



N° d'ordre :

UNIVERSITE DE M'SILA

FACULTÉ DES SCIENCES ET DES SCIENCES DE L'INGENIORAT

Département de Génie Civil

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de Magister

Spécialité: Génie Civil

Option: Géotechnique

Par

LADGHEM CHIKOUCHE Fadila

SUJET

**PREVENTION DU RISQUE MOUVEMENT DE
TERRAIN PAR L'UTULISATION DES PARAMETRES
GEOTECHNIQUES**

Soutenu publiquement le...10/12/2009.....devant le jury composé de:

Dr. KHEMISSA. M.	M.C. Université de M'sila	Président
Dr. BELOUAR A.	M.C. Université Mentouri de Constantine	Rapporteur
Dr. BOUDAUD. Z	M.C. Centre Universitaire de Oum el Bouaghi	Examineur
Dr. RAHMOUNI Z	M.C. Université de M'sila	Examineur

Promotion: 2009

SOMMAIRE

INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	01
-----------------------------------	-----------

CHAPITRE 1

PRESENTATION DU SITE DE L'ETUDE

I.1. INTRODUCTION.....	03
I.2. CONTEXTE GEOLOGIQUE	04
I.2.1. Litho stratigraphie	05
I.3. La TECTONIQUE	07
I.3.1. L'Atlas saharien.....	07
I.3.2. Les Monts du Hodna.....	08
I.3.3. Le bassin subsident du Hodna.....	08
I.4. La. LITHOLOGIE.....	09
I.5. L'HYDROGEOLOGIE	11
1.5.1. Les eaux superficielles.....	11
1.5.2. Chott el Hodna.....	12
1.5.3. Les eaux souterraines.....	13
I.6. LA TOPOGRAPHIE.....	15
I.7. LE CLIMAT.....	17
I.7.1. Température.....	17

CHAPITRE 2

MOUVEMENT DE TERRAIN

II.1. INTRODUCTION	20
II.2. CONNAISSANCE DU PHENOMENE.....	21
II.3. CLASSIFICATION DES MOUVEMENTS DE TERRAIN.....	23
II.3.1. Les mouvements lents et continus	23
II.3.2. Les mouvements rapides et discontinus.....	25
II.4. EXEMPLES DE MOUVEMENT DE TERRAIN A TRAVERS LE MONDE.....	27

II.4.1. La Conchita/Californie.....	27
II.4.2. Les coulées boueuses /Rio de Janeiro.....	28
II.4.3. Chutes de blocs.....	29
II.4.4. Cavités souterraines.....	29
II.4.5. Les tassements différentiels.....	30
II.4.6. Falaise de Belle Fontaine.....	31
II.4.7. Le glissement de Villard des Dourbes, Commune de Digne les bains.....	35
II.4.8. Glissement de terrain à Constantine.....	39
II.4.9. Retrait et gonflement des argiles de la Wilaya de M'sila.....	41
II.4.10. Le phénomène de retrait et gonflement.....	43
II.4.11. Facteurs intervenant dans le retrait gonflement.....	43
II.5. CONCLUSION.....	46

CHAPITRE 3

CARACTERISATION GEOTECHNIQUE DU SITE

III.1. INTRODUCTION	47
III.2. ESSAI DE CONSTITUTION D'UNE BANQUE DE DONNEES GEOTECHNIQUES DU SOUS SOL DE M'SILA.....	47
III.2.1. Collecte des données et organisation de la base géotechnique.....	48
III.2.2. Analyse et sélection des données.....	50
III.2.3. Caractérisation des données retenues pour le stockage.....	50
III.3. CARACTERISATION GEOTECHNIQUE DES DIFFERENTS SITES CHOISIS... ..	51
III.3.1. Méthodologie de classification des sols.....	51
III.3.1.1. Technique de visualisation: Empreinte.....	51
III.3.1.2. Premier site: M'sila.....	52
III.3.1.3. Interprétation de l'empreinte de M'sila.....	56
III.3.2. Deuxième site: Sidi Aissa.....	58
III.3.2.1. Technique de visualisation: Empreinte.....	62
III.3.2.2. Interprétation de l'empreinte de Sidi Aissa.....	62
III.3.3. Troisième site: Ain el Hadjel.....	64
III.3.3.1. Technique de visualisation: Empreinte.....	67
III.3.3.2. Interprétation de l'empreinte de Ain el Hadjel.....	68
III.4 CORRÉLATIONS	70
III.4.1. Relation entre l'indice de plasticité et l'angle de frottement.....	71
III.4.2. Corrélation entre la limite de liquidité et la cohésion.....	74
III.4.3. Corrélation entre la limite de liquidité et le coefficient de compressibilité... ..	78
III.5. CONCLUSIONS.....	83

Chapitre 4

LA CARTOGRAPHIE DU RISQUE

IV.1. LE RISQUE	84
IV.1.1. Classification du risque	85
IV.1.2. Risque majeur.....	85
IV.1.3. Collecte des données.....	86
IV.1.4. Risque et priorités: comparaison des risques.....	86
IV.1.5. Le risque et les médias.....	88
IV.1.6. Incorporation du risque dans la prise de décision	89
IV.1.7. Les plans de prévision des risques: PPR.....	90
IV.1.8. Evaluation et appréciation du risque.....	91
IV.1.9. Les mesures techniques.....	94
IV.1.10. Le zonage.....	94
IV.2. LA CARTOGRAPHIE.....	95
IV.3. ZONAGE D'UNE REGION POTENTIELLEMENT SOUMISE A UN MOUVEMENT DE TERRAIN.....	95
IV.3.1. Principe de l'empreinte.....	96
IV.3.2. Méthodologie.....	97
IV.3.3. Indexation des différents facteurs.....	99
IV.3.4. Exemple d'application au site de Sidi Aissa.....	103
IV.4. CARTOGRAPHIE DE L'ENSEMBLE DU SECTEUR D'ETUDE.....	105
IV.4.1. La carte.....	110
IV.5. CONCLUSIONS.....	112
CONCLUSION GÉNÉRALE.....	113
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	115
LISTE DES TABLEAUX, FIGURES ET PHOTOS.....	119

REMERCIEMENTS

Une connaissance qui n'est pas partagé, n'existe pas.

(Dr.W.Rozenbaum)

Mes remerciements s'adressent tout d'abord au Dr. Belouar Abdelghani, maître de conférence à l'université Mentouri de Constantine, qui a dirigé ce mémoire, et dont les précieuses orientations et conseils m'ont soutenu tout au long de ce travail.

Je remercie vivement les membres du jury de soutenance de ce mémoire:

- Dr. Khemissa.M, maître de conférence à l'université Mohamed Boudiaf de M'sila, d'avoir accepté la présidence du jury de soutenance.
- Dr. Boudaoud. Z, maître de conférence au centre universitaire de Oum el Bouaghi, d'avoir accepté d'être examinateur.
- Dr.Rahmouni. Z., chargé de cours à l'université de M'sila qui a accepté d'en être examinateur.

Je remercie toutes les personnes avec lesquelles j'ai étroitement collaboré et qui m'ont fait part de toutes les études dont ils disposaient au niveau de LTPC, DTP, DH, Laboratoire Aiche, INRH.

.- Je remercie tout particulièrement Monsieur Ladghem Chikouche Abdellatif, chef de service de la protection de la faune et flore à la direction générale des forêts antenne M'sila, qui m'a beaucoup aidé dans ma recherche bibliographique. Je tiens à lui exprimer ma vive reconnaissance et ma sincère gratitude.

- Je remercie également Monsieur Chikouche Khelifa, responsable du projet FIDA pour son accueil et sa sympathie.

- Je remercie également Monsieur Mahamedi Abdelkrim pour son soutien et son bien vaillance tout au long du magister.

J'exprime aussi mes chaleureux remerciements à tout le personnel du CTC et à leur tête Monsieur Mekhalfia Hacene, pour leur accueil et leur disponibilité.

Je tiens à remercier toutes mes amies et mes collègues surtout Meddah Abdelaziz dont l'aide et la sympathie ont rendu ce travail possible.

Enfin, je tiens à remercier profondément mes deux frères Nadjib et Djamel pour leur disponibilité et leur aide, ainsi que toute ma famille pour leur soutien et leurs encouragements incessants.

Je rends un grand hommage à tous les martyres de la grande révolution de l'Algérie.

RESUME

Le risque mouvement de terrain repose sur une approche pluridisciplinaire à savoir la géologie, l'hydrogéologie, la mécanique et la géotechnique et fait encourir à certaines villes d'Algérie de réelles catastrophes .Il se produit généralement dans des conditions variées affectant ainsi les personnes, les biens et l'environnement. Il est important de prendre en considération ce genre de problème qui avec le temps portera une menace réelle sur les habitants.

Le but de ce mémoire est d'essayer de proposer une prévention du risque mouvement de terrain par une approche cartographique de l'aléa en s'appuyant sur des données géotechniques de certains sites de la Wilaya de M'sila pour pouvoir estimer le degré de risque et la sensibilité de l'état actuel à la variation de certains paramètres physiques ou mécaniques. En combinant ces identifiants, nous pouvons envisager une approche plus réaliste de l' aléa qui sera d'un apport considérable pour les autorités locales afin d'éviter des dépenses faramineuses à prendre pour des travaux de remèdes.

Mots-clés: Mouvement de terrain, prévention, risque, paramètres géotechniques, aléa et cartographie.

ABSTRACT

The hazard risk of earth movement is dealing with a multidisciplinary approach such as geology, hydrogeology, mechanical and geotechnical engineering which make occur some problems to different cities in Algeria. It happens under different conditions that affect people, goods and environment. It is important to take into account this kind of problem which with time will carry a real danger for inhabitants.

The main object of this work is to propose a mapping prevention of the earth movement risk by a cartographical approach of the hazard based on geotechnical data of the Wilaya M'sila which be able to estimate the degree of risk and sensitivity of current state with variation of certain physical and mechanical parameters. By combining these parameters, we can consider a more realistic approach of the hazard risk which will be a great contribution to the local authorities in order to avoid more financial dispense for future work.

Keywords: Earth movement , prevention, risk, geotechnical parameters, hazard and mapping.

ملخص

إن خطر حركة التربة المعتمد على مقارنة متعددة الطرق منها الجيولوجية، الهيدروجيولوجية، الميكانيكا و الجيوتقنية يعرض بعض المدن الجزائرية لكوارث حقيقية. وهو يحدث في ظروف مختلفة مؤثرا على الأشخاص، الممتلكات و المحيط. من المهم الأخذ بعين الاعتبار هذا النوع من المشاكل الذي مع الوقت سيشكل تهديد حقيقي للسكان. الهدف من هذه المذكرة هو محاولة تقديم استدراك لخطر تحرك التربة بمقارنة رسم خريطة للخطر بالاعتماد على معطيات جيوتقنية لولاية المسيلة للتمكن من تقييم درجة الخطر و حساسية الوضع الحالي لتغير بعض الخصائص الفيزيائية والميكانيكية. بتنسيق كل هذه المعارف نستطيع أن نقوم بمقارنة أكثر واقعية للخطر و التي ستكون ذات إسهام كبير للسلطات المحلية التي ستتجنب مصاريف فاحشة لأعمال الإصلاح .

كلمات مفاتيح: تحرك التربة ، استدراك، خطر، خصائص جيوتقنية، رسم الخرائط .

NOTATIONS et SYMBOLES:

C: Cohésion (kg/cm²).

d: Diamètre des particules (mm).

I_p: Indice de plasticité.

P_c: Pression de consolidation (kg/cm²).

S_r: Degré de saturation (%).

X_d: Pourcentage des passants (%).

ω: Teneur en eau (%).

W_L: Limite de liquidité (%).

W_p: Limite de plasticité (%).

γ_d: Densité sèche.

φ: Angle de frottement interne (°).

μm: Micromètre.

C_g: Indice de gonflement.

C_c: Indice de compressibilité.

P_{f<2μm}: Pourcentage des particules fines (%).

P: Précipitations (mm).

I_n: Logarithme népérien.

I_A: Activité des argiles.

CH: Argiles minérales de forte plasticité.

CL: Argiles minérales de moyenne plasticité.

MH: Limons minéraux de haute compressibilité et argiles organiques.

ML: Limons minéraux de moyenne compressibilité et limons organiques.

R: Risque.

Σ: Somme.

P: Pente.

E: Eau.

δ_i: Coefficient.

INTRODUCTION GENERALE

Les mouvements de terrain sont des phénomènes naturels d'origines très diverses, résultant de la déformation, de la rupture et du déplacement du sol. Ils provoquent mondialement la mort de huit cent à mille (800 à 1000) personnes par an, mais ce chiffre ne prend pas en compte les glissements dus aux séismes, qui sont les plus meurtriers.

Les mouvements de terrain constituent généralement des phénomènes ponctuels, de faible ampleur et d'effets limités. Mais de part leur diversité et leur fréquence, ils sont néanmoins responsables de dommages et de préjudices importants et coûteux.

Afin de réduire ces effets et d'éviter des dommages .Tout état doit mener une politique de prévention qui prend en considération ces risques dans l'aménagement du territoire et les décisions d'urbanisme, tel que le plan directeur d'aménagement et d'urbanisme (P.D.A.U) et les plans d'occupation des sols (P.O.S). [1]

Les nombreux désordres qui apparaissent fréquemment dans les constructions légères (bâtiments de faible hauteur, routes...etc.) dans la Wilaya de M'sila qui est située au Nord Est de l'Algérie nous ont incité à inscrire le présent mémoire afin de préciser comment peuvent être caractérisés les zones à risque, et d'éviter un certain nombre de problèmes aux autorités locales, et des dépenses pour des travaux de remèdes.

Notre étude porte sur trois communes à densité d'habitation élevée et sur la base des résultats géotechniques obtenus à partir des études effectuées par les différents organismes tels que le Laboratoire des Travaux Publics. Les données brutes de ces sites ont été stockées et traitées pour mettre au point une caractérisation de ces sols afin de mieux comprendre ces phénomènes.

Une approche représentative des résultats d'essais a été prise en considération pour ces sols en fonction de leurs propriétés physiques et de leur nature puisqu'il s'agit d'une empreinte de sol, une caractérisation s'en suit en fonction des différents paramètres physico mécanique. Les résultats obtenus seront corrélés avec des caractéristiques directes ou indirectes puisées de la littérature de la géotechnique.

Pour aboutir enfin de parcours à l'établissement d'une carte géotechnique du risque, délimitant ainsi divers périmètres de la Wilaya de M'sila.

Le mémoire est structuré de la façon suivante:

- 1) Une introduction générale présentant la méthodologie adoptée.
- 2) Le premier chapitre présente une synthèse bibliographique consacrée à l'étude de la géologie, l'Hydrogéologie, ainsi que la topographie de la Wilaya de M'sila.
- 3) Le deuxième chapitre présente le phénomène mouvement de terrain, ainsi que des exemples les plus spectaculaires.
- 4) Le troisième chapitre présente l'étude géotechnique, l'analyse des résultats obtenus et l'établissement des empreintes de caractérisation des sols, ainsi que l'étude des corrélations établies entre différents paramètres.
- 5) Le quatrième chapitre présente la méthodologie d'estimation du risque, puis la délimitation des zones à risque, enfin l'établissement de la carte à risque dans le Nord de la Wilaya.
- 6) Enfin une conclusion générale achève ce travail.

PREMIER CHAPITRE

PRESENTATION DU SITE DE L'ETUDE

I.1. INTRODUCTION:

M'sila est une Wilaya des Hauts plateaux algériens. Elle est située au Nord Est du territoire algérien. Elle constitue la continuité saharienne. C'est une Wilaya de l'intérieur, dont la superficie est de dix huit mille cent soixante quinze kilomètres carrés (18175km²). Elle est limitée par Bouira et Bordj Bou Arreridj au Nord, Batna et Sétif à l'Est, Médéa et Djelfa à l'Ouest et Biskra au Sud. Sa population est de huit cent cinq milles cinq cent dix neuf (805519) habitants. Sa morphologie et sa position géographique confèrent à cette région un aspect écologique unifié représenté par la prédominance de la steppe qui couvre cent vingt mille hectares (120000ha) (soit 63% de la superficie totale) de la Wilaya. La superficie affectée à l'agriculture représente quinze pour cent (15 %) de la surface totale, consacrées essentiellement à la céréaliculture, à l'arboriculture et au maraîchage. La Wilaya de M'sila est constituée de quarante sept (47), communes mais notre étude porte uniquement sur les communes du Nord: Ain el Hadjel, Berhoum, Chellal, Hammam Dhalaa, Maadid, M'sila, Ouled Addi Gueballa, Sidi Aissa, Sidi Hadjras, [2]

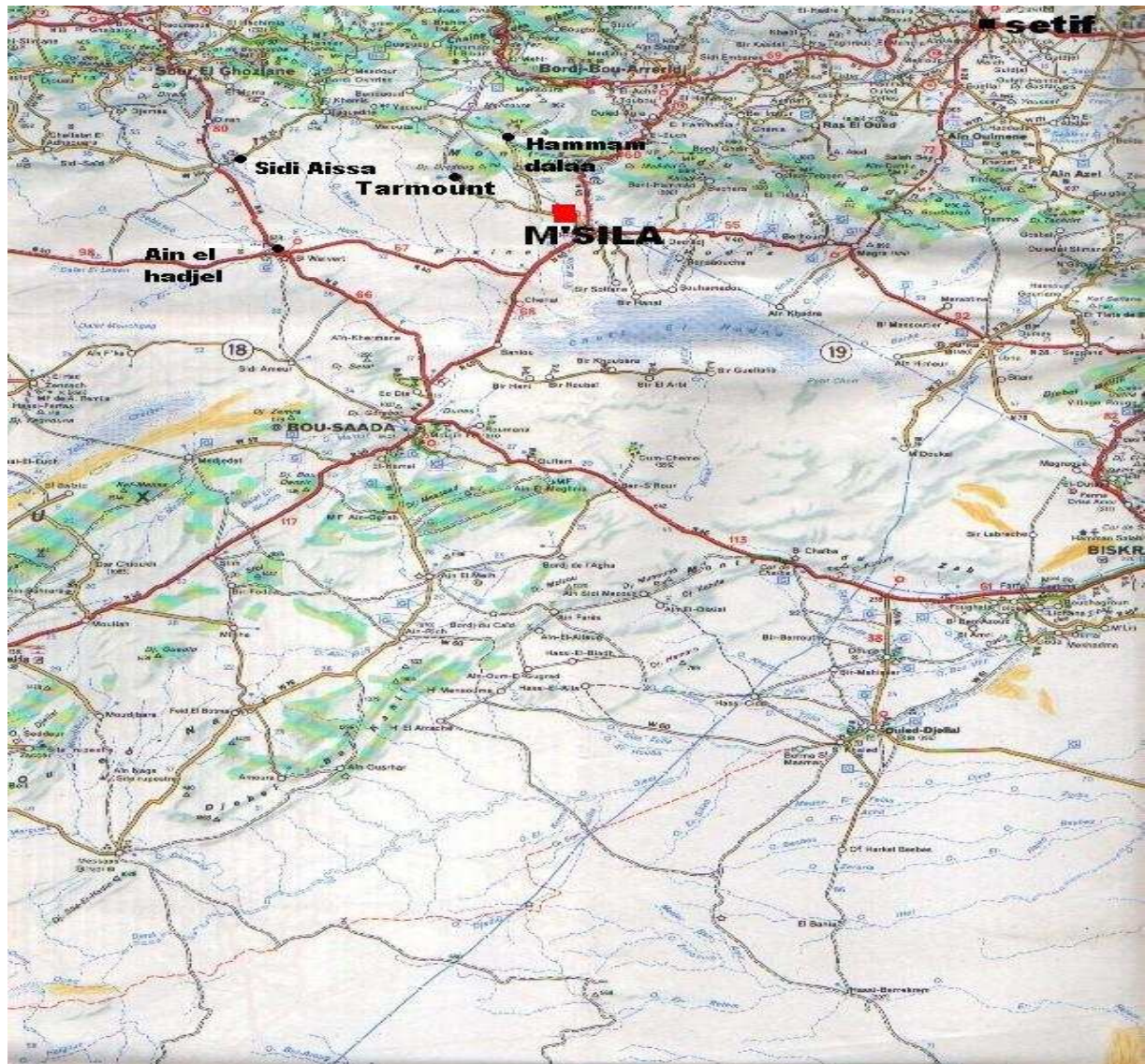


Fig. I.1: Carte de la Wilaya de M'sila [Direction générale des forêts Antenne M'sila].

I.2. CONTEXTE GEOLOGIQUE:

La région du Hodna est une zone où interfèrent les domaines telliens et sahariens, ce qui entraîne une très grande variation de faciès et une tectonique complexe.

Les terrains qui forment la région sont essentiellement Mésozoïques (Secondaire). Le Paléozoïque (Primaire) est absent, le Trias et le Jurassique n'occupent que des surfaces réduites, le plus souvent le Trias apparaît en diapyres et présente une épaisseur de l'ordre de deux cent mètre (200m), alors que le Crétacé forme la majorité des affleurements en relief. Le Quaternaire, quant à lui, recouvre toute la plaine du Hodna.

I.2.1. Litho stratigraphie:

A) Le Secondaire:

- **Le Trias:** Dans la région de M'sila et les régions environnantes, les affleurements Triasiques sont assez nombreux. Ils sont composés de marnes, d'argiles, de gypses et de dolomies.

- **Le Jurassique:** Avec le Jurassique apparaissent les séries stratigraphiques normales les plus anciennes de la région, il est essentiellement carbonaté et son épaisseur est de l'ordre de trois cent cinquante mètre (350m). On remarque que pendant le Lias inférieur et moyen, le caractère marin de la sédimentation s'accroît, alors que la présence d'Oolithes, de Crinoïdes et d'une argile calcareuse traduit un milieu épicontinental.

Des changements interviennent au Lias supérieur, ils sont marqués par l'apparition de marnes.

- **Le Crétacé:** Le Crétacé affleure largement dans la région et on note la présence d'un Crétacé inférieur et d'un Crétacé supérieur.

1) **Le Crétacé inférieur:** Il est essentiellement carbonaté terrigène mais on note le développement de formations gréseuses avec d'importantes variations de faciès. Il n'affleure qu'aux noyaux et sur les flancs des anticlinaux au Nord et au Sud des Monts du Hodna.

- **Le Néocomien:** Il englobe
- **a) Le Berriasien:** Qui débute par une formation marneuse, avec une intercalation de grès et de calcaire gréseux, puis se termine par une alternance argilo-gréseuse.
- **b) Le Valanginien:** Correspond à une succession de marnes grises et rouges, des grès à ripples et des calcaires grossiers gréseux.
- **c) L'Hauterivien:** Formé par des grès blanc, sur les quels repose une barre de calcaire dolomitique de quatre vingt mètre (80 m) d'épaisseur, puis vient une alternance de calcaire, de calcaire gréseux, de marnes et de grès. L'épaisseur de cet ensemble est de deux cent mètre (200m).
- **Le Barrémien et Aptien:** Représenté par des marnes grises avec une mince intercalation calcaire. L'Aptien inférieur est représenté par une grosse barre de calcaire dolomitique, alors que L'Aptien supérieur est constitué par une alternance de

calcaire à Rudistes, de grès blanc à ripples marks, de calcaire à huîtres et de marnes rouges. L'épaisseur de cet ensemble est de deux cent cinquante mètre (250m).

- **L'Albien:** L'Albien inférieur est constitué par des formations argilo-gréseuses et de dolomies alors que l'Albien supérieur se termine par une série calcaréo-dolomitique.

En conclusion, on peut dire que le Crétacé inférieur est caractérisé par de nombreuses oscillations de la mer. On y observe des sédiments continentaux (grès et argiles gréseuses) et marins (calcaires et dolomies). Du début du Crétacé inférieur (Berriasien) jusqu'à l'Aptien, les dépôts gréseux se sont généralisés et ont envahi toute la zone.

2) Le Crétacé supérieur: Les formations du Crétacé supérieur correspondent à un milieu néritique, tous les étages sont représentés et l'épaisseur des formations est importante.

- **a) Le Cénomanién:** Transgressif, surtout dans la partie orientale des Monts du Hodna. Il est représenté par des marnes noirâtres et verdâtres, ayant deux à trois cent mètre (200 à 300m) d'épaisseur avec de minces lits de calcaire surmontés soit par une barre de calcaire, soit par des marno-calcaires, d'une dizaine de mètres d'épaisseur.
- **b) Le Turonien:** Représenté par des masses de calcaires compactes avec de rares intercalations marneuses. L'épaisseur est estimée à quatre cent mètre (400m).
- **c) Le Sénonien:** Dans la région du Hodna le Coniacien et Santonien sont formés à la base par des marnes vertes, puis par une alternance irrégulière de marnes et de calcaires argileux, de trois cent soixante dix mètre (370m) d'épaisseur. Le Campanien est constitué de marnes vertes, gypseuses avec de très rares intercalations de calcaires argileux et de nombreuses lumachelles. Son épaisseur est de six cent mètre (600m). Le Maestrichtien est marneux à la base, puis calcaire à nette tendance récifale avec rudistes et polypiers. Il se termine par des marnes verdâtres gypseuses. L'épaisseur totale du Sénonien est de mille trois cent quatre vingt mètre (1380m).

Ainsi, pendant le Crétacé supérieur, la sédimentation marine persiste encore partout, dans la région du Hodna. Elle correspond, dans l'ensemble, à des calcaires, des marno-calcaires et des marnes.

B) Le Tertiaire: Le Tertiaire continental repose en discordance sur les formations Crétacées, résultant du démantèlement du relief de l'Atlas saharien par le phénomène de l'érosion.

Ces formations continentales du Tertiaire, se rencontrent à l'Est et au Nord de Boussaâda, Ainsi qu'à l'Ouest du Chott el Hodna. Cet ensemble renferme des conglomérats, des galets, des sables, des grès et des passées marneuses.

Le Tertiaire marin n'est présent que dans la partie orientale de l'Atlas saharien, et comprend:

- **1) Le Paléocène:** Qui est formé de calcaires argileux, de lumachelles, de marnes à gypses et de souffre noir.
- **2) L'Eocène:** Qui est constitué de calcaire gris avec des intercalations de marnes grises, de calcaire à silex et de lumachelles.
- **3) Le Miocène:** Les formations marines du Miocène sont transgressives dans le Hodna. Plusieurs cycles de transgressions y sont dénombrés.

C) Le Quaternaire:

- **1) Le Quaternaire ancien:** Ce niveau comporte des conglomérats à gros blocs, des horizons à galets et feuillets d'encroûtement calcaires rouge orange.
- **2) Le Quaternaire moyen:** Il est représenté par de gros bancs de calcaires, de galets emballés dans une matrice de croûte calcaire gréseuse, des conglomérats et d'argiles à débris prismatique.
- **3) Le Quaternaire récent:** Au niveau du Chott el Hodna, il est constitué par des limons, de couleur grise, avec des cristaux de gypse. Par contre, dans les dunes on trouve des sables fins, des argiles et du gypse. Les galets sont localisés au pied des reliefs. [3], [4]

I.3. LA TECTONIQUE:

La région de M'sila correspond à un terrain autochtone, bordé du côté Nord, vers Melouza, par des terrains sub-autochtone et au Nord-Est, vers Soltana, par le front de la nappe.

Sur le plan structural, la région du Hodna peut être subdivisée en trois zones:

I.3.1. L'Atlas saharien:

L'Atlas saharien est un complexe structural allongé Ouest-Est, séparant les hauts plateaux de la plate forme saharienne. Au Nord de Boussaâda, les plis sont à large voûte,

affectés de cassures de style Jurassien, tandis qu'au Sud, on a un ensemble plissé, qui se présente sous la forme d'une succession d'anticlinaux et de synclinaux en échelons. La phase majeure des plissements, affectant l'Atlas Saharien presque dans son intégralité, se situe à la fin du Lutétien (Eocène moyen).

I.3.2. Les Monts du Hodna:

Les monts du Hodna, allongé Est-Ouest, sont limités au Nord par la dépression sub-bibanique et les hauts plateaux Sétifiens et au Sud par la cuvette du Hodna. La direction de la chaîne émergée définitivement au cours du Miocène inférieur est affectée par d'importants mouvements tectoniques. L'orientation Est-Ouest du massif du Hodna rattache l'anticlinorium des monts du Hodna à l'orogénie tellienne, où les plis sont orientés sensiblement Est-Ouest.

I.3.3. Le bassin subsident du Hodna:

Le bassin Tertiaire subsident du Hodna se subdivise en fait en plusieurs fosses (Barika-M'sila), séparées par des zones hautes dès le début du Tertiaire. Ces fosses ont été plissées lors des mouvements récents de serrage (Pliocène supérieur), et l'on peut observer en particulier entre M'sila et Barika, plusieurs anticlinaux et synclinaux de direction Est Nord Est-Ouest Sud Ouest, dans le Mio-Pliocène.

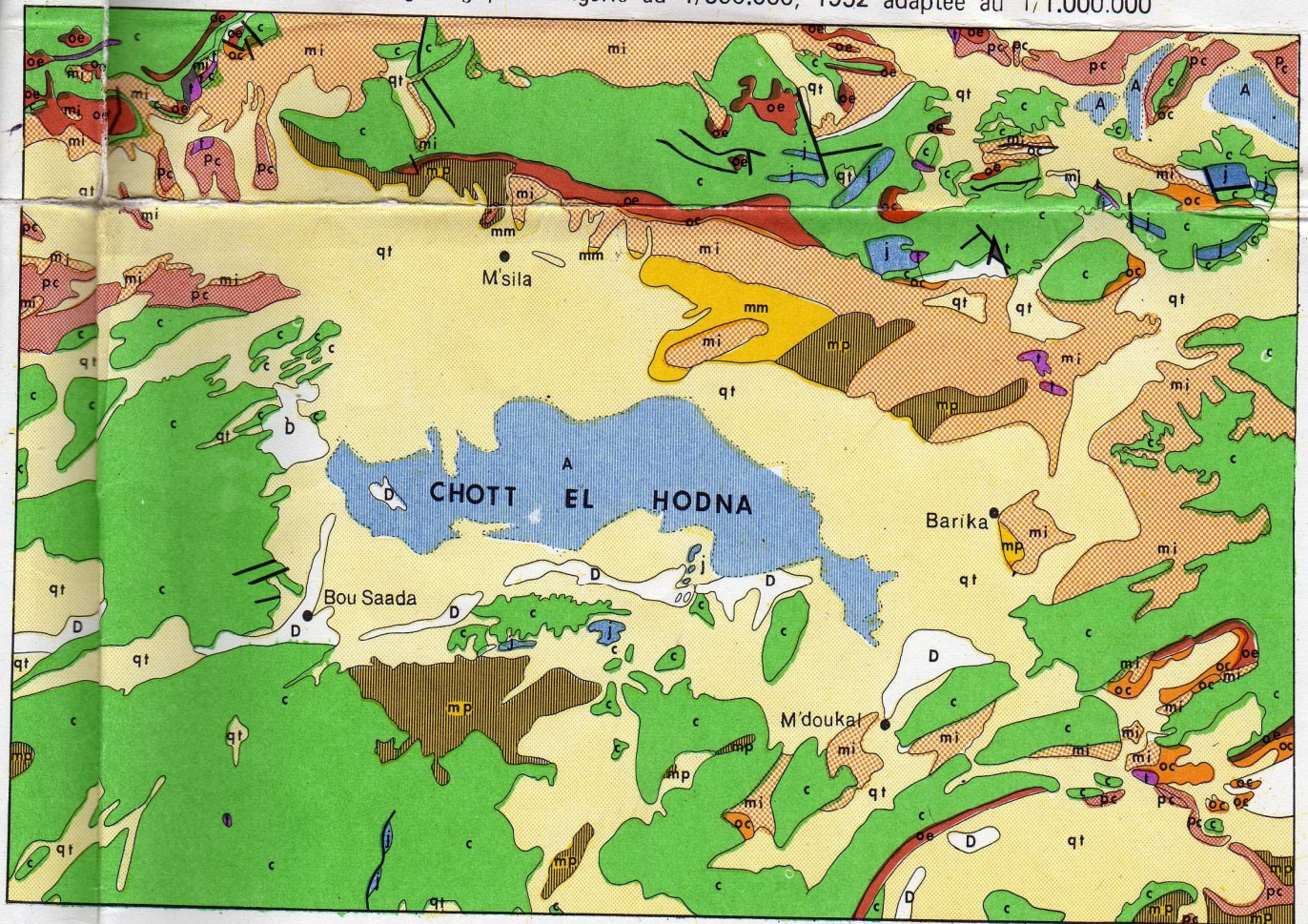
Les principales phases orogéniques affectant le bassin du Hodna sont:

- La phase majeure des plissements, affectant l'Atlas saharien dans son intégralité, se situe à la fin du Lutétien (Eocène moyen).
- Les plissements des monts du Hodna se sont amorcés au Sénonien inférieur (phase Emschérienne), accompagnés de grands accidents.
- Des pulsations positives se sont renouvelées de l'Yprésien au Lutétien et à l'Oligocène, et se traduisent par un rajeunissement de la structure.
- Au Miocène inférieur, la chaîne est émergée définitivement et correspond à une zone haute anticlinale de direction Est-Ouest.
- Au cours du Pliocène et du Quaternaire la dépression Hodnéenne se déplace vers le Sud pour prendre sa position actuelle.

On explique ainsi la disparition de l'Atlas saharien non pas par ennoyage, du à un éventuel plongement axial, mais par suite d'une véritable érosion, liée au déplacement du Chott el Hodna vers le Sud. [3], [4]

CARTON GEOLOGIQUE

D'après la carte géologique d'Algérie au 1/500.000, 1952 adaptée au 1/1'000.000



LEGENDE

<p>A ALLUVIONS ACTUELLES Chott</p> <p>D DUNES</p> <p>qt QUATERNAIRE</p> <p>pc PLIOCENE CONTINENTAL conglomérats grés à ciment greso marneux.</p>	<p>mp PONTIEN marnes gresueuses et quelques conglomérats gypseux</p> <p>mm MIOCENE SUPERIEUR marnes gyp- seuses avec intercalations gréseuses</p> <p>mi MIOCENE INFERIEUR marnes gyp- seuses avec calcaires gréseux à la base</p> <p>oc OLIGOCENE CONTINENTAL marnes rouges et conglomérats</p>	<p>oe NUMMULITIQUE</p> <p>c CRETACE marnes calcaires et grés</p> <p>j JURASSIQUE calcaires</p> <p>t TRIAS marnes rouges gypseuses rochers de sel Jiapirs</p>
--	---	--

Fig. I.2: Carte géologique de M'sila [Direction générale des forêts Antenne M'sila].

I.4. LA LITHOLOGIE:

D'une manière générale de l'étude géologique, nous ressortons les différentes formations lithologiques:

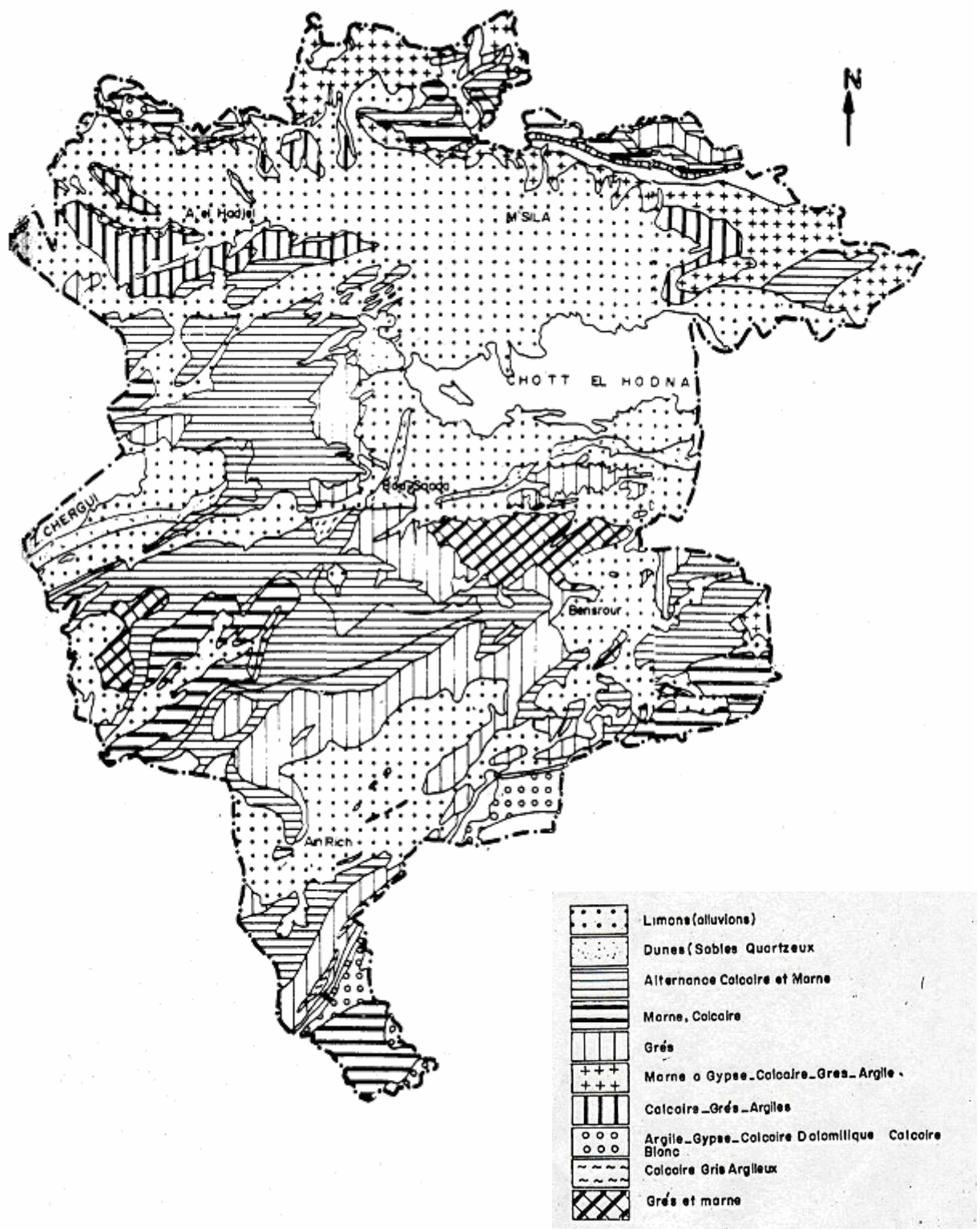


Fig. I.3: Carte lithologique de M'sila [Direction générale des forêts Antenne M'sila].

I.5. L'HYDROGEOLOGIE:

I.5.1. Les eaux superficielles:

Le réseau hydrographique est très dense. Pour la majorité, ce sont des oueds à écoulement Perrin. Les oueds les plus importants sont: l'oued K'sob, l'oued Leham, l'oued Boussaâda, l'oued M'cif.

Au Nord, les oueds prennent naissance au mont du Hodna et s'acheminent vers le Chott. Sur les formations lithologiques des plaines et hautes plaines, le réseau laisse très bien ses traces par l'effet de l'érosion hydrique car les pluies tombent souvent sous forme d'averses et les oueds charrient d'importantes quantités de particules solides. La période des sécheresses étant longue, ces oueds restent longtemps à sec.

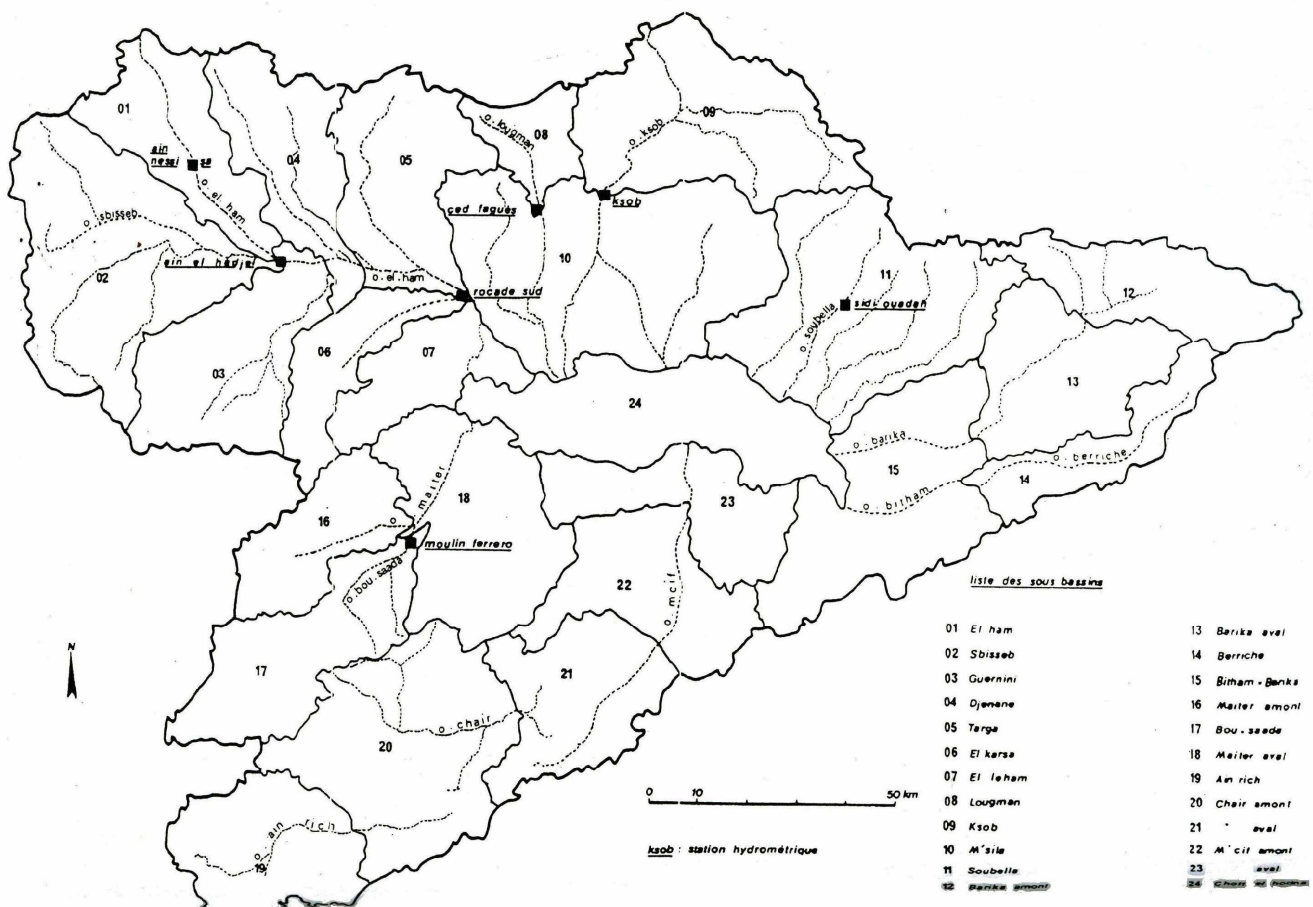


Fig. 1.4: Le réseau hydrographique [Institut national des ressources hydrauliques].

I.5.2. Chott el Hodna:

Le Chott el Hodna fait partie d'une série de Chotts qui se sont développés là où convergent les eaux provenant de l'Atlas Saharien au Sud et l'Atlas Tellien au Nord. Paysage végétal des hautes plaines steppiques, il fait partie du point de vue phytogéographique du domaine Magrébin steppique. Son bassin situé à l'extrême Est des hauts plateaux, orienté Ouest Nord Ouest-Est Sud Est, qui s'étend sur 220Km de long et 90Km de large, est coincé entre deux formations montagneuses atteignant 1.800 à 1.900m d'altitude au Nord et 600 à 900m d'altitude au Sud, c'est hydrologiquement un bassin fermé de 26.000 Km².

La cuvette du Hodna, d'une superficie de 8.500Km², qui sert de niveau de base aux oueds du bassin, occupe en son milieu de bas-fond plat une superficie de 1100 Km², C'est cela que l'on appelle « Le Chott el Hodna » situé à 400m d'altitude. Surface d'épandage des crues, Le Chott a une forme elliptique, une eau salée et s'étend sur 77Km de long et 19Km de large. Sa surface inondée, quoique variable, ne dépasse jamais 80000ha. L'alimentation du Chott est assurée par au moins 22 cours d'eau principaux, auxquels il faut ajouter des sources d'eau douce.

Le Chott est recouvert d'une nappe d'eau au moment des crues, sa limite septentrionale pendant la période hivernale est inondée entièrement ou partiellement, plus au moins longtemps suivant que l'année est pluvieuse ou sèche. En été, il est sec car le bilan alimentation-évaporation est nettement négatif. N'ayant pas fait l'objet de beaucoup d'observations quantitatives, toutefois il semble que sa surface fluctue entre 1100 et 100km² durant la période des basses eaux pour une différence de niveau de 1 à 3m environ.



Fig. 1.5: Chott el Hodna, M'sila-Batna [Institut national des ressources hydrauliques]

I.5.3. Les eaux souterraines:

Les formations aquifères existantes affleurent plus ou moins largement sur les reliefs entourant le bassin du Hodna, elles se localisent autour du Chott. Ce sont des aquifères repartis en plusieurs niveaux, depuis le Jurassique jusqu'au Quaternaire, elles s'étendent sur toute la surface de la plaine à des profondeurs variables.

Les terrains en bordure du Chott sont très salés par conséquent ceci affecte les eaux de ces aquifères limitant ainsi leurs utilisations, mais malgré cela, ils sont surexploités, de nombreux puits sont creusés.

- **Nappe phréatique:** Son aquifère est constitué par des alluvions Quaternaires. Elle est formée de plusieurs nappes: nappe de M'sila, nappe de Selmane, nappe de Magra, nappe de Guelalia, nappe de Bou ssaada

- **Nappe captive:** Son aquifère est constitué par des conglomérats du Mio-Pliocène situé au Sud du Chott, ses eaux sont moins salées.

Mis à part ces deux nappes, il existe d'autres aquifères du Crétacé et du Jurassique moins bien connus que les premiers, exploités à partir des sources.

- **Sources:** Les sources sont issues d'un aquifère Cenomano-Turonien, on peut citer: Source de Ain Sefine, source de Ain M'guer, source de Ain N'guaous, source de Ain Tinibaouine, ajouter à cela les sources de Chellal issues d'un aquifère Albo-Aptien. [3], [4], [5]

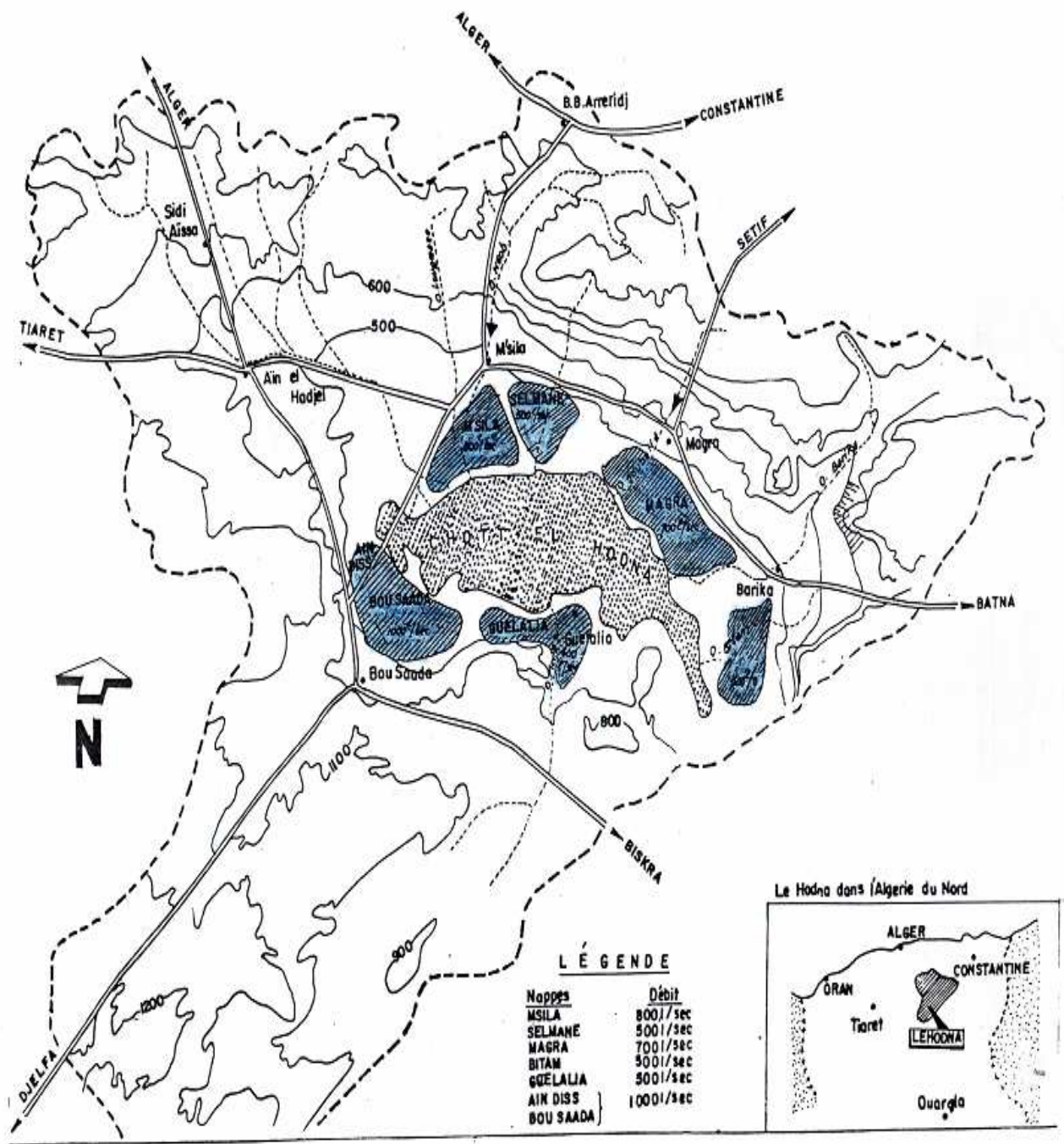


Fig. I.6: Position des nappes [Institut national des ressources hydrauliques]
Ech: 1/1000000

I.6. LA TOPOGRAPHIE:

Pour l'ensemble de la Wilaya, les terrains en pente se localisent à l'extrême Nord et au Sud; englobant les monts du Hodna, les monts de Ouled Nail et les monts de M'zab.

La pente:

Tableau I.1: Les pentes des terrains à travers la Wilaya de M'sila [2]

Classe de pente	Superficie (Km ²)	%
0-3 %	10669	58.7%
3-12.5%	5525	30.4%
12.5-25%	1381	7.6%
25	6001	3.2%
Total	18.175	100%

1.7. LE CLIMAT:

La région de M'sila vit les conditions climatiques, où les barrières montagneuses du Hodna empêchent toute influence méditerranéenne. De ce fait, il ne tombe que très peu de pluies, soit 225mm d'eau par an avec des maximums durant les mois d'automne et d'hiver. Le printemps est souvent sec.

I.7.1. Température:

Le climat est continental avec une amplitude moyenne de 36° entre les mois de janvier et juillet. En hiver les gelées sont assez rares, mais la température dépasse fréquemment 40° au cours des mois de juillet et août. Le climat est capricieux, certaines années sont marquées par un régime franchement saharien avec de faibles chutes de pluies, de longues périodes chaudes et de fréquents sirocos qui, en quelques heures, dessèchent la surface du sol et toute végétation. [4]

Tableau 1.2: Les précipitations mensuelles à la station de M'sila (1988 – 2005)
[Station météorologique de M'sila]

Années	J	F	M	A	M	J	Jet	A	S	O	N	D	Total
1988	11	02	18	34	34	23	00	00	24	18	27	22	213
1989	01	08	01	28	14	41	00	26	33	07	20	16	195
1990	27	00	19	36	100	14	12	00	14	01	20	32	275
1991	03	31	62	10	11	00	02	11	19	72	15	17	253
1992	24	11	13	04	44	09	25	00	06	31	35	14	216
1993	00	16	09	05	30	00	00	00	18	00	41	20	139
1994	14	26	15	06	00	00	00	14	45	44	09	04	177
1995	11	07	40	07	00	03	00	01	16	07	11	35	138
1996	62	26	32	23	46	06	07	03	03	00	06	24	238
1997	30	07	05	40	36	08	01	33	61	33	50	13	317
1998	10	18	09	46	60	08	00	08	39	06	09	05	218
1999	52	06	16	12	01	21	00	12	31	47	26	58	282
2000	00	00	05	03	25	02	02	02	54	15	07	31	146
2001	25	02	05	25	00	00	00	05	45	17	15	18	157
2002	11	06	01	05	05	00	02	16	07	13	26	13	105
2003	73	11	02	17	29	28	01	03	47	83	29	25	348
2004	05	05	31	36	75	10	02	29	11	08	11	05	228
2005	01	18	06	06	NT	07	03	03	31	16	28	06	125
Moyenne	19,9	11,0	16,0	19,0	28,3	9,9	3,0	8,7	27,9	23,1	21,3	19,8	207,9

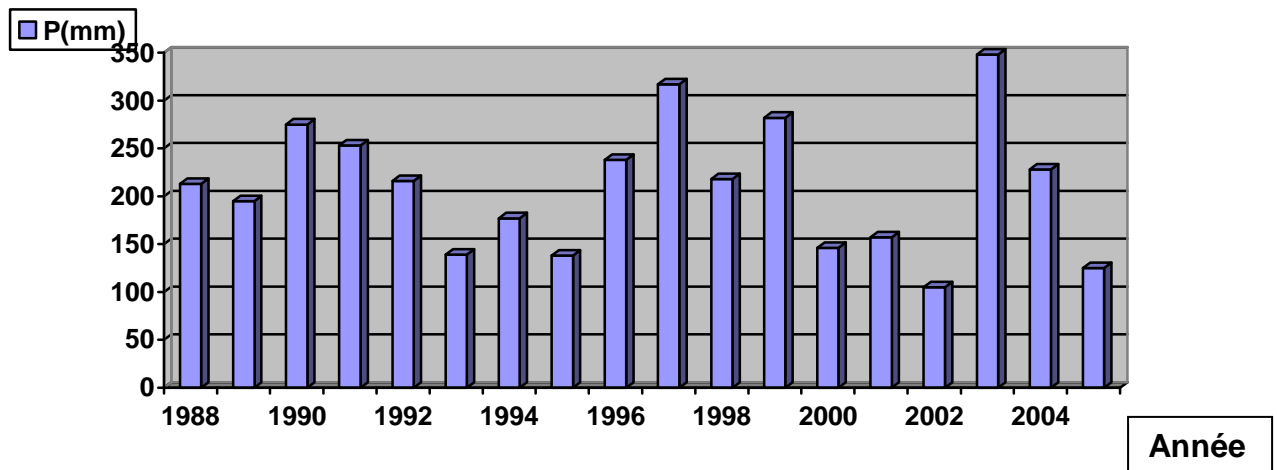


Fig. I.8: Histogramme des variations interannuelles à la station de M'sila (1988-2005).

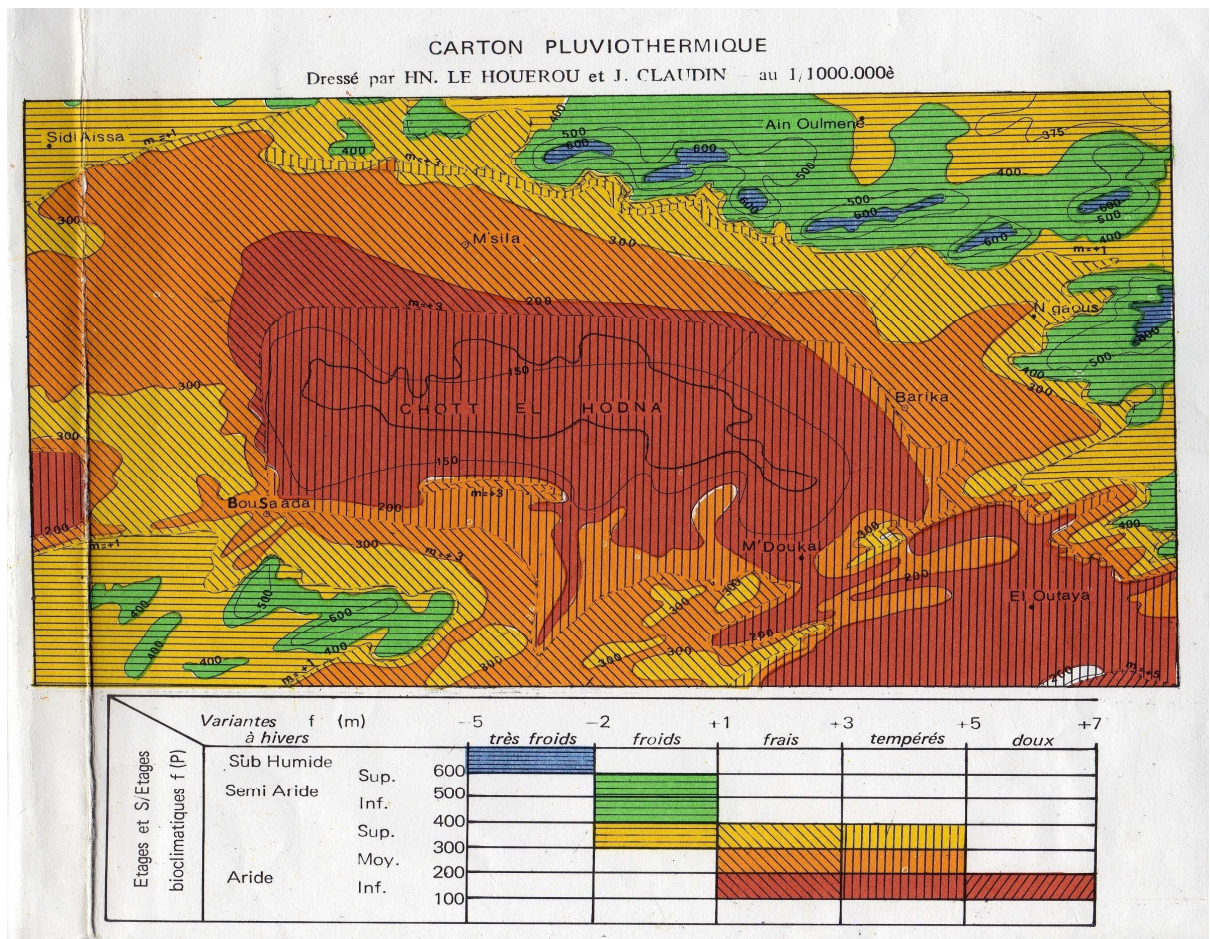


Fig. I.9: Carte pluviométrique de la région du Hodna [Direction générale des forêts. Antenne M'sila]

DEUXIEME CHAPITRE

MOUVEMENT DE TERRAIN

II.1. INTRODUCTION:

Le terme de mouvement de terrain regroupe des phénomènes très variés, par leur nature (affaissements et effondrements dus aux cavités souterraines; instabilités de versants: glissements, écroulements, coulées, tassement...etc.), et par leur dimension (phénomènes significatifs à partir de quelques mètre cube, et pouvant atteindre quelques centaines de millions de mètre cube, voire plus). On inclut également les déformations des sols dues à la sécheresse: retrait gonflement.

La majorité des terrains est concernée par ce type de risque, avec des fréquences variables. Pourtant les mouvements de terrains ne retiennent guère l'attention des médias et ne frappent donc pas l'opinion. Certes les événements très meurtriers sont heureusement rares dans le monde, parmi lesquels on peut citer: la coulée du plateau d'Assy, en 1970, qui fit soixante douze (72) victimes, est le cas le plus dramatique de notre siècle. Mais les coûts engendrés par les mouvements de terrain sont loin d'être négligeables: entre 0,5 et 1 milliard de francs par an, indépendamment de quelques cas exceptionnels (La Clapière dans les Alpes-Maritimes: deux cents cinquante (250) millions de francs de dépenses, essentiellement de façon préventive, en quelques années).

Aux États-Unis, le coût annuel est estimé à plus de sept milliards de francs, et une somme du même ordre de grandeur est atteinte au Japon et en Italie; dans un pays en voie de développement, comme le Costa Rica par exemple, les mouvements de terrain, y compris ceux causés par les séismes, représentent en moyenne chaque année 1% du budget annuel de l'état, en Algérie le coût annuel n'est pas estimé. En ce qui concerne le caractère meurtrier, on peut citer quelques exemples récents: deux cent vingt (220) morts à Medellin (Colombie, 1987), soixante six (66) morts à Catak (Turquie, 1988), deux cent cinquante (250) morts à Gissal (Tadjikistan), deux cent seize (216) morts au Yunnan (Chine, septembre 1991), cinquante (50) morts au Sichuan (Chine, août 1992), ...etc. [6]

II.2. CONNAISSANCE DU PHENOMENE:

Par rapport à d'autres risques naturels, le risque lié aux mouvements de terrain se caractérise par une répartition spatiale et temporelle assez diffuse:

- **Aspect spatial:** Régions montagneuses certes, mais aussi régions à relief plus modéré où une formation géologique défavorable est présente, régions à érosion côtière, régions de dissolution karstique, ...etc. Cette dispersion a deux conséquences: l'information statistique sur les événements est très difficile à collecter; les dépenses de prévention sont nécessairement inutiles.

- **Aspect temporel:** Périodes de fortes pluies certes, mais également périodes de fonte de neige, contrecoup de séismes, conséquences d'interventions humaines, ...etc.

Leur répartition spatiale est guidée par la topographie et par la géologie (nature et fracturation des formations affleurantes, hydrogéologie) c'est-à-dire par l'environnement physique. Ils concernent non seulement les régions montagneuses et côtières, mais aussi les bassins à forte densité de vides souterrains, les sols argileux sensibles aux variations de teneur en eau, ...etc. Leur occurrence est très marquée par les variations climatiques (périodes de fortes pluies, fonte des neiges, sécheresse) mais peut aussi être liée à des secousses sismiques ou encore être induite par les activités humaines (action anthropique).

L'objet du développement important en géotechnique au cours des dernières décennies étant l'analyse des conditions de stabilité de sites localisés et d'ampleur limitée dont le génie civil avait surtout besoin, s'avère insuffisante pour l'appréhension de l'aléa et son zonage.

La communauté scientifique s'accorde aujourd'hui à recommander la mise en oeuvre de programmes ambitieux dans ce sens. Avec un souci de charger des spécialités concernées (géographes, géologues, géotechniciens), les priorités devraient porter sur:

- L'inventaire systématique des phénomènes de grande ampleur (historiques et actuels) et les études de cas détaillées (structure, cinétique, mécanique, évolution, ...etc.) ainsi que le développement de banques de données sur les mouvements de terrain.

- L'amélioration des calculs en déplacements.

-Le rôle de l'eau dans le déclenchement et l'évolution des mouvements.

- Les techniques de reconnaissance et d'observation des mouvements à grande échelle (bassins de risques) par une meilleure exploitation des progrès technologiques: télédétection, géophysique, photogrammétrie, ...etc.

Dans leur principe, les mouvements de terrain sont bien compris: ils surviennent lorsque la résistance des terrains est inférieure aux efforts moteurs engendrés par la gravité et l'eau souterraine ou par l'action anthropique; leur dynamique répond naturellement aux lois de la mécanique. Cependant dans la pratique, les choses sont très complexes, du fait des incertitudes:

- Sur les conditions initiales, notamment en profondeur.

- Sur les propriétés mécaniques des terrains, en général hétérogènes, non linéaires, anisotropes, discontinus,...etc.

- Sur les conditions hydrauliques: position de la nappe, phénomènes se produisant en zone non saturée. L'eau est la cause déclenchante de la plupart des mouvements; c'est un facteur variable dans le temps.

Deux approches principales sont utilisées pour l'étude de ces instabilités:

- Le calcul à la rupture, dans lequel il s'agit simplement de différencier les sites stables et les sites instables, en général au moyen d'un coefficient de sécurité: les compétences actuelles sont satisfaisantes et s'appliquent assez bien lorsqu'il s'agit de dimensionner un talus artificiel ou une confortation d'instabilité.

- Les calculs en déplacement, dans lesquels on cherche à décrire le mouvement des masses instables en fonction du temps: c'est un domaine beaucoup moins avancé actuellement.

Mis à part de rares exceptions, les mouvements de terrains sont faiblement meurtriers, mais leur variété et leur nombre indique que leur impact économique est élevé. On estime très grossièrement l'impact direct à hauteur de cinq cent (500) millions à un milliard de francs en moyenne annuelle. Ceci est confirmé par les budgets de réhabilitation ou de renforcement des zones instables qui sont nécessaires de manière quasi permanente et à la charge des collectivités locales ou des grands ministères (Equipement notamment).

Malgré tout, aucune évaluation économique des dommages directs (destructions), des effets indirects sur les activités et des effets secondaires (financiers) des principaux phénomènes n'a encore été réalisée. [6]

II.3. CLASSIFICATION DES MOUVEMENTS DE TERRAIN:

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.

II.3.1. Les mouvements lents et continus:

a) Les affaissements:

Évolution de cavités souterraines dont l'effondrement est amorti par le comportement souple des terrains superficiels.

Ces cavités peuvent être:

- Des vides naturels par dissolution de roches solubles, calcaires, gypses...etc.
- Des ouvrages souterrains exécutés sans précaution.
- Des carrières souterraines (calcaire, craie, mines de sel, de charbon...etc.).

b) Les tassements:

Diminution de volume de certains sols (vases, tourbes, argiles...etc.), sous l'effet des charges appliquées et de l'assèchement. Ces phénomènes peuvent être de grande extension et affecter des agglomérations entières (Mexico, construite sur des alluvions, s'est tassée de sept mètres depuis le début du siècle par exploitation excessive de la nappe).

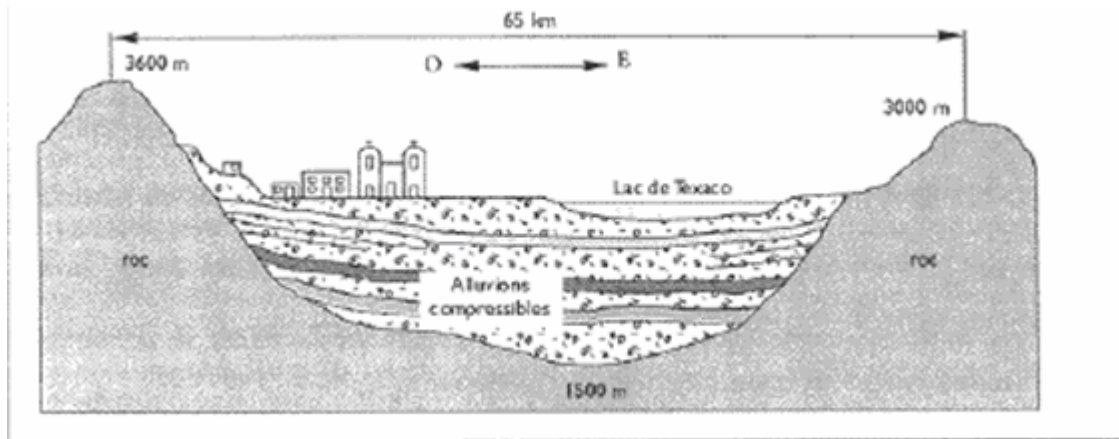


Fig. II.1: Tassement de Mexico.

c) Les phénomènes de retrait gonflement:

Ils sont liés aux changements d'humidité des sols très argileux, qui sont capables de fixer l'eau disponible, mais aussi de la perdre en se rétractant en cas de sécheresse; ce phénomène accentué par la présence d'arbres à proximité, peut provoquer des dégâts importants sur les constructions. Plusieurs dizaines de milliers de constructions ont ainsi été endommagées au cours de la sécheresse qui a affecté la France de 1989 à 1992.

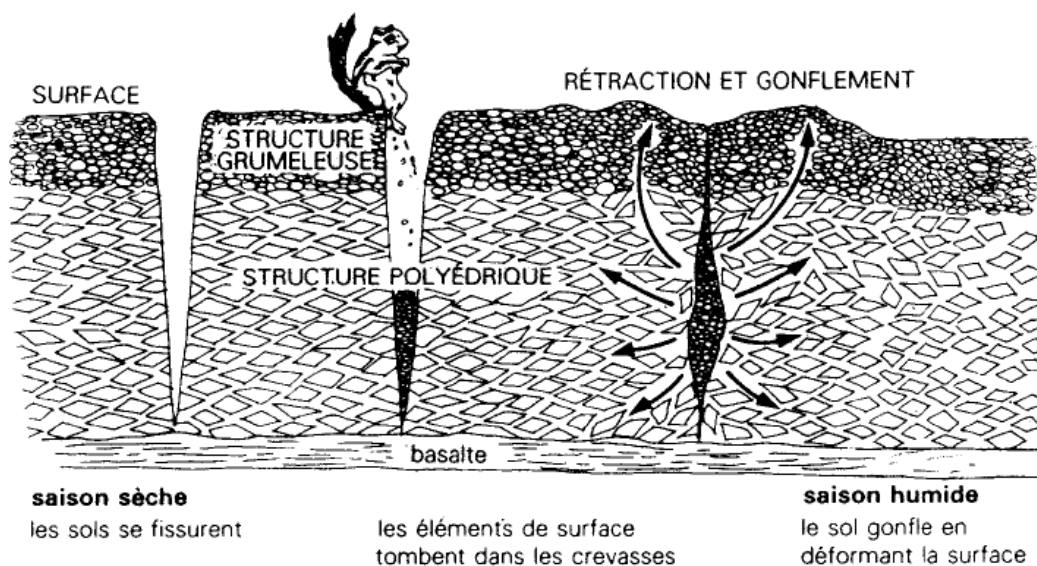


Fig. II.2: Phénomène de retrait gonflement.

d) Les glissements de terrain:

Déplacements par gravité d'un versant instable; de vitesse lente (de quelques mm à quelques dm par an), ils peuvent cependant s'accélérer en phase paroxysmale (jusqu'à quelques mètres par jour) pour aller même jusqu'à la rupture.

Ils peuvent intéresser les couches superficielles ou être très profonds (plusieurs dizaines de mètres): dans ce dernier cas, les volumes de terrain en jeu peuvent être considérables deux cent cinquante mille mètre cube (250000m³), lors du glissement l'Harmalière (Isère) en mars 1981, qui a affecté cinquante hectares. [1], [7]

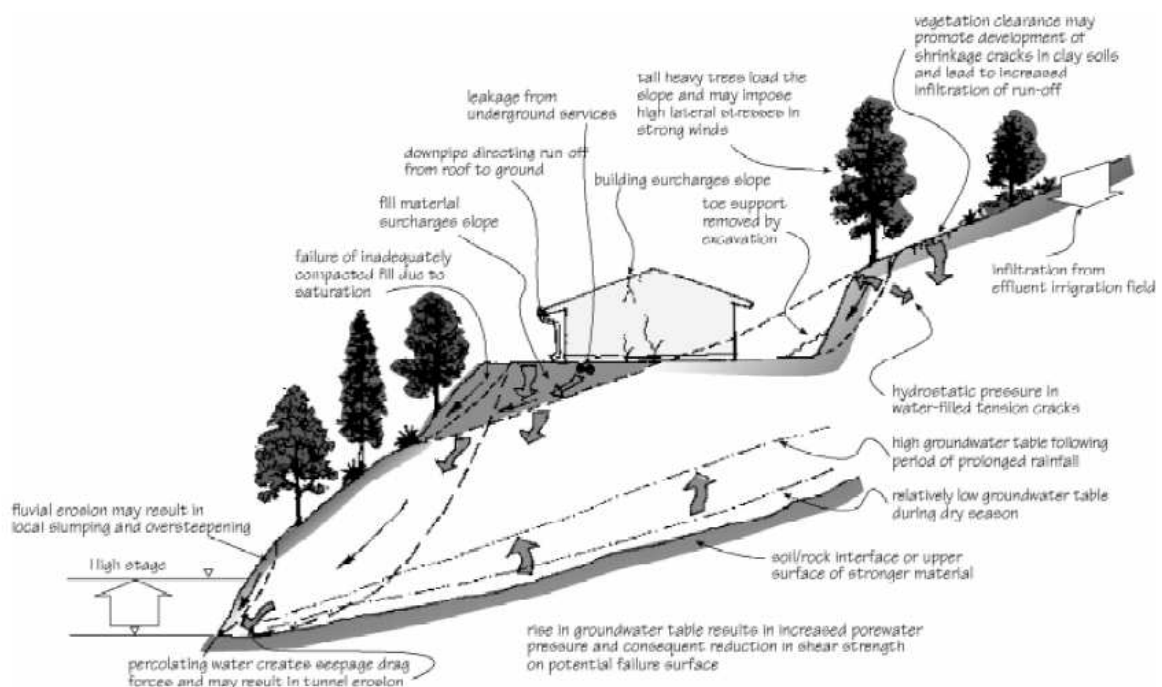


Fig. II.3: Rupture d'une pente par glissement.

II.3.2. Les mouvements rapides et discontinus:

a) Les effondrements:

Déplacements verticaux instantanés de la surface du sol par rupture brutale de cavités souterraines préexistantes, naturelles ou artificielles (mines ou carrières), avec ouverture d'excavations. L'inspection générale des carrières surveille les carrières de Paris et de la Petite

Couronne qui représentent 2349ha "minés", parfois sur plusieurs niveaux (gypse, craie et surtout calcaire).

La majorité des accidents humains sont le fait de la dégradation de carrières souterraines abandonnées, exploitées pour l'utilisation du calcaire ou du gypse.

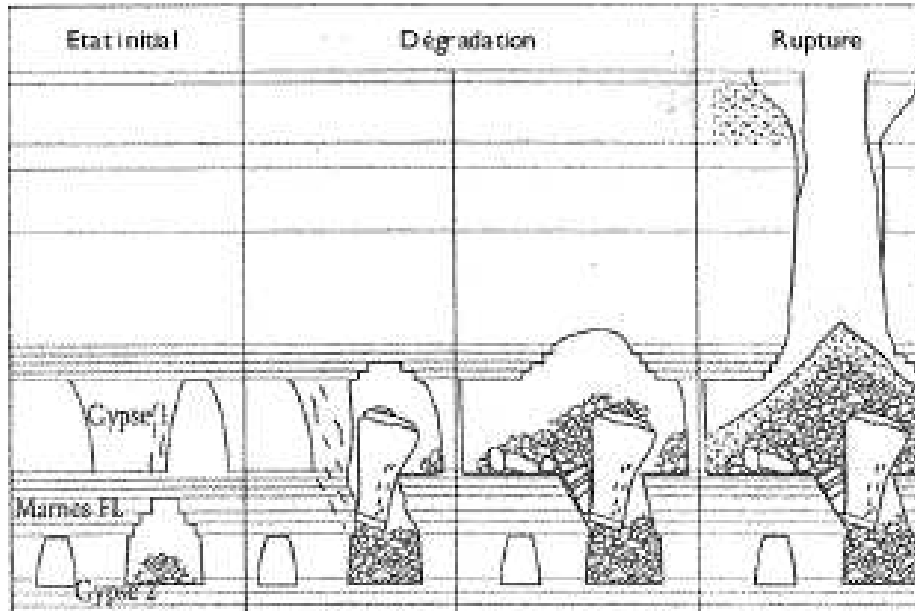


Fig. II.4: Effondrement de terrain.

b) Les écoulements et chutes de blocs:

Ils résultent de l'évolution de falaises allant, selon les volumes de matériaux mis en jeu, de la simple chute de pierres (inférieur à 0,1m³), à l'éroulement catastrophique supérieur à dix millions de m³ avec, dans ce dernier cas, une extension importante des matériaux éboulés et une vitesse de propagation supérieure à cent kilomètre par heure.

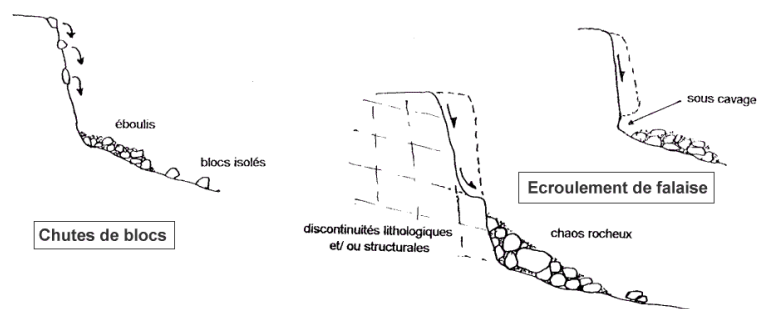


Fig. II.5: Chute de blocs.

c) Les coulées boueuses et torrentielles:

Phénomènes caractérisés par un transport de matériaux sous forme plus ou moins fluide:

- Coulées boueuses sur des pentes, par dégénérescence de certains glissements avec afflux d'eau.
- Coulées torrentielles dans le lit de torrents au moment des crues.
- Laves liés à l'activité volcanique. [1], [7]

II.4. EXEMPLES DE MOUVEMENT DE TERRAIN A TRAVERS LE MONDE:

II.4.1.La Conchita/Californie:

Les grands mouvements de plusieurs millions de mètres cubes peuvent modifier de façon très importante le relief d'une région. La plupart du temps, leur vitesse de déplacement est de quelques millimètres ou centimètres par an, mais ils peuvent subir une accélération brutale (quelques mètres par jour) et surtout dégénérer en coulée au contact de l'eau (fortes pluies, fonte des neiges...etc.). C'est alors qu'ils sont les plus dangereux. [8]



Photo II.1: La Conchita [Etats Unis (1996)].

II.4.2 Les coulées boueuses /Rio de Janeiro:

Appelées aussi "glissements de terrains liquides" qui sont très souvent la conséquence de la déforestation. La couche superficielle du sol, soumise à de fortes précipitations, se décroche et glisse en amas visqueux le long de la pente.



Photo II.2: Coulée de boue. Mexique (1996)
[Bureau de recherche géologique et minière]

Les favelas (bidonvilles) qui poussent comme des champignons sur les collines autour de Rio de Janeiro y sont particulièrement exposés. Les coulées sont caractérisées par le transport de matériaux sous forme plus ou moins fluide, sur les versants ou dans le lit des torrents (thalweg). Souvent rapides et extrêmement dangereuses, les coulées sont déclenchées par un excès d'eau (pluies exceptionnelles, fonte des neiges ou d'un glacier...etc.). [8]

II.4.3 Chutes de blocs:

Les chutes de blocs proviennent de la dégradation d'une falaise ou d'un versant rocheux.



**Photo II.3: Une "écaille" rocheuse Maupas. France
[Laboratoire centrale de pont et chaussée (1996)]**

II.4.4. Cavités souterraines:

Qu'il s'agisse de cavités naturelles lentement rongées par l'eau durant des millénaires ou de carrières souterraines ayant servis à l'extraction de minerai et de matériaux de construction, il est évidemment plus dangereux de vivre au dessus d'un trou qu'à côté.



**Photo II.4: Effondrement d'une cavité naturelle par dissolution du gypse
Bargement. France [1996]**

II.4.5. Les tassements différentiels:

Le sous sol de la terre regorge de rivières, de lacs souterrains et de nappes phréatiques qui participent activement au cycle de l'eau. Dans les régions humides (marais, marécages, lagunes...etc.) certains sols argileux ou tourbeux peuvent gonfler et se tasser sous l'effet de l'eau ou, au contraire, de la sécheresse. Dans les deux cas, ceci a de graves conséquences pour les constructions si on n'y prend pas garde. La tour de pise est un exemple de bâtiment construit sur un sol compressible et dont l'édification a posée des problèmes à des générations d'architectes. [8]



Photo II.5: La tour de pise [Italie 1990].

II.4.6. Falaise de Belle Fontaine:

Un éboulement tel celui du 17 octobre 1991 à Belle fontaine en Martinique peut être cité en exemple, d'une part de l'impossibilité d'empêcher le déclenchement du mécanisme, et d'autre part de ce qui peut être entrepris en matière de prévention.

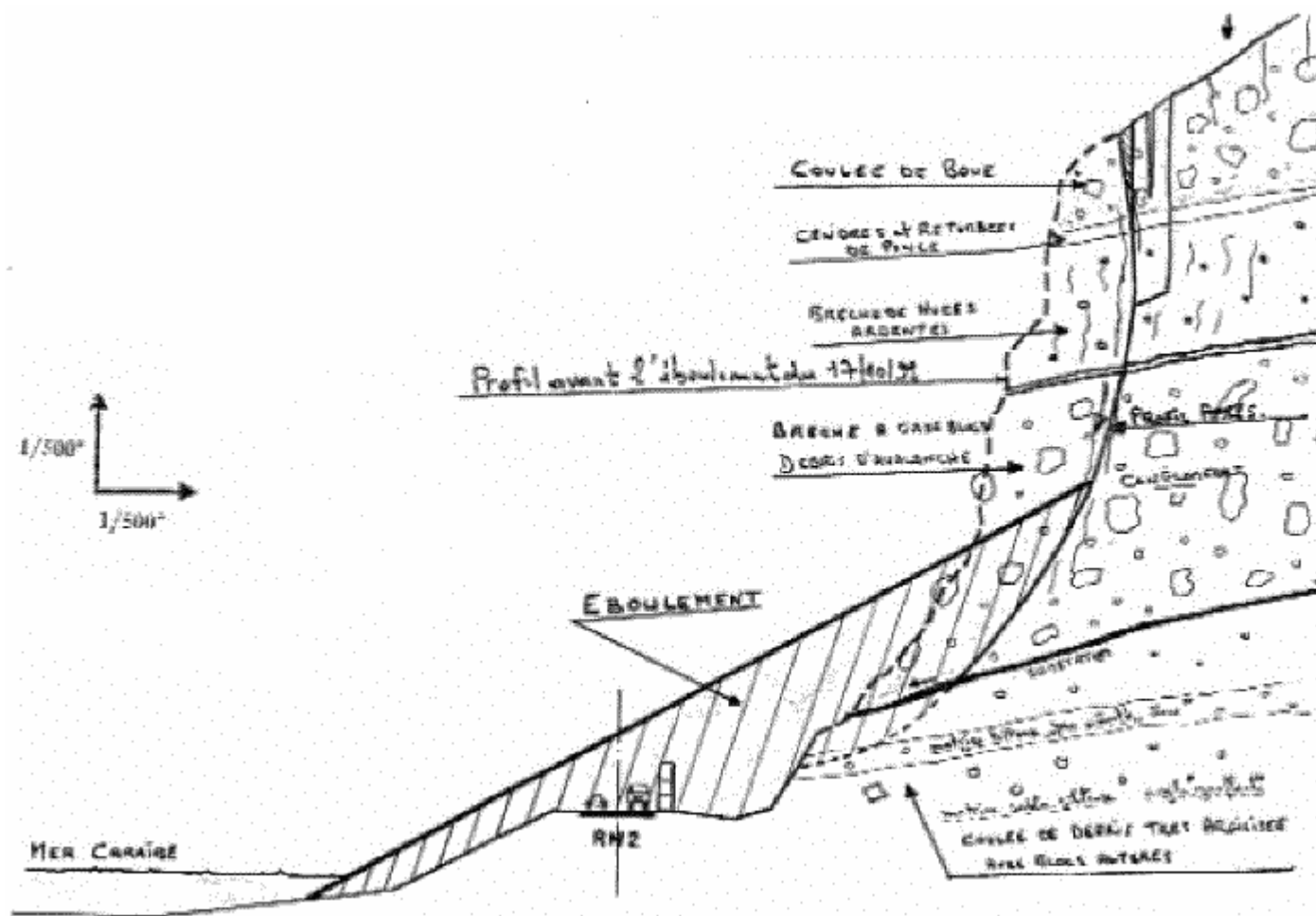


Fig. II.6: Falaise de Belle Fontaine.

En Martinique, des mouvements de terrain, d'importance variée, se produisent chaque année durant ou juste après la saison des pluies (d'août à novembre). Parmi ces mouvements, les glissements de terrain sont à la fois les plus fréquents et les plus problématiques vis-à-vis de l'occupation du territoire. Le long de la côte des Caraïbes, entre Fort-de-France et Saint-Pierre, de hautes falaises instables représentent une menace constante pour la route nationale 2 qui risque à tout moment d'être coupée, privant ainsi la zone Nord des Caraïbes de principale voie de communication avec le reste de l'île.

C'est ce qui arriva, le 17 octobre 1991 vers 22 h 00, lorsqu'un éboulement rocheux estimé à cent mille mètre cube (100000m³) se produisit dans la partie Nord de la falaise de Belle fontaine.

Cet éboulement recouvrit la route jusqu'à la mer sur environ 200m de large, mais ne provoqua heureusement aucune victime à cette heure de très faible trafic. Par contre, les travaux de dégagement de la route et les études géologiques et géotechniques nécessaires à la mise en sécurité de cette zone stoppèrent la circulation durant 24 jours sur cet axe routier économiquement vital pour l'île.



Photo II.6: Vue aérienne de l'éboulement de la falaise de Belle Fontaine [1991].

Etant donné la structure géologique complexe de la falaise de Belle Fontaine (formations hétérogènes, variations latérales et verticales de la lithologie), il était nécessaire de considérer le comportement à l'érosion et l'aléa "éboulement rocheux" qui en découle, pour chaque zone prise séparément.

Après examen de l'ensemble de la falaise, il apparaît que l'éboulement du 17 octobre 1991 résulte de la combinaison de quatre facteurs d'instabilité existant dans cette zone ; il n'a cependant pas été possible de déterminer lequel de ces facteurs a été le plus déterminant dans le déclenchement du phénomène. Ces facteurs sont:

- Hauteur et escarpement: la falaise atteint sa hauteur maximum (environ 90m) dans cette zone, et sa pente est subverticale avec, localement, des surplombs.

- Lithologie: il existe un contraste lithologique important entre la formation basale très argilisée (dépôts d'avalanche de débris) et les formations supérieures (brèche de nuée ardente) moins altérées et plus perméables.

- Eau: plusieurs types de circulation d'eau affectent les formations de la falaise:

- a) Infiltration verticale des eaux de pluie à travers les formations supérieures qui présentent une perméabilité à la fois matricielle et de fracture.

- b) Infiltration horizontale des eaux souterraines à travers les dépôts (brèche de nuée ardente, dépôts de cendres et ponces) reposant sur la formation basale argilisée.

- c) Erosion par les eaux de ruissellement du talus argileux de la base de la falaise, conduisant localement à des sous-cavages.

- Structure: deux observations permettent d'associer la surface de rupture à une discontinuité structurale préexistante:

- a) Une partie de la brèche de nuée ardente, toujours en place et située au Nord de l'éboulement, est très fracturée.

- b) La cicatrice de l'éboulement correspond à une surface de rupture pratiquement plane.

Il est important de noter que l'éboulement en masse ne résulte pas d'un simple effet gravitaire, mais d'un mouvement le long d'une discontinuité structurale, provoqué par un glissement de pied sur la formation basale argilisée dont le toit se prolonge en direction de la mer. [6]

II.4.7. Le glissement de Villard des Dourbes, Commune de Digne les bains:

Le glissement de terrain est situé sur la commune de Digne les bains, dans Les Alpes de Haute Provence. Ce glissement se manifeste sur une faible pente de 9° seulement. L'ampleur du glissement, sa rapidité et le contexte, la destruction matérielle à proximité du hameau, confèrent à ce phénomène un caractère d'événement exceptionnel.

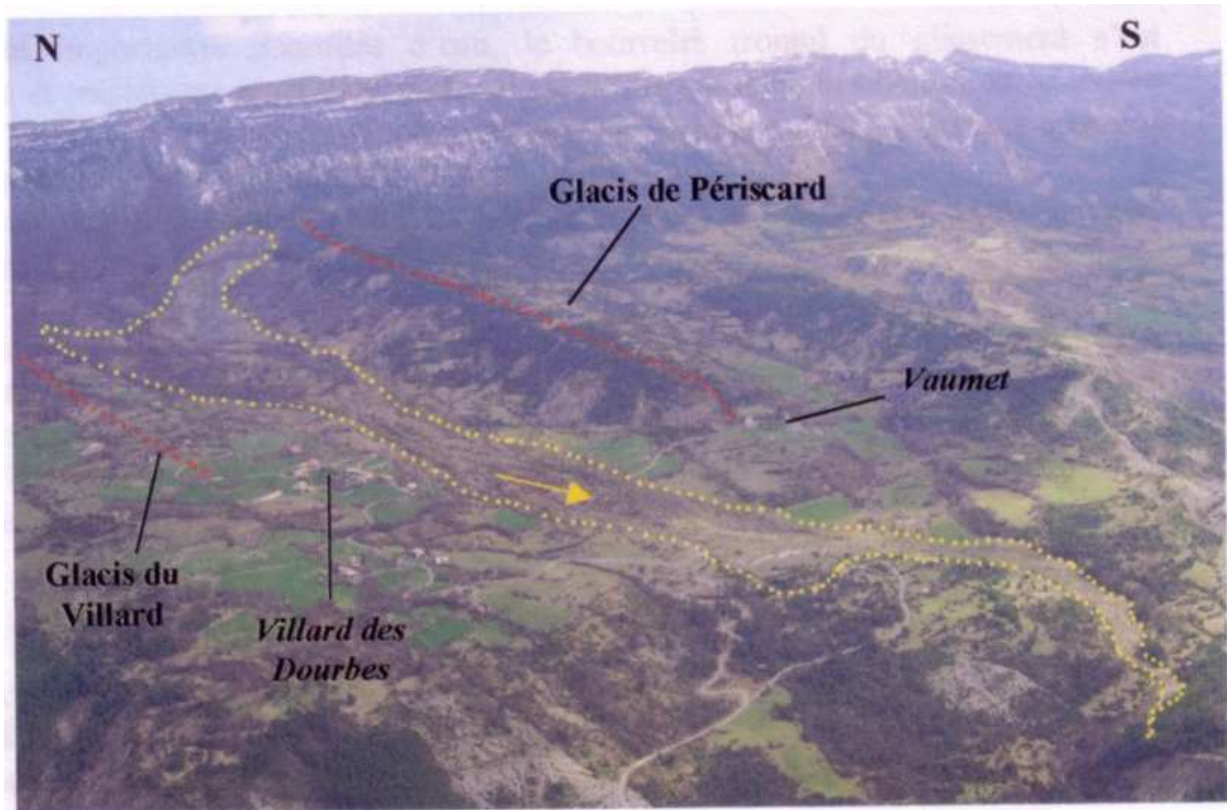


Photo II.7: Morphologie du glissement [2002].

Après un scénario de sécheresse durant un an, de fortes pluies trempent les terrains. Le 26 et 27 mai 2002 un premier glissement de terrain s'était produit au lieu dit «La Colette» Il présentait une morphologie classique, circulaire. Ses dimensions étaient les suivantes:

- 2 arrachements de 80mètres de rejet cumulé et un bourrelet aval.
- 720m de longueur totale.
- 150m de large à l'aval.
- 200m de dénivelé.
- Surface de 11ha.

- Volume estimé à 200 000m³.

Ce glissement a affecté une zone boisée, une piste forestière, les terrains à l'aval présentaient une pente moyenne faible de 15% et étaient constitués d'une succession de terrasses drainées par des petits ravins.

Après des épisodes de pluviosité exceptionnelle, les terrains sont imbibés d'eau et le mouvement se manifeste à nouveau.

Le 17 décembre 2002, la commune de Digne les Bains fait l'alerte suite à la rupture de la canalisation d'alimentation en eau potable allant du Villard à Vaumet et située une vingtaine de mètres au dessus du chemin de Vaumet. L'examen rapide des terrains en amont montre:

- Une fissure latérale du Sud nette sur environ 800m.
- Une fissuration discontinue au Nord à environ 50m.
- La déstructuration générale des terrains entre les deux limites.
- Le développement de bourrelets de 50m en amont du chemin de Vaumet.

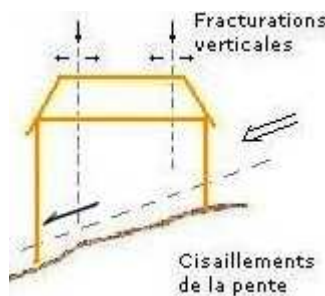


Fig. II.7: Schéma du glissement.

Ce nouveau phénomène prend la forme d'un glissement généralisé, complexe dont l'aspect évoque les avalanches de plaques. Un suivi topographique a également été mis en place pour détecter les mouvements. La propagation des fissures est rapide et progressive. La route située en contrebas, reliant le Villard et Vaumet a été emportée à son tour et les réseaux électriques téléphoniques et d'eau courante ont été coupés.

Début février la route menant au Villard est cisailée puis détruite par le glissement. Une piste carrossable sera réalisée pour la remplacer plus au Nord.

En février, à cause des apports d'eau permanents du torrent, la langue terminale du glissement a continué d'évoluer avec une vitesse de propagation atteignant dix mètres par jour.

Depuis le mois d'avril 2003 le glissement semble s'être stabilisé et la langue terminale est bloquée dans le ravin de la Rouvière. L'absence de précipitations et les très fortes chaleurs

de l'été 2003 ont réduit les apports en eau et durci la coulée, ce qui a favorisé la stabilité du mouvement. A l'amont, le glissement est en forme de coude: initialement orienté Sud Est-Nord Ouest, il dévie dans le vallon du Vernier et prend une direction vers l'Ouest. A l'aval, il se sépare en deux fronts: la coulée qui se dirige dans le ravin de la rivière puis dans les gorges et une zone compressive plus au Nord qui pousse les terrains vers le Nord Ouest.

Les contours du glissement présentent des zones chevauchantes essentiellement sur la moitié aval et la rive droite; il s'agit en fait d'un recouvrement des terrains en place par les masses mobilisées venant de l'amont. Les matériaux glissés viennent déborder latéralement sur les rives du glissement.

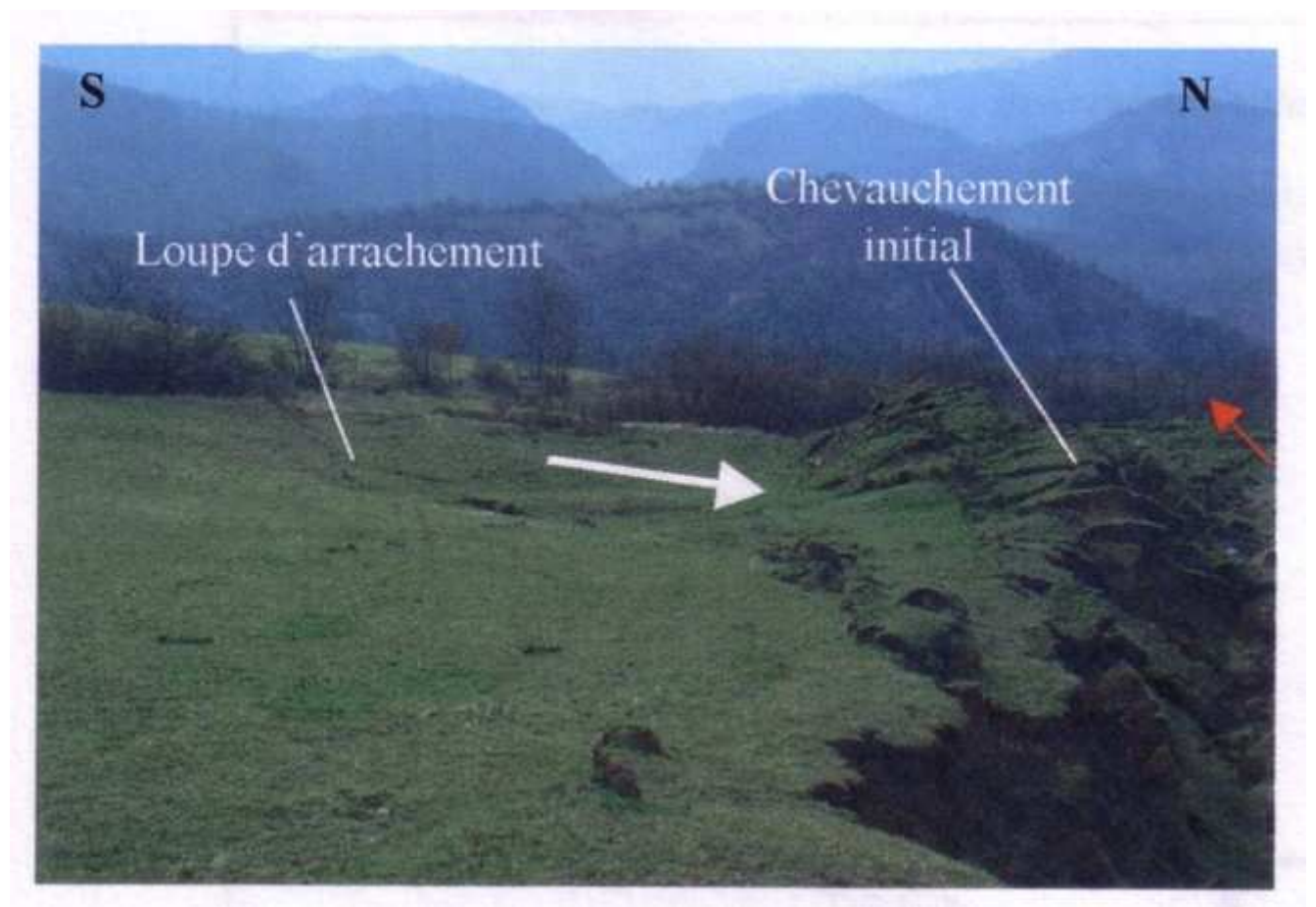


Photo II.8: Chevauchement initial en compression.

Les zones en compression sont rencontrées lorsque le glissement exerce une poussée depuis l'amont sur les terrains en place. On retrouve de telles zones au niveau du front Nord du glissement. Elles sont caractérisées par de petits bourrelets compressifs.



Photo II.9: Poussée des terres.

Au delà de l'escarpement principal qui forme une zone d'arrachement de cinquante mètre de haut, on observe de nombreuses loupes d'arrachements plus petites sur les contours du glissement dans la moitié amont. Sous l'effet de la vidange du glissement, les matériaux ont été aspirés et entraînés vers l'aval. La suppression de butée qui en résulte tend à inverser la tendance: les matériaux initialement comprimés latéralement subissent progressivement une décompression. Il en résulte la création de zones d'arrachement.

Le glissement de terrain se développe sur la formation des terres noires (Bathonien supérieur à Oxfordien inférieur) qui correspondent à des marnes feuilletées gris sombre avec intercalations de nodules calcaires. Elles ont un pendage moyen avec une inclination de 30° vers le Sud-Est c'est-à-dire inverse à la pente topographique.

Le secteur étant situé structurellement dans la nappe de Digne, les faciès sont de type dauphinois et présentent des épaisseurs assez importantes. D'Ouest en Est il est possible de noter quatre faciès. Le substratum marneux du Bajocien est recouvert de formations superficielles constituées d'anciens éboulis et d'épandages à gros blocs calcaires dans une

matrice sablo argileuse et de matériaux d'altération des terres noires.

Les terres noires (Bathonien, Callovien, Oxfordien): paquet de marnes grises d'une épaisseur de six à sept cent mètres. Le substratum marneux de l'Argovien est surmonté par un plaquage de l'Oxfordien moyen de type éboulis à gros blocs (les blocs provenant du démantèlement de la barre calcaire des Dourbes: érosion régressive) relativement instable (glissement de terrains actifs ou récents mentionnés sur la carte géologique) et d'épaisseur très variable. [9], [10]

II.4.8. Glissement de terrain à Constantine:

A côté des catastrophes naturelles qui ont ébranlé des villes algériennes ces dernières années, Constantine est touchée par les phénomènes des glissements de terrain. Selon les services de la Wilaya, le phénomène affecte une superficie de cent vingt hectares abritant quinze mille logements pour une population concernée estimée à cent mille habitants. Il en est ainsi de la rue Kitouni, de l'avenue Belouizdad et de certaines des ruelles qui leur sont adjacentes, ou encore de l'avenue Rahmani et du côté de Bellevue., la mosquée Emir-Abdelkader, et les cités de Bardo, Siloc, Aïn El Bey, Boussouf et Zaouch, la liste n'est tout de même pas close.

Ce phénomène semble du à la conjonction d'un certain nombre de causes: fragilité naturelle des lieux, infiltration des eaux pluviales, mais surtout à la vétusté de réseau de distribution d'eau qui entraîne dans le sous-sol une perte très importante, et qui mine alors les fondations des habitations.

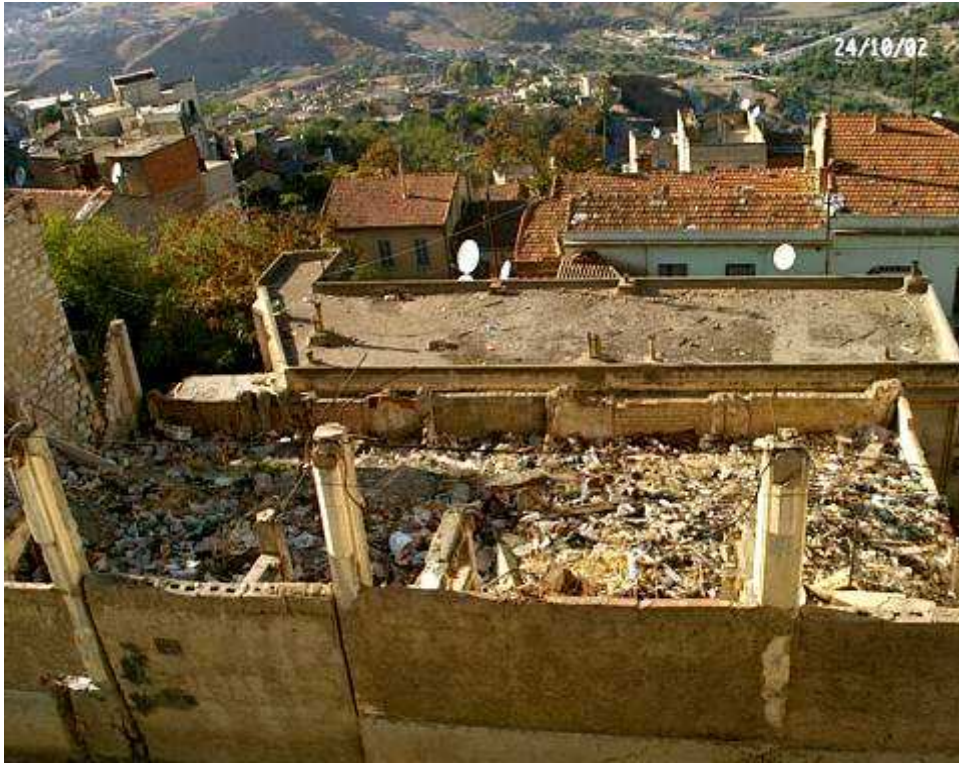


Photo.II.10:Glissement de terrain à Belouizdad. [2002].



Photo.II.11: Rue de Verdun.[2002].

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

II.4.9. Retrait et gonflement des argiles de la Wilaya de M'sila:

Un recensement des sinistres sécheresses a été effectué sur une période de dix ans (1989 à 2000) par l'organisme de contrôle technique des constructions CTC, auprès des différentes communes de la de la Wilaya de M'sila, a montré que les communes les plus atteintes par le phénomène de retrait gonflement sont les communes du Nord: Ain el Hadjel, Berhoum, Chellal, Hammam Dhalaa, Maadid, M'sila, Ouled Addi Gueballa, Sidi Aissa, Sidi Hadjras.



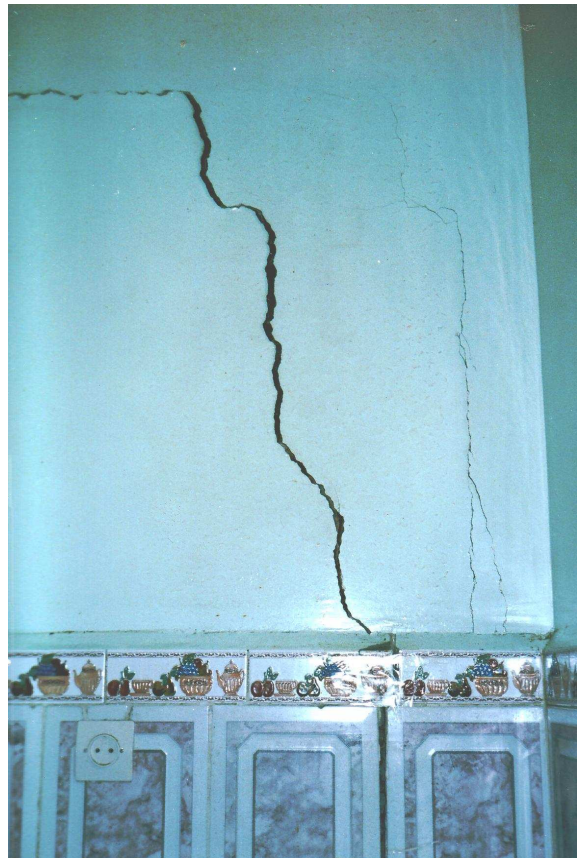
**Photo II.12: Fissuration de la poutre
Ain el Hadjel. [C T C].**



**Photo II.13: Fissuration du mur
Ain el Hadjel. [C T C].**



**Photo II.14: Fissuration du mur
Sidi Aissa [C T C].**



**Photo II.15: Fissuration des cloisons
Ouled Addi Gualla [C T C].**

II.4.10. Le phénomène de retrait et gonflement:

Les phénomènes de retrait gonflement de certains sols argileux et des formations géologiques argileuses affleurantes provoquent des tassements différentiels qui se manifestent par des désordres affectant principalement le bâti.

Ces mouvements différentiels sont dus à des variations de volume du sol ou des formations lithologiques affleurantes à sub-affleurantes, sous l'effet de modification de la teneur en eau.

Ces variations peuvent s'exprimer soit par une augmentation de volume, soit par une réduction de volume. Elles concernent toutes les formations argileuses, mais leur ampleur est particulièrement importante pour celles qui contiennent certains minéraux argileux, appartenant au groupe des smectiques (dont fait partie la montmorillonite).

Sous climat tempéré, et notamment au sein des bassins sédimentaires, les argiles situées à faible profondeur sont souvent déconsolidées, humidifiées et ont épuisé leur potentiel de gonflement à l'état naturel. Mais elles sont dans un état éloigné de leur limite de retrait (teneur en eau à partir de laquelle toute diminution de cette teneur provoquera une fissuration du matériau argileux par dessiccation) et peuvent se rétracter si leur teneur en eau diminue de façon notable. La plupart des désordres constatés sont donc consécutifs à des périodes de sécheresse prolongée au cours desquelles apparaissent, sous l'effet principal de l'évapotranspiration, des pressions interstitielles négatives (succions) qui provoquent un tassement. [11], [12]

II.4.11. Facteurs intervenant dans le retrait gonflement:

a) Nature du sol:

La nature lithologique du sol constitue un facteur de prédisposition prédominant dans le mécanisme de retrait gonflement. La procédure d'étude de la nature lithologique du sol comporte un inventaire des formations affleurantes à sub-affleurantes, puis leur cartographie. La majorité des dossiers consultés (environ 80%) montre que l'origine géologique des sinistres est souvent représentée par une formation géologique argileuse ou marneuse bien définie.

Or, concernant la nature des formations géologiques, les éléments qui influent sur la susceptibilité au retrait gonflement sont en premier lieu la lithologie de la formation (c'est à dire principalement la proportion de matériau argileux, autrement dit d'éléments fins inférieurs à 2 μm).

En moindre proportion mais non négligeable, la géométrie de la formation argileuse influe sur la susceptibilité au retrait gonflement. En effet, une formation sera d'autant plus sujette à ce phénomène qu'elle sera en position superficielle et de géométrie épaisse et continue.

Cela dit le facteur prédominant, qui détermine le degré de susceptibilité d'une formation argileuse au phénomène de retrait gonflement, est lié à sa composition minéralogique. Une formation sera d'autant plus sensible au phénomène que sa fraction argileuse (au sens granulométrique) contiendra une forte proportion de minéraux argileux dits gonflants. En effet, certains minéraux argileux présentent, par rapport aux autres, une aptitude nettement supérieure vis-à-vis du phénomène de retrait gonflement. Il s'agit essentiellement des smectites (montmorillonites), de certains minéraux argileux inters stratifiés, de la vermiculite et de certaines chlorites.

b) L'Hydrogéologie:

Parmi les facteurs de prédisposition, l'hydrogéologie constitue un des facteurs environnementaux dirigeant les conditions hydrauliques in situ. Or, la présence d'une nappe phréatique rend plus complexe le phénomène de retrait gonflement. En effet, les conditions hydrauliques in situ (teneur en eau et degré de saturation) varient dans le temps non seulement en fonction de l'évapotranspiration (dont l'action est prépondérante sur une tranche très superficielle de l'ordre de 1 à 2m d'épaisseur) mais aussi en fonction des fluctuations de la nappe éventuelle (dont l'action devient prépondérante en profondeur). Ces variations hydriques des sols se traduisent, pour des formations argileuses sensibles, par des variations de leurs caractéristiques mécaniques.

La présence d'une nappe permanente à faible profondeur permet généralement d'éviter la dessiccation de la tranche de sol superficielle. Inversement, un rabattement de cette nappe (sous l'effet de pompages ou d'un abaissement généralisé du niveau), ou le tarissement naturel des circulations d'eau superficielles en période de sécheresse, aggrave la dessiccation de la tranche de sol soumise à l'évaporation.

c) La Géomorphologie:

La topographie de surface constitue un facteur permanent de prédisposition et d'environnement qui peut conditionner la répartition spatiale du phénomène de retrait-gonflement. La présence d'une pente favorise le ruissellement et le drainage par phénomène gravitaire, tandis qu'une morphologie plate sera davantage susceptible de recueillir des eaux stagnantes qui ralentiront la dessiccation du sol. Par ailleurs, un terrain en pente exposé au Sud sera plus sensible à l'évaporation du fait de l'ensoleillement, qu'un terrain plat ou exposé différemment. En outre, les formations argileuses et marneuses qui affleurent sur le flanc des vallées peuvent occasionner, localement, un fluage lent du versant et la formation de loupes argileuses. Ce phénomène vient s'ajouter aux désordres consécutifs à la seule dessiccation du sol.

d) La Végétation:

Il est désormais avéré que la présence de végétation arborée à proximité d'une maison peut constituer un facteur déclenchant du phénomène de retrait gonflement, même s'il n'est souvent qu'un facteur aggravant de prédisposition. En effet, les racines soutirent par succion (mécanisme d'osmose) l'eau du sol. Cette succion crée un gradient de la teneur en eau du sol qui peut se traduire par une dépression locale autour du système racinaire. Ce phénomène de succion peut donc provoquer un tassement localisé du sol autour de l'arbre. Si la distance au bâtiment n'est pas suffisante, cela entraînera des désordres dans les fondations (deux fois la hauteur de l'arbre).

e) La Climatologie:

Les phénomènes météorologiques exceptionnels constituent le principal facteur de déclenchement du phénomène de retrait gonflement. Les variations de teneur en eau du sol sont dues à des variations climatiques saisonnières. La profondeur de terrain affectée par les variations saisonnières de teneur en eau ne dépasse guère 1 à 2m sous nos climats, mais peut atteindre 3 à 5m lors d'une sécheresse exceptionnelle, ou dans un environnement défavorable (végétation proche).

Les deux paramètres importants sont les précipitations et l'évapotranspiration. En l'absence de nappe phréatique, ces deux paramètres contrôlent en effet les variations de teneur en eau dans la tranche superficielle des sols.

f) Les Facteurs anthropiques:

Il s'agit d'un autre facteur de déclenchement, qui n'est pas lié à un phénomène climatique, par nature imprévisible, mais à une action humaine. En effet, les travaux d'aménagement, en modifiant la répartition des écoulements superficiels et souterrains, ainsi que les possibilités d'évaporation naturelle, sont susceptibles d'entraîner des modifications dans l'évolution des teneurs en eau de la tranche superficielle de sol. En particulier, des travaux de drainage réalisés à proximité immédiate d'une maison peuvent provoquer des mouvements différentiels du terrain dans le voisinage. Inversement, une fuite dans un réseau enterré peut entraîner un mouvement consécutif à un gonflement des argiles. Par ailleurs, la présence de sources de chaleur en sous-sol (four ou chaudière) près d'un mur peut, dans certains cas, aggraver voire déclencher la dessiccation du sol à proximité.

g) Les Défauts de construction:

Il ne s'agit pas à proprement parler d'un facteur de déclenchement mais plutôt d'un facteur de prédisposition dont l'existence peut être révélée à l'occasion d'une sécheresse exceptionnelle et qui se traduit par une aggravation des désordres. L'importance de ce facteur avait déjà été mise en évidence par des études, lesquelles montraient que la plupart des sinistres concernaient des maisons individuelles dépourvues de chaînage horizontal et fondées sur semelles continues peu ou non armées et peu profondes (40 à 80cm). L'examen de nombreux dossiers d'expertises réalisées dans la Wilaya de M'sila confirme qu'une forte proportion des maisons déclarées sinistrées présente des défauts de conception ou de réalisation des fondations (souvent trop superficielles, hétérogènes ou fondées dans des niveaux différents. [12], [13])

II.5. CONCLUSION:

La majorité des terrains est concernée par le risque de mouvement de terrain, avec des fréquences variables. Leur répartition spatiale est guidée par la topographie et par la géologie. Ils concernent non seulement les régions montagneuses et côtières, mais aussi les bassins à forte densité de vides souterrains, les sols argileux sensibles aux variations de teneur en eau. Leur occurrence est très marquée par les variations climatiques (périodes de fortes pluies, fonte des neiges, sécheresse) mais peut aussi être liée à des secousses sismiques ou encore être induite par les actions anthropiques.

TROISIEME CHAPITRE

CARACTERISATION GEOTECHNIQUE DU SITE

III.1. INTRODUCTION:

Il est indéniable de reconnaître les progrès énormes réalisés par la micro informatique dans tous les domaines de génie civil. Actuellement l'ensemble des données géologiques et géotechniques relatives à un site quelconque peuvent être stockées et traitées sous différentes formes (lithologie, paramètres physico mécaniques, ...etc.), pour permettre à tout utilisateur de pouvoir déterminer le comportement d'un site.

Une approche représentative des résultats d'étude a été prise en compte pour une meilleure compréhension des comportements des sols en fonction de leurs propriétés et de leur nature.

Une figure géométrique dont la forme et les dimensions reflètent les caractéristiques d'identification à savoir: Courbe de distribution des dimensions des particules, plasticité et pourcentage des particules fines $<2\mu\text{m}$, est appelée empreinte. L'application de cette approche est basée sur l'idée d'une perspective importante pour stocker et faciliter l'interprétation des données géotechniques et pour permettre de prédire le comportement des sols. Cette méthode permet l'interprétation des données géotechniques et facilite leur informatisation en vue de permettre aux ingénieurs d'identifier et classer facilement les sols à partir de leur empreinte. La technique de l'empreinte a été appliquée à trois sites connus par leur instabilité. [14]

III.2.ESSAI DE CONSTITUTION D'UNE BANQUE DE DONNEES GEOTECHNIQUES DU SOUS SOL DE M'SILA:

Les données géotechniques qui ont pu être recueillies sont issues de plusieurs sources:

- Organisme nationale de contrôle technique de la construction, antenne de M'sila(C T C).
- Laboratoire de contrôle des travaux publics, antenne de M'sila (L C T P).
- Direction des travaux publics de la Wilaya de M'sila (D T P).
- Direction de l'hydraulique de la Wilaya de M'sila (D H).
- Laboratoire Aiche.

On a consulté les études de sol relatives à chaque projet de construction au niveau des communes sinistrées de la Wilaya de M'sila; compte tenu que les études de sol ne comportent quelques fois que la détermination de la contrainte admissible, sans se soucier de déterminer les

autres paramètres géotechniques relatifs au sol; et qu'on ne retrouve quelques fois que des feuilles d'essai éparpillées çà et là. On a consulté aussi les expertises relatives aux projets sinistrés avec étude de sol, qui ont été établies par les organismes de contrôle; ainsi que celles qui ont fait l'objet de mémoire de fin d'étude. Toutes ces données ont été arrangées et triées afin d'établir la banque de données. On a trouvé énormément de difficulté pour la récolte et le tri des données, les dossiers étaient éparpillés çà et là, incomplets, comportant parfois des valeurs erronées et des courbes tronquées, leur arrangement nous a pris beaucoup de temps.

L'essai de constitution d'une banque de données géotechniques traite de l'acquisition des données et du stockage informatique des divers essais géotechniques réalisés au sein des différents laboratoires des travaux publics pour les sites touchés par le phénomène des mouvements de terrains ainsi que l'utilisation pratique de celles-ci. Cette banque peut-être actualisée, éditer des informations, modifier ou supprimer certaines données qui seront de l'avis du géotechnicien erronées.

Pour atteindre cet objectif, nous avons adopté une méthodologie générale depuis la collecte des données jusqu'à l'exploitation concrète de la base de données.

Une première étape a consisté à une description de la base des données, en analysant les données à stocker, et en structurant les fichiers des données.

Cette phase de description a été suivie par l'étape de la réalisation concrète du schéma conceptuel du traitement de la banque de données, avec le stockage des données, le tri des données, l'édition de l'information géologique et géotechnique. Enfin, on attaque la phase la plus séduisante, qui est la phase de l'exploitation directe de ces données.

III.2.1. Collecte des données et organisation de la base géotechnique:

C'est la première phase abordée lors de la conception de la base de données géologique et géotechnique de M'sila. Cette collecte des données réalisée à M'sila dans les différents organismes publics détenant cette information a délivré un nombre considérable de données.

La confidentialité des données de sondages nous a obligés de recueillir manuellement l'information utilisant ainsi une partie importante de notre temps.

De plus, l'archivage des données de sondages n'était pas systématique et souvent désordonné, certains dossiers ou pièces importantes telles que les plans d'implantations des sondages, les coupes de sondages pouvant toujours manquer.

Le reste de l'information collectée a été varié, documents de synthèse et documents analytiques provenant de divers organismes. Dans ce cas, la principale difficulté réside dans le volume qu'il faudrait consulter avant l'obtention des renseignements désirés.

Les dossiers géologiques et géotechniques étudiés seront scindés en deux grandes familles:

-Les données géologiques.

-Les données géotechniques.

Ces dernières seront scindées en deux groupes:

Le groupe des données qualitatives ou sémantiques traduit par des mots ou des phrases (description lithologique, adresse du chantier, site ou zone).

Le groupe des données quantitatives traduit par des valeurs numériques telles que la teneur en eau, la limite de liquidité, le degré de saturation ...etc.

Pour faciliter l'analyse et la sélection des données et choisir un site à étudier définitivement, la Wilaya de M'sila a été divisée en site (ou zone). Cette notion de site va être introduite dans la structure même dans la base.

On a (9) neuf sites instables sur la Wilaya de M'sila

- Ain el Hadjel.

- Berhoum.

- Chellal.

- Hammam Dhalaa.

- Maadid.

- M'sila.

- Ouled Addi Gueballa.

- Sidi Aissa.

- Sidi Hadjras.

En enterrant chaque site on aura un écran de saisie sur lequel on trouve le nom du site, la profondeur, le numéro du sondage et la lithologie et on saisie les caractéristiques physico-mécaniques du site ciblé.

III.2.2. Analyse et sélection des données:

En analysant les données obtenues de divers organismes, on constate une répartition irrégulière et discontinue dans la collecte des données. Ceci est dû essentiellement d'une part à l'utilisation des études entrepris sur les différents sites et aux sondages qui ont été réalisés en ayant aucun choix dans leurs localisations, et d'autre part à la non disponibilité de toute l'information existante. (l'accès à certaines données nous a été refusé).

Devant cette diversité et irrégularité des données, nous avons optés pour les sites les plus touchés par le phénomène des mouvements de terrains de la Wilaya de M'sila qui ont une représentativité assez complète, assurant ainsi une certaine régularité et fiabilité des résultats. Pour l'utilisation de l'information et la réalisation de la base de données informatique cohérente, nous avons effectué une homogénéisation de toutes les données à stocker, en éliminant les sondages mal situés ou sans plan d'implantation précis quelle que soit leur nature ou leur qualité. Cette sélection nous permet d'avoir suffisamment de garantie pour une fiabilité des données à stocker sur un support informatique.

III.2.3. Caractérisation des données retenues pour le stockage:

Les données sont regroupées à partir de dossiers d'origine diverse. A ce niveau de l'étude, le stockage et l'acquisition des données a été faite sur des tableaux avec le logiciel Excel. Il s'agit en effet de faire rentrer toutes les valeurs des différents dossiers site par site, sondage par sondage, lithologie qui regroupe les informations géologiques en fonction de la profondeur et les caractéristiques physico-mecanique à savoir: la teneur en eau naturelle(ω), le degré de saturation(S_r), le pourcentage des particules fines $<2\mu\text{m}(\%)$, les consistances limites(W_L, I_p), la pression de consolidation, l'indice de compressibilité (P_c, C_c), la cohésion et l'angle interne de frottement (C, ϕ). Toutes ces informations brutes sont à prendre avec précaution ou doivent être confronté d'une manière convenable pour pouvoir les utiliser avec les résultats de la littérature et les injecter dans des calculs de stabilité ou autre. Par ailleurs, les résultats obtenus des divers campagnes d'investigations des différents sites mise à part les essais d'identifications physiques qui sont un peu corrects, les valeurs des autres essais seront pris avec beaucoup de soin car ça dépend du type d'essais utilisés dans chaque cas.

Les données brutes des différents sites ont été stockées et traitées pour avoir une meilleure compréhension de ce sujet et afin de mieux traiter ces phénomènes d'instabilité. L'approche représentative des résultats d'essais prise en compte pour ces sols en fonction de leurs propriétés est une empreinte de sol. [15]

III.3. CARACTERISATION GEOTECHNIQUE DES DIFFERENTS SITES CHOISIS:

On a été amené à effectuer un tri afin de retenir et de sélectionner les sondages les plus représentatifs, c'est à dire les sondages basés sur la consistance des données établies.

III.3.1. Méthodologie de classification des sols:

III.3.1.1. Technique de visualisation: Empreinte

La nature d'un sol peut-être caractérisée par une simple figure géométrique appelée empreinte construite à partir des indices d'identifications tels que l'indice de plasticité, l'activité et la courbe granulométrique. Ces différents éléments sont figurés graphiquement sur un tableau divisé en quatre quadrants. Le contour obtenu représente l'empreinte d'un sol. Elle peut-être comparée par superposition ou d'un simple coup d'œil à celle d'un autre sol. [16]

L'empreinte d'un sol qui consiste en l'abaque de plasticité représenté par le premier quadrant, l'abaque de l'activité des sols représenté par le second quadrant, la courbe d'analyse granulométrique au troisième quadrant et enfin le quatrième quadrant fermera l'empreinte de caractérisation d'un sol.

En examinant la figure III.1, on remarque:

- Dans le premier quadrant la droite de Casagrande [17] A qui a pour équation $I_p=0,73(W_L-20)$, sépare les argiles (CH, CL) des limons (MH, ML).
- Dans le deuxième quadrant qui caractérise l'activité des sols fins défini par Skempton [18], la position relative du point P_2 , ayant pour coordonnées (X_d %, I_p), peut facilement être visualisée par les droites d'activité égale à: $I_A= I_p/ X_{2\mu m}$. Les différents domaines d'activités: non active, active, extrêmement active sont respectivement délimités par les droites de valeur $I_A=0.5$, $I_A=1.5$, et $I_A=2.0$.
- Le troisième quadrant présente la distribution dimensionnelle des grains .Pour les sols fins (limon et argile) la courbe de distribution de l'empreinte est caractérisée par la valeur P_{90} et le point P_3 ayant comme abscisse $X_{2\mu m}$.
- Dans le dernier quadrant, le point P_4 a pour abscisse la limite de liquidité W_L et la même ordonnée que le point inférieure du troisième quadrant $d_{2\mu m}$.

Ainsi en connectant les cinq points on obtient une figure appelée empreinte ou endoscopie du sol, dont la forme et les dimensions donnent une information de base pour l'identification et la classification des sols, par conséquent une véritable caractérisation de ces sols. [19]

3.1.2. Premier site: M'sila

D'après la carte géologique de M'sila (au 1/50000), le terrain est traversé par des formations géologiques d'âge Quaternaire. Il s'agit d'alluvions récentes et ancienne constitués de limons fins argileux sableux, le terrain est recouvert par un remblai généralement d'un mètre. [3], [4]

Le tableau III.1 comprend les résultats de caractérisation physique des échantillons prélevés au niveau des sondages S₁-S₁₄; le tableau III.2 regroupe tous les résultats de caractérisation mécaniques obtenus sur des échantillons prélevés au niveau des quatorze sondages à partir des différentes études.

Tableau III.1: Caractéristiques physiques des sols de M'sila.

Sondage	Profondeur (m)	Lithologie	W (%)	S _r (%)	W _L (%)	I _p (%)	P _f <2μm (%)
S 1	1-1.5	sable marneux	13	45	40	17,1	37
	1.4-2.5	sable marneux	17	70	51	31,98	22
S 2	0.5-1.5	limon argileux	11	52	41	29	23
	4-4.5	argile sablo graveleuse	12	65	49	35	31
S 3	1-2.	limon avec trace de gypse	6	41	35	17,2	12
	3-3.5	limon graveleux	15	56	34	20,6	29
S 4	1.5-2	sable limoneux	16,1	58	30,8	16,6	26
	3.4-4.9	argile marneuse	13,8	45	40	22,32	20
S 5	2.5-3	marne argileuse sableuse	15	75	55	28	30
	3.5-4	marne argileuse sableuse	20	95	60	35	58
	6.4-6.8	argile marneuse	8,8	30	59,3	33,7	35
S 6	2-3.	argile avec trace de gypse	5,2	20	45,2	23,5	38
	4-5.	argile avec trace de gypse	6	20	50,9	25,6	45
	5-6.	argile avec trace de gypse	15,9	66	55,2	29,8	40
S 7	0.2-1	argile avec trace de gypse	21,5	70	61	30,3	50
	1-2.	argile avec trace de gypse	17,8	55	58,4	31	60
	2-3.	argile avec trace de gypse	8,6	41	65,8	36,5	58
	3-4.	argile avec trace de gypse	8,6	43	55,6	32,7	55
	4-5.	argile avec trace de gypse	25,9	80	56,4	30,5	35
	5-6.	argile avec trace de gypse	18,7	75	58,6	32,1	47
S 8	4-5.	argile avec trace de gypse	25,8	87	54	27,8	50
	6-7.	argile avec trace de gypse	24,4	80	52,9	29,6	40

Tableau III.2: Caractéristiques mécaniques des sols de M'sila

Sondage	Profondeur (m)	Lithologie	C (bars)	ϕ (°)	P _c (bars)	C _c (%)
S 1	1-1.5	sable marneux	0,34	35	2,06	0,218
	1.4-2.5	sable marneux	0,38	13,62	2,35	0,22
S 2	0.5-1.5	limon argileux	0,1	19	1,46	0,185
	4-4.5	argile sablo graveleuse	0,28	22	1,66	0,172
S 3	1-2.	limon avec trace de gypse	0,22	29	1,8	0,157
	3-3.5	limon graveleux	0,25	21,83	2,4	0,195
S 4	1.5-2	sable limoneux	0,15	30	2,4	0,19
	3.4-4.9	argile marneuse	0,6	18	1,11	0,2
S 5	2.5-3	marne argileuse sableuse	0,55	11	2,64	0,21
	3.5-4	marne argileuse sableuse	0,8	8	2,14	0,22
	6.4-6.8	argile marneuse	0,73	16,7	0,82	0,215
S 6	2-3.	argile avec trace de gypse	0,27	25	1,41	0,164
	4-5.	argile avec trace de gypse	0,35	31	1,81	0,194
	5-6.	argile avec trace de gypse	0,56	32	1,81	0,21
S 7	0.2-1	argile avec trace de gypse	0,83	11	2,99	0,232
	1-2.	argile avec trace de gypse	0,9	18	1,79	0,205
	2-3.	argile avec trace de gypse	0,76	9	2,51	0,235
	3-4.	argile avec trace de gypse	0,65	17	1,84	0,195
	4-5.	argile avec trace de gypse	0,78	19	1,4	0,165
	5-6.	argile avec trace de gypse	0,95	12	2,33	0,225
S 8	4-5.	argile avec trace de gypse	0,45	30	0,81	0,19
	6-7.	argile avec trace de gypse	0,55	15	2,2	0,215
S 9	1.5-3	marne argileuse sableuse	0,4	29	2,5	0,2

	3-3.5	marne argileuse sableuse	0,45	26	2,4	0,19
S 10	2-3.	marne argileuse sableuse	0,4	27	2	0,15
	3.5-4	marne argileuse sableuse	0,6	18	1,8	0,185
S 11	2.5	argile limoneuse	0,33	35	1,61	0,165
	7-7.5	argile	0,53	19	2,4	0,175
S 12	2.5-3	limon argileux	0,5	29	1,7	0,22
	3-3.5	limon argileux	0,35	27	1,8	0,21
S 13	6-6.8	marne argileuse sableuse	0,4	28	2,4	0,19
	5-5.5	marne argileuse sableuse	0,41	31	2	0,16
S 14	4.5-5	argile marneuse sableuse	0,6	25	1,9	0,18
	5.5-6	argile marneuse sableuse	0,55	33	1,9	0,175

III.3.1.3. Interprétation de l’empreinte de M’sila:

En examinant le contenu de la figure on constate que les points des différents sondages se trouvent dans la zone des argiles minérales de moyenne à forte plasticité puisque leur limite de liquidité peut atteindre 65%. L’expérience montre que les points représentatifs des différents échantillons d’une même formation géologique forment une ligne droite sensiblement parallèle à la droite A. On remarque pour le site étudié que les points sont effectivement au dessus de la ligne A selon une droite d’équation $I_p=0,73(W_L-14)$.

Dans le deuxième quadrant le point P₂ des différents sondages présente une activité comprise entre 0.5 et 1.5 ainsi leur indice d’activité est actif. Par ailleurs, il est établi que l’activité est une caractéristique du minéral et elle croit avec la teneur en éléments inférieurs à 2 μ m. D’après Skempton, les échantillons des sondages S₁-S₁₄ sont actifs à très actifs.

Au niveau du troisième quadrant qui présente la distribution dimensionnelle des grains, on remarque que les échantillons ont un pourcentage de grains inférieurs à 2 μ m compris entre 20% et 60 % ce qui explique leur activité moyenne voire active.

En comparant les différents sondages, on remarque que le sondage S₇ présente une empreinte enveloppe.

Il ressort de cette analyse que l'empreinte constitue un moyen efficace de caractérisation et de classification des sols. On remarque que les échantillons sont des sols de moyenne activité à actifs, ils présentent donc des capacités de gonflement et de retrait qui se traduisent par des désordres au niveau des ouvrages légers ce qui a été parfaitement constaté dans les expertises des différentes constructions endommagées.

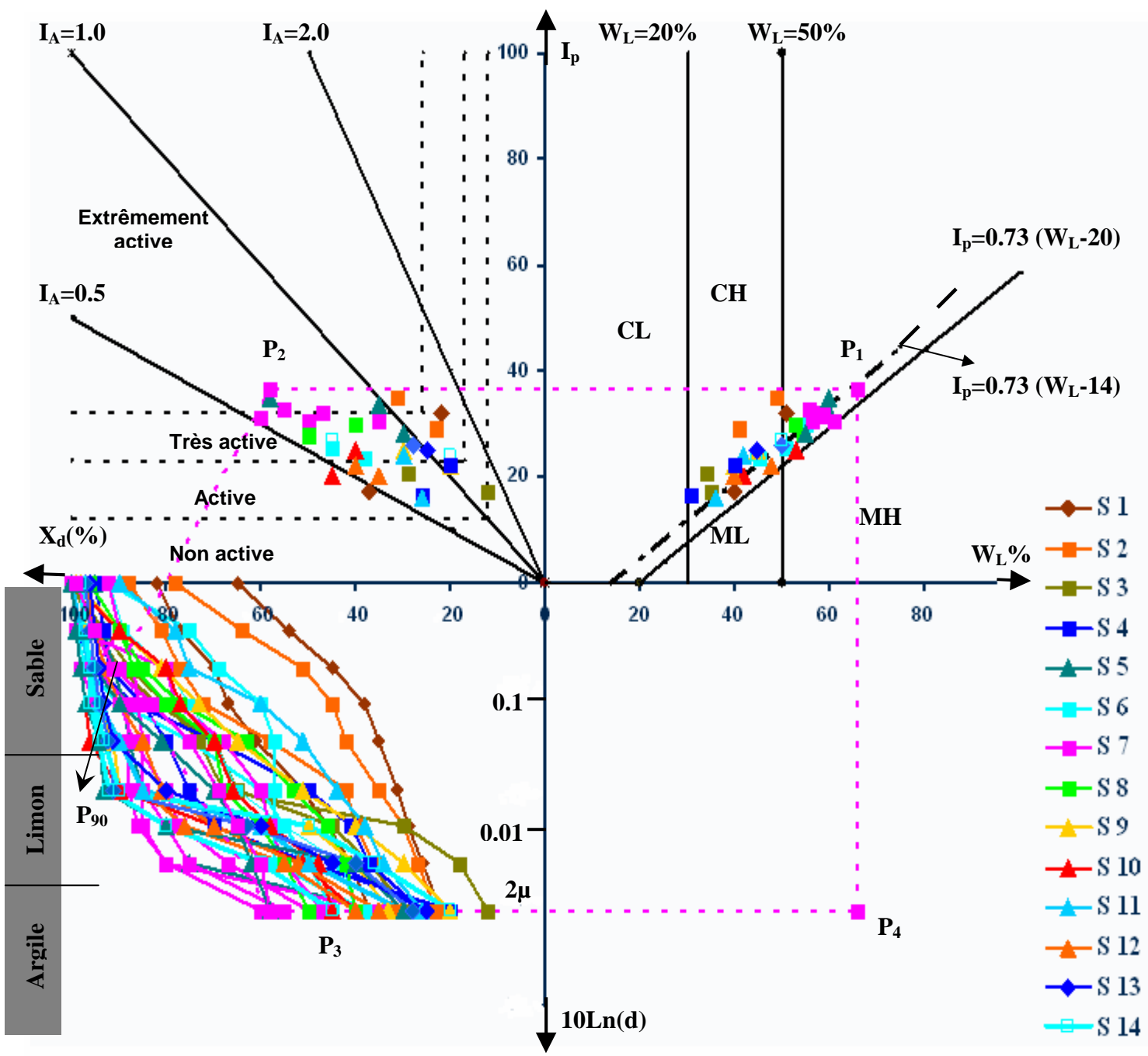


Fig.III.1: Empreinte de M'sila.

III.3.2. Deuxième site: Sidi Aissa

D'après la carte géologique de Sidi Aissa (au 1/50000), nous retrouvons, des marnes grises et des grés alternant avec les marnes du Miocène, ainsi que les marnes brunes feuilletées à lumachelles et les marno calcaires de l'Eocène, ainsi que des alluvions récentes du Quaternaire. [3], [4]

Le tableau III.3 comprend les résultats de caractérisation physique des échantillons prélevés au niveau des sondages S₁-S₂₀; le tableau III.4 regroupe tous les résultats de caractérisation mécanique obtenus sur des échantillons prélevés au niveau des vingt sondages à partir des différentes études

Tableau III.3: Caractéristiques physiques des sols de Sidi Aissa.

Sondage	Profondeur (m)	Lithologie	W (%)	S _r (%)	W _L (%)	I _p (%)	P _f <2 μm (%)
S 1	2.5-3	marne sableuse	15	70	51	26	41
	3.3-3.7	marne sableuse	20	76	57	29	36
S 2	1.5-2	marne calcaire	9	49	65	38	38
	2.5-2.9	marne calcaire	13	64	60	36	37
	3.5-4	marne calcaire	15	77	55	28	42
S 3	5.2-5.6	marne avec trace de gypse	24	76	49	28	57
	7.4-7.9	marne avec trace de gypse	25	96	73	42	52
S 4	1.5-2	marne avec trace de gypse	26,8	100	63	38	39
	2.6-2.9	argile limoneuse	25,1	100	56	34	24
S 5	0-1.2	argile marneuse	11,24	69,42	38	21,45	34
	1.2-3	argile limoneuse	18,98	89,23	41,5	22,84	55
S 6	0-1.4	argile limono sableuse	13,55	65,89	57	31	32
	1.2-3	argile grisâtre fissurée	7,27	96,42	42,5	25,53	27
S 7	2.1-2.3	marne graveleuse	9,76	39,9	43	24	28
	4.6-5	marne graveleuse	7,48	35,96	45	22	24

S 8	3.4-3.8	marne graveleuse	10,19	43,2	44	23	27
	4.5-4.8	marne graveleuse	7,83	42,93	40	20	30
S 9	1-1.4	sable marneux	19	70	42	20	36
	1.4-5	marne argileuse	21	85	47	25	40
S 10	1-2.5	schiste	15	60	41	25	24
	2-5.	schiste	23	72	55	32	35
S 11	1.7-2.2	marne graveleuse	15	65	60	35	50
	2-3.	marne avec trace de gypse	21	75	51	25	41
	3-5.	marne avec trace de gypse	20	70	55	30	40
S 12	2.4-3	argile marneuse	25	70	60	31	48
	3-7.8	argile marneuse	29	85	67	36	26
S 13	2.1-2.4	marne avec trace de gypse	20	72	61	33	43
	5.5-5.7	marne avec trace de gypse	23	78	67	38	55
S 14	6.6-7	marne sableuse	27	88	51	30	43
	8.6-9	marne avec trace de gypse	30	81	69	38	60
S 15	3.7-4	marne graveleuse	15,8	76,2	48	24	30
	4.6-4.9	marne grisâtre	12,41	68	50	23	38
S 16	1-2.	argile verdâtre	15	73	41	26	40
	2-6.	argile	16	75	40	27	43
S 17	2-6.5	argile	14	70	40	24	29
	6.5-8	marne gréseuse	16	80	50	28	35
S 18	0.65-0,9	argile limoneuse	26,6	85,31	78	46,59	26,78
	4.3-4.6	marne argileuse	18,66	79,74	46	26,23	43,11
	6-6.35	marne grisâtre	23,85	87,36	60	36,47	37,98

S 19	1.5-1.85	marne avec trace de gypse	24,3	81,43	65,5	40,48	24,42
	3-3.3	marne	27,65	80,39	73	49,11	28,81
S 20	2.5-3	marne avec trace de gypse	23,4	90,4	50	25	48
	3-4.	marne avec trace de gypse	20	70	63	32	51

Tableau III.4: Caractéristiques mécaniques des sols de Sidi Aissa.

Sondage	Profondeur (m)	Lithologie	C (bars)	φ (°)	P _c (bars)	C _c (%)
S 1	2.5-3	marne sableuse	0,45	20	1,8	0,154
	3.3-3.7	marne sableuse	0,51	18	1,1	0,14
S 2	1.5-2	marne calcaire	0,62	11	2,6	0,215
	2.5-2.9	marne calcaire	0,59	15	2,4	0,165
	3.5-4	marne calcaire	0,56	17	2,2	0,12
S 3	5.2-5.6	marne avec trace de gypse	0,37	18	1,3	0,11
	7.4-7.9	marne avec trace de gypse	0,82	9	2,8	0,235
S 4	1.5-2	marne avec trace de gypse	0,74	12	2,5	0,225
	2.6-2.9	argile limoneuse	0,56	14	2,3	0,195
S 5	0-1.2	argile marneuse	0,105	17	1,45	0,11
	1.2-3	argile limoneuse	0,16	18	1,7	0,13
S 6	0-1.4	argile limono sableuse	0,43	15	1,85	0,175
	1.2-3	argile grisâtre fissurée	0,23	21	4,1	0,165
S 7	2.1-2.3	marne graveleuse	0,1	16	0,449	0,15
	4.6-5	marne graveleuse	0,12	17	1,91	0,115
S 8	3.4-3.8	marne graveleuse	0,13	20	0,709	0,122
	4.5-4.8	marne graveleuse	0,11	23	1,05	0,155
S 9	1-1.4	sable marneux	0,15	29	1,45	0,157

	1.4-5	marne argileuse	0,27	16	1,3	0,158
S 10	1-2.5	schiste	0,2	18	2,8	0,122
	2-5.	schiste	0,69	12	2,5	0,145
S 11	1.7-2.2	marne graveleuse	0,53	9	0,8	0,203
	2-3.	marne avec trace de gypse	0,38	19	1,85	0,218
	3-5.	marne avec trace de gypse	0,32	15	1,9	0,126
S 12	2.4-3	argile marneuse	0,36	18	2	0,2
	3-7.8	argile marneuse	0,86	14	1,9	0,195
S 13	2.1-2.4	marne avec trace de gypse	0,66	17	1,76	0,174
	5.5-5.7	marne avec trace de gypse	0,72	15	1,25	0,269
S 14	6.6-7	marne sableuse	0,29	14	1,8	0,215
	8.6-9	marne avec trace de gypse	0,72	14	2,1	0,205
S 15	3.7-4	marne graveleuse	0,21	17	1,46	0,195
	4.6-4.9	marne grisâtre	0,2	24	5,28	0,185
S 16	1-2.	argile verdâtre	0,16	20	1,41	0,18
	2-6.	argile	0,18	18	1,76	0,185
S 17	2-6.5	argile	0,15	19	2	0,13
	6.5-8	marne gréseuse	0,36	17	2,5	0,15
S 18	0.65-0,9	argile limoneuse	1,05	7	3,4	0,3
	4.3-4.6	marne argileuse	0,26	18	1,25	0,175
	6-6.35	marne grisâtre	0,75	13	1,45	0,151
S 19	1.5-1.85	marne avec trace de gypse	0,63	9	2,7	0,29
	3-3.3	marne	1	5	2,95	0,289
S 20	2.5-3	marne avec trace de gypse	0,45	17	1,76	0,165
	3-4.	marne avec trace de gypse	0,5	13	1,8	0,236

III.3.2.1. Technique de visualisation: Empreinte

L'empreinte d'un sol qui consiste en l'abaque de plasticité représenté par le premier quadrant, l'abaque de l'activité des sols représenté par le second quadrant, la courbe d'analyse granulométrique au troisième quadrant et enfin le quatrième quadrant fermera l'empreinte de caractérisation d'un sol.

III.3.2.2. Interprétation de l'empreinte de Sidi Aissa:

En examinant le contenu de la figure III.2 on constate que les points des différents échantillons se trouvent au dessus de la ligne A. Ces points se trouvent dans la zone des argiles minérales de moyenne à forte plasticité puisque leur limite de liquidité peut atteindre 73% .On remarque que ces points suivent une droite parallèle à la ligne A, ayant pour équation $I_p=0.73 (W_L-14)$.

Dans le deuxième quadrant le point P_2 des différents échantillons présente une activité comprise entre 0.5 et 2.0 ainsi les échantillons de sol sont actifs. Par ailleurs, il est établi que l'activité est une caractéristique du minéral et elle croit avec la teneur en éléments inférieurs à $2\mu\text{m}$. D'après Skempton, les échantillons des sondages S_1-S_{20} sont actifs à très actifs, ce qui laisse supposer une argile montmorillonite calcique.

Au niveau du troisième quadrant qui présente la distribution dimensionnelle des grains, on remarque que les échantillons ont un pourcentage de grains inférieurs à $2\mu\text{m}$ compris entre 24% et 60%.

Il ressort de cette analyse que l'empreinte constitue un moyen efficace de caractérisation et de classification des sols. On constate que les échantillons sont des sols de moyenne activité à actifs, ils présentent donc des capacités de gonflement et de retrait qui se traduisent par des désordres au niveau des ouvrages légers ce qui a été parfaitement constaté dans les expertises des différentes constructions endommagées.

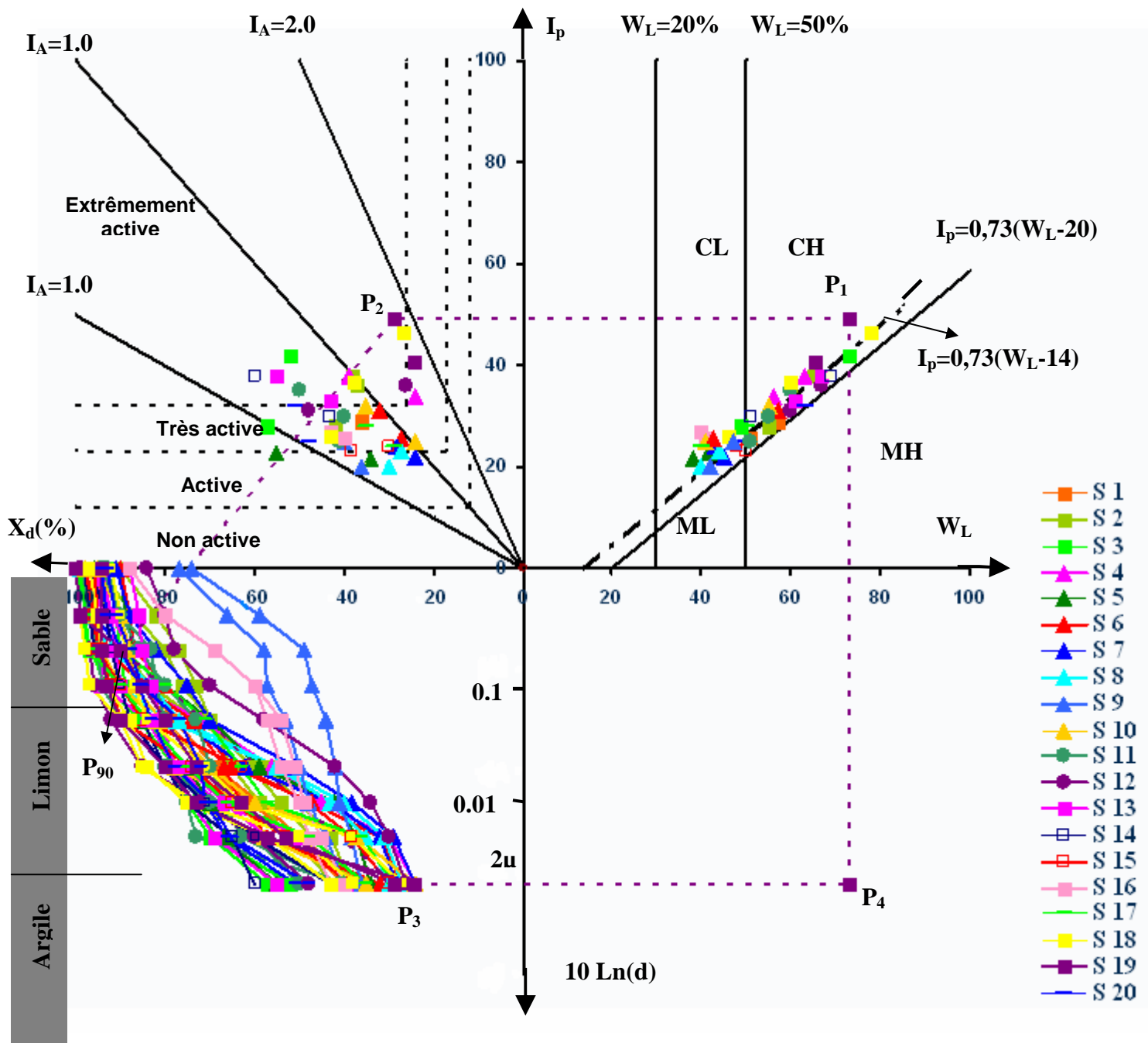


Fig. III.2: Empreinte de Sidi Aissa.

III.3.3. Troisième site: Ain el Hadjel

Le terrain de Ain el Hadjel est constitué essentiellement de marnes et marno calcaires du Crétacé, recouverts par des conglomérats généralement constitués d'alluvions grossiers du Quaternaire, sables graviers et parfois tufs. [3], [4]

Le tableau III.5 comprend les résultats de caractérisation physique des échantillons prélevés au niveau des sondages S₁-S₁₅; le tableau III.6 regroupe tous les résultats de caractérisation mécanique obtenus sur des échantillons prélevés au niveau des quinze sondages à partir des différentes études

Tableau III.5: Caractéristiques physiques des sols de Ain el Hadjel.

Sondage	Profondeur (m)	Lithologie	W (%)	S _r (%)	W _L (%)	I _p (%)	P _f <2 μm (%)
S 1	1-1.5	marne avec trace de gypse	21	95	62	35	52
	3.7-4.5	marne avec trace de gypse	15	95	86	50	52
	5.8-6.4	marne avec trace de gypse	21	83	80	46	47
S 2	1-1.2	marne avec trace de gypse	28	87	75	43	48
	2.5-2.8	marne avec trace de gypse	26	78	77	44	51
	5-5.4	marne avec trace de gypse	25	79	81	47	51
	6.1-6.5	marne avec trace de gypse	24	90	76	47	53
S 3	1-1.3	marne avec trace de gypse	17	70	79	47	59
	3.6-3.9	marne avec trace de gypse	23	82	81	49	47
	5.4-5.7	marne avec trace de gypse	26	83	88	52	51
S 4	2.8-4	marne argileuse	11	60	30	21	47
	3.5-5	marne argileuse	15	78	40	23	26
S 5	0.5-2.5	marne avec trace de gypse	18	70	55	30	24
	2.5-4	marne avec trace de gypse	20	73	60	36	37
	4-5.	marne avec trace de gypse	22	75	70	43	31
S 6	0-1.	sable argileux	8	65	32	16	27
	1.6-4.5	marne argileuse	23	75	75	45	28

S7	1.6-2	marne graveleuse	15	70	50	35	58
	2-3.	marne avec trace de gypse	17	65	60	40	58
	3-5.	marne avec trace de gypse	20	75	70	44	45
S 8	2-3.	marne limoneuse	20	73	40	17	60
	3-5.	marne avec trace de gypse	25	83	43	20	46
S 9	2.1-2.4	argile beige carbonatée	21	79	53	27	53
	3-3.4	marne gris verdâtre	30	89	57	36	53
S 10	1.5-2	limon argileux	15	65	45	25	42
	4-4.5	marne avec trace de gypse	20	70	50	30	32
S 11	3-3.5	argile sableuse	15	78	40	24	46
	4.5-5.5	marne argileuse	15	65	46	25	27
S 12	2.5-2.8	marne avec trace de gypse	23,73	84,93	70	39,7	34
	4.3-4.8	marne avec trace de gypse	23,9	72,58	78	45,1	54
	5.4-5.9	marne avec trace de gypse	19,1	73,77	75	43,5	59
	7.2-7.8	marne avec trace de gypse	20,63	84,72	66	39,5	52
S 13	2.5-3	argile marneuse	14	68	48	23	48
	3-3.5	marne sableuse	21	75	52	28	29
S 14	1.5-2	argile marneuse	15	50	50	30	39
	3-3.5	marne argileuse	20	60	60	35	48
S 15	1.5-2.5	limon argileux	13	51,7	57,5	29,03	55
	2.5-3	marne sableuse	14	68	48	24	20

Tableau III.6: Caractéristiques mécaniques des sols de Ain el Hadjel.

Sondage	Profondeur (m)	Lithologie	C (bars)	ϕ (°)	P _c (bars)	C _c (%)
S 1	1-1.5	marne avec trace de gypse	0,52	17	2	0,179
	3.7-4.5	marne avec trace de gypse	0,84	7	2,7	0,28
	5.8-6.4	marne avec trace de gypse	0,74	12	1,9	0,238
S 2	1-1.2	marne avec trace de gypse	0,6	11	2,4	0,212
	2.5-2.8	marne avec trace de gypse	0,59	16	2,4	0,212
	5-5.4	marne avec trace de gypse	0,6	8	2,1	0,203
	6.1-6.5	marne avec trace de gypse	0,57	12	1,7	0,207
S 3	1-1.3	marne avec trace de gypse	0,75	14	2,21	0,213
	3.6-3.9	marne avec trace de gypse	0,72	11	2	0,234
	5.4-5.7	marne avec trace de gypse	0,9	4	2,5	0,288
S 4	2.8-4	marne argileuse	0,24	19	2	0,165
	3.5-5	marne argileuse	0,34	18	1,7	0,175
S 5	0.5-2.5	marne avec trace de gypse	0,4	15	1,6	0,2
	2.5-4	marne avec trace de gypse	0,43	11	1,5	0,17
	4-5.	marne avec trace de gypse	0,79	7	1,75	0,208
S 6	0-1.	sable argileux	0,61	15	0,55	0,2
	1.6-4.5	marne argileuse	0,1	25	0,8	0,13
S7	1.6-2	marne graveleuse	0,34	15	1,7	0,182
	2-3.	marne avec trace de gypse	0,7	13	1,1	0,205
	3-5.	marne avec trace de gypse	0,75	10	1,3	0,2
S 8	2-3.	marne limoneuse	0,25	18	0,85	0,165
	3-5.	marne avec trace de gypse	0,57	21	1,7	0,18
S 9	2.1-2.4	argile beige carbonatée	0,39	13	0,73	0,185
	3-3.4	marne gris verdâtre	0,58	17	1,9	0,195

S 10	1.5-2	limon argileux	0,49	11	1,7	0,18
	4-4.5	marne avec trace de gypse	0,56	14	2,6	0,167
S 11	3-3.5	argile sableuse	0,36	20	1,9	0,19
	4.5-5.5	marne argileuse	0,55	18	2,5	0,191
S 12	2.5-2.8	marne avec trace de gypse	0,55	10	1,78	0,195
	4.3-4.8	marne avec trace de gypse	0,68	9	1,08	0,236
	5.4-5.9	marne avec trace de gypse	0,7	9	3,28	0,218
	7.2-7.8	marne avec trace de gypse	0,62	10	2,9	0,216
S 13	2.5-3	argile marneuse	0,53	24	2,09	0,11
	3-3.5	marne sableuse	0,65	16	3,27	0,19
S 14	1.5-2	argile marneuse	0,59	19	1,5	0,145
	3-3.5	marne argileuse	0,6	8	1,6	0,165
S 15	1.5-2.5	limon argileux	0,45	14	1,75	0,171
	2.5-3	marne sableuse	0,53	17	2,09	0,12

III.3.3.1. Technique de visualisation: Empreinte

La nature d'un sol peut-être caractérisée par une simple figure géométrique appelée empreinte construite à partir des indices d'identification tels que l'indice de plasticité, l'activité et la courbe granulométrique. Ces différents éléments sont figurés graphiquement sur un tableau divisé en quatre quadrants. Le contour obtenu représente l'empreinte d'un sol. Elle peut être comparée par superposition ou d'un simple coup d'œil à celle d'un autre sol.

III.3.3.2. Interprétation de l’empreinte de Ain el Hadjel:

En examinant le contenu de la figure III.3 on constate que les points des différents échantillons se trouvent au dessus de la ligne A. Ces points se trouvent dans la zone des argiles minérales de moyenne à forte plasticité puisque leur limite de liquidité peut atteindre 88% .On remarque que ces points suivent une droite parallèle à la ligne A, ayant pour équation $I_p=0.73 (W_L-13)$.

Dans le deuxième quadrant le point P_2 des différents échantillons présente une activité comprise entre 0.5 et 2.0 ainsi leur indice d’activité est actif. Par ailleurs, il est établi que l’activité est une caractéristique du minéral et elle croit avec la teneur en éléments inférieurs à $2\mu\text{m}$. D’après Skempton, les échantillons des sondages S_1-S_{15} sont actifs à très actifs.

Au niveau du troisième quadrant qui présente la distribution dimensionnelle des grains, on remarque que les échantillons ont un pourcentage de grains inférieurs à $2\mu\text{m}$ compris entre 20% et 60%.

A partir de cette analyse on peut conclure que ces sols sont de moyenne activité à actifs, par conséquent, ils sont susceptibles au phénomène de retrait gonflement en présence d’eau, qui se traduit par des désordres au niveau des ouvrages légers, ce qui a été parfaitement constaté dans les expertises des différentes constructions endommagées.

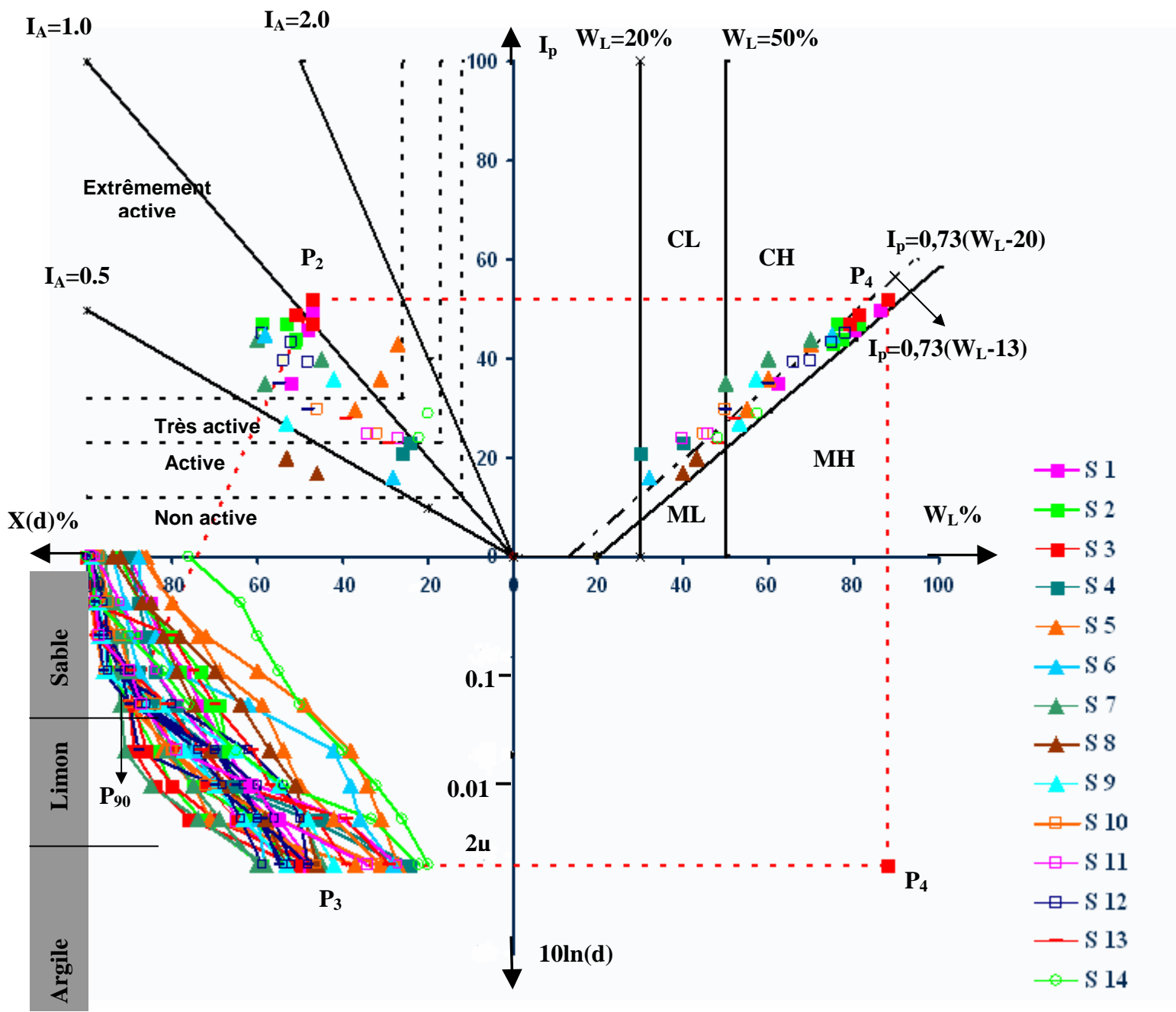


Fig. III.3: Empreinte de Ain el Hadjel

III.4. CORRELATIONS:

Les paramètres utilisés pour décrire les propriétés physiques et mécaniques des sols sont de natures très variées:

- Paramètres d'identification et d'état (porosité, indice des vides, densité, limites d'atterberg...etc.).
- Paramètres de déformabilité (indices de compression et de gonflement, module oedometrique...etc.).
- Paramètres de résistance (cohésion et angle de frottement interne, résistance de cône statique ou dynamique...etc.).
- Paramètres de perméabilité.

Il est très rare que, sur un même site tous ces paramètres soient mesurés en un nombre de points suffisants. Habituellement, la reconnaissance géotechnique est limitée au strict minimum, et l'on dispose de certains paramètres en certains points et d'autres paramètres en d'autres points. On doit tirer le meilleur parti possible de ces informations par l'utilisation des corrélations entre les différents paramètres pour établir une coupe géotechnique représentative du site étudié. [20]

III.4.1 Relation entre l'indice de plasticité et l'angle de frottement:

a) Premier site M'sila:

Pour cette corrélation, on constate que l'angle de frottement décroît dans le cas des argiles à indice de plasticité élevé selon une exponentielle d'équation $\varphi = 77,467e^{-0,0496Ip}$, les valeurs des points sont assez bien corrélés avec un coefficient $R=0,69$

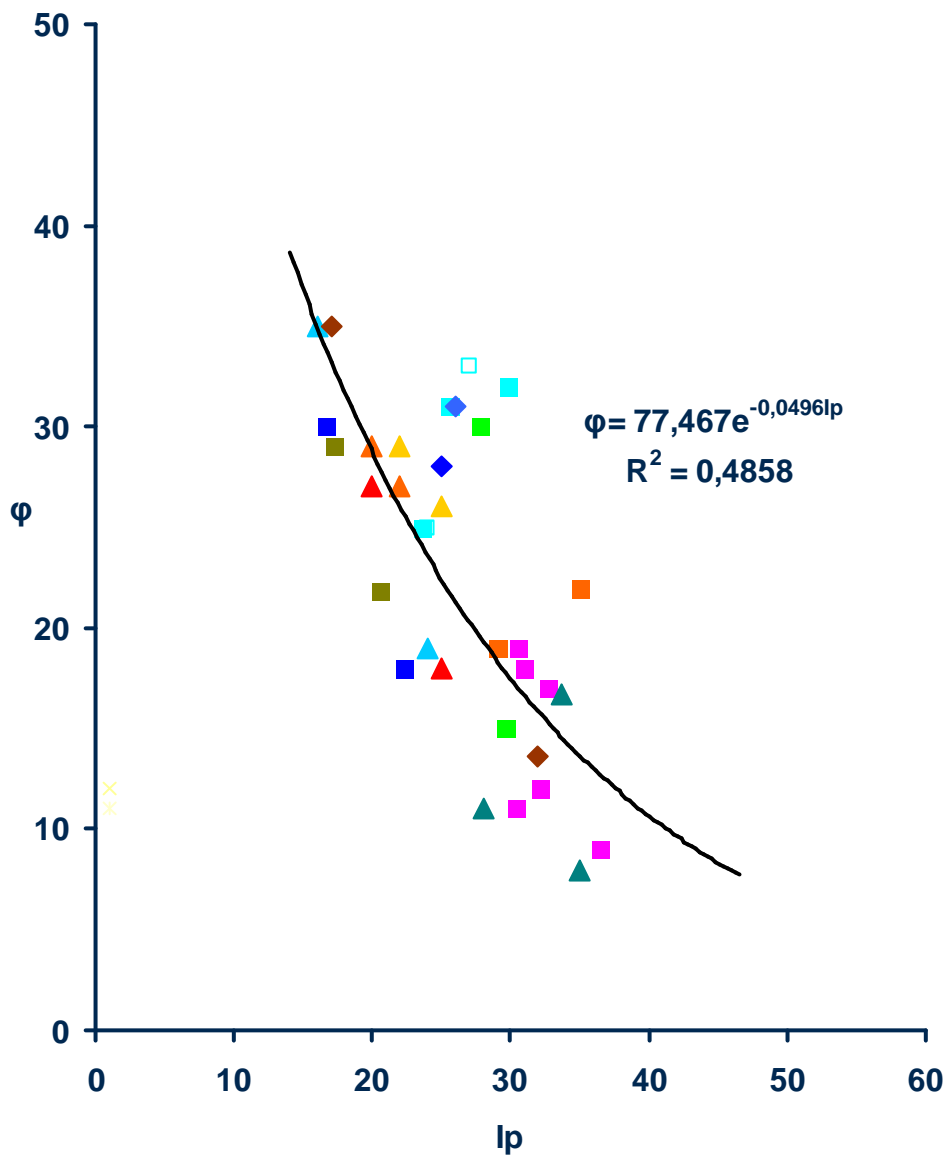


Fig.III.4: Corrélation entre l'indice de plasticité et l'angle de frottement.

b) Deuxième site Sidi Aissa:

Pour cette corrélation, on constate que l'angle de frottement décroît quand l'indice de plasticité croît selon une droite d'équation $\varphi=51,957e^{-0,0406Ip}$, les valeurs des points sont bien corrélés avec un coefficient $R=0,88$.

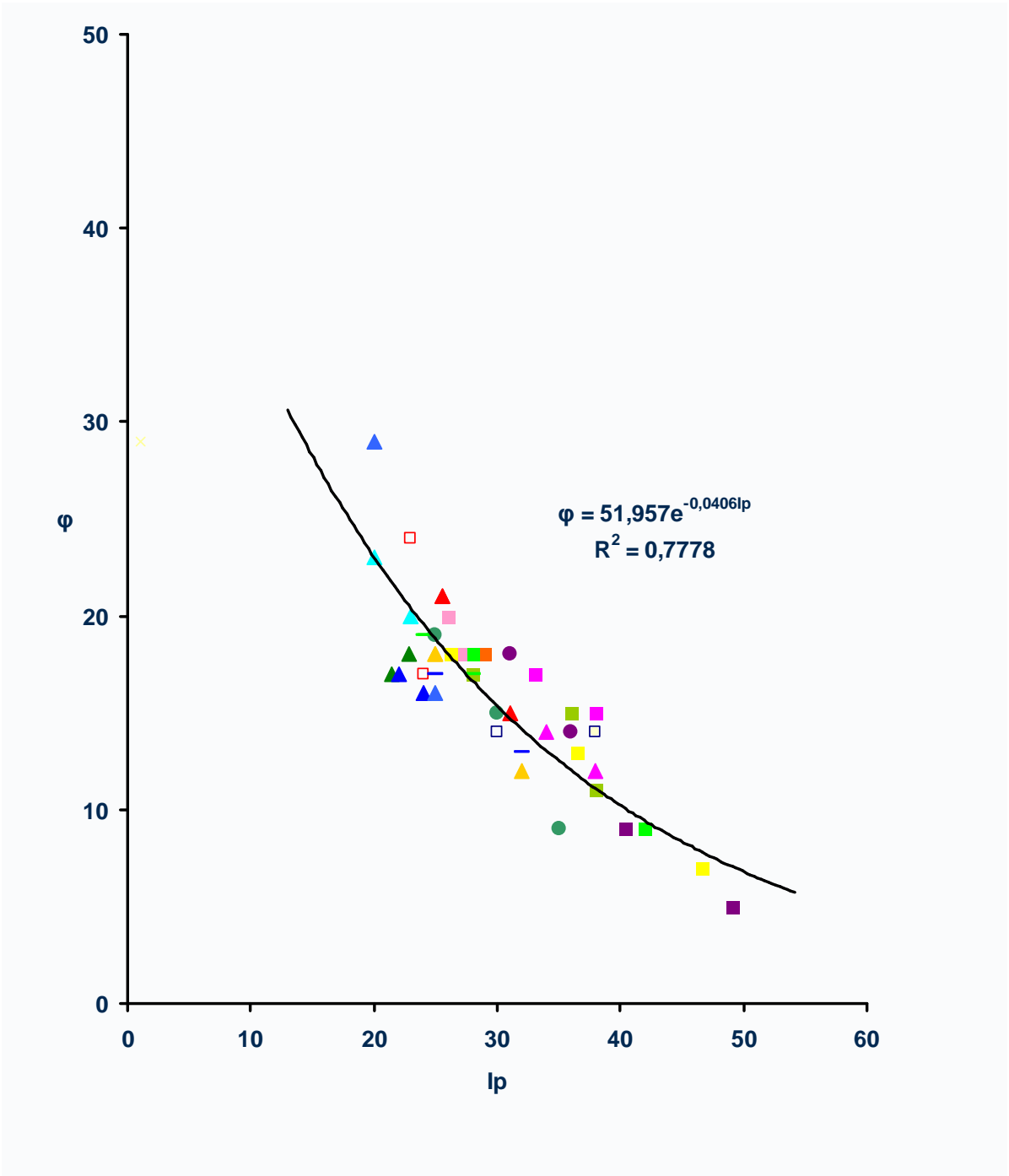


Fig.III.5: Corrélation entre l'indice de plasticité et l'angle de frottement.

c) Troisième site Ain el Hadjel:

Pour cette corrélation, on constate que l'angle de frottement décroît quand l'indice de plasticité croît selon une exponentielle d'équation $\varphi = 34,283e^{-0,02761p}$, les valeurs des points sont bien corrélés avec un coefficient $R=0,74$.

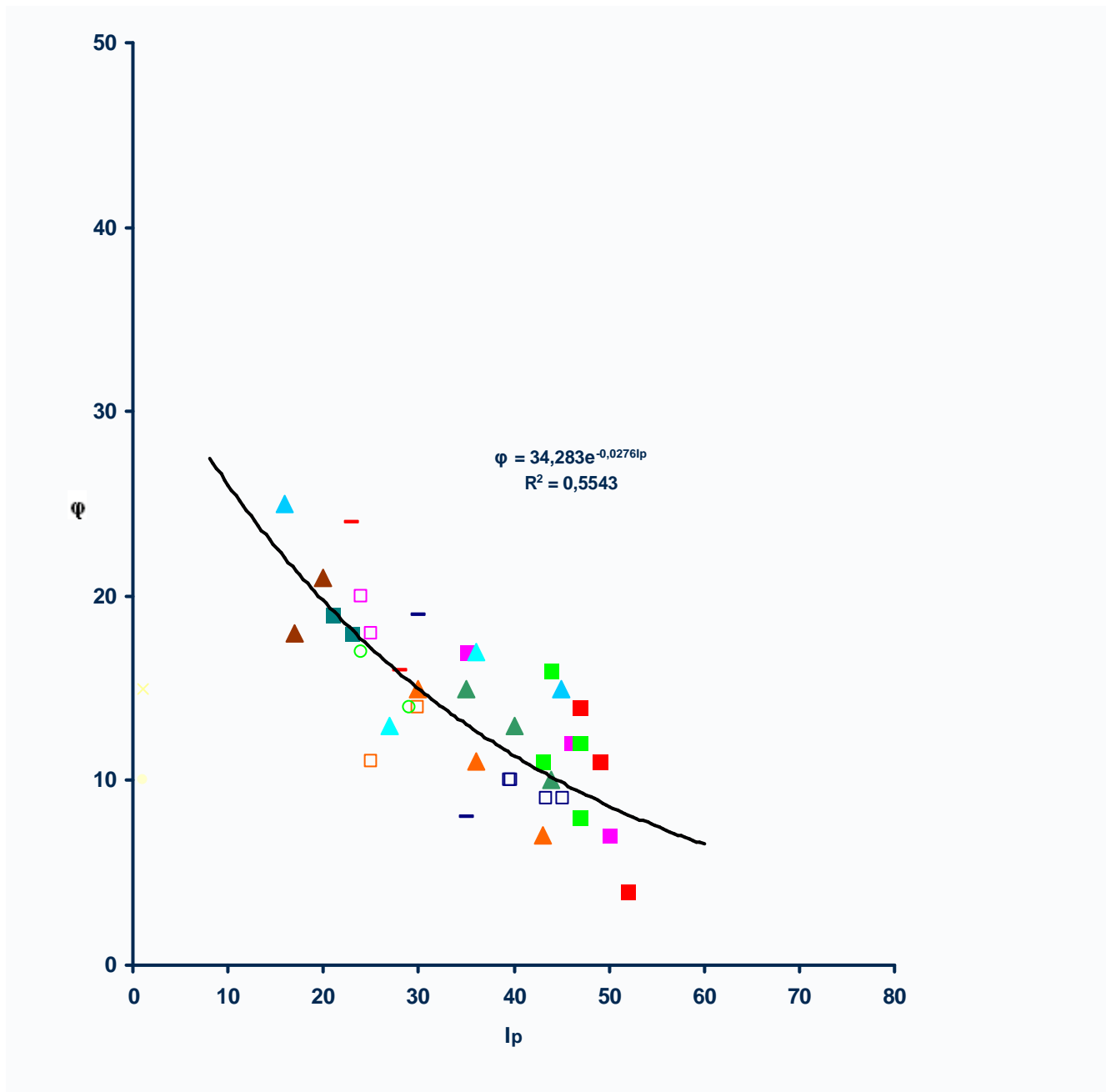


Fig.III.6: Corrélation entre l'indice de plasticité et l'angle de frottement.

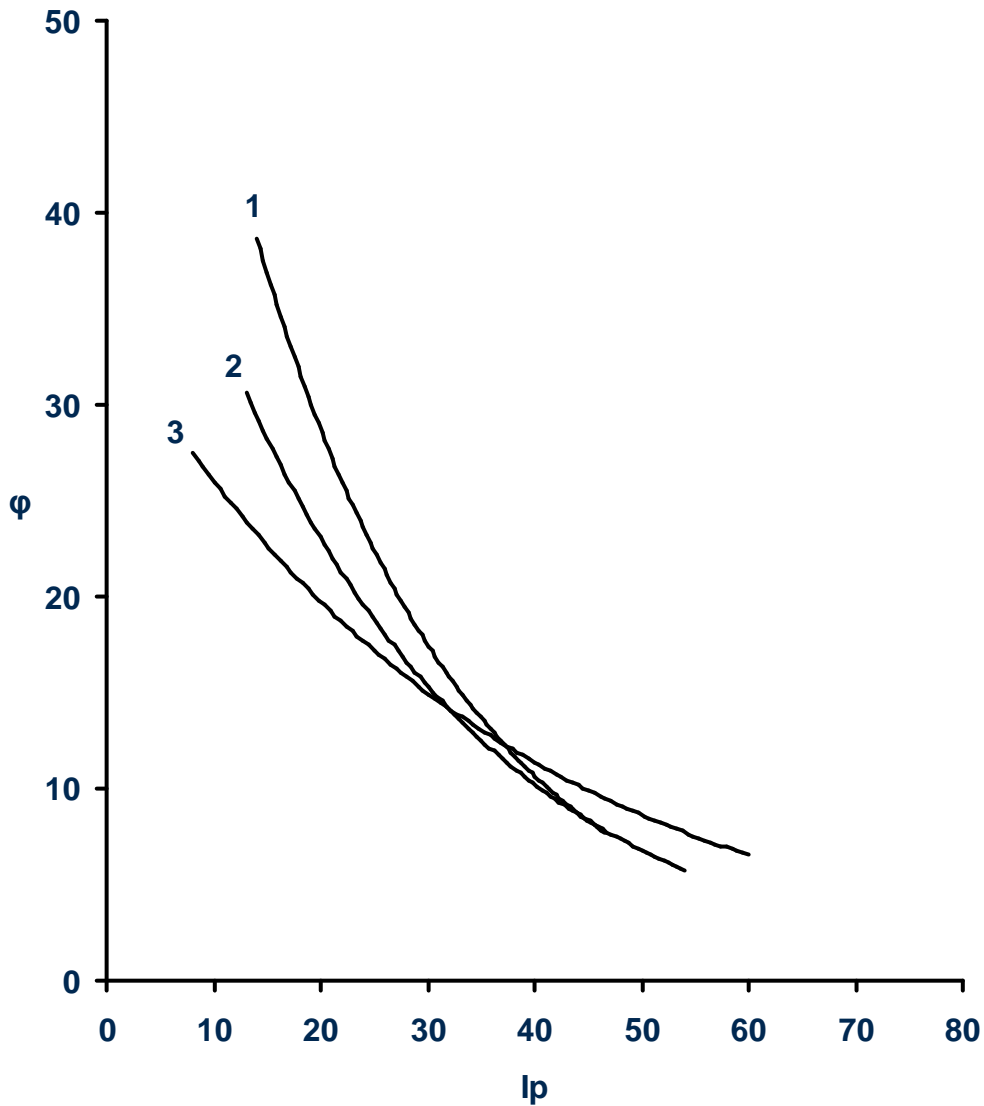


Fig.III.7:Corrélation entre l'indice de plasticité et l'angle de frottement pour les trois sites.

On constate que pour les trois sites l'angle de frottement décroît quand l'indice de plasticité croît selon des exponentielles 1, 2,3 ce qui montre une bonne harmonie avec les lithologies des différents sites et qui reflète bien leurs formations géologiques qui sont des conglomérats, des argiles marneuses et des marnes argileuses.

III.4.2. Corrélation entre la limite de liquidité et la cohésion:

a) Premier site M'sila:

Dans la pratique, les études de sol, notamment les sols argileux, nécessitent une bonne connaissance de la cohésion ainsi que son augmentation en fonction d'un autre paramètre, dans notre cas: la limite de liquidité. [21]

On constate que la cohésion augmente avec la limite de liquidité selon une droite d'équation $C=0,019(W_L - 22,21)$, les valeurs des points sont bien corrélés avec un coefficient $R= 0,78$.

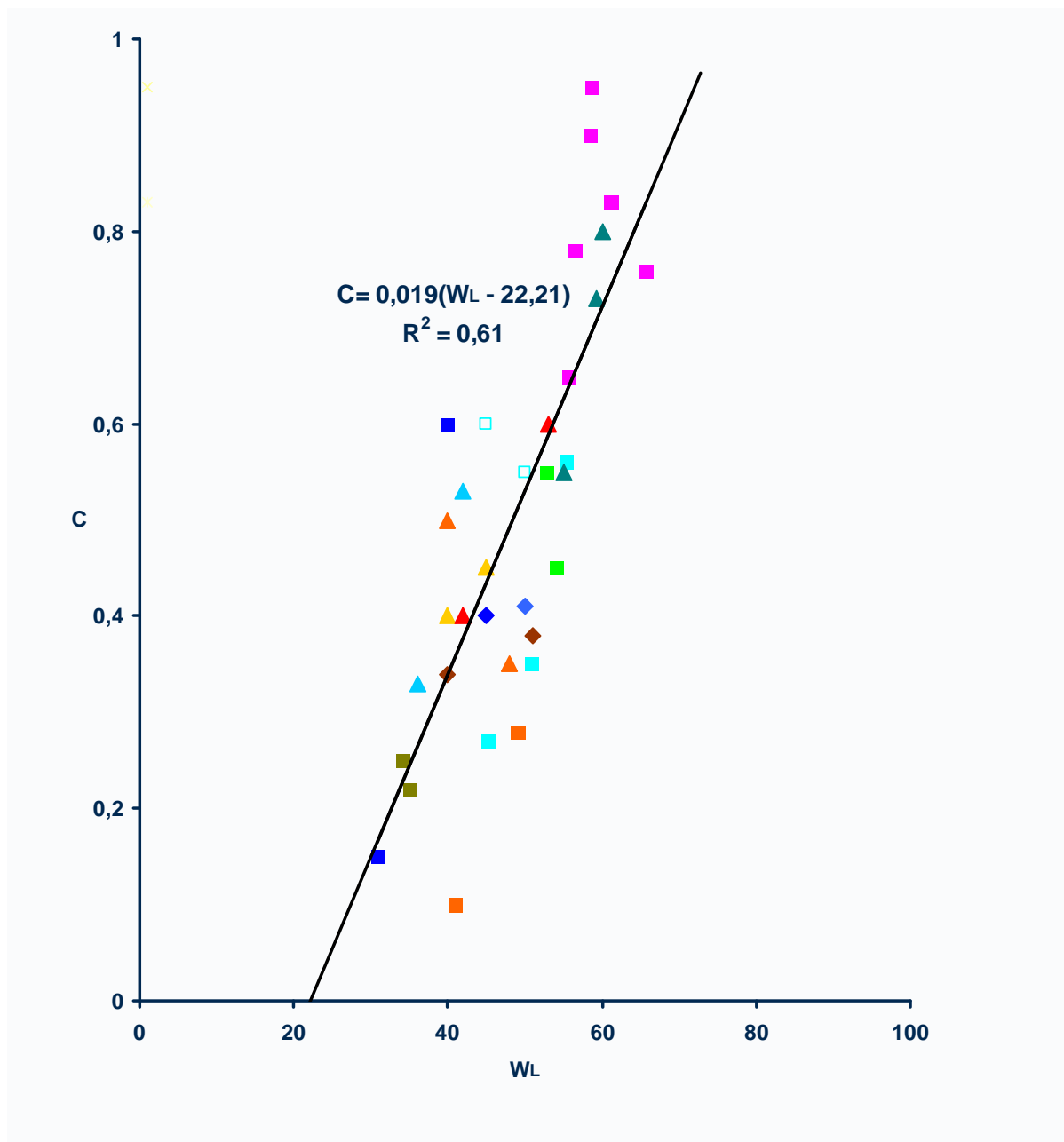


Fig.III.8: Corrélation entre la limite de liquidité et la cohésion.

b) Deuxieme site Sidi Aissa:

Pour ce site on constate que la cohésion augmente avec la limite de liquidité selon une droite d'équation $C=0,0232(W_L-34,97)$, les valeurs des points sont bien corrélés avec un coefficient $R= 0,93$.

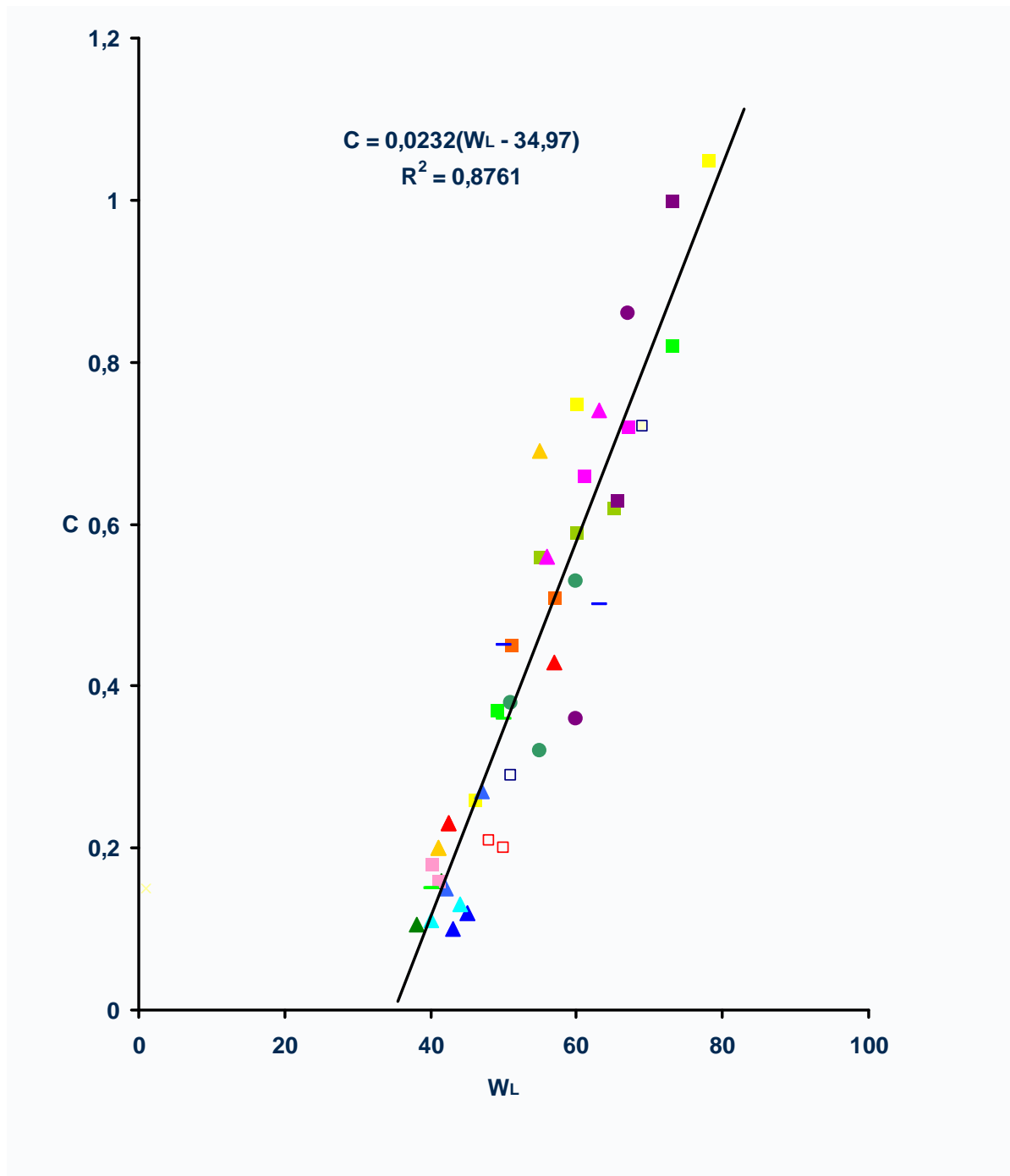


Fig.III.9: Corrélation entre la limite de liquidité et la cohésion.

c) Troisième site Ain el Hadjel:

Pour ce site on constate que la cohésion augmente avec la limite de liquidité selon une droite d'équation $C=0,0087(W_L + 3,25)$, les valeurs des points sont bien corrélés avec un coefficient $R= 0,80$.

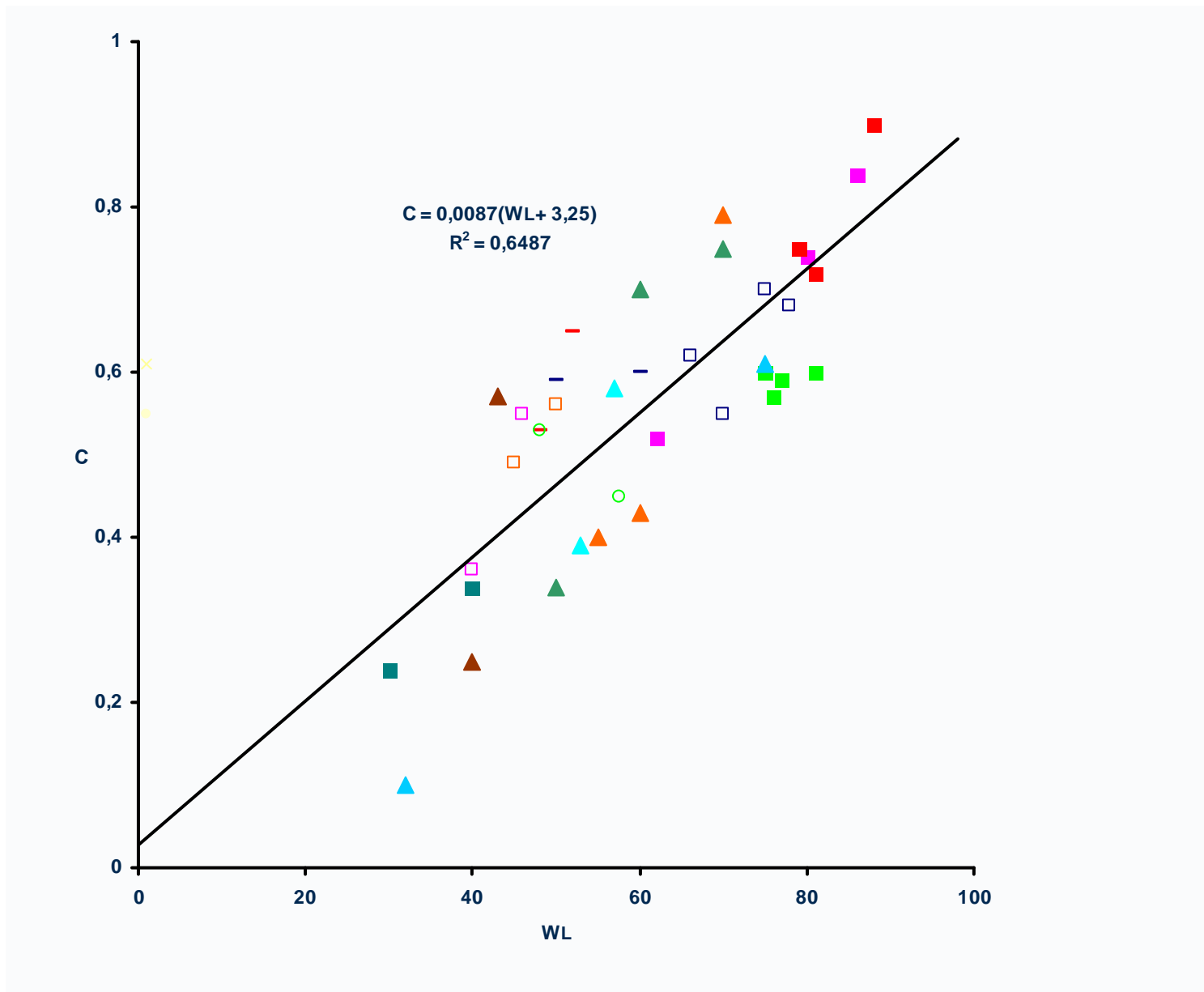


Fig.III.10: Corrélation entre la limite de liquidité et la cohésion.

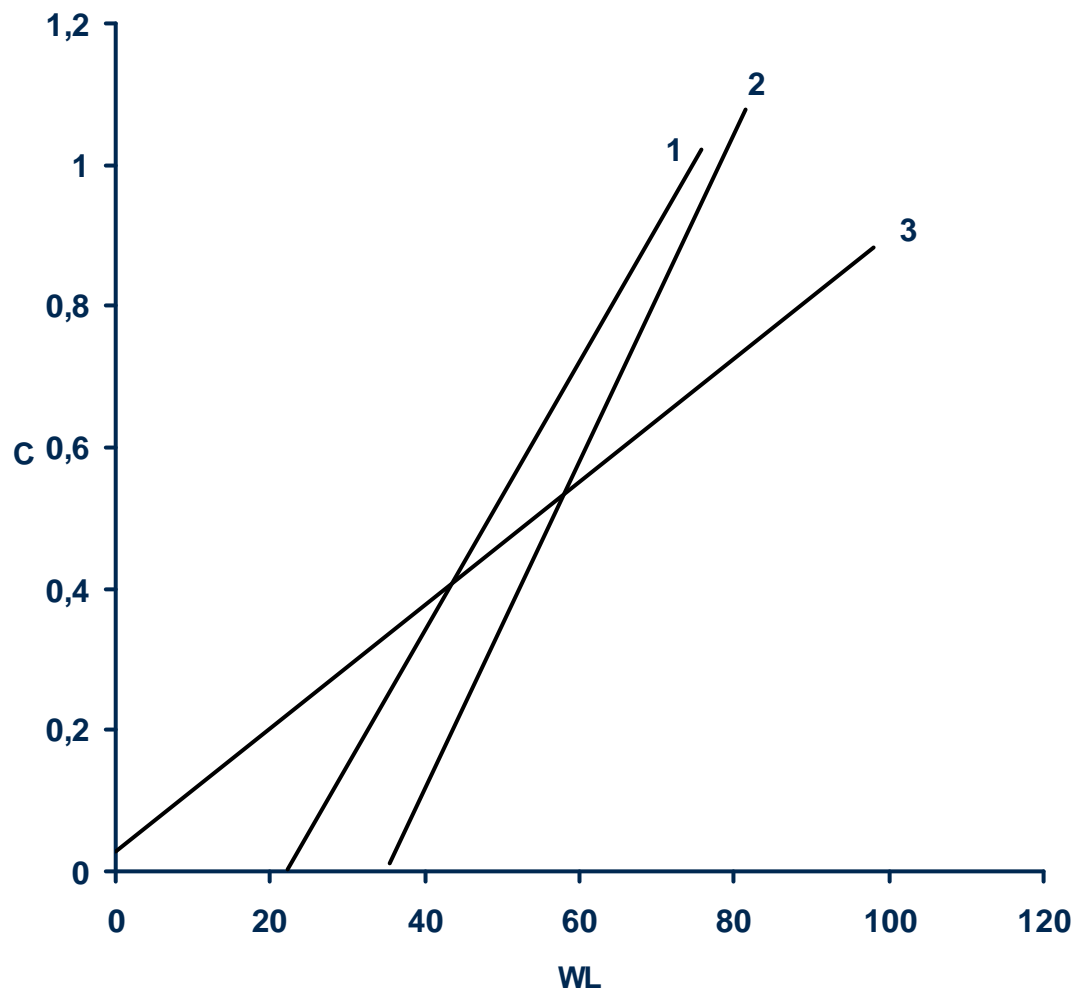


Fig.III.11: Corrélation entre la limite de liquidité et la cohésion pour les trois sites.

On constate que pour les trois sites la cohésion augmente avec la limite de liquidité selon des droites 1, 2,3 ce qui reflète bien leurs formations géologiques.

III.4.3 Corrélation entre la limite de liquidité et le coefficient de compressibilité:

a) Premier site M'sila:

A cause du fait que l'essai oedométrique est assez long, il est préférable d'utiliser des corrélations avec des paramètres dont la détermination est plus rapide telle que la limite de liquidité. [22]

Pour notre site l'indice de compression C_c est notablement moins élevé que celui qu'on peut déduire de la relation de Terzaghi [23]: $C_c=0,009(W_L-10)$.

La divergence est en particulier importante lorsque la limite de liquidité augmente. La droite de régression obtenue a pour équation: $C_c=0,0013(W_L+103)$.

Les valeurs des points de la limite de liquidité et le coefficient de compressibilité sont moyennement corrélés avec un coefficient $R=0,48$.

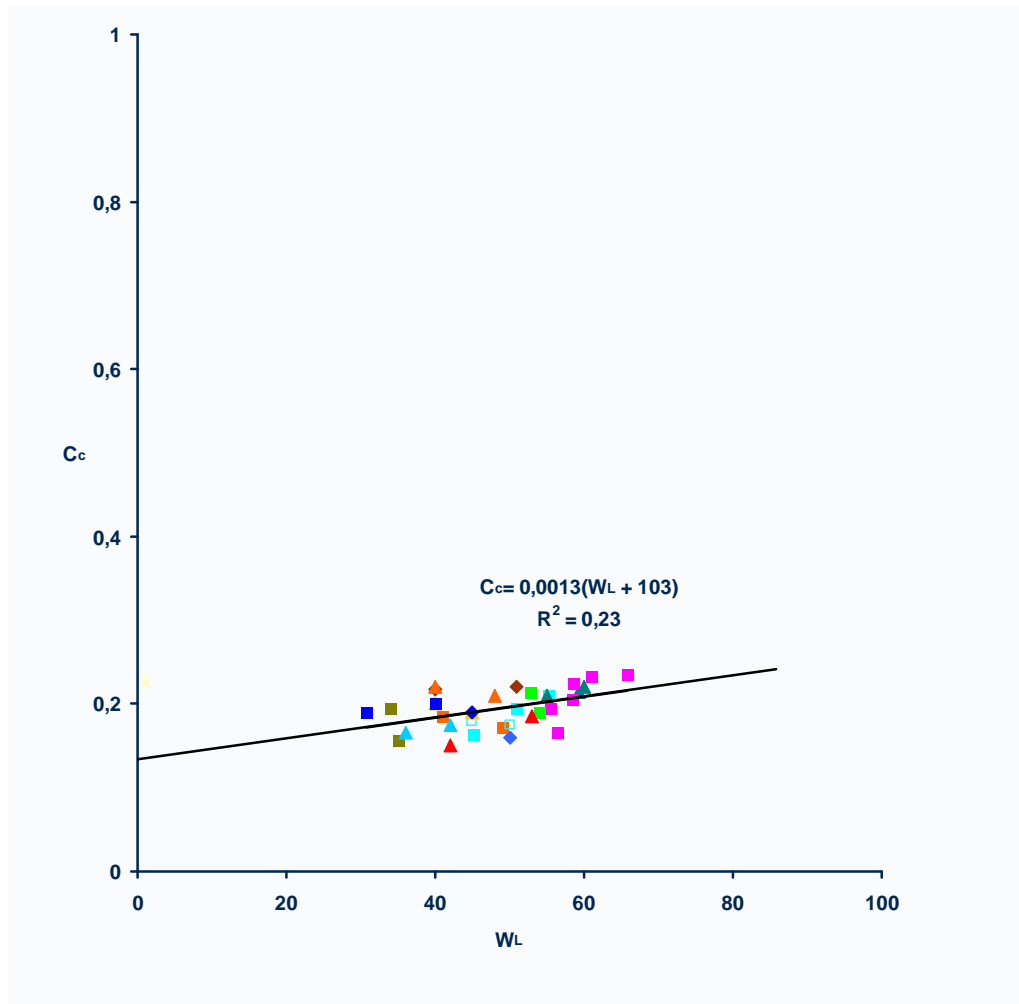


Fig.III.12: Corrélation entre la limite de liquidité et l'indice de compression.

Remarque: On peut noter que l'indice de compression est le seul des paramètres qui soit étroitement relié à un paramètre d'identification qui est la limite de liquidité.

b) Deuxieme site Sidi Aissa:

L'indice de compression C_c est notablement moins élevé que celui qu'on peut déduire de la relation de Terzaghi [23]: $C_c=0,009(W_L-10)$.

La divergence est en particulier importante lorsque la limite de liquidité augmente. La droite de régression obtenue a pour équation: $C_c=0,0034(W_L-1,176)$. Les valeurs des points sont bien corrélés avec un coefficient $R=0,73$.

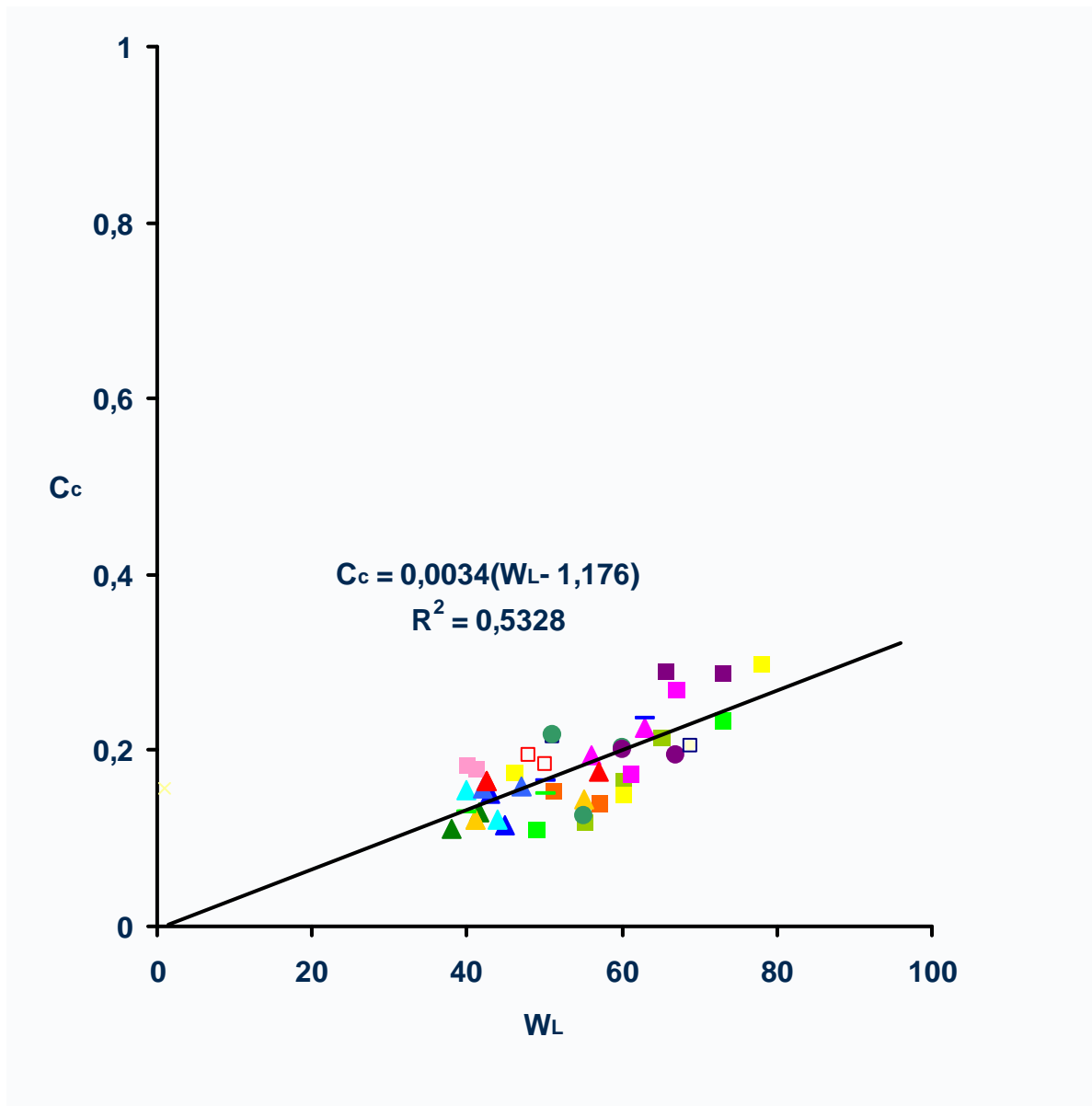


Fig.III.13: Corrélation entre la limite de liquidité et le coefficient de compressibilité.

c) Troisième site Ain el Hadjel:

L'indice de compression C_c est notablement moins élevé que celui qu'on peut déduire de la relation de Terzaghi [23]: $C_c=0,009(W_L-10)$.

La divergence est en particulier importante lorsque la limite de liquidité augmente. La droite de régression obtenue a pour équation: $C_c=0,0018(W_L+47)$. Les valeurs des points sont bien corrélés avec un coefficient $R=0,77$.

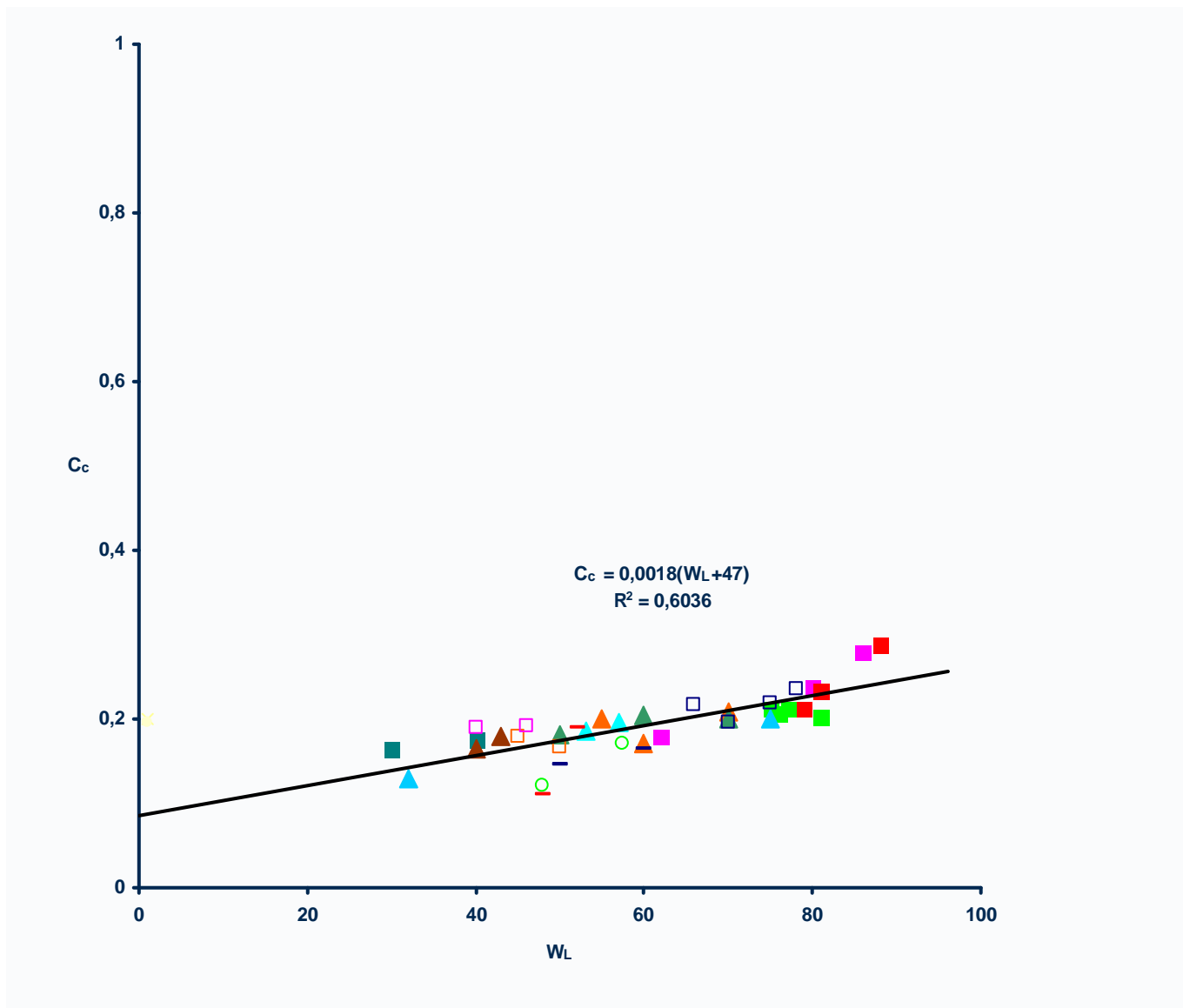


Fig.III.14: Corrélation entre la limite de liquidité et le coefficient de compressibilité.

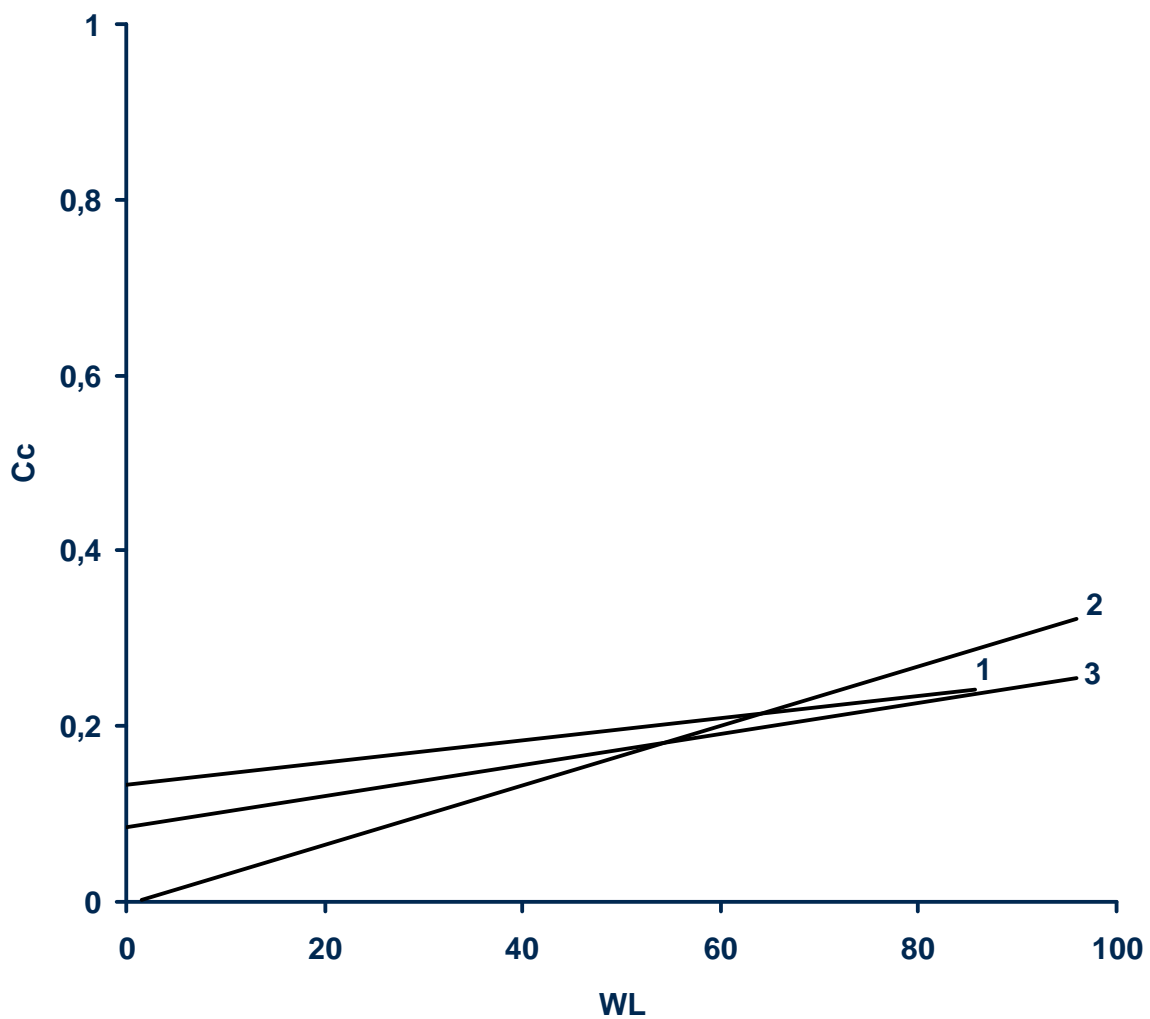


Fig.III.15: Corrélation entre la limite de liquidité et le coefficient de compressibilité pour les trois sites.

On constate que pour les trois sites l'indice de compression C_c est notablement moins élevé que celui qu'on peut déduire de la relation de Terzaghi [23]: $C_c=0,009(W_L-10)$.

La divergence est en particulier importante lorsque la limite de liquidité augmente.

III.5. CONCLUSIONS:

A partir des données géologiques et géotechniques stockées et traitées, on peut en déduire une lithologie d'un terrain qui correspond à une formation géologique bien définie, qui est une argile marneuse parfois limoneuse ou sableuse renfermant différents pourcentages de particules fines.

- Ces données traitées ont donné naissance à une classification bien précise appelée empreinte.
- Les empreintes de ces sites montrent qu'on est en présence d'argile inorganique de forte plasticité selon la classification USCS (Unified Soil Classification System), ayant une activité extrême $I_A > 1.5$, ce qui laisse supposer des argiles montmorillonites calciques. Par ailleurs, les fuseaux granulométriques montrent un pourcentage de particules fines $< 2 \mu\text{m}$ compris entre 20% et 65% caractérisant leurs propres formations géologiques. On peut prédire que ces sols fins sont sujets à des instabilités à cause de l'humidité qui joue un rôle défavorable pour la stabilité. En effet, le gonflement (fixation de l'eau) suivi d'une rétraction (perte de l'eau fixée) occasionne des dégâts sérieux.

Les corrélations entre les différents paramètres ont été moyennes à bonnes. L'analyse de ces corrélations a montré une bonne harmonie avec les lithologies des différents sites et qui reflète bien leurs formations géologiques (conglomérats, argiles marneuses et des marnes argileuses). Ces sols sont souvent sujets à des instabilités.

QUATRIEME CHAPITRE

LA CARTOGRAPHIE DU RISQUE

IV.1. LE RISQUE:

Les risques de catastrophes naturelles sont quelque chose qui nous menace tous. Pour certains d'entre nous, les risques sont plus élevés que pour d'autres. Où nous vivons, dans quelles sortes d'habitations, et ce que nous faisons déterminent nos risques. L'importance attribuée aux risques de catastrophes naturelles, comparée avec celle des autres risques de notre vie quotidienne, va déterminer si nous faisons quelque chose à ce sujet, et quels efforts nous ferons. Une prise de conscience des risques par le public en général, et la perception de son importance, comparée à d'autres risques, vont déterminer l'attitude de la société à l'égard de mesures de réduction. Comprendre les risques et leurs causes est important quand on s'occupe de catastrophes. Notre connaissance de ce qu'une personne ou une communauté est plus vulnérable qu'une autre va déterminer les démarches possibles pour diminuer les risques qu'elle court. [24]

Dans de nombreux cas il est beaucoup plus économique de prendre des mesures préalables pour empêcher des catastrophes naturelles de se produire que d'avoir à récupérer après coup. Dans les pays en voie de développement, le Programme des Nations Unies pour le développement veut promouvoir un développement continu, et on fait valoir que les considérations dues à une claire prise de conscience des catastrophes naturelles devraient être introduites dans toutes les programmations et planifications de développement, à la fois pour protéger le processus de développement et pour réduire le risque de gaspiller les ressources peu abondantes du développement. [25]

Le risque est un événement spatial, lié au terrain, et la carte est toujours son support privilégié. En Algérie, la croissance galopante de la démographie, l'urbanisation anarchique, la dégradation de l'environnement et tous les dérèglements des écosystèmes font aggraver l'ampleur et la fréquence des catastrophes.

En trois années, l'Algérie a été ébranlée par les inondations du quartier de Bab El Oued d'Alger en 2001; le tremblement de terre de Zemmouri-Boumerdès en 2003 et l'accident chimique survenu dans la zone industrielle de Skikda en 2004 et les glissements de terrains de Constantine 2005. Les pouvoirs publics sont encore fréquemment démunis en matière de prévision, de prévention et de gestion de phénomènes naturels aux conséquences parfois dramatiques. L'opération vise à améliorer la connaissance acquise depuis plusieurs années dans les différents aspects de l'ingénierie des risques naturels: identification, caractérisation, prévision du comportement des phénomènes, définition des outils de cartographie et de gestion des risques liés aux mouvements de terrain au regard des personnes, des ouvrages, des réseaux et des biens menacés.

IV.1.1. Classification du risque:

Le Risque peut faire objet de la classification suivante:

- Risque de la vie quotidienne: s'ébouillanter ou s'électrocuter.
- Risque technologique: industriel, nucléaire, transports de matières dangereuses, rupture de barrages...etc.
- Risque lié au conflit: guerre, attentat et terrorisme.
- Risque de transport: accident routier, aérien, ferroviaire.
- Risque naturel: avalanche, tempête, séisme, cyclone, feux de forêt, inondation, mouvement de terrain, volcan ...etc.

IV.1.2. Risque majeur:

On dira qu'il s'agit d'un risque majeur lorsque il y a confrontation d'un **ALÉA** (probabilité d'apparition d'un Phénomène naturel ou technologique et d'intensité donnée : inondation, affaissement de terrain, explosion dans une usine...etc., sur un territoire donné, dans une période de référence donnée) et d'un **ENJEU** (Personnes, biens, activités, moyens, patrimoine), susceptibles d'être affectés par un phénomène naturel ou technologique et de subir des préjudices ou des dommages.

Le risque majeur est donc la confrontation d'un aléa avec des enjeux. Ainsi la société comme l'individu doivent s'organiser pour y faire face. Un événement potentiellement dangereux aléa n'est un risque majeur que s'il s'applique à une zone où des enjeux humains, économiques ou environnementaux sont en présence.

Deux critères caractérisent le risque majeur:

- Une faible fréquence: l'homme et la société peuvent être d'autant plus enclins à l'ignorer que les catastrophes sont peu fréquentes.
- Une énorme gravité: nombreuses victimes, dommages importants aux biens et à l'environnement.

IV.1.3. Collecte des données:

La collecte de données sur les catastrophes naturelles n'est pas évidente, et l'étude systématique des catastrophes est une science relativement jeune. Par conséquent la qualité des données disponibles pour l'estimation des risques est considérablement plus basse que celle dont on dispose pour l'évaluation d'autres types de risques, comme les risques médicaux ou les accidents dans le secteur du génie civil.

Dans les désastres, comme dans les guerres, l'information est née des premières victimes. De nombreuses catastrophes de grande envergure se sont produites durant ce siècle, à propos desquelles, suite à toute la confusion, il n'est toujours pas connu avec certitude combien de personnes ont été tuées, sans parler d'estimations précises des pertes financières, des dommages physiques ou des coups portés à l'économie.

Des enquêtes détaillées sur les effets des catastrophes permettent d'identifier les facteurs de risque. Il faut réaliser clairement l'importance de l'étude des effets des aléas pour une compréhension des risques et pour une prise de décisions efficaces sur l'atténuation des risques. Pour comprendre les risques, il n'est pas suffisant d'étudier seulement les victimes; il est aussi nécessaire d'étudier ceux qui n'ont pas été touchés. Le risque doit être défini en termes de probabilité des effets et en pourcentage du total de la population concernée.

IV.1.4 Risque et priorités: comparaison des risques:

Les risques de catastrophes naturelles ne seront vraisemblablement pas considérés importants dans une communauté faisant face aux aléas quotidiens, bien plus élevés, de la maladie et de la famine. Même si le risque catastrophes naturelles est tout à fait significatif, il ne fera pas le poids face au risque de la mortalité infantile dans une société ne disposant que d'un service de la santé minimal. Dans les villages exposés des vallées

de montagne du Nord Pakistan, régulièrement frappées par des inondations, des séismes et des glissements de terrain, les habitants ne perçoivent pas la mitigation des risques comme une de leurs priorités. Leurs priorités sont la protection contre les risques plus menaçants des maladies, et contre des défaillances dans le système d'irrigation.

A l'opposé, des communautés vivant dans un environnement beaucoup moins hasardeux, dans des maisons moins vulnérables, en Californie par exemple, mettent en route des programmes de mitigation des risques, parce qu'en comparaison avec les maladies et autres risques, qui sont très bas, les catastrophes naturelles sont perçues comme très importantes. La comparaison du niveau de risque des catastrophes avec d'autres risques est importante pour déterminer si une communauté ou un individu va prendre des mesures pour réduire ce risque. La quantité de ressources disponibles pour être investies dans la mitigation des risques, ainsi que la valeur de l'infrastructure qui devrait être protégée, déterminent aussi dans quelle mesure une communauté est disposée à conduire une politique de mitigation des risques.

La clef du succès pour un programme visant à réduire les risques est la compréhension de l'importance qu'une société attache aux aléas qu'elle affronte: ce qui veut dire sa propre perception des risques.

Les risques obligent à prendre des décisions, même si ces décisions n'auront aucun effet. Dans la plupart des sociétés, plusieurs groupes sont engagés dans ces décisions; en particulier:

- Le public en général.
- Ses représentants politiques.
- Les experts, les communicateurs et les gestionnaires.

En principe, les experts récoltent les documents scientifiques et socio- économiques et donnent des conseils aux politiciens qui, à leur tour légifèrent et décrètent des lois pour le bien, et avec le consentement implicite du public en général. En réalité, bien sûr, les choses ne fonctionnent pas souvent de cette façon. L'estimation des risques à partir des données n'est pas toujours aussi salutaire que les experts voudraient le croire. Quand ils prennent leurs décisions, les politiciens peuvent avoir des intérêts et des objectifs autres que la simple prise en compte de la mitigation des risques; en outre le public peut ne pas voir les choses de

la même façon que les experts ou les politiciens.

Les décisions et les mesures sont prises selon la manière dont les risques sont perçus. La perception du risque peut varier d'un groupe à l'autre. Les experts aiment utiliser les statistiques. Mais la plupart des autres personnes se sentent moins à l'aise avec les concepts statistiques et préfèrent baser leur perception des risques sur toute une série d'autres valeurs, philosophies, concepts ou manières de calculer.

IV.1.5. Le risque et les médias:

Un élément important dans la psychologie de la perception des risques est la disponibilité de l'information. La stratégie mentale aboutissant à une décision consiste à mettre en parallèle la situation qu'on est en train d'examiner et l'information la plus aisément disponible et la plus facile à évoquer. Plus l'information sur un événement donné est "disponible", plus on imagine probable que cet événement va se produire. Les choses qui se produisent souvent sont faciles à se rappeler. La fréquence des reportages sur un événement, telle un aléa naturel, va accroître ses chances de perception. Mais de nombreux autres facteurs influencent les chances d'évocation, la disponibilité mentale de l'information, et par conséquent la perception d'un risque. Les caractéristiques d'un drame, le contexte et l'expérience influencent les chances d'évocation. Une information dramatique, riche en cadavres et catastrophes, a de grandes chances de se fixer dans la mémoire.

Pour la plupart des gens, un contact personnel avec les aléas est plutôt rare; il en résulte qu'une connaissance de ces aléas est acquise plutôt par les reportages des médias de l'information que par une expérience directe. La façon dont les reportages des médias présentent les aléas influence grandement la perception du risque. Les médias ont tendance à se concentrer dans leurs reportages sur les événements dramatiques et inhabituels, si bien que ces événements sont perçus comme plus fréquents qu'ils ne le sont en réalité.

Une composante commune dans les programmes de mitigation des risques est une éducation publique visant à accroître la conscience des désastres. Il ne s'agit pas seulement d'accroître la perception des risques quand elle est jugée trop basse; il s'agit aussi d'enseigner au public qu'on peut prévenir les catastrophes; il s'agit de l'encourager à

participer à sa propre protection.

Il a été démontré que la perception du risque, et par conséquent la motivation d'une société à le diminuer, est en gros dépendante du degré d'exposition à ce risque, c'est-à-dire de sa probabilité. Il est hors de doute que les catastrophes sont des événements redoutables et sensationnels à cause du nombre de décès qui peuvent survenir. Des risques plus élevés peuvent être représentés par des pertes de moindre envergure

IV.1.6. Incorporation du risque dans la prise de décision:

L'estimation des pertes futures probables est l'objet d'un intérêt croissant de la part de ceux qui sont préoccupés par la planification du développement et de ceux qui gèrent des installations ou une administration publique dans des régions exposées aux aléas. L'estimation des pertes futures est d'un grand intérêt pour les responsables du développement et de l'aménagement du territoire à l'échelle d'une ville ou d'une région, tout particulièrement quand les décisions de la planification peuvent avoir un effet sur les pertes futures; pour la même raison, elles sont d'un grand intérêt pour les planificateurs économiques à l'échelle nationale ou internationale.

L'estimation des pertes est aussi d'un grand intérêt pour les propriétaires ou les gérants d'un nombre élevé de bâtiments ou d'autres installations, et pour les compagnies d'assurance ou de réassurance qui assurent ces installations. De même, l'estimation des pertes est importante pour les responsables de la protection civile, des secours et des services d'urgence, afin de permettre la préparation de plans circonstanciés adéquats; elle concerne aussi ceux qui rédigent les règlements pour les bâtiments ou les règles pratiques pour la construction, puisque leur tâche est de s'assurer qu'une protection adéquate est offerte par ces règlements, à un prix minimum. Quelle sorte d'estimation des pertes est requise dépend de l'usager: pour certains usages, l'estimation des pertes physiques (en bâtiments, infrastructures et équipements) peut être la première nécessité; alors que dans d'autres cas, le nombre des pertes de vies humaines et le nombre des sans-abri peut être tout aussi important.

Pour la planification du développement à long terme, des aspects comme les pertes économiques et la destruction de l'ordre social doivent aussi être estimés. Prendre des mesures visant à réduire les effets des aléas futurs devient une préoccupation de plus en plus commune lors de la planification du développement futur de villes ou de régions qui ont

un passé marqué par des catastrophes naturelles. Planification de la préparation implique des mesures circonstanciées visant à faire face à une situation d'urgence, Planification de la mitigation implique un contrôle à long terme de l'usage du sol, une construction de qualité, et d'autres mesures destinées à réduire l'impact de l'aléa quand il finit par frapper. L'élément fondamental de ces procédures de planification est la compréhension de ce à quoi il faut s'attendre. Cela doit être quantifié, même d'une manière grossière et approximative, en termes de niveau de risque couru, envergure de l'événement probable, et conséquences si l'événement se produit. [24], [25], [26]

IV.1.7 Les plans de prévision des risques: PPR

Le plan de prévention des risques (PPR) approuvé vaut servitude d'utilité publique et impose des limites au droit de propriété et au droit d'utiliser le sol (Code de l'urbanisme); le plan de prévention des risques s'impose également aux POS (Plans d'occupation des sols) auquel il doit être annexé, et intervient dans la délivrance de permis de construire.

Le plan de prévention des risques naturels est un document d'urbanisme qui régleme l'utilisation des sols en fonction des risques naturels auxquels ils sont soumis. Cette réglementation va de l'interdiction de construire à la possibilité de construire sous certaines conditions.

C'est l'avènement régulier de catastrophes naturelles qui a montré l'importance de renforcer la politique de prévention des risques et d'accélérer l'élaboration des plans de prévention des risques pour prendre des mesures afin de réduire la vulnérabilité des personnes et des biens. Le plan de prévention des risques est une servitude d'utilité publique associée à des sanctions pénales en cas de non respect de ses prescriptions et à des conséquences en termes d'indemnisations pour catastrophe naturelle.

Le dossier du plan de prévention des risques contient une note de présentation du contexte et de la procédure qui a été menée, une ou plusieurs cartes de zonage réglementaire délimitant les zones réglementées, et un règlement correspondant à ce zonage.

Le plan de prévention des risques délimite les zones du territoire exposées aux risques naturels. Il prévoit également les mesures de prévention, de protection et de sauvegarde à mettre en oeuvre par les propriétaires et les collectivités locales ou les établissements publics. [27]

IV.1.8. Evaluation et appréciation du risque:

La tâche générale de gestion d'un risque doit inclure aussi bien une estimation de l'amplitude d'un risque particulier qu'une évaluation de l'importance pour nous de ce risque. Pour cette raison, la gestion d'un risque comprend deux parties:

a)Appréciation du risque: Un jugement social et politique sur l'importance de différents risques auxquels sont exposés les individus et les communautés. Cela implique une comparaison entre les risques perçus et les profits potentiels; cela inclut aussi une confrontation entre des jugements scientifiques et d'autres facteurs et croyances.

Pour pouvoir se faire une idée d'un risque et comparer différents risques, les scientifiques et les économistes tentent en général de les quantifier. Cela se fait en récoltant des données sur les effets des différents aléas qui engendrent le risque, et sur la base d'une analyse statistique prédissent la probabilité des événements futurs. L'identification des causes et des effets, ainsi qu'une compréhension des processus conduisant à la catastrophe sont des éléments cruciaux pour l'évaluation de risques futurs.

L'exactitude du calcul des risques dépend, pour une part considérable, de la quantité de données disponibles. Le nombre d'événements à propos desquels une information est disponible doit être suffisamment grand pour être statistiquement significatif. En outre, la qualité et la fiabilité des données doivent être adéquates. Ces facteurs posent tous des problèmes à la personne qui évalue les risques et doit identifier un degré de confiance ou un pourcentage de doute à propos d'évaluations de risques futurs proposées. [6]

Une bonne connaissance du risque "mouvements de terrain" doit permettre de répondre aux 6 questions reproduites ci après:

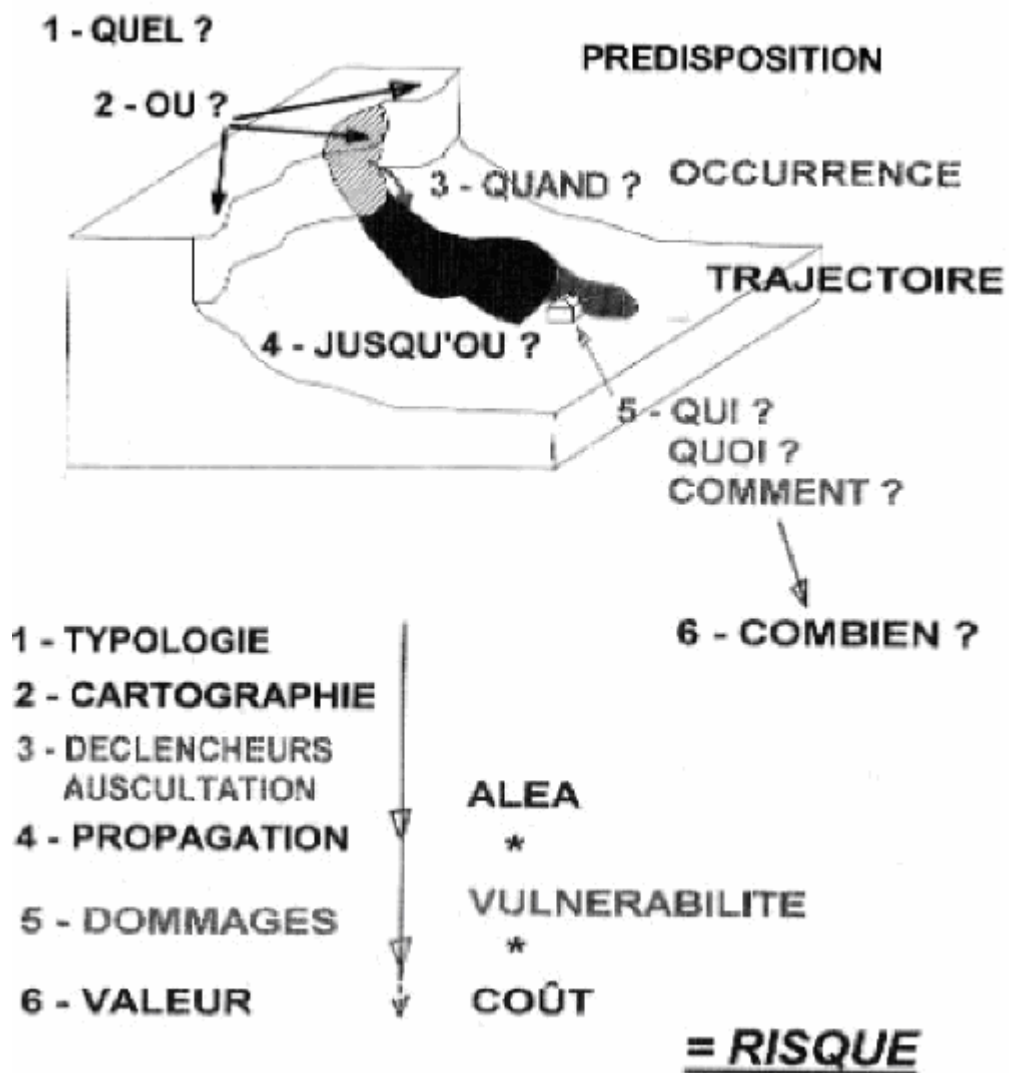


Fig. IV.1: Connaissance du Risque.

b) Evaluation du risque:

L'évaluation du risque associé à un phénomène donné fait de plus en plus partie des préoccupations de nos sociétés, et le risque associé aux mouvements de pentes naturelles ne fait pas exception. Récemment, deux jugements de la Cour suprême du Canada ont conduit le ministère des transports de la Colombie-Britannique à dédommager des victimes de chutes de pierres; la cour a décidé que le Ministère aurait dû prévoir le risque. Ces décisions montrent que la défense s'appuyant sur la notion d'Act of God a ses limites. Dès lors, il devient

nécessaire de mettre au point une approche globale du risque associé aux mouvements de pentes, notamment le long du réseau routier.

Actuellement, il n'existe pas de méthodologie établie pour évaluer simplement et systématiquement ces risques et pour établir des cartes. Bien que les connaissances dans le domaine des mouvements de terrain aient beaucoup progressé au cours des trente dernières années, elles demeurent orientées vers la résolution de problèmes locaux. Ainsi, on sait bien faire pour étudier la stabilité d'un talus, pour conforter une pente et pour réparer un glissement de terrain. Cependant, lorsque l'on doit évaluer systématiquement le risque, on réalise que les connaissances sont dispersées et mal organisées. Afin de regrouper et de structurer l'information, on propose une caractérisation géotechnique de ces mouvements.

Cette dernière prend en compte les différents types de mouvements; elle définit des classes de matériaux, les caractérisant d'un point de vue mécanique, et quatre étapes possibles du mouvement à savoir:

- a) L'étape de pré rupture, quand la masse de sol ou de roche est encore intacte et continue.
- b) La rupture proprement dite, qui est caractérisée par la formation d'une surface de rupture à travers toute la masse de sol ou de roche.
- c) L'étape de post rupture, qui va de la rupture à l'arrêt des matériaux.
- d) L'étape de la réactivation, qui peut se produire sur une surface sur laquelle il y'a déjà eu glissement dans le passé.

La prise en considération de ces quatre étapes est essentielle, car les lois et paramètres qui régissent alors le comportement des sols ou des roches sont très différents. Par exemple, les étapes de pré rupture et de réactivation sont toutes les deux fortement influencées par le fluage. Cependant, à l'étape de pré rupture, il s'agit d'un fluage de toute la masse alors qu'à l'occasion d'une réactivation, il s'agit pour l'essentiel du fluage d'un bloc rigide sur un autre bloc rigide. L'étape de post rupture résulte de la distribution de l'énergie potentielle disponible au moment de la rupture en frottement, en remaniement et en énergie cinétique.

Pour un mouvement donné caractérisé par le type de mouvement, par le matériau en question et par l'étape du mouvement, on définit une fiche de caractérisation contenant les lois et paramètres régissant les phénomènes; les facteurs de prédisposition; les facteurs de déclenchement ou d'aggravation; les facteurs révélateurs; et les conséquences possibles du mouvement. Les conséquences possibles du mouvement incluent le volume de matériau en

question, la vitesse du mouvement et, éventuellement, la distance de parcours des matériaux. Elles peuvent être directes (destruction d'une maison par un glissement) ou indirectes (hôpital rendu inaccessible du fait d'une route coupée par un glissement). Le seul fait de remplir une telle fiche constitue une étape primordiale dans l'analyse du mouvement de terrain, car elle force l'ingénieur à acquérir une bonne compréhension des phénomènes liés au mouvement ainsi que des conséquences de ce mouvement. [28]

IV.1.9. Les mesures techniques:

La caractérisation géotechnique peut être utilisée pour choisir une méthode de confortement de la pente ou un système d'alarme en cas de rupture ou d'imminence de rupture qui soit le plus adéquat possible. Ce choix doit être fait en considérant la réduction du risque. On peut noter:

- Suppression de la masse présentant un risque : purge, abattage...etc.
- Confortement de la masse instable: piliers, ancrage, injection de béton, mur de soutènement.
- Stabilisation: reboisement, végétalisation.
- Action sur l'eau: collecte des eaux de surface, drainage...etc.
- Système de déviation, de guidage, de freinage et d'arrêt des éboulis: grillage, filets, murs, fossés, plage de dépôts...etc.
- Dispositions constructives: renforcement des façades et fondations profondes pour les ouvrages exposés...etc.
- _ Casquette pare blocs et galerie.
- _ Système de surveillance par caméra infrarouge et levés topographiques réguliers.

IV.1.10. Le zonage:

Par définition le zonage est un regroupement des terrains présentant des propriétés voisines, les méthodes d'élaboration du zonage sont basées sur l'évaluation du rôle respectif de chacun des facteurs d'occurrence retenue. Le zonage a en effet été établi à partir d'un regroupement un peu empirique, combinaison simple, des facteurs jugés défavorables. Cette méthode consiste à présenter l'aspect spatial de la prévision. [29]

À partir des données sont déterminés des aléas de référence pris en compte pour réaliser les plans nécessaires à des aménagements durables et préserver la sécurité des personnes et des biens. Les cartes de zones exposées aux risques permettent d'effectuer un zonage du territoire en fonction de l'intensité, de la gravité et de la probabilité d'apparition du

phénomène. Ces cartes, sans valeur juridique ni réglementaire, servent de base à l'établissement des plans d'exposition aux risques devenu plans de prévention des risques (PPR). Ils intègrent le risque dans les documents d'urbanisme, en définissant trois zones, les couleurs définissent le niveau de l'aléa. [12]

- Zone rouge, risque fort à très fort, des mesures de protection peuvent être prises (drainage, dimensionnement des fondations adapté).
- Zone bleue, risque moyen.
- Zone verte, présumée sans risque.

IV.2. LA CARTOGRAPHIE:

L'approche cartographique de l'aléa apparaît comme l'un des moyens le plus fiable et le plus rentable pour localiser les zones les plus dangereuses. Elle permet de faire la synthèse de l'ensemble des résultats obtenus. Les cartes de zones exposées aux risques de mouvements de terrains permettent d'effectuer un zonage du territoire en fonction de l'intensité, de la gravité et de la probabilité d'apparition de ces problèmes. La cartographie se révèle comme à la fois un outil scientifique très puissant pour connaître et rendre compte de l'aléa, mais aussi pour déterminer des zonages que les aménageurs, prescripteurs et décideurs intégreront dans leur démarche globale de gestion et d'aménagement du territoire aux diverses échelles appropriées. [30]

IV.3. ZONAGE D'UNE REGION POTENTIELLEMENT SOUMISE A UN MOUVEMENT DE TERRAIN:

Le but est la détermination d'une cartographie pour la région pour être utilisée comme document de base joint au plan directeur d'aménagement et au plan d'occupation des sols afin d'éviter les erreurs d'appréciations [31]. La méthodologie proposée est basée sur une analyse qualitative des facteurs déterminants pour la problématique des mouvements de terrain [32]. Le travail consiste à:

- Inventorier tous les sites de la région touchée par ce phénomène.
- Analyser les différentes études réalisées auparavant sur ces sites.
- Mettre au point les facteurs déterminants selon la compilation des données.
- Définir l'aléa des mouvements de terrain comme zone d'apparition d'un phénomène sur une région étudiée.

Il s'agit d'approche statistique empirique permettant d'établir un zonage. Les facteurs déterminants à ce niveau d'étude sont pratiquement toutes les données recueillies à partir des sondages carottés et des essais oedometriques.

A partir des données collectées pour chaque zone, plusieurs sondages ont été réalisés, mises en forme et inventoriées sur une base de donnée pour tous les sites du Nord de la Wilaya de M'sila on peut illustrer ceci par une représentation géométrique [14], [16] appelée: Empreinte reflétant les différentes couches du sous sol de fondation avec des caractéristiques physiques.

IV.3.1. Principe de l'empreinte

La nature d'un sol est caractérisée par une empreinte construite à partir des indices d'identifications tels que l'indice de plasticité, l'activité et la granulométrie. L'empreinte consiste à représenter dans le quadrant 1 l'indice de plasticité en fonction de la limite de liquidité, qui n'est autre que l'abaque de Casagrande qui sert à classer les différents types d'argiles non organiques à forte plasticité ou organiques à faible plasticité. Dans le quadrant 2 l'indice de plasticité en fonction du pourcentage des passants ce qui représente l'indice d'activité d'un sol et son domaine d'application comme prédit par Skempton. Le quadrant 3 représente tout simplement la courbe granulométrique pour la distribution des grains. Le quadrant 4 fermera l'empreinte avec le diamètre des particules en fonction de la limite de liquidité.

Dans chaque quadrant les indices d'identifications sont représentés par un point P à savoir P_1 pour le premier, P_2 pour le deuxième, P_{90} et $P_{2\mu m}$ pour le troisième et P_4 pour le quatrième; on connectant les différents points P_1 , P_2 , P_{90} et $P_{2\mu m}$ et P_4 , on obtiendra une figure géométrique appelée empreinte qui donnera une information de base pour l'identification et la classification d'un sol. L'empreinte a été utilisée dans notre cas pour une compilation et un stockage de données qui sert de base pour la classification et l'identification des sols concernés par le phénomène du mouvement de terrain car elle nous permet de savoir avec exactitude le pourcentage de particules fines inférieures à 2 micromètre existant dans ce sol. Plus le pourcentage des fines est élevé, plus le sol est sujet à un mouvement de terrain spécialement lorsqu'il s'agit d'un terrain déjà prédisposé à des mouvements. Par ailleurs, l'empreinte permet, de déterminer l'activité qui joue un rôle important dans le comportement d'un sol et de connaître le type d'argile (Illite, Kaolinite, Montmorillonite) avec une forte

plasticité ou non et si elle est organique ou non .L’empreinte montre des indices assez révélateur de mouvement.

Notre approche consiste à caler les différentes empreintes de tous les sites pour pouvoir se prononcer sur la grandeur du risque site par site. A cet égard les paramètres influents pris en considération sont le pourcentage des particules fines de chaque site, l’activité, l’indice de plasticité et l’eau pour pouvoir approcher le taux du risque probable.

IV.3.2. Methodologie:

Les facteurs pris en compte sont loin d’être indépendants, par conséquent la détermination du poids relatif (coefficient de pondération) de chaque facteur de mouvement de terrain n’est pas simple et n’implique pas, par conséquent, des résultats significatifs. Concernant nos sites, certain nombre de facteurs relevant de cette étude ne sont ni disponibles ni quantifiables, en outre le manque de moyens d’investigation et d’analyse ont rendu assez rude l’évaluation des paramètres impliqués. Il est cependant difficile d’en tenir compte de manière détaillée et précise dans une telle classification de portée générale. A ce terme nous avons eu recours à l’empirisme. Nous avons opté pour une méthode, relativement simpliste, basée sur l’individualité des facteurs défavorables, dont leur classification couvre l’ensemble des caractéristiques de nos sites. On a ensuite cherché à évaluer l’importance de chacun des facteurs gradués de manière simple, arithmétique, en les classant selon une échelle numérique au nombre de quatre. Ces derniers sont quantifiés à partir des différentes empreintes faites sur le logiciel Excel pour leurs obtentions et le réseau hydrique pour tous les terrains inventoriés. [33]

La classification adoptée pour le risque potentiel est la suivante: Risque 0 (nul), 1 (moyen), 2 (fort) et 3 (très fort).

La méthode de l’empreinte utilisée ici est de prendre la valeur maximale pour les facteurs déterminants à savoir: l’activité, l’indice de plasticité et le pourcentage des particules fines inférieures à $2\mu\text{m}$.

Les facteurs pris en compte sont loin d’être indépendants, ils sont classés qualitativement comme facteurs de mouvement de terrain. Pour évaluer chacun d’entre eux, il suffit de les gradués de manière simple et arithmétique en les classant de 0 à 3.

Cette méthode a pour objectif de prendre en compte les facteurs déterminants élémentaires (paramètres physique d'un sol) pour pouvoir définir des zones sujets à l'aléa du mouvement de terrain.

Le risque est évalué comme suit:

$$\sum \delta_i = \delta I_p + \delta P_f + \delta I_A + \delta E$$

Cette méthodologie a pour objectif de prendre en compte un certain nombre de paramètres primaires et de définir leurs contributions respectives. Les facteurs pris en compte dans une telle approche cartographique sont les suivants:

a) L'activité [I_A]:

Les sols gonflants par l'humidité jouent un rôle défavorable pour la stabilité des constructions. En réalité, le changement de volume est dû lorsque deux processus alternent : un gonflement (suite à la fixation de l'eau disponible) suivi d'une rétraction (suite à la perte de l'eau fixée), occasionnant des dégâts sérieux. L'aptitude d'un sol ou d'une roche à changer de volume dépend de sa teneur en argiles gonflantes. Parmi les argiles les plus susceptibles de fixer l'eau, dans la région de notre étude, figurent les montmorillonites. Il faut signaler cependant l'importance des dégâts survenus dans le secteur suite à la présence des matériaux plastiques et de l'argile gonflante. A partir de l'indice de plasticité et du pourcentage de particules fines inférieurs à $2\mu\text{m}$, il est possible de définir l'indice de Skempton [18] I_A qui est l'activité, cet indice peut servir à l'estimation du taux de gonflement.

b) Indice de plasticité (I_p)

Il est calculé à partir des limites d'Atterberg qui mettent en évidence l'influence de la teneur en eau sur la consistance du matériau fin. Cet indice correspond à la différence entre la limite de liquidité (W_L) et la limite de plasticité (W_p) du matériau. Il représente donc l'étendue du domaine plastique et donne une indication sur l'aptitude du matériau argileux à acquérir de l'eau.

c) Pourcentage des particules fines (P_f):

La fraction argileuse d'un sol (pourcentage des particules fines $<$ à $2\mu\text{m}$) montre la proportionnalité (contenance) en pourcentage des particules fines dans le sol. Il ne s'agit là

que du sens granulométrique et non pas minéralogique. Les sols fins sont beaucoup plus sujets à des mouvements de terrains.

d) L'eau [E]:

Ce facteur regroupe les effets induits par les eaux des précipitations, les eaux domestiques et les eaux d'infiltration. L'eau est une principale cause de déclenchement et de l'évolution d'instabilité des terrains. Elle agit en augmentant les pressions interstitielles des terrains et en modifiant leurs caractéristiques volumiques et géotechniques (cohésion, saturation, ...etc.).

La contribution du facteur eau a été prise en compte, qualitativement, en fonction de sa présence et de son faciès chimique.

IV.3.3. Indexation des différents facteurs:

Tous les paramètres pris en compte seront codés logiquement, suivant la méthodologie définie ci dessus. Nous allons donc passer en revue les facteurs qui sont déterminants dans l'évaluation des potentialités de mouvement de terrain dans les différents sites.

_ Activité (I_A):

Les sols gonflants occasionnent des mouvements de terrains importants dans la région de M'sila. C'est pour cela qu'on a pris l'indice d'activité (non active, active, très active et extrêmement active) comme facteur déterminant

Tableau. IV.1: Echelle de contribution de l'indice d'activité I_A.

Risque	faible	Moyen	Fort	Très fort
Plage de variation	$0 < I_A < 0.5$	$0.5 < I_A < 1$	$1 < I_A < 2$	$I_A > 2$
δI_A	0	1	2	3

_ Indice de plasticité (I_p):

Selon l'indice de plasticité on a essayé de classier ces sols pour l'obtention de leur degré de plasticité (non plastique, moyennement plastique, plastique et très plastique). Les matériaux plastiques jouent un rôle essentiel dans les mouvements de terrains

Tableau. IV.2: Echelle de contribution de l'indice de plasticité I_p .

Risque	Faible	Moyen	Fort	Très fort
Plage de variation	$0 < I_p < 10$	$10 < I_p < 20$	$20 < I_p < 30$	$I_p > 30$
δI_p	0	1	2	3

_ Pourcentage des particules fines inférieures à $2\mu\text{m}$ ($P_f < 2\mu\text{m}$):

La fraction argileuse d'un sol (pourcentage des particules fines $< 2\mu\text{m}$) montre la proportionnalité (contenance) en pourcentage des particules fines dans le sol.

Tableau. IV.3: Echelle de contribution du pourcentage des particules fines inférieure à $2\mu\text{m}$.

Risque	Faible	Moyen	Fort	Très fort
Plage de variation	très peu d'argile $0 < P_f < 20$	Peu d'argile $20 < P_f < 40$	moyennement argileux $40 < P_f < 60$	Très argileux $P_f > 60$
$\delta P_f < 2\mu\text{m}$	0	1	2	3

- Le facteur eau et sa nature chimique(E):

Tableau.IV.4:Echelle de contribution de l'eau.

Risque	Faible	Moyen	Fort	Très fort
Plage de variation	aucune présence d'eau n'est décelée.	présence d'eau, faiblement minéralisée	présence d'eau à forte minéralisation dans le sol	présence d'eau séléniteuse, présence de Na ⁺ , Cl ⁻ et SO ₄ ²⁻ .
δ E	1	2	3	4

La sommation de chaque indice de contribution donnera le degré du risque potentiel pour la zone concernée. A titre d'exemple pour un même facteur dans une zone donnée, s'il présente l'aspect défavorable au mouvement on lui affecte la contribution la plus importante (3), dans une autre zone s'il se présente sous la forme qui n'influe guère sur le mouvement on lui attribue le (0). On désigne par δ_i le coefficient qui correspond à l'estimation du risque potentiel de toutes les contributions. Le degré du risque probable est subdivisé en quatre niveaux d'intensités croissantes (de 0à3, 3à6, 6à9 et 9à12) figure.IV.2.

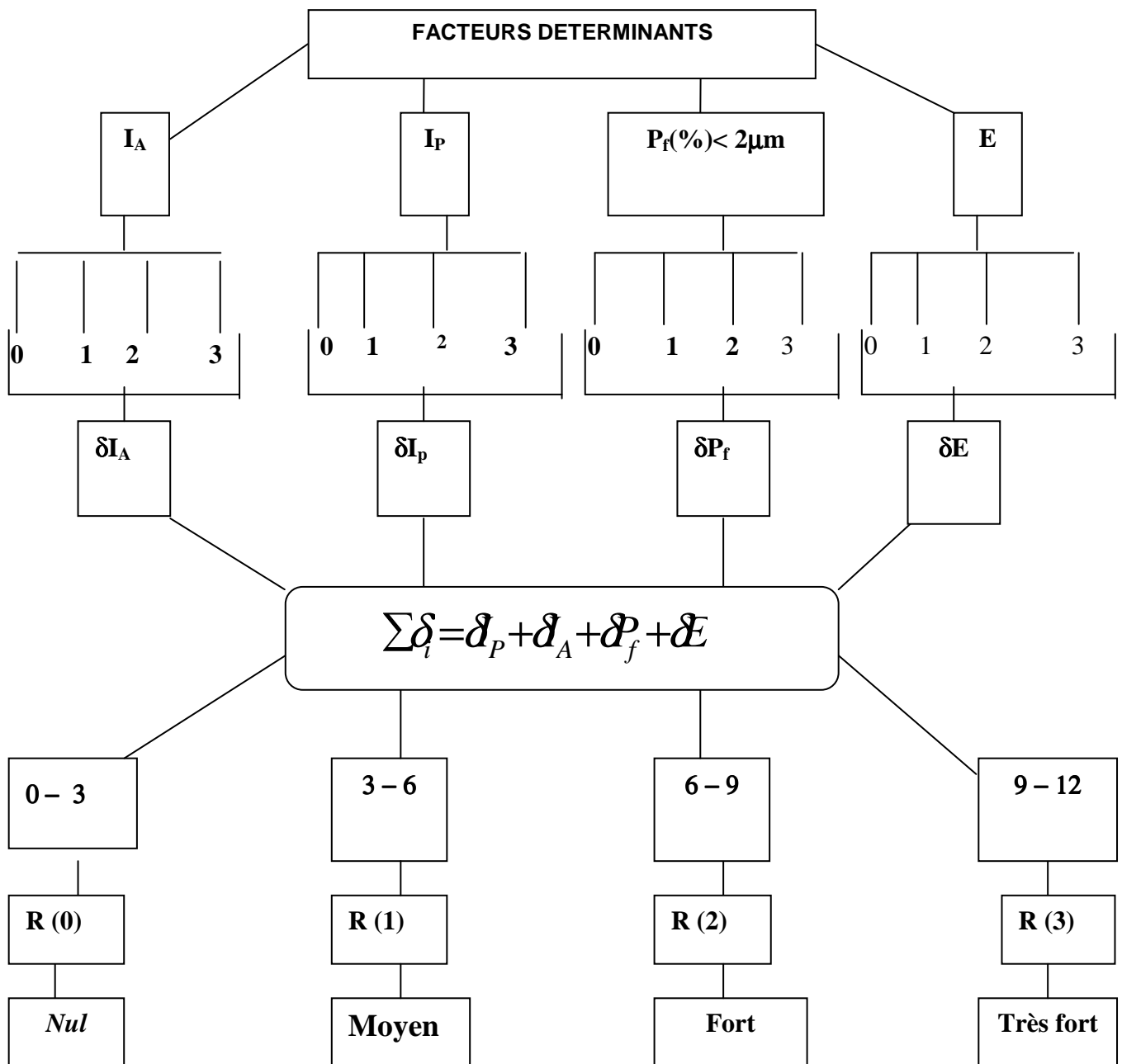


Fig. IV.2: Méthodologie d'estimation du risque potentiel dans un secteur donné.

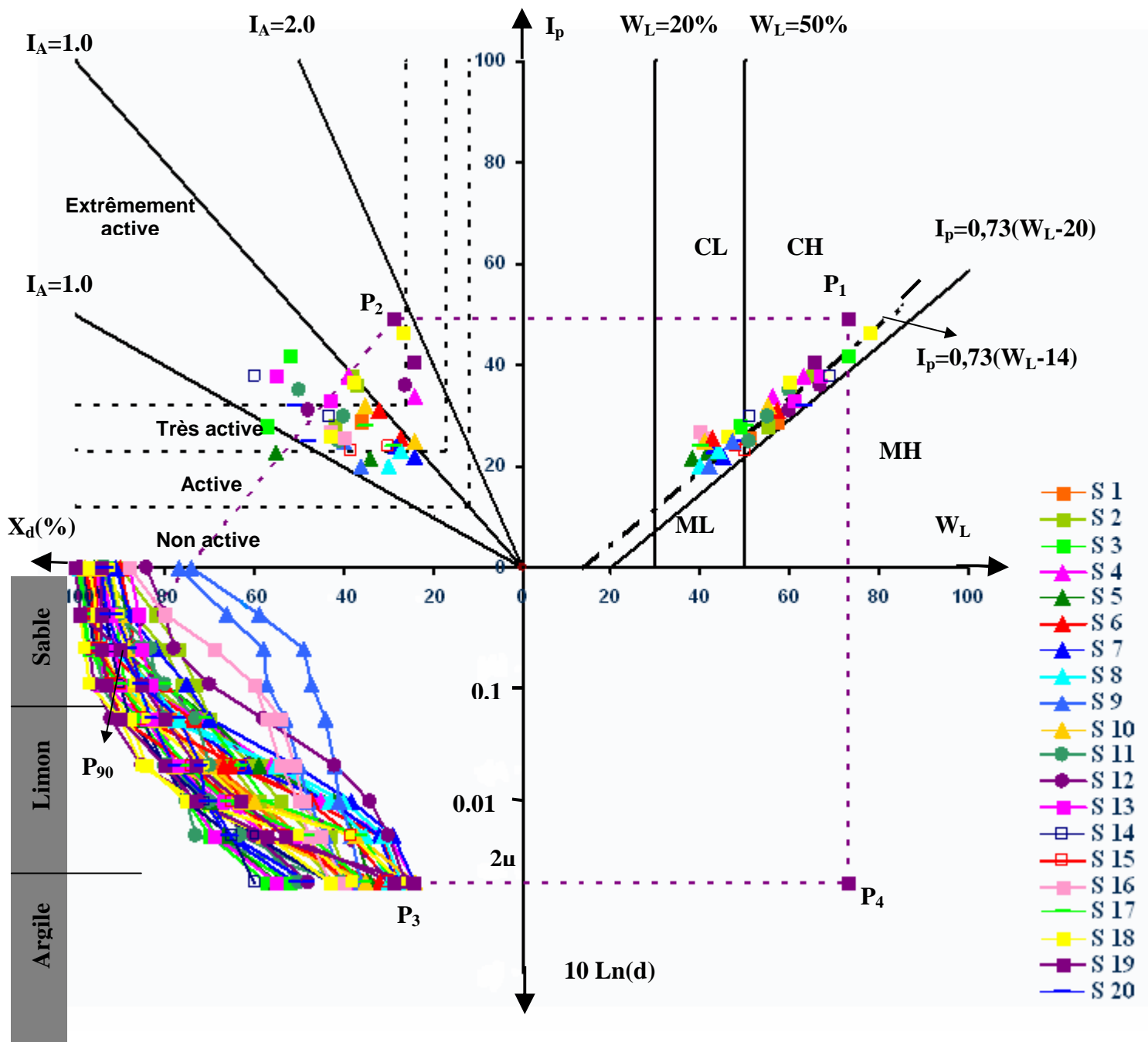
IV.3.4. Exemple d'application au Site de Sidi Aissa:

Dans la région de Sidi Aissa nous retrouvons, des marnes grises et des grés alternant avec les marnes du Miocène, ainsi que les marnes brunes feuilletées à lumachelles et les marno calcaires de l'Eocène, ainsi que des alluvions récentes du Quaternaire donc essentiellement des marnes.

La ville de Sidi Aissa est caractérisée par un relief en plaine, avec quelques hauteurs isolées et des collines marneuses. La topographie étant pratiquement horizontale, dont le relief est plat ou parfois quelques déclivités de pente très douces.

Aucune présence d'eau n'a été décelée puisque les terrains marneux sont imperméables et ne sauraient constituer des aquifères ; l'analyse chimique du sol a mis en évidence une forte teneur en sel (chlorure de sodium et gypses représentés respectivement par les ions Na^+ , Cl^- et SO_4^{2-}). La région de Sidi Aissa est caractérisée par un climat semi aride, qui se contente de faibles précipitations 300mm par an.

Dans cette région où plus d'une dizaine d'instabilités ont été répertoriées, on peut appliquer l'approche d'estimation du degré d'instabilité de la façon suivante: D'après l'empreinte relative au site de Sidi Aissa.



Empreinte de Sidi Aissa.

Le point P₁ montre I_p > 30 ce qui implique que δI_p = 3

Le point

P₂ permet de lire 1 < I_A < 2 ce qui donne δI_A = 3

Le point P_{2μ}

montre 20 < P_f < 60 ce qui implique que δP_f = 2

Enfin l'eau: la région de

Sidi Aissa est caractérisée par un climat semi aride, qui se contente de faibles précipitations 300mm par an ce qui donne un δE = 1

Par conséquent, le degré du risque

potentiel sera la sommation suivante:

$$\delta_i = \delta I_p + \delta I_A + \delta P_f + \delta E = 3 + 3 + 2 + 1 = 9$$

et c'est le risque fort représenté par R (2). La somme des coefficients est égale à 9, ce nombre est inclus dans le segment [6,9] ce qui implique que le niveau de risque potentiel de cette zone est de degré 2, sur l'échelle des risques à trois niveaux. Donc le secteur de Sidi Aissa présente un risque fort et tout aménagement prévu doit être précédé par une étude géotechnique détaillée.

IV.4. CARTOGRAPHIE DE L'ENSEMBLE DU SECTEUR D'ETUDE:

La généralisation de cette méthode sur l'ensemble des autres sites permet d'établir le tableau suivant; relatif à l'aléa mouvement de terrain dans le Nord de la Wilaya de M'sila (TabIV.5).

Tableau IV.5: Estimation des différents paramètres des sites étudiés.

Les facteurs de contributions Les sites étudiés	δI_p	δP_f	δI_A	δE	$\Sigma \delta_i$	Risque
Ain el Hadjel	16 à 54,65 3	20 à 60 2	3	1	9	R (2)
Berhoum	12,8 à 30 2	18 à 52 2	1	1	6	R (1)
Chellal	15,6 à 41 2	17 à 56 2	1	4	9	R (2)
Hammam Dhalaa	15 à 35,59 2	16 à 52 2	1	1	6	R (1)
Maadid	16,29 à 48,3 3	18 à 58 2	2	1	8	R (2)
M'sila	16 à 36,5 2	20 à 60 2	1	1	6	R (1)
Ouled Addi Gueballa	9,72 à 36,11 2	18 à 54 2	1	1	6	R (1)
Sidi Aissa	20 à 49,11 3	24 à 60 2	3	1	9	R (2)
Sidi Hadjras	29,5 à 49,63 3	17,7 à 63,9 2	3	1	9	R (2)

Remarque:

Vu la contrainte temps, on n'a pas pu faire les empreintes de tous les sites étudiés, ceci ne nous a pas empêché d'évaluer le risque à travers ces sites (Berhoum, Chellal, Hammam Dhalaa, Maadid, Ouled Addi Gueballa, Sidi Hadjras) dont les caractéristiques physico-mecaniques sont les suivantes:

Tableau IV.6: Caractéristiques physico-mecaniques des différents sites.

Site	S	Profondeur	Lithologie	W	S _r	W _L	I _p	P _f	C	φ	P _C	C _C	
Berhoum	1	3-3.5	Argile sableuse	18,94	78,25	38,4	18,32	56	0,19	25	1,23	0,183	
		3.5-4.5	Argile sableuse	17,9	67,32	49	23,26	40	0,3	20	1,2	0,18	
	2	1-1.5	Argile sableuse			34	14,3	20					
		1.5-3	Argile sableuse			32	12,8	32					
	3	1.5-2.5	Argile sableuse			34,2	19,2	10					
		2.5-3.5	Argile sableuse			32,8	15,2	8					
	4	1.5-2	Marne avec trace de gypse	11	65	40	22	57	0,1	20	1,75	0,22	
		2-3.5	Argile marneuse avec trace de gypse			50	27	46	0,53	8	1,7	0,24	
		4-5.	Argile marneuse avec trace de gypse			56	24	49	0,49	10	1,9	0,23	
	5	2-3.	Argile marneuse avec trace de gypse			53	29	46					
		4-5.	Argile marneuse avec trace de gypse			51	30	52					
	6	2.	Argile avec trace de gypse	9	41,2	39	23	44	0,54	7	3,8	0,03	
		3.	Argile avec trace de gypse	8	35	38	21	40					
		3.5	Argile avec trace de gypse	9	41,2	40	22	45					
	7	1-2	Argile marneuse avec trace de gypse	17	50	51	22	44	0,6	10	1,9	0,22	
		2-2.5	Argile marneuse avec trace de gypse	20	56	57	30	45					
	Chellal	1	2-3	Limon argileux	15	47	31,8	16,7	49	0,5	47	2,2	0,229
			4-5.	Limon argileux	14	72	32,4	15,6	40	0,67	45	1,95	0,215
2		3-4.	Limon argileux	14	75	33,7	18,2	39					
		4-5.	Limon argileux	12	45	35,4	17,6	42					
3		3-4.	Argile sableuse	24	90	45	23	20	0,34	18	4,79	0,06	
		4-6.	Argile sableuse	26	96	42	22	38					
4		2.5-3	Argile avec trace de gypse	15	65	46	27	35	0,47	13	1,2	0,2	
		3.5-4	Limon argileux	23	70	49	31	56	0,43	14	1,8	0,2	
5		1.6-3	Argile avec trace de gypse	5,9	36	57,2	33,7	17	0,38	31	1,37	0,162	
		4-5.	Argile avec trace de gypse	22,3	60	50,9	30,3	35	0,32	32	1,9	0,18	
		5-6.	Argile avec trace de gypse	23,5	61	66,3	41	40					
6		3-4	Limon argileux avec trace de gypse	21	81	51	25	26	0,41	11,3	1,4	0,175	

		4-4.5	Limon argileux avec trace de gypse	27	94	54	31	30	0,51	12,4	1,2	0,195
	7	2.5-3.	Argile sableuse	21,5	95	50	29,06	40	0,71	5	1,65	0,18
		3.1-4.1	Argile sableuse	22,7	98,5	53	30,4	41	0,58	8	2,15	0,24
		5.4-6.4	Argile marneuse	22,9	98,9	51	28,5	38	0,4	15	2	0,2
	8	2-3.5	Limon argileux	20	80	50	26	25	0,4	11	1,4	0,17
		4-4.5	Limon argileux avec trace de gypse	26	100	55	30	30	0,5	12	1,2	0,19
Hamman Dhalaa	1	1.2-2.5	Marne caillouteuse			33	16	35				
		2.5-3	Marne graveleuse			38	22	36				
	2	3.1-3.4	Argile sableuse	11,5	50	40,5	19,9	33	0,19	25	0,68	0,144
		3.5-4	Limon sableux	11	58	30	15	16	0,3	17	1	0,15
	3	0.2-1.5	Tuff			33,2	20,6	18				
		1.5-2.5	Marne caillouteuse			35,5	22	20				
	4	0.2-1.3	Calcaire			37,6	16,5	19				
		1.3-2.5	Marne			37	19,9	21				
	5	1.2-1.5	Marne argileuse	14,28	48	36,5	11,69	45				
		1.7-2.5	Argile sableuse			59,5	35,59	52				
	6	0-1.5	Limon sableux	9	54	20	12	16	0,29	16	2	0,15
		1.5-2	Limon sableux	15,6	60	18	13	10	0,44	15	2,4	0,27
2-2.5		Limon sableux	14,5	48	21	10	6	0,17	18	1,9	0,2	
Maadid	1	2.5	Argile limoneuse	15,75	76,3	45,94	23,44	47	0,48	12	1,09	0,131
		3.8	Argile graveleuse	18,86	74	40,83	19,3	44	0,44	4	1,15	0,2
		3.8-4.2	Sable limoneux	7,36	30	38,5	18,95	18				
	2	2.5-3	Argile graveleuse	19	68	39	18,5	52	0,7	9	1,5	0,229
		3-4.	Argile marneuse	20	78	42	22	52				
		4.5	Argile	17	78	45	23	55	0,8	13	1,45	0,206
	3	4.5-5	Argile	16,3	82	41	21	58				
		3.5-4	Argile	17,2	80	43	20,7	58	0,75	10	2,1	0,13
		5.	Argile	18,5	82	41	19,8	57	0,6	6	1,9	0,15
	4	2.	Marne	14,66	71,61	54	33,47	45				
		3.	Marne	15,18	74,15	52	32	41	0,45	42	2,6	0,178
		4.	Marne	11,65	68	49	36,5	31				
	5	2.	Marne	15,24	76,91	52,8	39,41	30				
		3.	Argile	17	82	49	30,25	19				
		4.	Argile	17,77	77,66	58	37,91	21	0,5	43	1,3	0,154
	6	3.	Argile	16,58	80,99	55,2	31,59	47				
		4.	Argile	16,44	82,98	51,2	36,92	39				
	7	1.1-1.6	Marne argileuse	21	80	65	39,9	60,1	0,7	13	2,5	0,185
		3.4-3.8	Marne argileuse	16,69	99,47	57,5	34,31	43,85	0,5	25	1,9	0,175
		3.8-4.8	Marne argileuse	18,29	92,32	48,2	23,68	45,43	0,6	22	2,38	0,139
8	5.35-5.8	Marne argileuse	18,67	100	52	29,12	56,19					

		6.45-7	Marne argileuse	16,84	92,32	47,8	24,42	47,92	0,15	21	2	0,18	
		7.4-8	Marne argileuse	16,45	91,54	48,8	28,82	51,87					
		10.6-10.8	Marne argileuse	16,63	100	41	16,29	31,9					
	9	2.5	Argile limoneuse	15,75	76,3	45,94	23,44	46	0,48	2	1,1	0,131	
		3.8	Argile limoneuse	18,86	74	40,83	19,3	44	0,44	4	1,15	0,2	
	10	2.	Argile graveleuse	12	30,5	41	26	34	0,47	8	1,74	0,196	
		2.5	Argile	9	40	39	23	33	0,55	7	1,76	0,185	
		3.5	Argile	10	45,2	40	24	44					
	11	1-1.4	Marne argileuse	20	60	45	25	48	0,7	14	2,4	0,16	
		1.4-1.8	Argile marneuse	17,25	84,65	64,5	29,31	40	0,25	13	2,9	0,21	
		1.8-2.5	Argile marneuse	26	95,28	82,5	48,33	55					
Ouled Addi Gueballa	1	2-2.5	Argile	16	50	50	15	33	0,5	8	3	0,13	
	2	1-1.7	Argile marneuse	10,92	69,87	54,5	29	46	0,18	28	1,92	0,2	
		1.9-2.5	Argile marneuse	13	61,19	51	29,5	48	0,27	27	1,9	0,23	
	3	0.7-1.6	Argile marneuse	14,48	62,71	34	9,72	20	0,25	13	1,7	0,14	
		1.6-2.1	Argile marneuse			58,5	36,11	48					
		2.1-3	Argile marneuse			54	29,55	18					
	4	2.	Limon argileux	9,22	50,54	41,6	27,32	31					
		3.	Limon argileux	10,52	58,63	38,8	25,41	27					
	5	0-0.7	Argile avec trace de gypse			47,8	23,5	43	0,7	25	0,75	0,2	
		0.7-1.4	Argile avec trace de gypse	12,4	46	57,3	29,6	45	0,6	33			
	6	1.4-2	Argile avec trace de gypse	12,6	50	57,2	31,9	46	0,65	34			
		2-3.	Limon avec trace de gypse	8,5	34	64,3	35	40	0,4	34			
	7	2.	Limon argileux	14	58	37	21	39	0,52	8	1,7	0,18	
		2.5-3	Argile sableuse	8,5	40	40	23	38	0,46	10	1,8	0,14	
		3-3.5	Argile sableuse			35	21	44					
	Sidi Hadjras	1	1.5-1.9	Marne argileuse avec trace de gypse	21,99	87,99	76,7	45,8	17,7				
			3.6-4	Marne argileuse avec trace de gypse	23,67	80	72	39,68	63,9				
2		1.7-2	Marne argileuse avec trace de gypse	20,84	82,99	70,5	43,29	40					
		2-2.9	Marne argileuse avec trace de gypse	23,89	91,28	72,2	41	44,7					
3		1.85-2.25	Marne argileuse avec trace de gypse	23,41	87,31	72	41,2	50					
		3.7-4.4	Marne argileuse avec trace de gypse	24,79	99,63	82,8	49,63	52,5					
	6.1-6.5	Marne argileuse avec trace de gypse	32,24	97,9	72,5	39,35	51						

	4	4-5.	Argile sableuse	14,5	70	63,1	30,2	36	1,1	23		
		5-6.	Argile sableuse	13	60	56,5	29,5	47	0,57	27		
	5	2-2.5	Marne argileuse avec trace de gypse	15	73	53	35	58	0,5	4	2	0,22
		3-3.5	Marne argileuse	17	66	50	30	52	0,9	12		

IV.4.1. La carte:

Les cartes de zones exposées aux risques permettent d'effectuer un zonage du territoire en fonction de l'intensité, de la gravité et de la probabilité d'apparition du phénomène. Ces cartes, sans valeur juridique ni réglementaire, servent de base à l'établissement des plans dans l'aménagement du territoire et les décisions d'urbanisme, tel que le plan directeur d'aménagement et d'urbanisme (P.D.A.U) et les plans d'occupation des sols (P.O.S).

Elles délimitent trois zones, les couleurs définissent le niveau de l'aléa.

- Zone rouge, risque fort à très fort, des mesures de protection peuvent être prises (drainage, dimensionnement des fondations adapté...etc.).
- Zone bleue, risque moyen.
- Zone verte, présumée sans risque.

En utilisant la carte de la Wilaya de M'sila reprise par le logiciel AUTOCAD, on obtient le zonage suivant comme le montre la figure. IV.3. L'examen de la carte montre trois zones. On remarque que les zones qui présentent un risque potentiel ou déclaré sont liées essentiellement au niveau des formations marneuses. Ces zones se caractérisent, généralement, par une forte plasticité et une forte activité, en raison de la présence de montmorillonite dans le sol. La présence de sulfates est à signaler. Les secteurs notés 2 et 3 sont susceptibles d'être aménagés à condition de procéder à des travaux de stabilisation du sol, et assurer un mode de fondation qui doit absolument prendre en compte le risque de mouvement de terrain. Pour le secteur 0 et 1 on rencontre des formations limoneuses sableuses où les risques sont faibles, et leur aménagement ne pose à priori aucune contrainte d'ordre physique. [33], [34]

IV.5. CONCLUSION:

Cette étude cartographique nous a permis de caractériser les zones à risque au phénomène de mouvement de terrain. Une approche mathématique a été établie pour estimer le degré de risque, sur la base des paramètres géotechniques; qui sont l'activité, l'indice de plasticité, le pourcentage de particules fines, et le facteur eau, on a pu établir une carte délimitant les différentes zones à risques pour le Nord de la Wilaya de M'sila.

Ce zonage géotechnique donne une physionomie générale du secteur considéré, qui permet d'éviter les grosses erreurs pratiques. Mais au niveau de l'exécution ponctuelle, l'étude spécifique reste irremplaçable.

CONCLUSION GENERALE

La majorité des terrains est concernée par le risque de mouvement de terrain, avec des fréquences variables. Leur répartition spatiale est guidée par la topographie et par la géologie. Ils concernent non seulement les régions montagneuses et côtières, mais aussi les bassins à forte densité de vides souterrains, et les sols argileux sensibles aux variations de teneur en eau. Leur occurrence est très marquée par les variations climatiques (périodes de fortes pluies, fonte des neiges, sécheresse) mais peut aussi être liée à des secousses sismiques ou encore être induite par action anthropique.

L'étude présentée dans ce mémoire avait pour finalité de faire un état des connaissances sur les risques de mouvement de terrain dans la région de M'sila, d'où la nécessité d'un plan de prévention des risques, et par suite l'établissement d'une carte relative à ce phénomène.

La synthèse bibliographique a mis en évidence la complexité de la géologie de la région, allant du Secondaire jusqu'au Quaternaire. Cette étude a été réalisée sur des sols provenant de trois sites appartenant au Nord de M'sila, à partir d'un ramassage de données provenant des études établies par les différents laboratoires d'étude de sol.

L'empreinte est vraiment un moyen de caractérisation de sol, elle permet de caractériser, classifier le sol et prédire son comportement à partir des: limites d'atterberg, indices de plasticités, activités et le pourcentage de particules fines. Trois empreintes ont été établies sur les sites suivants: M'sila, Sidi Aissa et Ain el Hadjel. Les empreintes de ces sites montrent qu'on est en présence d'argile inorganique de forte plasticité selon la classification USCS (Unified Soil Classification System), ayant une activité extrême $I_A > 1.5$, ce qui laisse supposer des argiles montmorillonites calciques. Par ailleurs, les fuseaux granulométriques montrent un pourcentage de particules fines $< 2 \mu\text{m}$ compris entre 20% et 60% caractérisant leurs propres formations géologiques. On peut prédire que ces sols fins sont sujets à des instabilités à cause de l'humidité qui joue un rôle défavorable pour la stabilité. En effet, le gonflement (fixation de l'eau) suivi d'une rétraction (perte de l'eau fixée) occasionne des dégâts sérieux.

Malgré la diversité des sols argileux, les grands principes contrôlant leurs comportements mécaniques sont toujours identiques, ce qui permet de développer des approches générales pour les différents problèmes pratiques. Par ailleurs il existe des relations entre les différentes propriétés qui sont valides pour la plupart des argiles. C'est ainsi que les deux propriétés caractérisant la consistance des argiles sont représentés par la relation entre la limite de liquidité, la cohésion, et la compressibilité. Trois corrélations ont été effectuées, l'une entre l'indice de plasticité et l'angle de frottement interne et l'autre entre la limite de liquidité et l'indice de compressibilité d'une part, et la cohésion d'autre part. Ces trois corrélations montrent bien l'influence d'une propriété sur les autres propriétés physiques et mécaniques des argiles étudiées.

Sur la base de tous ces résultats on a pu établir une carte relative au phénomène de mouvement de terrain, délimitant les zones à risque au niveau du Nord de M'sila, ainsi que le degré de risque dans les différentes communes. La méthode de zonage appliquée est simple et pratique. Malgré qu'elle présente certaines limites, elle offre un grand intérêt dans le choix d'un certain nombre de facteurs déterminants et la définition de leurs contributions individuelles. Le zonage obtenu reste de portée générale, il permet d'éviter les grosses erreurs pratiques et pourrait servir de support au schéma directeur d'aménagement de la région. Mais au niveau de l'exécution ponctuelle, l'étude spécifique reste irremplaçable.

Des études ou des recherches peuvent être continuées concernant le stockage des données géotechniques des sols, pour créer une banque de données géotechniques et mécaniques et même chimiques donnant ensuite l'empreinte appropriée pour toute la Wilaya de M'sila, et par conséquent la carte relative au phénomène de mouvement de terrain.

Une étude minéralogique par la technique de diffraction des rayons X peut également faire l'objet d'autres études.

On peut aussi faire l'évaluation et la cartographie du risque mouvement de terrain par le logiciel MAPINFO ou SIG

BIBLIOGRAPHIE:

- [1] Lakhdar Y, Faye J (2000) Dossier d'information: Mouvements de terrain. Direction de la prévention des pollutions et des risques. Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement. France, pp 2-21
- [2] Agence nationale pour l'aménagement du territoire (1993).Plan d'aménagement de la Wilaya de M'sila. Direction générale des forêts antenne de M'sila. Ministère de l'agriculture. 196p
- [3] Derekoy A .M . (1973).Etude Hydrogéologique dans le Bassin du Chott el Hodna, Projet Hodna, Programme des nations unies pour le développement. Ministère de l'agriculture et de la réforme agraire Vol 1 pp 2-148
- [4] Kebiche M. (1986) –Le bassin versant du Hodna ressources en eau et possibilités d'aménagement. Thèse de doctorat 3^{ème} cycle 246 p. Université de Nancy France
- [5] Guiraud. R. (1967) Les traits principaux de l'hydrogéologie du bassin du Chott el Hodna Algérie .Bulletin, N° 39 pp 159 - 170.
- [6] Kert M. C. (1995).Rapport de l'office parlementaire sur les techniques de prévention et de prévision des risques séismes et mouvement de terrain. France, Tome 1, pp 241-279
- [7] Lair R, Durand H. (2000) .Dossier prévention du risque mouvement de terrain dans le monde. Préfecture de l'Aude, France. 45p
- [8] Goyallon J. (2000) Mouvement de terrain .Rapport du bureau des recherches géologiques et minières. France. 21 p.
- [9] Rigissc. Dess. (2003). Evolution morphologique du glissement Villard des Douibes par cartographie numérique. Extrait du mémoire de stage. Mylène Chaudoreille.16p

[10] Beaussier A (2003) Etude du glissement du Villard des Dourbes, commune de Digne les Bains. Rapport du bureau des recherches géologiques et minières. France.30 p

[11] Renault O, Norie A, Karney G, Vincent M. (2002) Cartographie de l'aléa retrait- gonflement des argiles dans le département de la Vienne. Rapport du bureau des recherches géologiques et minières. France.143 p

[12] Donsimoni M, Clozier L, Vincent M. (2001). Cartographie de l'aléa retrait- gonflement des argiles dans le département de la Seine Saint Denis .Rapport du bureau des recherches géologiques et minières. France.123 p

[13] Marcot N, Ganzalez G. (2006).Cartographie de l'aléa retrait- gonflement des argiles dans le département des Alpes de Haute Provence .Rapport du bureau des recherches géologiques et minières. France.206 p

[14] Andrei S. (1995), Test data systematisation and stockage to predict the parameters describing the behaviour of unsaturated soils. Romanian society for soil mechanics and foundation engineering; pp 25 - 32.

[15] Belouar A. (2004) Détermination des caractéristiques géotechniques d'une zone potentiellement instable. International Conference on Geotechnical Engineering, Bayreuth, Lebanon. pp 786-796

[16] Andrei.S, Manea.S. (1993). Forecast of moisture movement in unsaturated soils. Proceeding of the second international seminar on soil mechanics and foundation engineering of Iran pp 160-174.

[17] Casagrande A (1951). Effect of rate of loading under strength of clays and shales at constant water content. Conference de géotechnique. Vol. 2. pp. 251-263

[18].Skempton A. W. (1964) Long term stability of clay slopes. Conference de Géotechnique. Vol. 14. pp. 77 - 101.

[19] Benayoun. F (2002), Stabilité d'une pente, cas réel: Université de Constantine. Mémoire de magister 111 p, Université de Tebessa

[20] Magnan. J. P. Corrélations entre les propriétés des sols. Technique de l'ingénieur. pp 1-10

[21] Favre .J, L. Biarez. J. (1997). Corrélations de paramètres en mécanique des sols. Laboratoire de mécanique des sols et des milieux continus. Ecole centrale des arts et manufactures. France. pp 2-15

[22] Chikhi .N (2002), Les Formations argileuses de la région de Constantine. Leurs caractéristiques physiques et mécaniques. Mémoire de magister, Université de Constantine, 65 p

[23] Terzaghi. K, Peck. R.B (1967), Soil mechanics in engineering Practice

[24] Coburn A. W, Spence R .J, Pomoni A. (1991).Evaluation de la vulnérabilité et des risques .Programme de formation à la gestion des catastrophes .Université de Cambridge, Royaume uni. pp 9-60

[25] Leone F, Asté J. P, Leroi E (2004) L'évaluation de la vulnérabilité aux mouvements de terrain: pour une meilleure quantification du risque Revue de la géographie Alpine France pp 35-46

[26] Stephenson R.S. (1991) Catastrophes et développement programme de formation à la gestion des catastrophes .Université de Cambridge, Royaume uni. pp 9-50

[27] Bouillon M. (1998) Plans de prévision aux risques. Commission risque vallée de la Seine. France, pp 1-4

[28] Leroueil S. (1998) .Une approche géotechnique pour l'évaluation du risque associé aux mouvements de pente. Bulletin d'information technique .Vol. 3, N° 4, Laboratoire des chaussées. France, 2 p

[29] Lebourg T, Clement B, Favre R et Martins Campina. B (2001). Carte de coefficient de sécurité et d'aléa: Sensibilité des facteurs. Colloque Fiabilité des matériaux et des structures, Bordeaux. France, 8 p

[30] Rahal M E, Nini R (2004). Problèmes de stabilité des pentes au Liban: Cartographie de l'aléa mouvement de terrain .colloque international de géotechnique, Beyrouth. pp 89-95

[31] Fabre R, Clement B, Lebourg T (1998). Les mouvements de terrain en Gironde: Carte de risque et aléa. Congrès universitaire de génie civil, Reims, Vol 2, pp 380-387

[32] Malatrait A.M, Letourneur J, Antoine P (1977). Essai de cartographie systématique des mouvements de terrain dans les Alpes françaises. Bulletin de l'ingénieur N° 16, pp 39-46

[33] Margaa K, Abdelkader A. (1998), Une méthodologie de cartographie des zones potentiellement instables Application à la région d'Al Hoceima. Maroc. Canadien geotechnical journal. Vol 35, pp 460-470

[34] Bekkouche A, Djedid A, Aissa Mamoune S. M. (2003). Esquisse de la carte géotechnique du groupement Tlemcen-Mansoura-Chetouane, 13^{ième} Congrès régional d'Afrique sur l'implication de la géotechnique dans le développement des infrastructures en Afrique, Maroc. 10 p

LISTE DES TABLEAUX:

Tableau I.1: Les pentes des terrains à travers la Wilaya de M'sila.

Tableau I.2: Les précipitations mensuelles à la station de M'sila.

Tableau III.1: Caractéristiques physiques des sols de M'sila.

Tableau III.2: Caractéristiques mécaniques des sols de M'sila.

Tableau III.3: Caractéristiques physiques des sols de Sidi Aissa.

Tableau III.4: Caractéristiques mécaniques des sols de Sidi Aissa.

Tableau III.5: Caractéristiques physiques des sols de Ain el Hadjel.

Tableau III.6: Caractéristiques mécaniques des sols de Ain el Hadjel.

Tableau. IV.1: Echelle de contribution de l'indice d'activité I_A .

Tableau.IV.2: Echelle de contribution de l'indice de plasticité I_p .

Tableau.IV.3: Echelle de contribution du pourcentage des particules fines inférieures à $2\mu\text{m}$.

Tableau.IV.4: Echelle de contribution de l'eau.

Tableau IV.5: Estimation des différents paramètres des sites étudiés.

Tableau IV.6: Caractéristiques physico-mecaniques des différents sites.

LISTE DES FIGURES:

Fig. I.1: Carte de la Wilaya de M'sila.

Fig. I.2: Carte géologique de M'sila.

Fig. I.3: Carte lithologique de M'sila.

Fig. I.4: Le Réseau hydrographique.

Fig. I.5: Chott el Hodna, M'sila- Batna.

Fig. I.6: Position des nappes.

Fig. I.7: Carte topographique de M'sila.

Fig. I.8: Histogramme des variations interannuelles de la station de M'sila (1988-2005).

Fig. I.9: Carte pluviométrique de la région du Hodna.

Fig. II.1: Tassement de Mexico.

Fig. II.2: Phénomène de retrait gonflement.

Fig. II.3: Rupture d'une pente par glissement.

Fig. II.4: Effondrement de terrain.

Fig. II.5: Chute de blocs.

Fig. II.6: Falaise de Belle Fontaine.

Fig. II.7: Schéma du glissement.

Fig. III.1: Empreinte de M'sila.

Fig. III.2: Empreinte de Sidi Aissa.

Fig. III.3: Empreinte de Ain el Hadjal.

Fig. III.4: Corrélation entre l'indice de plasticité et l'angle de frottement (M'sila).

Fig. III.5: Corrélation entre l'indice de plasticité et l'angle de frottement (Sidi Aissa).

Fig. III.6: Corrélation entre l'indice de plasticité et l'angle de frottement (Ain el Hadjal).

Fig. III.7: Corrélation entre l'indice de plasticité et l'angle de frottement pour les trois sites.

Fig. III.8: Corrélation entre la limite de liquidité et la cohésion (M'sila).

Fig. III.9: Corrélation entre la limite de liquidité et la cohésion (Sidi Aissa).

Fig. III.10: Corrélation entre la limite de liquidité et la cohésion (Ain el Hadjal).

Fig. III.11: Corrélation entre la limite de liquidité et la cohésion pour les trois sites.

Fig. III.12: Corrélation entre la limite de liquidité et le coefficient de compressibilité (M'sila).

Fig. III.13: Corrélation entre la limite de liquidité et le coefficient de compressibilité (Sidi Aissa).

Fig. III.14: Corrélation entre la limite de liquidité et le coefficient de compressibilité (Ain el Hadjal).

Fig.III.15: Corrélation entre la limite de liquidité et le coefficient de compressibilité pour les trois sites.

Fig. IV.1: Connaissance du risque.

Fig. IV.2: Méthodologie d'estimation des potentialités d'instabilité dans un secteur donné.

Fig. IV.3: Carte du risque mouvement de terrain dans la Wilaya de M'sila.

LISTE DES PHOTOS:

Photo II.1: La Conchita.

Photo II.2: Coulée de boue.

Photo II.3: Une "écaille" rocheuse.

Photo II.4: Effondrement d'une cavité naturelle par dissolution du gypse.

Photo II.5: La tour de pise.

Photo II.6: Vue aérienne de l'éboulement de la Falaise de Belle Fontaine.

Photo II.7: Morphologie du glissement.

Photo II.8: Chevauchement initial en compression.

Photo II.9: Poussée des terres.

Photo.II.10:Glissement de terrain à Belouizdad.

Photo.II.11: Rue de Verdun.

Photo II.12: Fissuration de la poutre, Ain el Hadjel.

Photo II.13: Fissuration du mur, Ain el Hadjel.

Photo II.14: Fissuration du mur, Sidi Aissa.

Photo II.15: Fissuration des cloisons, Ouled Addi Gueballa.