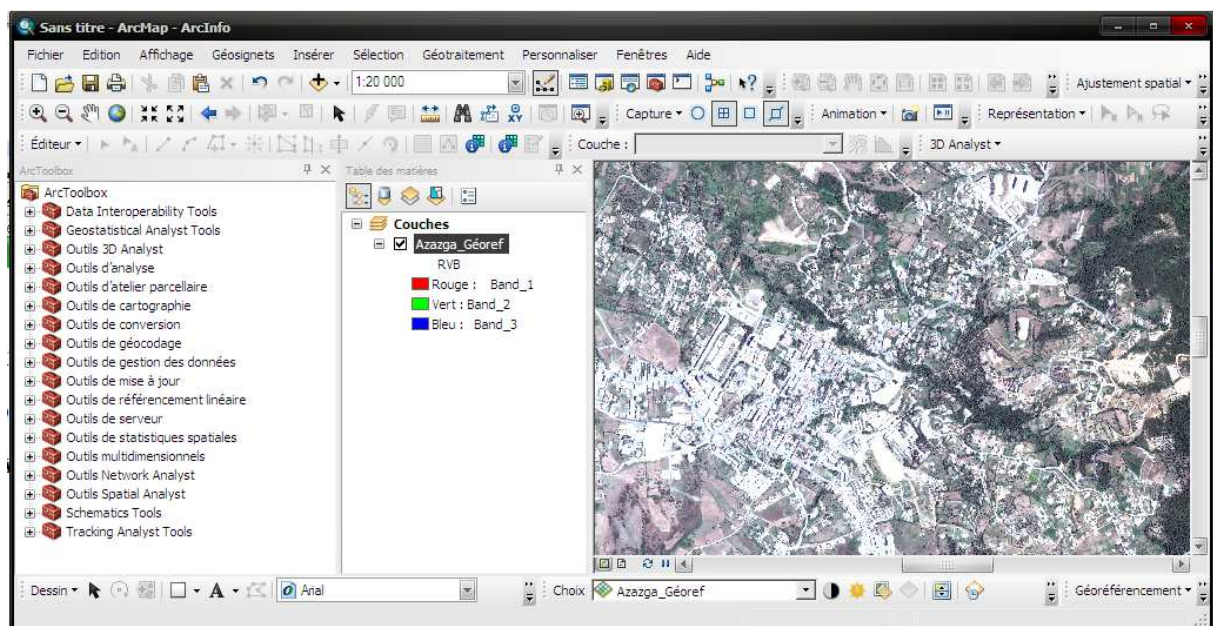
1. Un message d'avertissement (et non d'erreur) affiche qu'une ou plusieurs couches ne contiennent pas de système de projection. Validez en appuyant sur la touche OK



2. Appuyer sur l'option Oui pour construire un fichier de taille réduite facilitant l'affichage de l'image :



Après avoir validé l'option la structure pyramidale (Oui), la fenêtre suivante s'affiche :



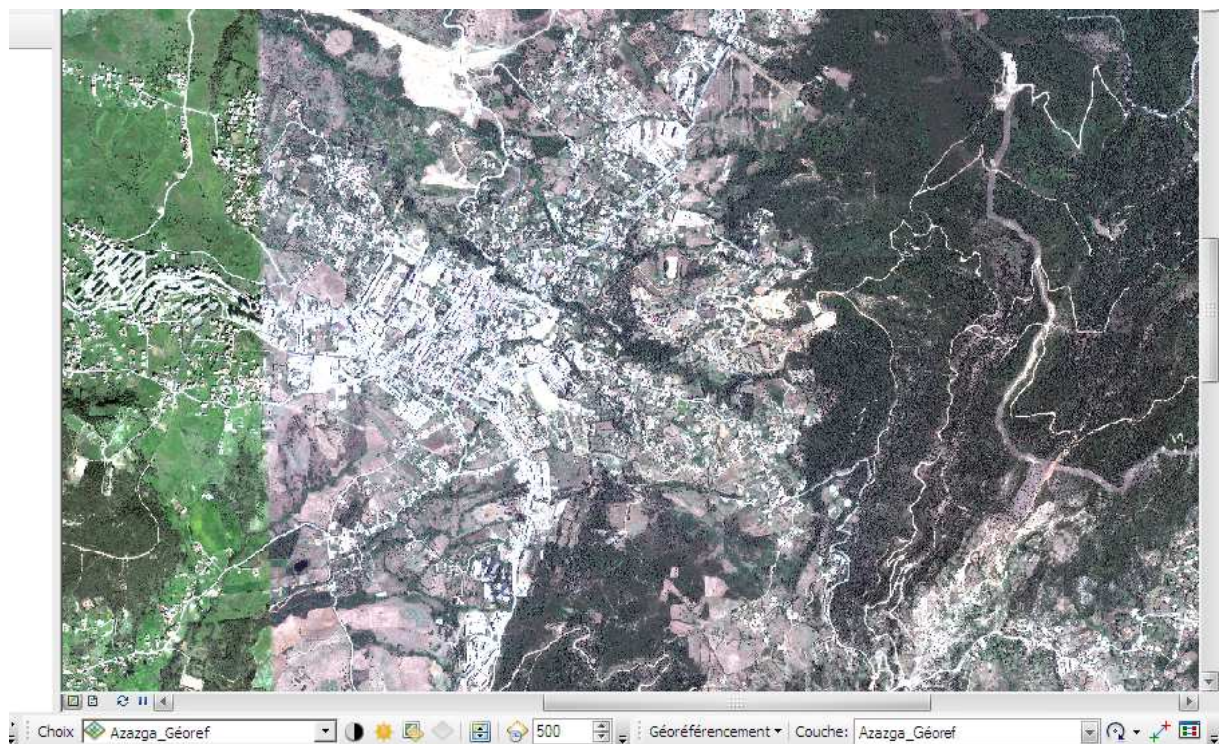
Un premier bloc de données est donc créé par défaut dans chaque document. Chaque bloc de données du document représente une carte.



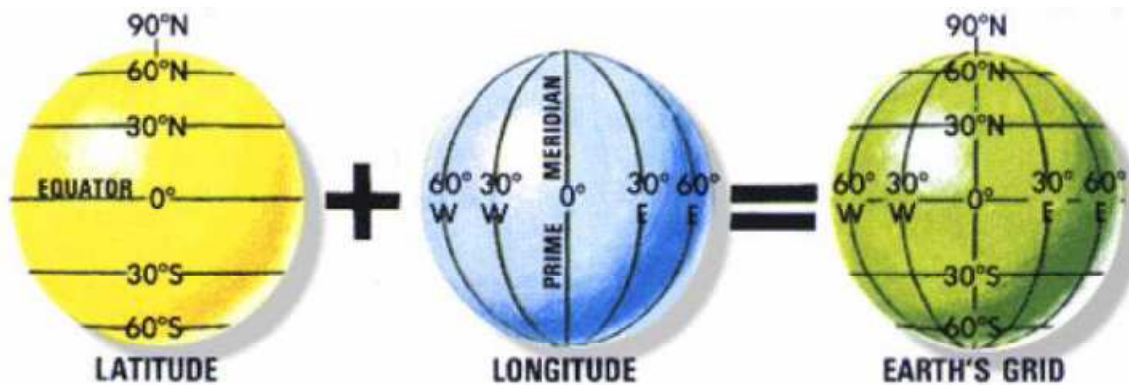
Dans la fenêtre, Azazga_Géoref.bmp est contenue dans un frame layers :

- Azazga_Géoref.bmp est une image couleur RVB.
- Les trois couches Rouge, Vert et Bleu sont affichées.

Dans le menu Géoréférencement sélectionnez l'image Azazga_Géoref (Image à géoréférencer)



Un système de coordonnées géographiques (**SCG**) utilise une surface sphérique en trois dimensions pour définir des emplacements sur la terre. Un **SCG** est souvent confondu avec un datum, lequel n'est en fait qu'une partie d'un SCG. Un **SCG** comprend une unité angulaire de mesure, un méridien principal et un datum (basé sur un ellipsoïde).



Un point est référencé d'après ses valeurs de longitude et de latitude. La longitude et la latitude représentent des angles mesurés à partir du centre de la terre vers un point de la surface terrestre. Les coordonnées sont alors déclinées à l'aide de deux valeurs angulaires : Longitude, Latitude. Ces deux angles peuvent être exprimés dans différentes unités :

Degrés sexagésimaux (Degrés Minutes Secondes), Degrés décimaux, Grades ou radians. Comme tous les outils informatiques, les SIG travaillent de préférence avec des coordonnées en degrés décimaux.

Les coordonnées sont notées sous la forme d'unités angulaires pour les latitudes et longitudes en :

degrés, minutes, secondes sexagésimaux

° ' "

degrés, minutes décimales

° .

degrés décimaux

°

grades (ou gon)

gr

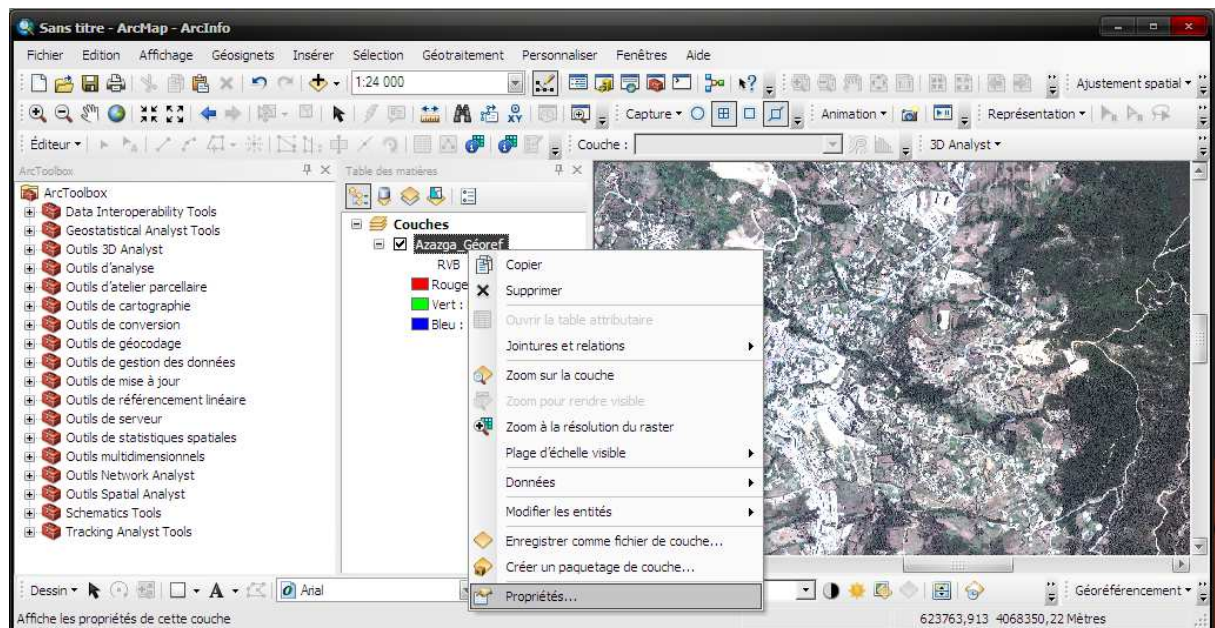
radians

rd

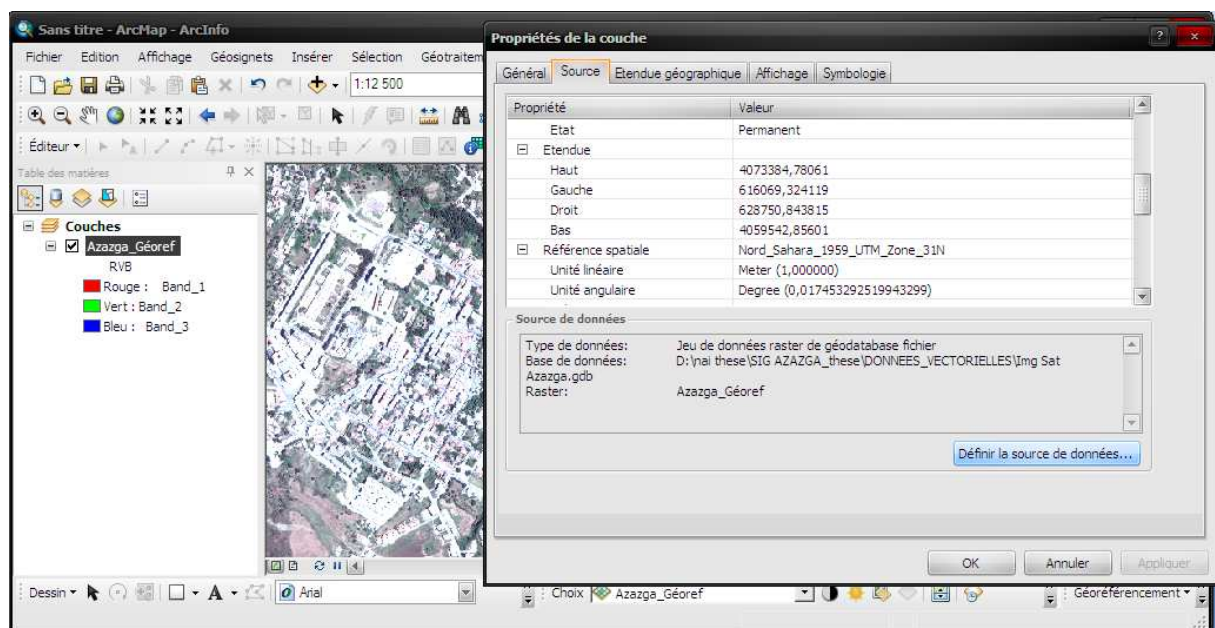
On parle également du calage ou calibrage. Le nombre de points utilisés dans le calage est de 30.

Ces points ont été choisis parce qu'ils correspondaient à des positions particuliers facilement repérables et identifiables aussi bien sur terrain que sur carte ; ils sont représentés par des carrefours, ponts, sommets, intersections des routes, etc. Ces points qui doivent être répartis sur toute la zone d'étude prisent directement sur terrain par un GPS ou relevés à partir de Google Earth.

Cliquez par le bouton droit de la souris et sélectionnez l'option **propriétés** ; Vous aurez une boîte de dialogue / sélectionnez l'option : systèmes de coordonnées géographiques ; Ensuite, cherchez UTM fuseau 31.

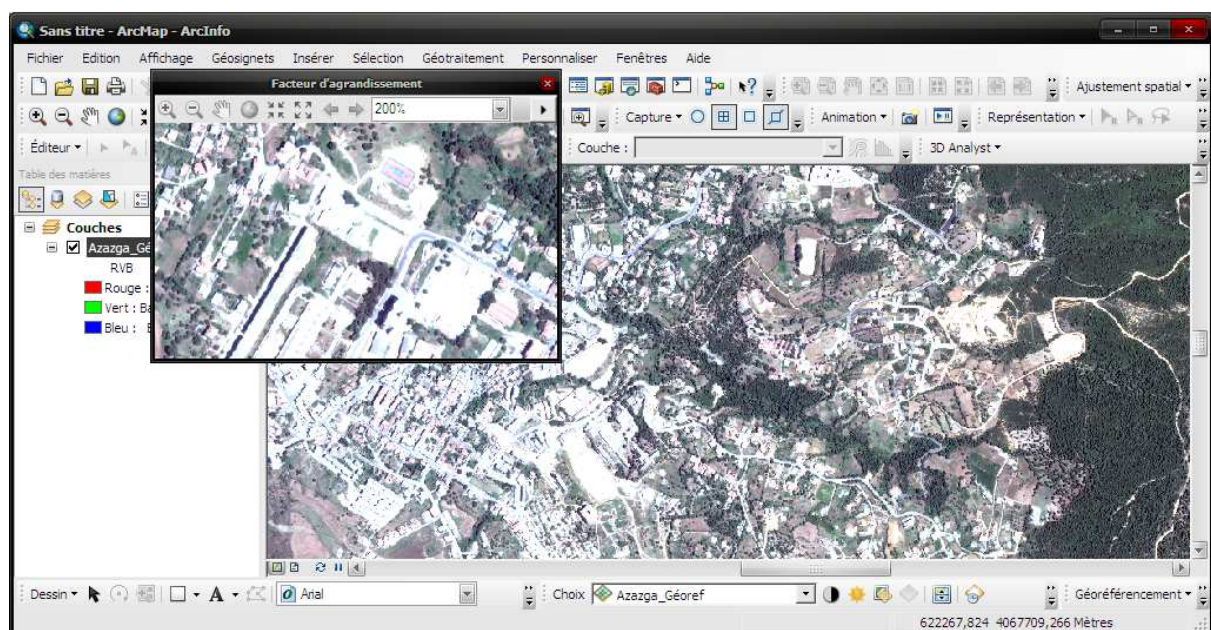
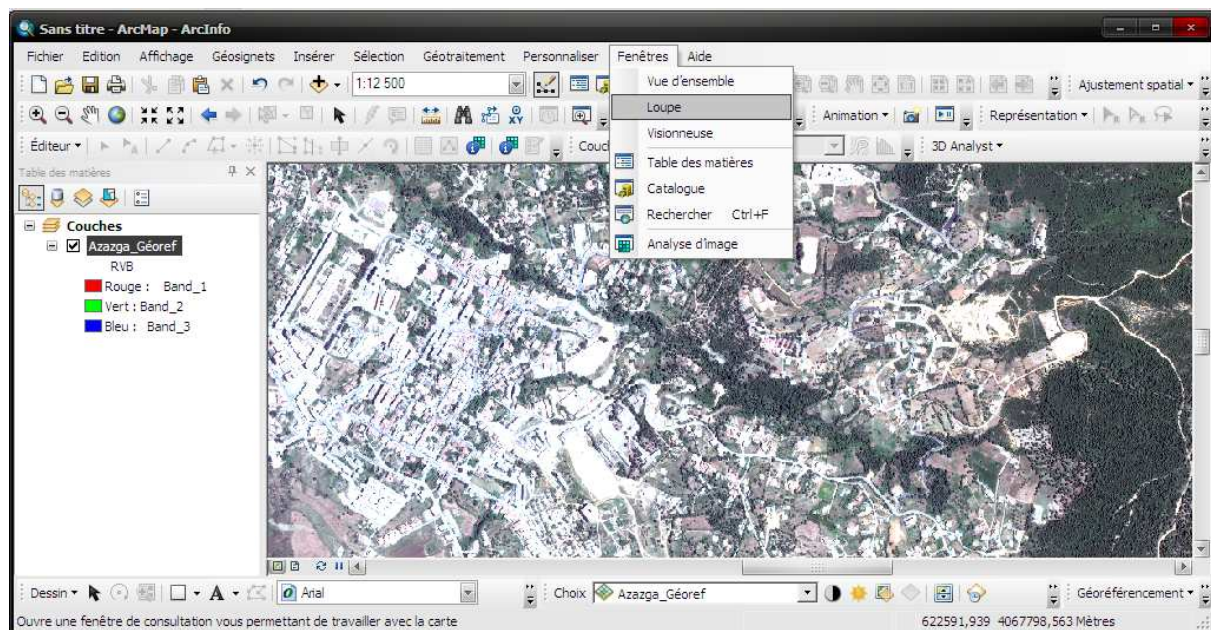


Ensuite, cherchez UTM fuseau 31.



Par cette opération on peut s'assurer que notre carte est liée avec un système de coordonnées géographiques UTM 1984 ; Positionnez le curseur à n'importe quelle point vous aurez les coordonnées de votre point sur le terrain.

Appuyer sur le menu Fenêtre / Loupe, qu'on peut la considérer comme outil de Géoréférencement.



II.1.2.3. Saisie des points de calage

La saisie des points du calage se fait en cliquant tout d'abord le point sur l'image à géoréférencer.



Table de visualisation, Cliquez sur ce bouton

Points de calage



Cliquez ensuite sur ce bouton

II.1.2.4. Supprimer un point de calage

Pour supprimer un couple de calage, vous devez afficher la liste des points de calage puis sélectionnez le couple de points. Le bouton situé dans le coin haut – droit de la boîte de dialogue permet de supprimer la ligne sélectionnée. Le lien disparaît alors automatiquement de la carte.

II.1.2.5. Modifier les coordonnées d'un point de calage

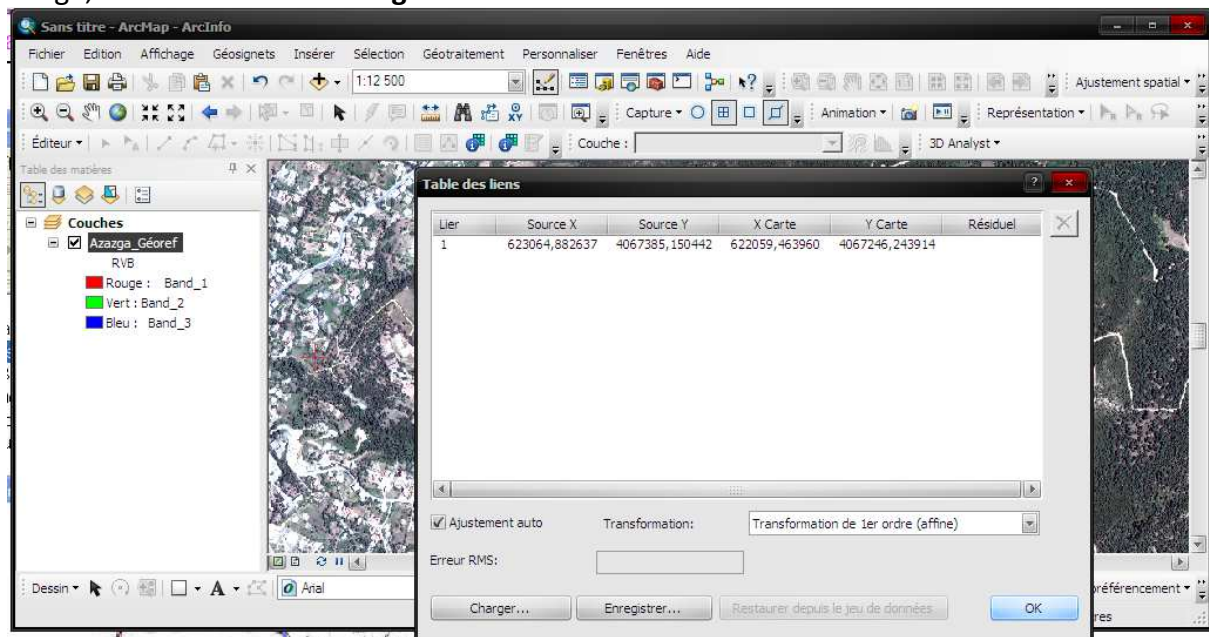
La liste des points de calage permet de sélectionner, par un double – clic, la coordonnée du point à modifier. Vous pouvez alors saisir la valeur x ou y souhaitée.

II.1.2.6. Calcul de l'erreur moyenne quadratique (RMS)

La fonction mathématique de transformation des coordonnées de l'image en coordonnées géographiques est déterminée afin que les points de calage soient situés, dans la carte géoréférencée, aux coordonnées géographiques indiquées lors du calage. Cependant, la fonction ne permet jamais d'obtenir un positionnement exact des points de calage aux coordonnées géographiques théoriques.

Pour cette raison, le géoréférencement se fait toujours avec un écart (un décalage) sur chaque point de calage. L'écart moyen sur l'ensemble des points de calage est appelé : Erreur Moyenne Quadratique (**RMS** en anglais). Cet écart est exprimé dans les unités du système de coordonnées géographiques (Par exemple : mètres).

Les coordonnées de chaque point de calage peuvent être stockées dans un fichier **ASCII*.txt**. Ceci permet de les réutiliser pour effectuer d'autres calages. Pour enregistrer un fichier de calage, utilisez le bouton **Enregistrer**.



Chaque ligne correspond aux coordonnées d'un point : X et Y sur l'image source et X et Y sur l'image de référence.

Sous ArcGIS, les deux premières colonnes sont appelées X source et Y source (coordonnées image) et les deux autres colonnes X Carte et Y Carte (coordonnées UTM en mètres Est et Y mètres Nord).

II.1.2.7. Valider le calage

Avant de valider le géoréférencement, vous devez vérifier l'erreur moyenne de calage sur chacun des points de calage.

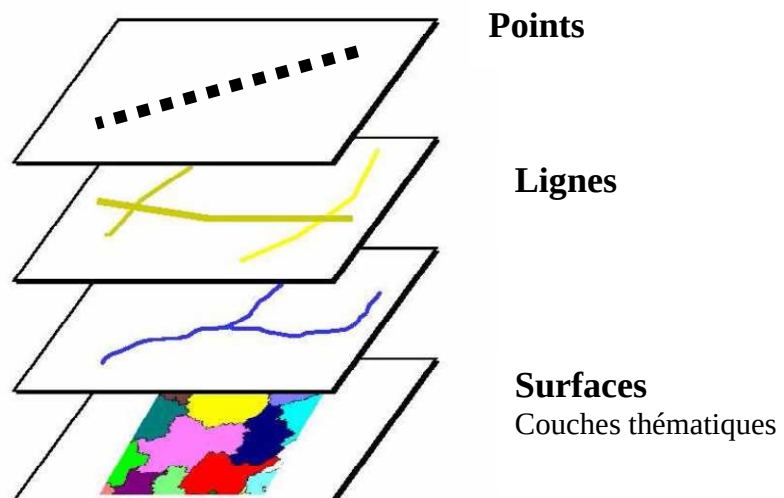
Cliquez sur le bouton (Ok / Mettre à jour le géoréférencement / Enregistrer).

III. La digitalisation

Les cartes sont les outils utilisés le plus fréquemment pour comprendre les informations spatiales. Qu'il s'agisse d'analyse, de modification, d'illustrer des rapports, de concevoir des bases de données SIG ou de les gérer, lorsque vous travaillez avec SIG, vous travaillez avec des cartes.

ArcMap vous permet de travailler avec toutes vos données géographiques dans des cartes, indépendamment du format ou de l'emplacement des données sous-jacentes. ArcMap vous permet d'assembler rapidement une carte à partir de couches prédéfinies ; vous pouvez également ajouter des données à partir de couvertures, de fichiers de formes, de géodatabases, de grilles, d'images, de tables de coordonnées ou d'adresses.

ArcCatalog a été pensé de manière à fonctionner avec ArcMap. ArcCatalog vous permet de parcourir, d'organiser et de documenter vos données et de les glisser facilement sur une carte existante.



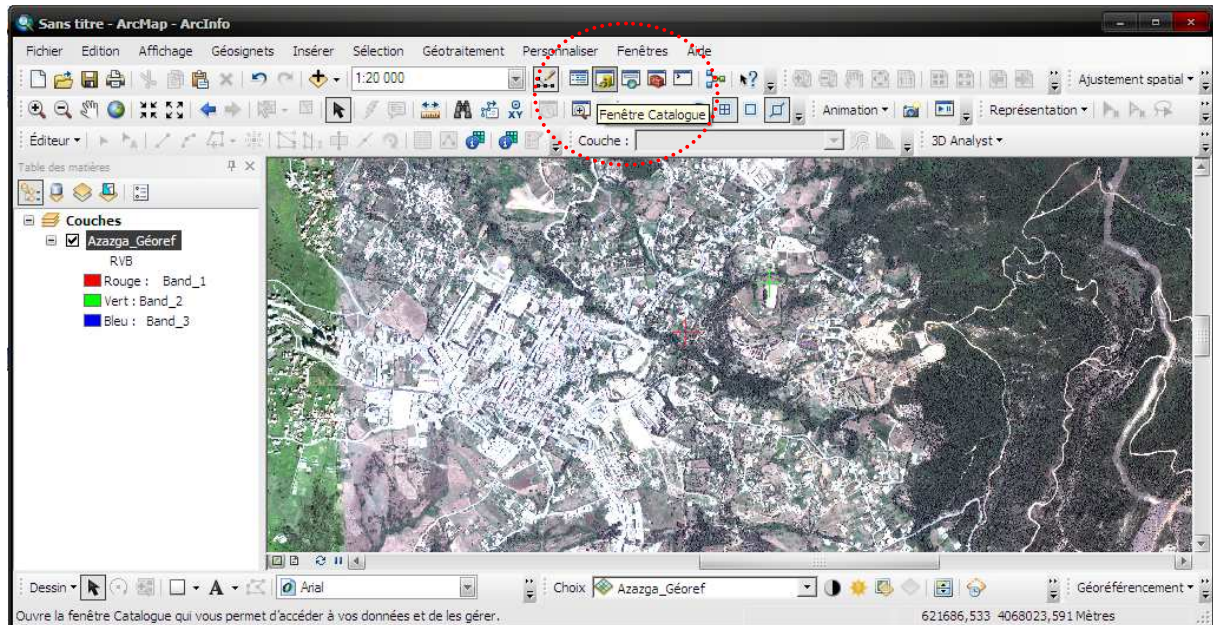
La couche (*.lyr)

- Une couche définit comment un ensemble d'entités géographiques est dessiné.
- Les couches servent de raccourcis vers le fichier où sont stockées les données.
- Les couches incluent des Informations relatives à l'affichage des entités

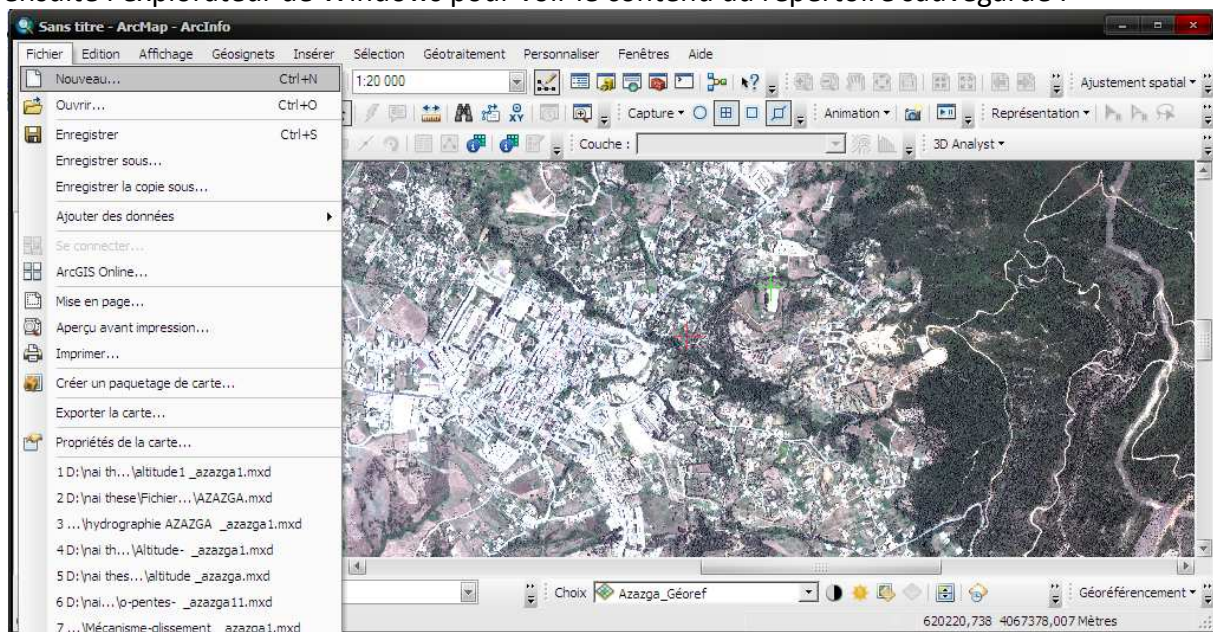
La carte (*.mxd)

- La carte présente une grande variété de données.
- Les données d'une carte sont organisés en couches.
- Une carte est un produit fini (imprimable) qui dispose d'une mise en page.

III.1. Lancer ArcCatalog à partir d'ArcMap

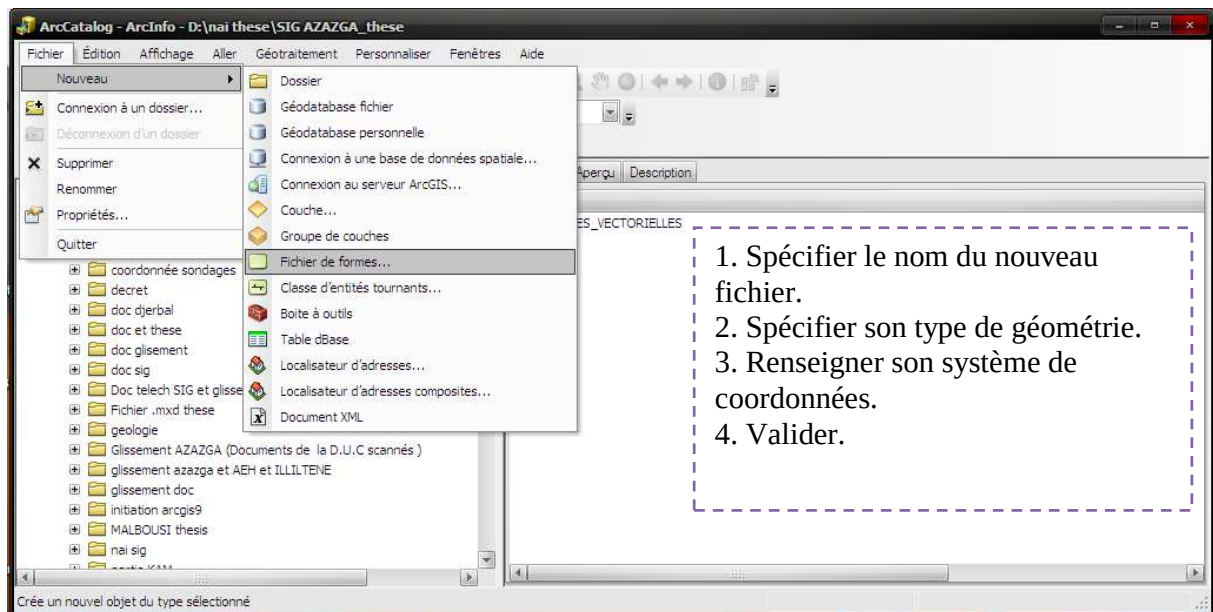


Créer un sous répertoire de sauvegarde de données : nommez ce sous-répertoire. Utilisez ensuite l'explorateur de Windows pour voir le contenu du répertoire sauvegarde :

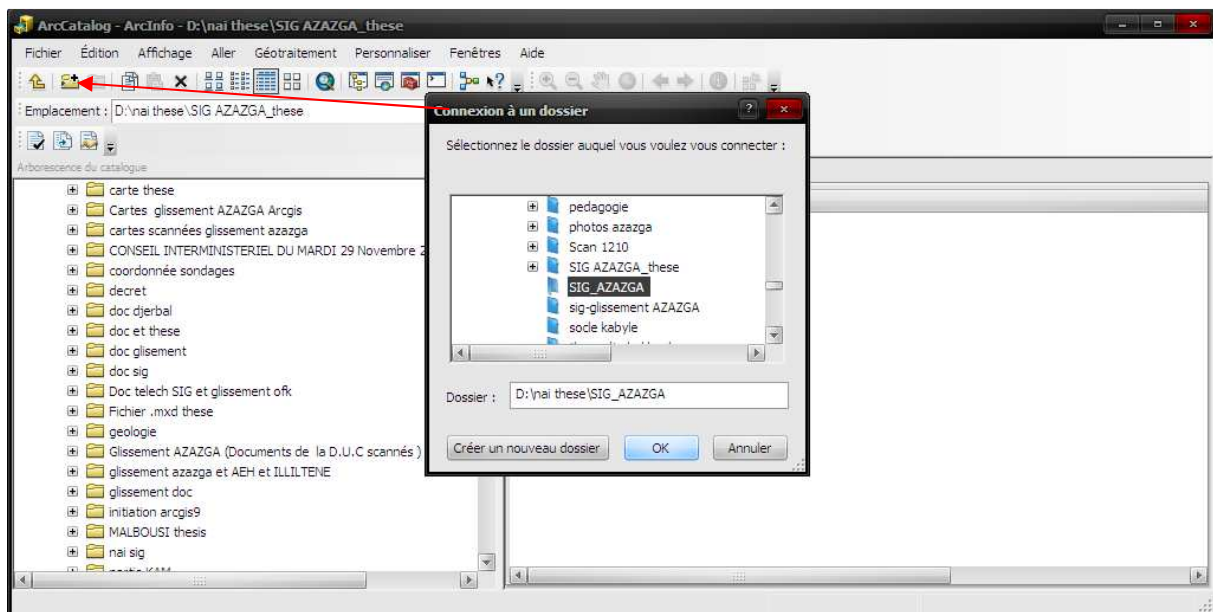


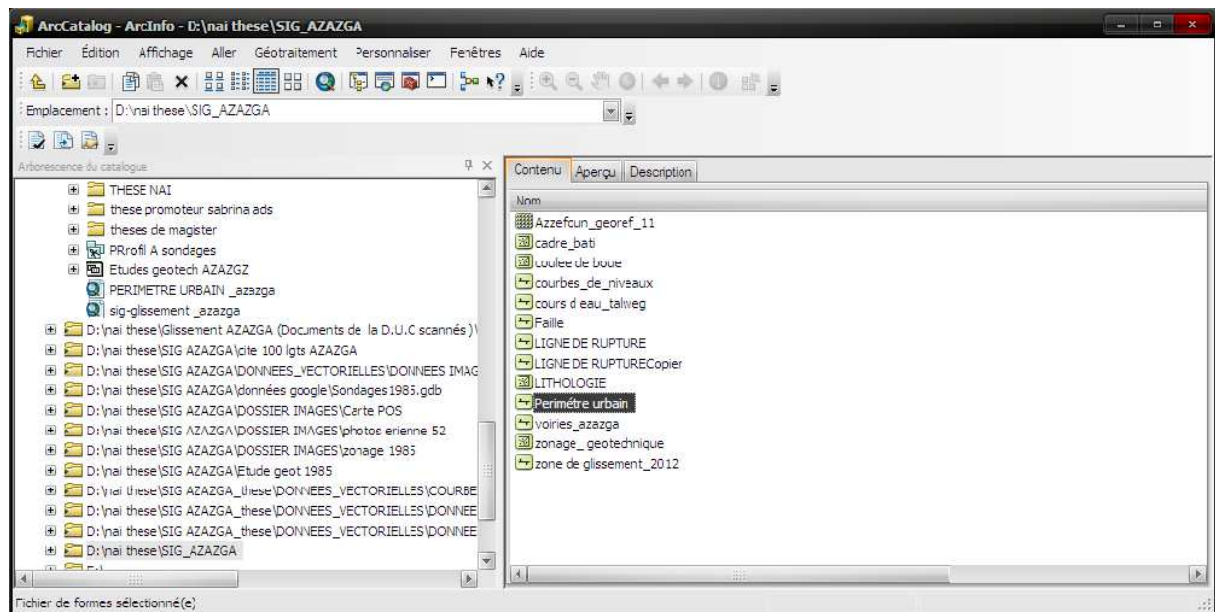
Différents types de fichiers peuvent être créés : fichiers de formes, géodatabases, couvertures, tables dBase, etc.

- Sélectionner dans l'arborescence l'emplacement du nouveau fichier.
- Cliquer droit dans la fenêtre « Contenu » et choisir Nouveau Fichier de forme
- Choisir ensuite le type de fichier à créer et renseigner ses propriétés

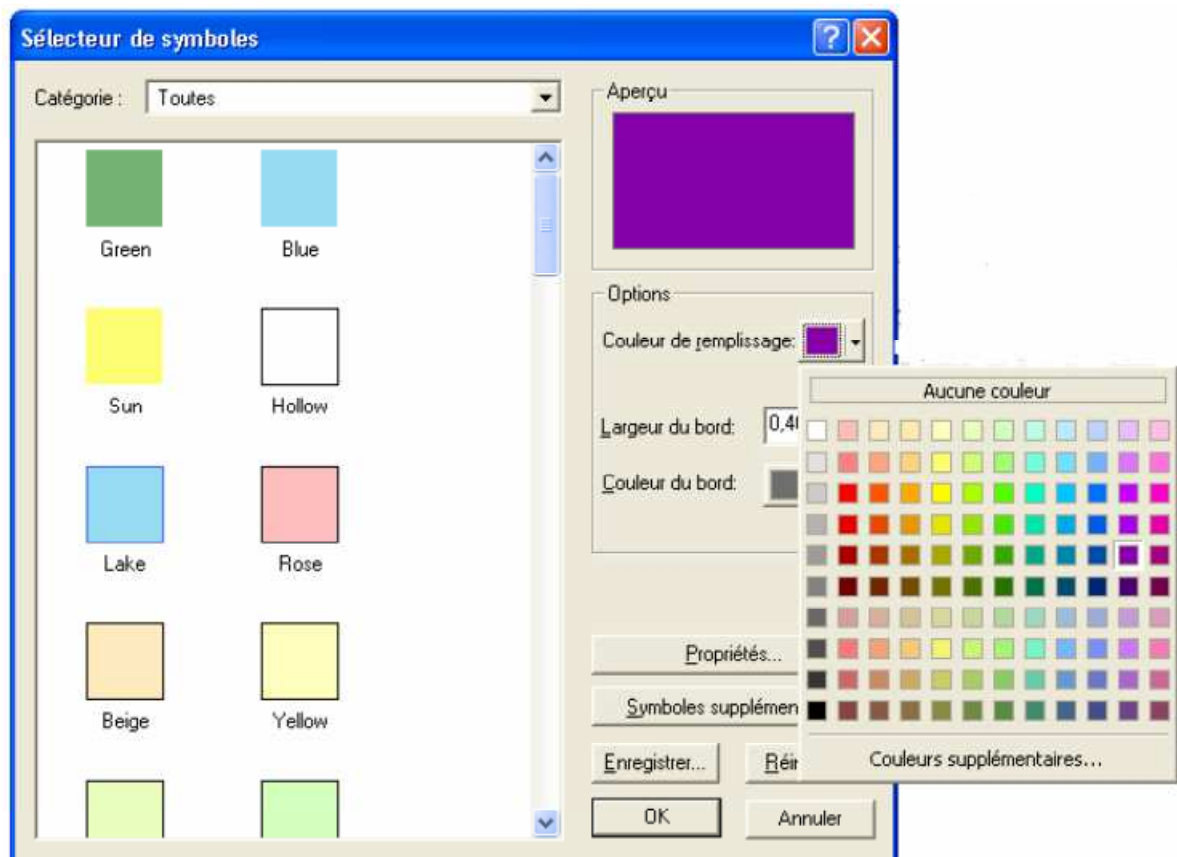


Ajouter les données créées dans ArcCatalog en utilisant le signe « + »





Cliquez sur Couleur. La boîte de dialogue Sélecteur de couleurs s'affiche. Vous pouvez sélectionner l'une des couleurs prédéfinies à partir de cette palette ou cliquer sur Couleurs supplémentaires pour mélanger vos propres couleurs en utilisant un modèle parmi les modèles de couleurs les plus utilisés.



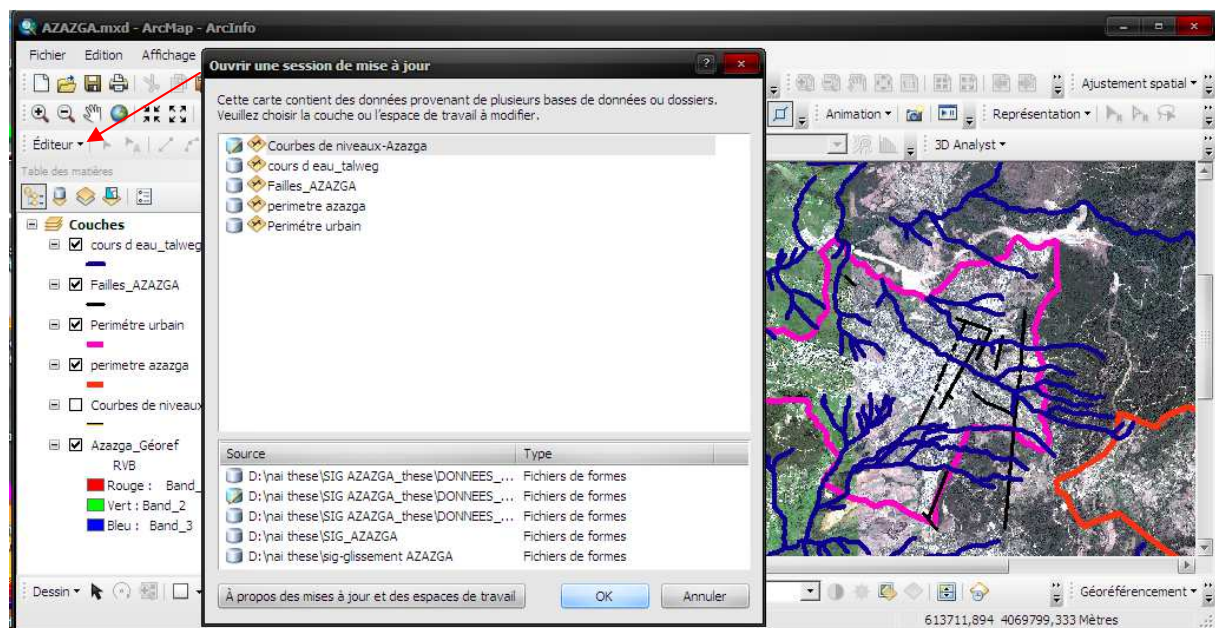
III.2. Fonctionnement général de l'outil Edition

La **barre d'outils Editeur** contient la majorité des outils d'édition d'ArcMap. Ils ne seront disponibles que si une session de mise à jour est ouverte.

La **session de mise à jour** rend modifiable la géométrie et les attributs des classes d'entités.

Ce système vise à protéger les données des petites erreurs de manipulation. Il permet surtout l'enregistrement des modifications au fur et à mesure et donc un possible retour aux géométries et attributs précédemment sauvegardés.

L'ouverture et la fermeture d'une session mise à jour se fait via la barre d'outils Editeur / menu Editeur.



Il est conseillé d'enregistrer les opérations effectuées dans des fichiers d'étapes :

/ Enregistrer les mises à jour et enregistrer la couche créée.

A chaque enregistrement, il est judicieux d'enregistrer dans un fichier différent : par exemple Texture A, texture B.....etc. Cette démarche permet d'éviter de perdre les travaux effectués en cas d'erreurs.

Enregistrer la carte Texture.mxd.



IV. Mise en page et création d'une carte pour impression sous ArcMap

Nous accédons maintenant au mode Mise en page d'ArcMap pour mettre en forme nos cartes (Menu Vue / Mode Mise en page). Les outils de navigation pour ce mode se trouvent dans la barre d'outils Mise en page. Vous retrouvez globalement les mêmes outils que dans la barre d'outils utilisée pour naviguer en mode Données.

La mise en page contient déjà le principal élément : les blocs de données. Si un bloc de données est supprimé dans la fenêtre Mise en page, il sera supprimé du document ArcMap. Une carte contient des éléments incontournables de mise en page. Chaque carte doit avoir

une orientation, une échelle, une légende, un titre et des sources. Nous allons voir ici comment ajouter et personnaliser ces éléments et quelques autres.

Exemple : Carte des pentes site urbain d’Azazga :

IV.1. Les éléments liés aux blocs

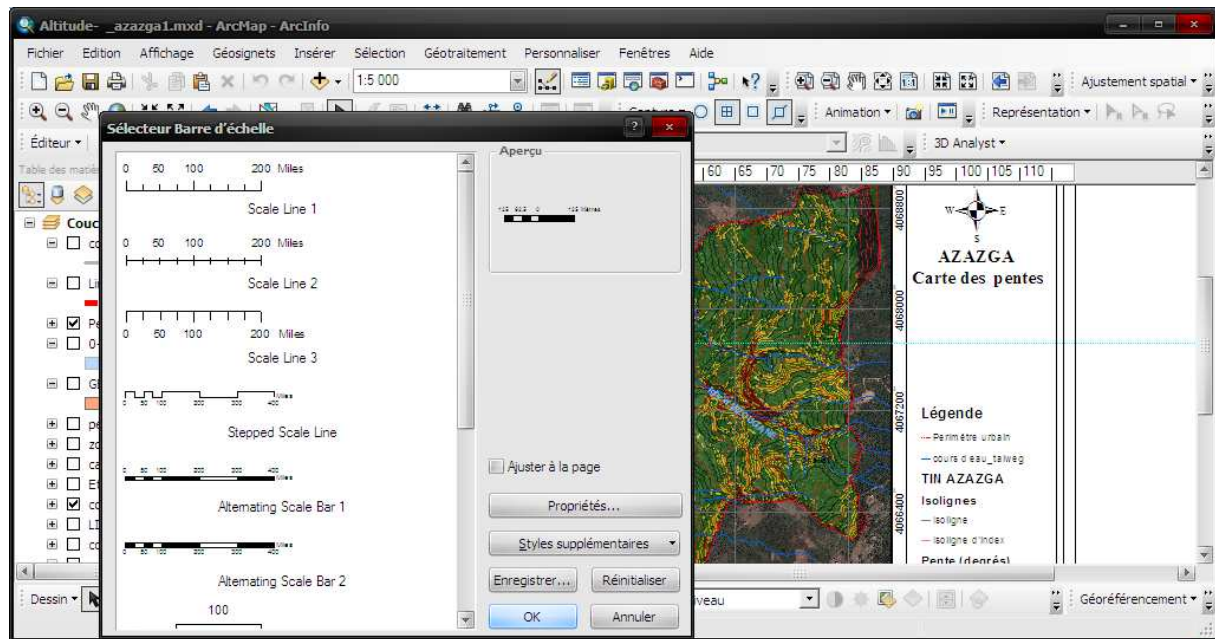
Ces éléments sont liés au bloc de données actif. Ils évoluent en fonction des modifications qui lui sont apportées.

IV.1.1. La flèche Nord

Elle s’ajoute depuis menu Insertion / Flèche Nord. Vous avez le choix entre différents symboliques et pouvez modifier leur taille et leur couleur.

IV.1.2. La barre d’échelle

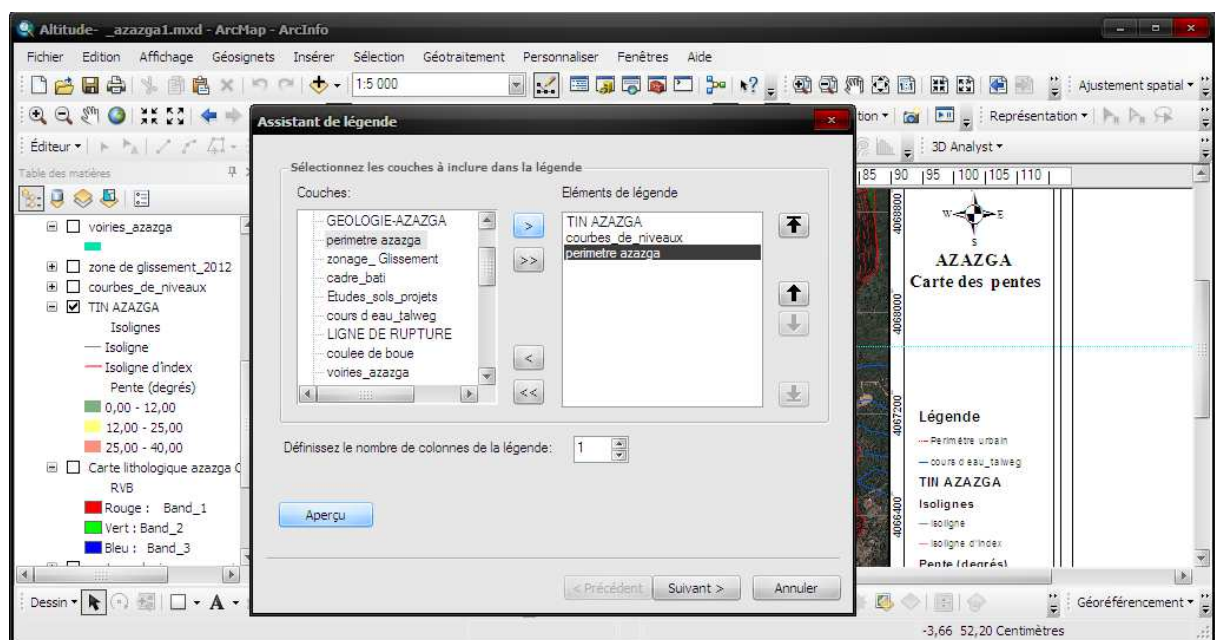
Elle s’ajoute depuis le menu Insertion / Barre d’échelle. Comme pour la flèche Nord, vous accédez à une bibliothèque de symboles. Dans les propriétés de la barre d’échelle vous pourrez définir le nombre de divisions, de sous divisions, l’unité que vous souhaitez afficher.



IV.1.3. La légende

Elle s'ajoute à l'aide d'un assistant depuis le menu Insertion / Légende.

Un grand nombre de paramètres sont modifiables (choix des couches, ordre, police, bordures et couleur, espacement entre différents éléments, etc.).



- 1- Aide **ArcGIS®**
- 2- Cours initiation ArcGis 9.1- **ZIDANE Keltoum** –Ingénieur en Biologie, Spécialité Ecologie et environnement, Option : pathologies des Ecosystèmes- Novembre 2008.

Présentation rapide de Spatial Analyst

L'extension Spatial Analyst d'ArcGIS fournit une suite complète d'outils et de fonctionnalités permettant d'exécuter des analyses spatiales complètes à partir de données raster.

Avec cette extension, nous pouvons utiliser une large gamme de formats de données pour combiner des jeux de données, interpréter de nouvelles données et effectuer des opérations de raster complexes. Par exemple, Spatial Analyst nous permet notamment d'effectuer des analyses de terrain, des modélisations de surface, des interpolations de surface, des modélisations d'aptitude, des analyses hydrologiques, des analyses statistiques et des classifications d'images.

Terme	Description
Analyse de cellules	Lors de l'analyse de cellules, chaque emplacement est une valeur dans un jeu de données raster, et les différents outils génèrent un raster en sortie après avoir appliqué des règles mathématiques, spatiales ou algorithmiques aux valeurs de cellule en entrée.
Cellule	La cellule est la plus petite unité d'information des données raster. Chaque cellule représente la valeur numérique d'une mesure à l'emplacement d'unité de surface correspondant sur la Terre. Les différents types d'informations que les valeurs peuvent représenter, accompagnés d'exemples, sont les suivants : • Données thématiques : utilisation du sol, zonage • Informations continues : altitude, surfaces de concentration • Pixels d'imagerie : images satellite, photographies aériennes Les cellules sont en général de forme carrée. La surface que chaque cellule représente dépend de la résolution du raster. Les cellules raster à haute résolution (à grande échelle) représentent de petites surfaces, mesurées dans des unités aussi petites que des mètres carrés. Les cellules d'un raster basse résolution (petite échelle) représentent la valeur uniforme d'une plus grande surface, telle que des hectares ou des kilomètres carrés. Les valeurs de cellules peuvent être utilisées également comme index auquel d'autres valeurs attributaire peuvent être associées, telles que le type de sol ou de végétation.
algèbre spatial	L'algèbre spatial est un langage sémantique qui définit une syntaxe pour l'application d'opérations mathématiques et algorithmiques sur (en général) les données raster pour effectuer l'analyse spatiale et créer des jeux de données raster. En général, l'algèbre spatial englobe quatre principaux types d'opérations : locale, focale, zonale et globale. Les concepts généraux derrière l'algèbre spatial ont été exposés pour la première fois par C. Dana Tomlin dans l'ouvrage Geographic Information Systems and Cartographic Modeling, Prentice Hall, 1990.
NoData	Si aucune information ou des informations insuffisantes sont disponibles sur

	les caractéristiques de l'emplacement représenté par une cellule, la valeur nulle "NoData" est attribuée à cet emplacement. Notez que NoData et 0 ne sont pas équivalents, car 0 est une valeur numérique.
Raster	Modèle de données spatiales représentant l'espace sous la forme d'un tableau de cellules de même taille organisées en lignes et colonnes, et composées d'un ou de plusieurs canaux (couches). Chaque cellule contient une valeur attributaire. A la différence d'une structure vectorielle, qui stocke explicitement les coordonnées, les coordonnées raster sont conservées par nature dans l'ordre de la matrice. Des groupes de cellules qui partagent la même valeur représentent le même type d'entités géographiques.
Analyse spatiale	Processus d'étude de la position, des attributs et des relations d'entités contenues dans des données spatiales, à l'aide de techniques analytiques variées telles que la superposition, dans le but de résoudre un problème ou de collecter des informations utiles. L'analyse spatiale extrait ou crée de nouvelles informations à partir des données spatiales étudiées.
Modélisation spatiale	Méthodologie ou ensemble de procédures analytiques permettant de recueillir des informations sur les relations spatiales qui existent entre des phénomènes géographiques donnés.

ANNEXE D

**Les outils réglementaires liés à la prévention
risque de glissement de terrain et leurs
prises en compte dans l'aménagement du
territoire-Modalités d'application en France et
en Algérie**

INTRODUCTION

La réduction du risque naturel est une manière de limiter et de maîtriser les conséquences négatives d'une catastrophe, qui aura des répercussions sur l'environnement. Elle devient néfaste si elle s'attaque à la vie humaine et des biens des individus ou communauté. Actuellement et dans la logique du développement durable, la lutte contre les risques naturels et la prévention de ses effets représentent une thématique importante dans tout développement et gestion des territoires. Il s'agit de la mise en place d'un cadre législatif lié à la maîtrise des risques naturels et de quelques mesures pratiques à entreprendre pour discerner les zones à problème et la proposition des solutions pour freiner ce risque « glissement de terrain » qui préoccupe les citoyens d'une grande part et les gestionnaires de d'autre part.

La prévention est interprétée différemment d'un pays à l'autre. Dans son sens commun, elle regroupe l'ensemble des mesures destinées à éviter un événement que l'on peut prévoir et dont on pense qu'il entraînerait un dommage pour l'individu ou la collectivité. L'Union Européenne a donné à cette notion un sens plus large, l'objectif des mesures en question étant d'éviter que le risque se réalise et de tenter d'en réduire les conséquences s'il venait à se réaliser malgré tout. Pour cela, plusieurs pays ont adoptés des réglementations qui visent à se prémunir des risques.

Dans cette annexe, on développe un comparatif entre la France et l'Algérie des prédispositions à la prévention aux risques naturels et la prise en compte du risque glissement de terrain dans l'aménagement du territoire.

D-1. OUTILS REGLEMENTAIRES LIES AUX RISQUES NATURELS

1.1. En France

En France, le Préfet fait établir par ses services spécialisés, pour chaque commune concernée, un Plan de Prévention des Risques prévisibles (PPR) qu'il notifie aux Maires, à l'issue d'une procédure d'agrément qui comporte une délibération du conseil municipal et une enquête publique. Cet outil délimite les zones du territoire exposées aux risques naturels (PPRN) et technologiques (PPRT) et prévoit les mesures de prévention, de protection et de sauvegarde à mettre en œuvre par les propriétaires, les collectivités locales ou les établissements publics. Le PPR s'impose à toute personne publique ou privée désirant entreprendre des installations ou constructions nouvelles ou déjà propriétaires. Ses dispositions doivent être respectées pour la délivrance d'utilisation et d'occupation du sol (permis de construire, déclaration de travaux...).

Le Maire, lorsqu'il sera amené à se prononcer sur l'autorisation de construire devra donc en tenir compte.

- **Le plan de prévention des risques naturels PPR**

Le Plan de Prévention des Risques naturels prévisibles (**PPR**) est établi en application des lois n°82- 600 du 13 juillet 1982, n° 87-565 du 22 juillet 1987 en France, modifiée par la loi française « Barnier » n°95- 101 du 2 février 1995, du décret 95-1089 du 5 octobre 1995 et du

code de l'environnement. Il s'inscrit dans une logique de prévention, de sécurité des personnes et d'aménagement du territoire, et reste de la compétence de l'Etat.

Le PPR réglemente l'utilisation des sols en tenant compte des risques naturels identifiés sur cette zone et du non aggravation des risques ; cette réglementation va de la possibilité de construire sous certaines conditions à l'interdiction de construire dans les cas où l'intensité prévisible des risques ou le non aggravation des risques existants le justifie. Elle permet ainsi d'orienter les choix d'aménagement dans les territoires les moins exposés pour réduire les dommages aux personnes et aux biens.

- **Objet et contenu du PPR**

Son champ de réglementation est vaste et il peut interdire ou prescrire dans quelles conditions les constructions, les ouvrages, les aménagements ou les exploitations peuvent être autorisées.

Un PPR comprend :

- **Une note de présentation ;**

Elle indique le secteur géographique concerné et la nature des phénomènes naturels pris en compte. Elle rappelle les études, les recherches historiques, les étapes et la méthodologie d'élaboration des différentes cartographies. Elle présente les conséquences possibles compte tenu de l'état des connaissances.

- **Le règlement ;**

Le règlement détermine différents types de règles applicables dans chacune des zones considérées. Il traite des projets nouveaux, des constructions et activités existantes, il peut fixer des mesures de prévention, de protection et de sauvegarde, collectives et individuelles. Il peut conditionner les autorisations de construire à la réalisation préalable et à la validation (dans des conditions bien précises) de travaux de protection, à la mise en place d'une maîtrise d'ouvrage collective (publique ou privée ou mixte) et des conditions pérennes d'entretien des ouvrages. Il peut comporter des annexes qui sont généralement des fiches-conseils ou des exemples de réalisations de protections individuelles.

Ils délimitent les zones où la réglementation du PPR s'applique. On parle de "zones rouges" pour celles où les constructions nouvelles sont interdites et de "zones bleues" pour celles où celles-ci restent autorisées sous réserve de prescriptions particulières.

- **La carte informative des phénomènes naturels ;**

C'est une carte descriptive des phénomènes observés ou historiques ; elle résulte d'une exploitation minutieuse de toutes les informations disponibles sous formes d'archives, d'études générales ou ponctuelles de rapports de dossier techniques de cartes d'études géomorphologie du site.

- Elle permet de connaître, les conditions d'apparition des événements : mouvement de terrain.

- **Carte des aléas mouvements de terrain ;**

Elle localise et hiérarchise les zones exposées à des phénomènes potentiels, elle classe les aléas en plusieurs niveaux, le plus souvent en quatre classes en tenant compte, si possible à la fois de la nature des phénomènes de leur probabilité d'occurrence et de leur intensité.

- **Une carte d'évaluation des enjeux ;**

Elle permet d'évaluer les populations en danger, de recenser les établissements recevant du public et d'identifier les voies de circulation susceptibles d'être coupées ou accessibles pour l'acheminement des secours. Elle résulte de la superposition de la carte des aléas et des occupations du sol actuelles et projetées

- **Traduction des cartes d'aléas en zonage réglementaire (PPR) ;**

Les plans de prévention des risques naturels prévisibles (PPR), établis conformément aux dispositions des articles L. 562-1 et suivants, du code de l'Environnement, constituent un outil essentiel de la politique de l'Etat française en matière de gestion des risques naturels ; leur objectif est d'une part, améliorer la sécurité des personnes et d'autre part garantir la limitation des dommages voire leur réduction. Ces plans ont pour objet, en tant que besoin de :

- Délimiter les zones exposées aux risques, dites « **zones de danger** », en tenant compte de la nature et de l'intensité du risque encouru, d'y interdire tout type de construction, d'ouvrage, d'aménagement ou d'exploitation agricole, forestière, artisanale, commerciale ou industrielle ou, dans le cas où des constructions, ouvrages, aménagements ou exploitations pourraient y être autorisés, prescrire les conditions dans lesquelles ils doivent être réalisés, utilisés ou exploités;
- Délimiter les zones dites « **zones de précaution** » qui ne sont pas directement exposées aux risques mais où des constructions, des ouvrages, des aménagements ou des exploitations pourraient aggraver des risques ou en provoquer de nouveaux et y prévoir des mesures d'interdiction ou des prescriptions;
- Définir dans les zones mentionnées aux paragraphes précédents les mesures de prévention, de protection et de sauvegarde qui doivent être prises, par les collectivités publiques dans le cadre de leurs compétences ainsi que celles qui peuvent incomber aux particuliers;
- Définir, dans les zones mentionnées aux paragraphes précédents, les mesures relatives à l'aménagement, l'utilisation ou l'exploitation des constructions, des ouvrages, des espaces mis en culture ou plantés existants à la date de l'approbation du plan qui doivent être prises par les propriétaires, exploitants, ou utilisateurs.

1.2. En Algérie

Consciente de sa forte exposition et de ses croissantes vulnérabilités, l'Algérie a démontré, depuis les débuts des années 1980, son engagement en planifiant des actions pour une plus grande résilience aux catastrophes. Les effets dévastateurs du tremblement de terre d'El Asnam du 10 octobre 1980 ont élevé la sensibilisation de la publique et suscité une grande volonté politique. Dans la période qui a suivi immédiatement ce séisme qui a fait 2633 morts, 8369 blessés, 29,747 maisons détruites et 478,949 sans- abri², l'Algérie s'est systématiquement concentrée sur la consolidation de ses capacités de réponse et de recouvrement. Les autorités nationales ont ainsi finalisé en 1981, un code de construction parasismique national, adopté en 1985 un plan de réduction et de gestion des catastrophes, et consacré, à partir de 1987, des capacités techniques pour le développement et la diffusion des connaissances sismiques, ainsi que pour la surveillance sismique et les recherches approfondies dans le domaine.

L'Algérie a également tiré des leçons des plus récentes catastrophes, telles que les inondations d'Alger - Bab El Oued en 2001, le tremblement de terre de Boumerdès du 21 mai 2003, les inondations de Ghardaia en 2008 et les incendies de forêts tous les ans.

Le Plan national de l'Algérie pour la réduction et la gestion des catastrophes ainsi que son cadre juridique et réglementaire, ont été renforcés en 2003 sur la base de l'expérience de Boumerdès en matière de réponse et de recouvrement. En 2004, le pays a adopté la loi sur la Prévention des Risques Majeurs et la Gestion des Catastrophes, et le Schéma National d'Aménagement du Territoire (SNAT), qui a été mis à jour en 2010 pour inclure des prescriptions importantes pour l'aménagement du territoire et la planification urbaine. En 2004, le Ministère de l'Habitat et de l'Urbanisme a également édicté un nouveau règlement de construction parasismique actualisé.

Depuis 2009, l'engagement de haut niveau politique, les programmes de développement des capacités, la participation dans des fora et les campagnes à une échelle internationale et régionale, ont contribué à alimenter l'élan de la RRC (Réduction des Risques de Catastrophe) en Algérie, et démontré son engagement technique et financier en faveur de la RRC. Néanmoins, des défis sociaux et institutionnels demeurent. En l'absence historique d'un organe national de coordination de la RRC, les efforts des multiples secteurs et partenaires manquent d'un cadre de coopération et par la suite ne parviennent pas à des résultats consolidés et sédimentés en matière de RRC. Cependant, la Délégation Nationale Aux Risques Majeurs (DNRM) mise en place en 2012, assure à présent une coordination de différents secteurs afin de réduire les risques majeurs à travers le territoire algérien.

La chronologie de la RRC en Algérie à la figure (1), résume le chemin d'apprentissage parcouru par ce pays à partir de ses nombreuses catastrophes, ses initiatives et ses partenariats.

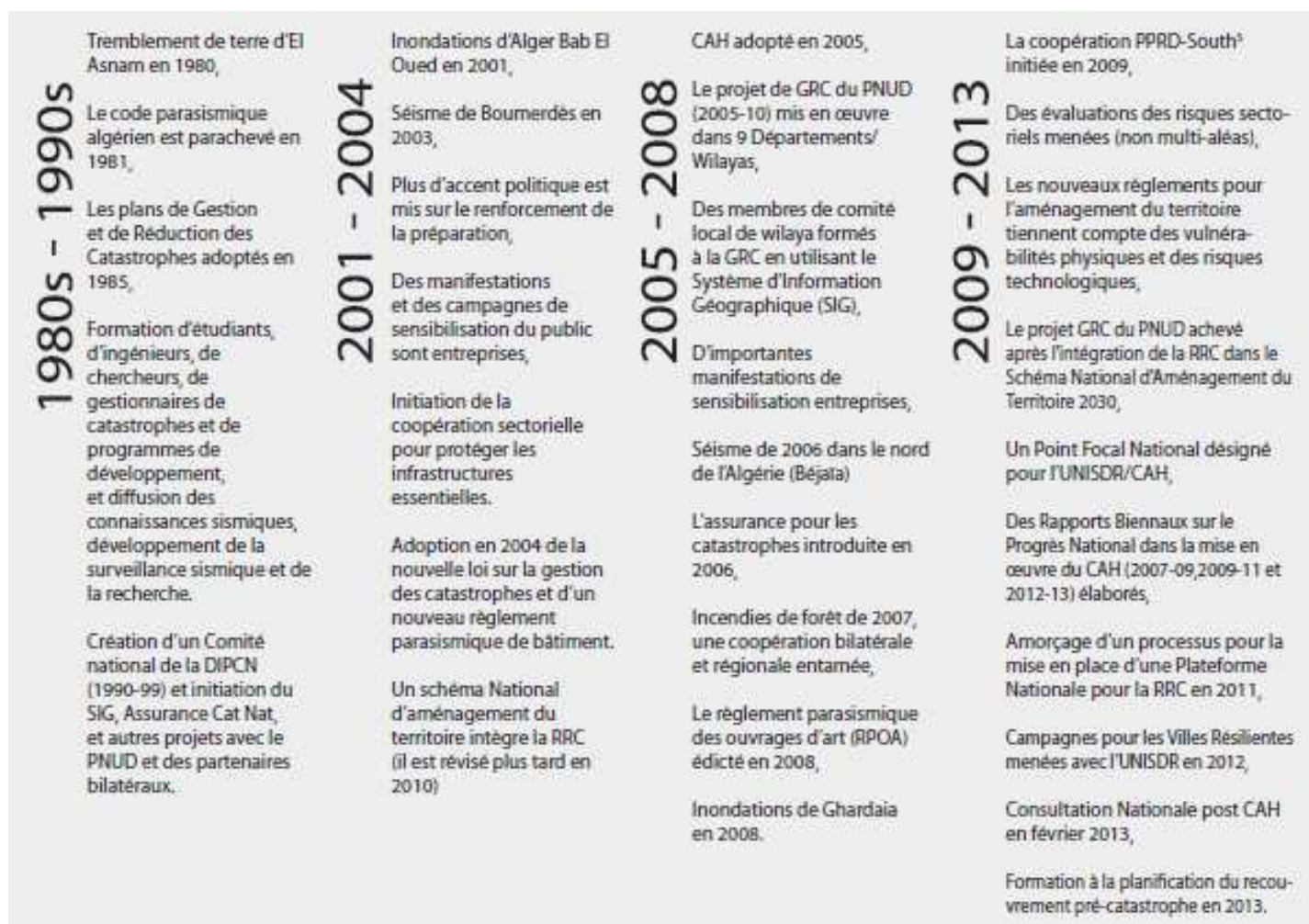


Figure 1: La chronologie de la RRC en Algérie

L'évolution des textes en Algérie reflète un grand intérêt pour les problématiques ayant trait aux thématiques de développement durable, du renouvellement urbain et de la gouvernance territoriale. Des lois, arrêtés et ordonnances ont été instaurés pour permettre une meilleure prévention et gestion des risques :

- **La loi 90-29 du 01-12-1990 relative à l'aménagement et à l'urbanisme**

A l'échelle du PDAU sont définis les périmètres de protection au niveau des communes, et les conditions d'aménagement et de construction en prévention des risques naturels à l'échelle des POS.

- **La loi 01-20 du 12-12-2001 relatives à l'aménagement et au développement durable**

Elle prévoit dans son article N°04 la protection du territoire et des habitations des risques et des aléas naturels et cela pour un développement harmonieux et durable de l'espace pour chaque zone du territoire national.

- **La loi 03-10 du 29-07-2003 relatives à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable**

Cette loi veille à la protection de la nature, la préservation des espaces animales et végétales et de leurs habitants dans le cadre du développement durable.

- **La loi 04-05- du 14-08-2004 relatives à l'intégration de la gestion des risques dans les plans d'urbanisme et d'aménagement du territoire**

Cette loi contient également des éléments qui visent à intégrer pleinement la gestion du risque dans l'établissement des plans d'urbanisme et d'aménagement du territoire.

On peut lire dans l'article 11 que les terrains exposés aux risques résultant des catastrophes naturelles ou aux glissements de terrain sont identifiés au moment de l'élaboration des instruments d'aménagement et d'urbanisme et font l'objet de mesure de limitation ou d'interdiction de construire qui sont définies par voie réglementaire.

- **La loi 04-20 du 25-12-2004 relative à la prévention des risques majeurs et aux gestions des catastrophes dans le du développement durable**

Elle définit le risque majeur comme toute menace probable pour l'homme et son environnement pouvant survenir du fait d'aléas naturels exceptionnels.

L'objet de cette loi est d'édicter les règles de prévention des risques majeurs et de gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable.

Les règles de prévention des risques majeurs et de gestion des catastrophes prennent en compte les risques suivants : les séismes, les risques géologiques, les inondations, les risques climatiques et les feux de forêts.

Le plan général de prévention de risque majeur détermine les zones vulnérables et les mesures de prévention et d'atténuation de la vulnérabilité.

En matière de constructions et d'aménagement et de l'urbanisme, les constructions sont strictement interdites sur les terrains à risque géologique et les zones inondables ainsi que dans les terrains d'emprise des canalisations.

Chaque plan général de prévention des risques majeurs fixe les zones frappées de servitude de non aedificandi, pour risque majeur ainsi que les mesures applicables aux constructions existantes.

Les dispositions pénales : toute infraction aux dispositions de construction dans les zones à risques , le citoyen sera punie d'un emprisonnement de un an à trois ans et d'une amende de trois cent mille dinars 300000DA à six cent mille dinars 600000DA ,ou l'une de ces deux peines seulement , en cas de récidive , la peine est portée au double.

- **Arrêté du 11-01-2004 relatif aux règles parasismiques algériens RPA1999 version 2003**

Il s'applique à toute étude de projet de construction à compter de la date de publication. Il tient compte essentiellement de la nouvelle classification des zones sismiques, il divise le territoire national en 05 zones de sismicité croissante.

La ville de Constantine fait partie de la zone tellienne, caractérisée par une sismicité moyenne. Les constructions en béton armé ne doivent pas dépasser les 14 mètres, soit 04 niveaux (R+4).

- **Ordonnance N° 03-12 du 26-08-2003 relative à l'obligation d'assurance des catastrophes naturelles et à l'indemnisation des victimes**

Tout propriétaire personne physique ou morale, autre que l'état d'un bien immobilier construit situé en Algérie est tenu de souscrire un contrat d'assurance de dommages garantissant ce bien contre les effets des catastrophes naturelles (article N°01).

Les effets des catastrophes naturelles sont les dommages directs causés aux biens, suite à la survenance d'un événement naturel d'une intensité anormale (article N°02).

2. Urbanisation et les risques naturels en Algérie

Le processus d'urbanisation en Algérie comporte quatre niveaux d'interventions :

- **Le niveau national** : les grandes orientations en matière d'occupation de l'espace national sont traduites par le schéma national d'aménagement du territoire **SNAT**. (**S.N.A.T** : Schéma National de l'Aménagement du Territoire).
- **Le niveau régional** : il s'agit d'espaces géographiques homogènes pouvant couvrir plusieurs wilayas, une partie de wilaya. A cet échelon, les prescriptions d'occupation de l'espace sont définies par le schéma régional d'aménagement du territoire **SRAT**. (**S.R.A.T** : Schéma Régional de l'Aménagement du Territoire).
- **Le niveau local** : il s'agit d'espace géographique communal. Les prescriptions relatives au mode d'organisation de l'occupation de l'espace sont traduites par :
 - Le Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme (**PDAU**) qui fixe les grandes lignes.
 - Les Plans d'Occupation du Sol (**POS**) qui sont des plans de détail et circonscrits dans l'espace.

Ont pour objet la fixation des modalités d'occupation du sol, à même de satisfaire les besoins aussi bien des collectivités locales que des habitants.

- **Le niveau de la parcelle** : il s'agit des actes qui autorisent effectivement la réalisation physique. Ces actes regroupent notamment le certificat d'urbanisme, le permis de construire et le certificat de conformité.

Conclusion

La prise en compte des risques naturels dans l'aménagement du territoire est en pleine expansion surtout dans les pays européens. En France les plans de Prévention des risques (PPR), succédant aux plans d'Exposition aux Risques (PER), sont en place depuis février 1995 (MAQUAIRE 2002). Ils permettent de prendre en compte les risques naturels dans l'aménagements du territoire grâce à la détermination des zones exposées aux risques et à la définition de mesures de prévention, de protection et de sauvegarde qui doivent être prise dans ces zones.

En Algérie, malgré les efforts de l'état pour l'évolution des textes, cela reflète un grand intérêt pour la problématique mais il n'existe pas encore l'équivalent du PPR.

Le développement du processus d'urbanisation aux différents niveaux a pour intérêt de mettre en évidence les principaux facteurs qui ont abouti à l'urbanisation actuelle. Ce qui permet : d'une part, de les corréler aux aléas naturels et industriels, et d'autre part, d'en tirer toutes les données possibles pour une véritable prise de conscience des risques, une meilleure prévention et une prise en charge des conséquences de pratiques qui ne doivent plus être tolérées, eu égard aux effets extrêmement dommageables, aussi pour la sécurité des personnes et l'économie de l'environnement. Mais, malheureusement l'existence de ces instruments, ne change en rien au niveau de la gestion et l'atténuation des différents risques et particulièrement le risque glissement de terrain.

Bibliographie



- 1) L'implication des autorités locales et régionales dans la, gestion des risques majeurs, accord européen et méditerranéen sur les risques majeurs (eur-opa), Alexandra SONCK, Bruxelles, Institut Supérieur de Planification d'urgence, le 27 avril 2010.
- 2) Pour une Algérie Résiliente Réaliser la Réduction des Risques de Catastrophe dans les Pays Arabes: Etude Nationale sur les Bonnes Pratiques le Bureau Régional de l'UNISDR pour les Pays Arabes avec le soutien et la facilitation du Ministère des Affaires Etrangères Algérien et le PNUD Algérie, version publiée en Mars 2013.
- 3) Les Plans de Prévention des Risques naturels (PPR), Définition, direction de la prévention des pollutions et des risques, 10 septembre 2002.
- 4) Mezhoud lamia : La vulnérabilité aux glissements de terrain et les enjeux dans la partie Ouest et Sud-Ouest de la ville de Constantine ; thèse magistère, option : Aménagement des milieux physiques.