

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique



Université Hassiba Benbouali de Chlef  
Faculté de Génie Civil et d'Architecture  
Département de Génie Civil  
Option : Structure et géotechnique

## *Mémoire de Magister en génie civil*

Présenté par :

**Mr. FACI Abdallah**

# **Application du système expert aux mouvements de terrain (stabilité des pentes)**

Directeur de thèse **Dr. LAMRI Belkacem.**

**JURY**

<b>Mr.LAMRI Belkacem</b>	<b>M.C.A</b>	<b>Université Chlef</b>	<b>Directeur de thèse</b>
<b>Mr.BRANCI Taïeb</b>	<b>M.C.A</b>	<b>Université Chlef</b>	<b>Président</b>
<b>Mr.HANIFI Missoum</b>	<b>Professeur</b>	<b>Université Mostaganem</b>	<b>Examineur</b>
<b>Mr.DJAFAR HENNI Ahmed</b>	<b>M.C.A</b>	<b>Université Chlef</b>	<b>Examineur</b>
<b>Mr.ARAB Ahmed</b>	<b>M.C.A</b>	<b>Université Chlef</b>	<b>Examineur</b>

**Promotion : 2014**

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique



Université Hassiba Benbouali de Chlef  
Faculté de Génie Civil et d'Architecture  
Département de Génie Civil  
Option : Structure et géotechnique

## *Mémoire de Magister en génie civil*

Présenté par :

**Mr. FACI Abdallah**

### **Application du système expert aux mouvements de terrain (stabilité des pentes)**

Directeur de thèse **Dr. LAMRI Belkacem.**

**JURY**

<b>Mr.LAMRI Belkacem</b>	<b>M.C.A</b>	<b>Université Chlef</b>	<b>Directeur de thèse</b>
<b>Mr.BRANCI Taïeb</b>	<b>M.C.A</b>	<b>Université Chlef</b>	<b>Président</b>
<b>Mr.HANIFI Missoum</b>	<b>Professeur</b>	<b>Université Mostaganem</b>	<b>Examineur</b>
<b>Mr.DJAFAR HENNI Ahmed</b>	<b>M.C.A</b>	<b>Université Chlef</b>	<b>Examineur</b>
<b>Mr.ARAB Ahmed</b>	<b>M.C.A</b>	<b>Université Chlef</b>	<b>Examineur</b>

**Promotion : 2014**

# **SOMMAIRE**

<b>REMERCIEMENTS</b> .....	06
<b>RESUME</b> .....	07
<b>LISTE DES NOTATIONS ET SYMBOLE</b> .....	10
<b>INTRODUCTION</b> .....	11

## **CHAPITRE 01**

### **MOUVEMENT DE TERRAIN**

1.1. Généralité .....	13
1.2. Le phénomène mouvement de terrain .....	13
1.3. Les mouvements lents .....	13
1.3.1. Les affaissements .....	14
1.3.2. Les tassements .....	14
1.3.3. Les glissements de terrain .....	15
1.3.3.1. Les glissements plans ou translationnels .....	16
1.3.3.2. Les glissements circulaires ou rotationnels .....	16
1.3.4. Nature du matériel géologique concerné .....	17
1.3.5. Les retraits gonflement des argiles .....	18
1.3.5. Le fauchage.....	18
1.4. Les mouvements rapides .....	19
1.4.1. Les effondrements .....	19
1.4.2. Les écroulements et chutes de blocs .....	20
1.4.3. Les écoulements ou coulées de masse .....	21
1.4.3.1. Les écoulements de blocs.....	22
1.4.3.2. Les écoulements de débris .....	22
1.4.3.3. Les écoulements de sols .....	22
1.5. Les mouvements complexes.....	24
1.6. Des Exemples .....	25
1.7. Les cause des glissements de terrain .....	28
1.7.1. Les facteurs conditionnant .....	29

1.7.2. Les facteurs déclenchant.....	30
--------------------------------------	----

## **CHAPITRE 02**

### **EFFET CLIMATIQUE ET SISMIQUE**

2.1. Généralité .....	31
2.2.1. L'aléa sismique .....	31
2.2.2. Etude du cas du séisme de Chlef .....	32
2.2.3. Classification des communes selon le niveau de sismicité.....	33
2.3. Lithologie.....	42
2.3.1. sol.....	42
2.3.1.1. les sols du domaine montagneux, des reliefs de liaison et des piémonts.....	43
2.4.1. la Topographie.....	48
2.4.2. la pente.....	49
2.5. Climat.....	50
2.6. le réseau hydrographique.....	53

## **CHAPITRE 03**

### **PARAMETRE DE SOL DES SITE**

3.1. Généralité .....	65
3.2. les étapes de travail comment stockées et traitées le sol.....	65
3.3. caractérisation des sols de site de Ténès.....	68
3.3.1. Interprétation de l'empreinte de Ténès .....	69
3.4. caractérisation des sols de site Sidi Abderrahmane .....	74
3.4.1. Interprétation de l'empreinte de Sidi Abderrahmane. ....	76
3.5. caractérisation des sols de site d'Ouled Ben Abdelkader .....	81
3.5.1. Interprétation de l'empreinte d'Ouled Ben Abdelkader.....	83

## **CHAPITRE 04**

### **CARACTERISATION GEOTECHNIQUE DU SITE**

4.1. Généralité .....	86
4.2. Site de Ténès .....	86

4.2.1. Corrélation entre l'indice de plasticité et l'angle de frottement de site de Ténès.....	88
4.2.2. Corrélation entre la limite de liquidité et la cohésion de site de Ténès .....	89
4.2.3. Corrélation entre la limite de liquidité et le coefficient de compressibilité de site de Ténès.....	90
4.3. Site de Sidi Abderrahmane .....	91
4.3.1. Corrélation entre l'indice de plasticité et l'angle de frottement de site de Sidi Abderrahmane .....	94
4.3.2. Corrélation entre la limite de liquidité et la cohésion de site de Sidi Abderrahmane .....	95
4.4. Site d'Ouled Ben Abdelkader .....	97
4.4.1. Corrélation entre l'indice de plasticité et l'angle de frottement de site d'Ouled Ben Abdelkader .....	99
4.4.2. Corrélation entre la limite de liquidité et la cohésion de site d'Ouled Ben Abdelkader .....	100
4.4.3. Corrélation entre la limite de liquidité et le coefficient de compressibilité de site d'Ouled Ben Abdelkader .....	101
4.5. comparaison les trois Sites.....	102
4.5.1. Corrélation entre l'indice de plasticité et l'angle de frottement pour les trois sites.....	102
4.5.2. Corrélation entre la limite de liquidité et la cohésion pour les trois sites.....	103
4.5.3. Corrélation entre la limite de liquidité et le coefficient de compressibilité pour les trois sites .....	104

## **CHAPITRE 05**

### **LES SYSTEMES EXPERTS**

5.1. Définition de système expert.....	105
5.3. Les systèmes experts sont nés d'une idée simple .....	105
5.3.1. principe base des caractéristiques et moteur d'interférences .....	106
5.4. Caractéristiques d'un système expert.....	108
5.5. Développements ultérieurs.....	109
5.6. Problèmes adaptés aux systèmes experts .....	110
5.7. Systèmes experts en géotechnique .....	110

5.8. Méthodologie .....	111
5.9. Exemple d'application les trois sites .....	116
<b>ANNEXE</b> .....	120
<b>CONCLUSION</b> .....	127
<b>LISTE DES TABLEAUX</b> .....	129
<b>LISTE DES FIGURES</b> .....	131
<b>RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b> .....	132

## ***Remerciements***

Mes remerciements s'adressent tout d'abord au Dr. LAMRI Belkacem, maître de conférences à l'université Hassiba Ben Bouali de Chlef, 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. BRANCI Taïeb, maître de conférence à l'université Hassiba Ben Bouali de Chlef, d'avoir accepté la présidence du jury de soutenance.
- ✓ Dr. HANIFI Missoum, professeur à l'université de Mostaganem, d'avoir accepté d'être examinateur.
- ✓ Dr. ARAB Ahmed, maître de conférence à l'université Hassiba Ben Bouali de Chlef, d'avoir accepté d'en être examinateur.
- ✓ Dr. DJAFAR HANNI Ahmed, maître de conférence à l'université Hassiba Ben Bouali de Chlef, d'avoir accepté d'en être examinateur.

Je remercie toutes les personnes avec lesquelles j'ai étroitement collaboré et qui m'ont fait

- ✓ Je remercie également Monsieur Harrichan Khliffa pour son soutien et son bien vaillance tout au long du magister.
- ✓ Je tiens à remercier toutes mes amies et mes collègues surtout Ben Radia Mohamed dont l'aide et la sympathie ont rendu ce travail possible.
- ✓ Enfin, je tiens à remercier profondément mes deux frères Hossin et Farrouk pour leur disponibilité et leur aide, ainsi que toute ma famille pour leur soutien et leurs encouragements incessants et merci à tous.

## ***RESUME***

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 800 à 1000 personnes par an, mais ce chiffre ne prend pas en compte les glissements dus aux séismes, probablement les plus meurtriers.

Ce sont les phénomènes météorologiques qui semblent produire le plus grand nombre d'événements.

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

Les systèmes experts ont pour but de faciliter le travail des spécialistes dans des disciplines très variées. Ces nouvelles approches sont très prometteuses dans le domaine de la géotechnique, où l'ingénieur doit souvent prendre des décisions sans pouvoir se baser sur des modèles d'analyse formels, mais en ne fiant qu'à son expérience personnelle et à son intuition.

**Mots-clés :** Mouvements de terrain, système expert, glissement, sol, géotechnique.

## ***ABSTRACT***

Landslides are natural phenomena of very different origins, resulting from formation, rupture and displacement of the ground. They cause death world-wide from 800 to 1,000 people per year, but this figure does not taken to account land-slides caused by earthquakes, probably the deadliest.

Are meteorological l phenomena that seem to produce the largest number of events?

Landslides are typically one-time events, small-scale and limited effects. But their diversity and frequency, they are still liable for damages and harm important and expensive.

Expert systems are designed to facilitate the work of specialists in a variety of disciplines.

These new approaches are very promising in the field of geotechnical engineering, where engineers must often make on without being able to rely on form analysis models, but not trusting only his personal experience and intuition.

**Keywords:** Landslides, expert system, sliding, soil, geotechnical.

## الملخص

الانهيارات الأرضية من الظواهر الطبيعية من أصول مختلفة جدا، الناتجة عن تمزق، وتشوه تشريد الأرض. أنها تسبب الوفاة في جميع أنحاء العالم من 800 إلى 1000 شخص في السنة، ولكن هذا الرقم لا يأخذ في الاعتبار الانهيارات الأرضية الناجمة عن الزلازل، وربما دموية.

ظواهر الأرصاد الجوية التي يبدو أنها تنتج أكبر عدد من الأحداث.

الانهيارات الأرضية وعادة ما تكون لمرة واحدة الأحداث، الصغير الحجم وتأثيرات محدودة. ولكن تنوعها والتردد، فهي لا تزال مسؤولة عن الأضرار والأذى هامة ومكلفة.

تم تصميم النظم الخبيرة لتسهيل عمل من المتخصصين في مجموعة متنوعة من التخصصات. هذه النهج الجديدة واعدة جدا في مجال الهندسة الجيوتقنية، حيث يجب المهندسين كثيرا ما يتخذون القرارات دون أن يتمكن من الاعتماد على نماذج التحليل الرسمي، ولكن ليس له الا يثق تجربة شخصية والحدس.

كلمات البحث : الانهيارات الأرضية، ونظام خبير، انزلاق، والتربة، الجيوتقنية.

## *Liste des notations et symboles*

S<sub>r</sub>: Degré de saturation [%]

W : Teneur en eau [%]

C : Cohésion du sol [kN/m<sup>2</sup>]

d : Diamètre des particules [mm]

X<sub>d</sub> : Pourcentage des passants [%]

W<sub>P</sub> : Limite de liquidité [%]

W<sub>P</sub> : Limite de plasticité [%]

φ : Angle de frottement interne du sol [°]

S : séisme [M]

In : Logarithme népérien

I<sub>A</sub>: Activité des argiles

I<sub>P</sub> : Indice de plasticité

P<sub>C</sub> : Pression de consolidation [kN/m<sup>2</sup>]

C<sub>g</sub> : Indice de gonflement [-]

C<sub>c</sub> : Indice de compressibilité

P<sub>f<2m</sub> : Pourcentage des particules fines [%]

E : Eau

P : Précipitations [mm]

R : Risque

m : Mètre

μm : Micromètre.

# ***INTRODUCTION***

## **1.1 Introduction**

La terre a un cycle de vie qui lui est propre, ses roches naissent, vieillissent, meurent et puis renaissent dans le cœur en fusion de notre planète. Les mouvements de terrains font partie de ce processus naturel. Les mouvements de terrain constituent en général des phénomènes naturels ponctuels à effets limités.

Cependant, par leur diversité et leur fréquence, ils restent responsables de dommages importants et coûteux. En effet, ils provoquent à l'échelle mondiale quelques 800 à 1000 personnes annuellement, sachant que cette valeur ne prend pas en considération les mouvements dus aux séismes et aux exploitations minières. De nombreux paramètres, naturels et/ou anthropiques conditionnent l'apparition et le développement des mouvements de terrain (topographie, géologie, hydrologie, hydrogéologie, érosion rapide du pied de certaines pentes, urbanisation, etc.). [01]

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

- le problème mouvement de terrain croît dans les pays en voie de développement, suite au déboisement continu, mais aussi dans les pays industrialisés, en raison de l'abandon progressif des zones rurales
- le changement climatique global semble avoir une influence négative par les précipitations annuelles accrues

Nous étudions trois communes sur la base des résultats géotechniques obtenus à plusieurs organismes tels que le laboratoire LCTP Chlef,

## 1.1. Contenu de la thèse

Le travail sera divisé suivant le plan ci-dessous :

- ✓ Une introduction générale présentant la méthodologie adoptée.
- ✓ Chapitre 01 présente synthèse bibliographique sur le phénomène mouvement de terrain.
- ✓ Chapitre 02 présente une synthèse bibliographique consacrée à l'étude de Sismique, méthodologie, géologie, l'Hydrogéologie, ainsi que la topographie de la région de Chlef.
- ✓ Chapitre 03 présente l'étude géotechnique et paramètre de sol des sites de région de Chlef.
- ✓ Chapitre 04 présente l'analyse des résultats obtenus et l'établissement des empreintes de caractérisation des sols, ainsi que l'étude des corrélations établies entre différents paramètres et comparaison les trois sites Ténès sidi Abderrahmane et ouled Ben Abdelkader.
- ✓ Chapitre 05 présente études bibliographiques du système expert et la méthodologie d'estimation du système expert, enfin d'application de système expert sur les sites dans la Wilaya de Chlef.
- ✓ Enfin une conclusion générale achève ce travail.

# CHAPITRE 01

## MOUVEMENT DE TERRAIN

### 1.1. Généralité :

Les mouvements de terrain sont le résultat de divers phénomènes naturels tel que, déformation, rupture et du déplacement du sol, les statistiques évoquent de grandes pertes en vie humaine, ces dernières ne prennent pas en compte les glissements dus aux séismes, probablement les plus meurtriers. Les risques liés aux mines n'entrent pas dans cette catégorie et ne sont pas traités dans ce dossier.

Les mouvements de terrain sont des phénomènes ponctuels, de faible ampleur et d'effets limités. Ils sont néanmoins responsables de dommages et de préjudices importants et coûteux.

Les paramètres naturels ou anthropiques, conditionnent l'apparition et le développement des mouvements de terrain (géologie, hydrogéologie, urbanisation, etc.....), ces mouvements de terrain engendrent des risques pour les personnes, mais également pour les biens et l'économie. Les mesures de protection mises en place visent à réduire au maximum l'aléa dans les zones menacées. La prévention permet de réduire la vulnérabilité au sein de ces secteurs, par

- l'information des populations,-
- l'adoption de mesures d'urbanisme et les mesures constructives,
- l'étude et la surveillance de mouvements actifs [01].

### 1.2. Le phénomène mouvement de terrain :

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

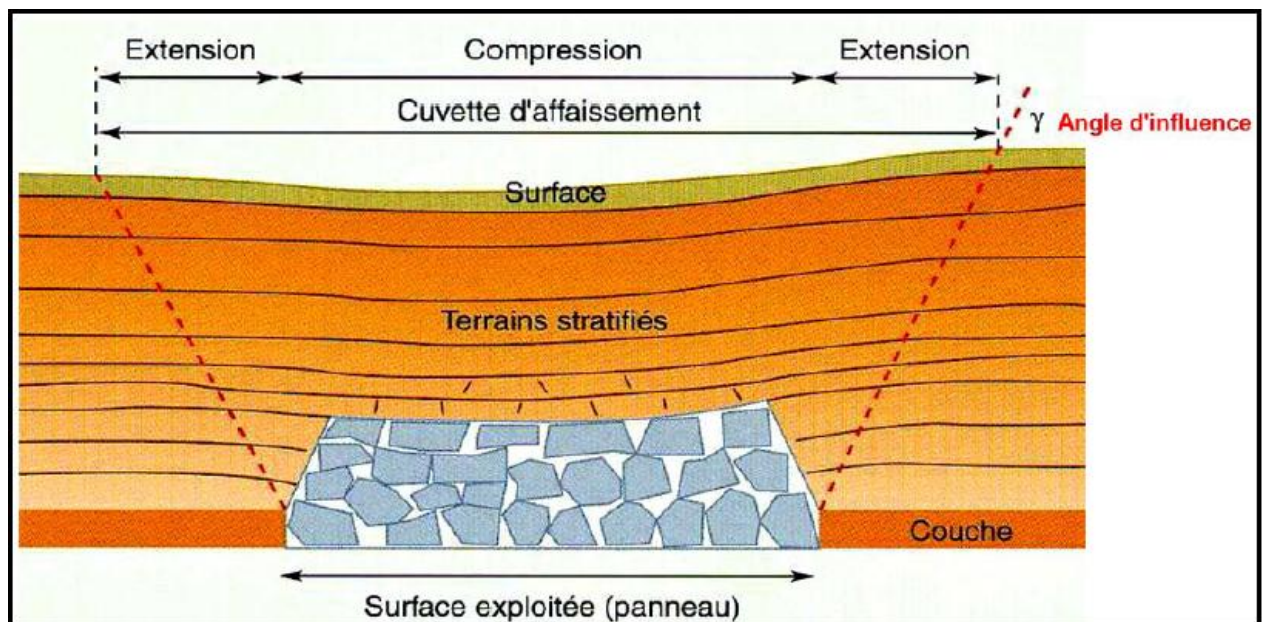
Les mouvements de terrain, qu'ils soient lents ou rapides, peuvent entraîner un remodelage des paysages. Celui-ci peut se traduire par la destruction de zones boisées, la déstabilisation de versants ou la réorganisation de cours d'eau.

Il existe Deux types de mouvement :

**1.3. Les mouvements lents :** engendre une déformation progressive et lente des terrains, pas toujours perceptible par l'homme. Ils regroupent: affaissements, tassements, glissements, solifluxion, fluage, retrait, gonflement et le fauchage.

On peut situer ce phénomène de mouvement de terrain lente sous différentes formes on site :

**1.3.1. Les affaissements :** sont des dépressions topographiques en forme de cuvette dues au fléchissement lent et progressif du sol, sans ruptures apparentes de ce dernier. [02]



*Figure .1.5. Affaissement dû à une exploitation minière [02].*

### **1.3.2. Les tassements :**

Il s'agit principalement de diminutions de volume de certains sols sous l'effet de charges ou d'assèchement. Les tassements latéraux sont très distincts puisqu'ils se produisent habituellement sur des pentes très douces voire même sur des terrains plats. Le mouvement dominant est celui d'une extension régressive latérale accompagnée d'un cisaillement ou de fentes de tension. La rupture est provoquée par la liquéfaction de sédiments à l'état solide (habituellement des sables et des silts). Le déclenchement du phénomène est souvent dû à un

mouvement rapide du sol, comme lors d'un tremblement de terre, mais il peut également être artificiellement induit. Les matériaux évoluent en translation jusqu'à former des reliefs en horsts et grabens avec un fluage en pied. Ces mouvements se déclenchent sans que des indices de surface soient préalablement clairement identifiables [03].

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

### **1.3.3. Les glissements de terrain :**

Les glissements de terrain sont des mouvements de masse lents induits par insuffisance de résistance au cisaillement sur une ou plusieurs surfaces de rupture généralement courbe ou plane, ainsi que sur tous type de matériau. Le mouvement peut être progressif, c'est à dire que le cisaillement peut ne pas être simultané sur la totalité de la surface de rupture. La propagation de la rupture est contrôlée par le développement des zones entrant en plasticité [02].



*Figure .1.2. Glissement à la Grave (Hautes Alpes,05)-1995*

*[Source: ONF – RTM 05].*

La surface de cisaillement devient alors une surface de séparation entre matériau en place et matériau en mouvement.

Selon la surface de rupture rencontrée dans cette classe, [02] [04]

Les glissements en deux catégories :

**1.3.3.1. Les glissements plans ou translationnels :** Il correspond à un mouvement de masse évoluant long d'un plan de faible résistance mécanique. Lorsque dans un tel type de glissement une seule unité est mobilisée, on parle de "glissement par blocs". Les glissements plans sont très souvent contrôlés par la structure géologique du versant et les surfaces ou zones de moindre résistance mécanique.

**1.3.3.2. Les glissements circulaires ou rotationnels :** Il s'agit là du phénomène le plus courant. La surface de rupture présente une concavité orientée vers le haut avec une éventuelle présence

de fissures concentriques, en plan, et concaves suivant la direction du glissement (forme d'une cuillère). La forme du glissement peut être influencée par la nature des terrains concernés et les éventuelles discontinuités rencontrées. L'escarpement au niveau de la niche d'arrachement peut être relativement vertical et les mouvements sont relativement rapides. En amont de la niche d'arrachement, il peut apparaître des fissures de traction et une évolution régressive vers l'amont ou latérale du mouvement est possible.



*Figure .1.3. Glissement rotationnel dans des sols argileux [rivière Delisle,2005]*

### **1.3.3.3. Nature du matériel géologique concerné :**

- **Le Rocher** : c'est «une masse dure ou ferme qui était intacte et dans son milieu naturel avant le déclenchement du mouvement».

- **Le Sol** : il s'agit d'«un agrégat de particules solides, en général des minéraux et des blocs qui ont été transportés ou formés par l'altération d'un rocher sur un site. Les gaz et/ou liquides occupant les pores et espaces interstitiels du sol font partie du sol».

- **La Terre** : elle «décrit le matériel dont 80% ou plus des particules qui compose sa structure ont une taille inférieure à 2 mm, valeur maximale atteinte par les grains de sable».

- **Les Débris** : «ils contiennent une proportion importante de matériel grossier ; 20% à 80% des particules ont une taille qui dépasse les 2 mm, les particules restantes sont plus petites que 2 mm».

#### **1.3.4. Les retraits gonflement des argiles :**

Le retrait gonflement des sols : «des mouvements de terrains différentiels de petite amplitude, provoqués par des variations de volume de certains sols argileux lorsque leur teneur en eau se modifie». Il se manifeste essentiellement dans des milieux à climat tempéré au cours des périodes de sécheresse prolongée. La tranche la plus superficielle de sol, est alors soumise à l'évaporation. Il en résulte un retrait des argiles, qui se manifeste verticalement par un tassement et horizontalement par l'ouverture de fissures. L'amplitude de ce tassement est proportionnelle avec l'épaisseur de la couche d'argile et de sa richesse en minéraux gonflants. Le principal facteur de prédisposition de ce type de mouvement est lié à la nature du sol. Certains facteurs complémentaires interviennent : des défauts de fondation, une modification de l'imperméabilisation du sol, un drainage périphérique, des pompages dans un puit voisin, éventuellement une source de chaleur enterrée. La présence d'arbres exerce un rôle aggravant car les racines soutirent l'eau du sol, et peuvent s'étendre jusqu'à 1,5 fois la hauteur de l'arbre, sous les fondations. [05]

#### **1.3.5. Le fauchage :**

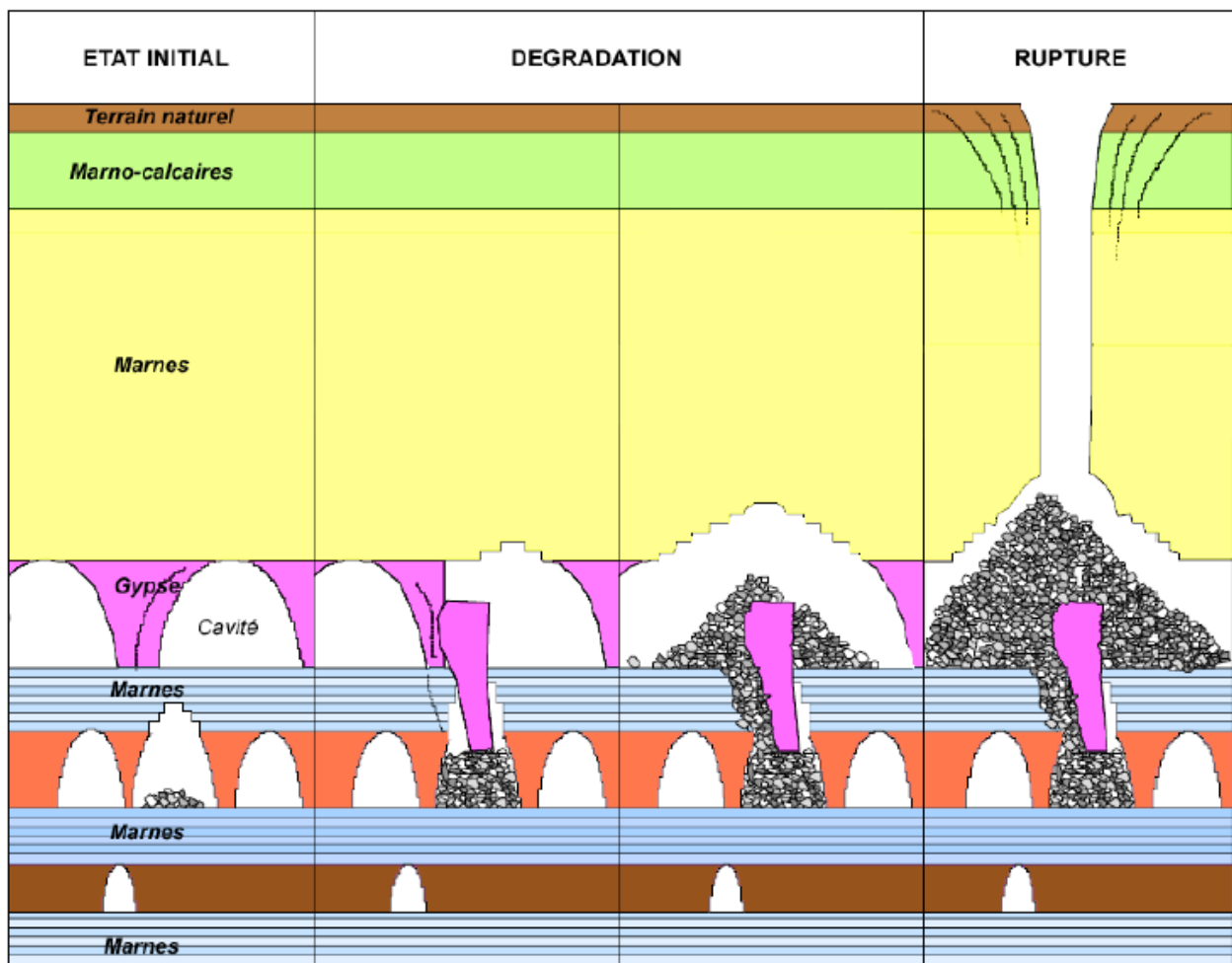
Il s'agit d'un processus de basculement d'une unité sur un pivot situé en dessous ou sur une unité inférieure, sous l'action de la gravité et de forces exercées par des blocs adjacents ou des pressions de fluides. C'est une déformation superficielle traduite en mouvement lent qui affecte des roches stratifiées redressées à la verticale, et entraîne un basculement vers l'aval des couches sur une épaisseur très variable. Des ruptures brutales se produisent et les matériaux se désagrègent et passent à l'état de rochers disloqués puis d'éboulis. Le phénomène de fauchage résulte suite à une action conjuguée entre une disposition structurale et une composition lithologique particulière. [04]

**1.4.. Les mouvements rapides :** se passent d'une manière brutale, soudaine et rapide. Ils regroupent:

Effondrements, chutes de pierres et blocs, éboulements et les coulées boueuses.

On désigne ce phénomène de mouvement de terrain rapide sous différentes formes on site :

**1.4.1. Les effondrements :** se manifestent par des déplacements verticaux instantanés de la surface du sol par rupture brutale de cavités souterraines préexistantes, naturelles ou artificielles, avec ouverture d'excavations grossièrement cylindriques. Ladite rupture se propage jusqu'en surface de manière plus ou moins brutale, puis détermine l'ouverture d'une excavation grossièrement cylindrique. Les dimensions de cette excavation dépendent des conditions géologiques, de la taille et de la profondeur de la cavité ainsi que du mode de rupture. Ce phénomène peut être ponctuel ou généralisé et dans ce cas concerner des superficies de plusieurs hectares. S'il est ponctuel, il se traduit par la création de fontis plus ou moins importants, dont le diamètre est généralement inférieur à cinquante mètres. Parmi les facteurs naturels qui conditionnent les effondrements, dans les calcaires notamment, figurent en premier lieu la résistance de la roche à la rupture. Cette résistance dépendant essentiellement de la teneur en argiles et de l'ampleur de la zone décomprimée autour des galeries. Elle dépend aussi de l'hétérogénéité du sol, notamment l'intercalation de strates plus argileuses ou gréseuses qui favorisent la rupture des voûtes, de la densité des diaclases, de la présence de failles, de joints de strates, du pendage des couches, ainsi que de la taille des vides. Le déclenchement du phénomène se fait par l'intervention des facteurs climatiques et hydrogéologiques. L'augmentation des pressions dans les drains et un accroissement de la plasticité des argiles, lors de fortes pluies, en saison humide ou en cas de circulation d'eau souterraine, s'accompagnent de dissolutions, d'altérations, d'érosion, d'expulsions de bouchons de sédiments, de rupture de voûtes, etc..... [06]

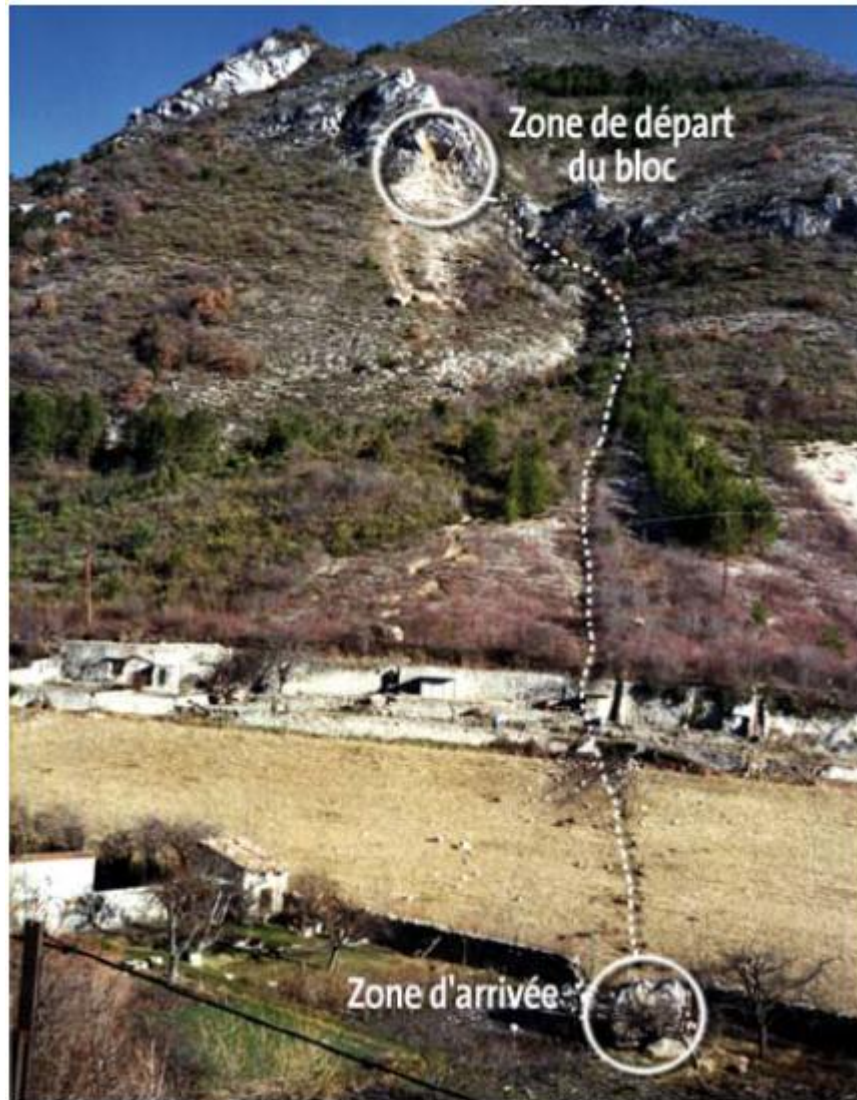


*Figure .1.6. Processus de formation d'un effondrement . [06].*

#### 1.4.2. Les écroulements et chutes de blocs :

Les écroulements et chutes de blocs sont des phénomènes rapides et brutaux qui affectent des roches rigides et fracturées. Il s'agit de masses de taille variable qui se détachent d'une pente escarpée ou d'une falaise. Les vitesses de déplacement sont rapides à extrêmement rapides, avec des rebonds et des trajectoires paraboliques. Dans le cas des roches sédimentaires, la stratification accroît le découpage de la roche et par conséquent les prédispositions à l'instabilité (présence d'une formation sous-jacente plus meuble, déformable ou érodable). La phase initiale de la chute des éléments rocheux est longue et difficile à déceler (altération des joints de stratification, endommagement progressif des roches, fracturation, etc.). La phase d'accélération qui aboutit à la rupture est très rapide ce qui rend ces phénomènes très difficilement prévisibles. [02]

- les chutes de blocs lorsque la masse se détache du socle, les éboulis de débris composés par des fragments détritiques grossiers et les éboulis de sol composés de fragments détritiques fins. [02]  
[03].



**Figure .1.1. Chute d'un gros blocs à Veynes (Hautes Alpes ;05)-1996**

*[Source: ONF – RTM 05].*

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

### **1.4.3. Les écoulements ou coulées de masse :**

Les écoulements ou coulées résultent de l'évolution des glissements et prennent naissance dans leur partie aval. Ce sont des mouvements rapides d'une masse de matériaux remaniés peu ou non-consolidés qui s'écoulent plus ou moins rapidement suivant leurs teneurs en eau. Sur de nombreux points, le profil de distribution des vitesses ressemble à celui d'un fluide visqueux. La nature géologique des terrains est un des principaux facteurs d'apparition de ces phénomènes tout comme l'eau et la pente. Les matériaux affectés sont très variés (roches marneuses ou schisteuses, formations altérées, colluvions fines, moraines argileuses, etc.) mais globalement la présence d'argile en forte proportion représente l'aspect pénalisant du phénomène compte tenu de ses mauvaises caractéristiques mécaniques. La saturation des terrains en eau (présences de sources, fortes précipitations, fonte des neiges brutales, etc.) joue aussi un rôle moteur dans le déclenchement de ces phénomènes.

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

En fonction du type de matériau mis à contribution dans le mouvement de masse, [02] trois sous-classes :

#### **1.4.3.1. Les écoulements de blocs :**

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

#### **1.4.3.2. Les écoulements de débris :**

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

#### **1.4.3.3. Les écoulements de sols :**

Les écoulements de sols sont caractérisés par un transport à l'état visqueux de matériaux riche en particules fines (50% au minimum). Les écoulements de sols les plus communs sont :

- les coulées boueuses, se développent sur des matériaux fins comme le sable, les silts ou les argiles. Elles se produisent sur des pentes, par dégénérescence de certains glissements avec afflux d'eau.

-les coulées torrentielles, se produisent en présence de matériaux fins à argileux dans le lit de torrents au moment des crues. La vitesse de ce processus est influencée par la teneur et le type d'argile, le degré d'altération, et la teneur en eau des terrains affectés.

- les coulées sèches, se dit des écoulements de matériaux superficiels peu ou non saturés. Le déclenchement est souvent dû à une sollicitation mécanique telle un séisme.



*Figure .1.4. coulée argileuse ayant endommagé une partie du centre-ville de Nicolet [1955].*

Indépendamment du type de matériaux constituant les versants, un autre type de mouvement est attribué aux écoulements : il s'agit du phénomène de solifluxion. Il peut être dû à une alternance gel/dégel, au passage d'animaux et/ou à l'action des racines. C'est un mouvement lent affectant des terrains superficiels meubles sur des pentes très faibles. [07]

La solifluxion peut s'étendre à des versants entiers. Cependant, elle n'affecte que de faibles épaisseurs.

### 1.5. Les mouvements complexes :

La géologie du terrain représente le facteur conditionnant le plus déterminant dans la genèse d'un tel type de mouvement. En effet c'est principalement l'hétérogénéité des matériaux qui combinée aux facteurs déclenchant comme l'eau permet d'engendrer des mouvements complexes ou composés. [02] [08]

Les mouvements complexes correspondent finalement à un phénomène de mouvement de masse réunissant au minimum deux types de glissements sur un même versant. Le système affecté se présente sur de très vastes étendues et l'ensemble des terrains affectés repose sur une surface de rupture active. [06] [04] [08]

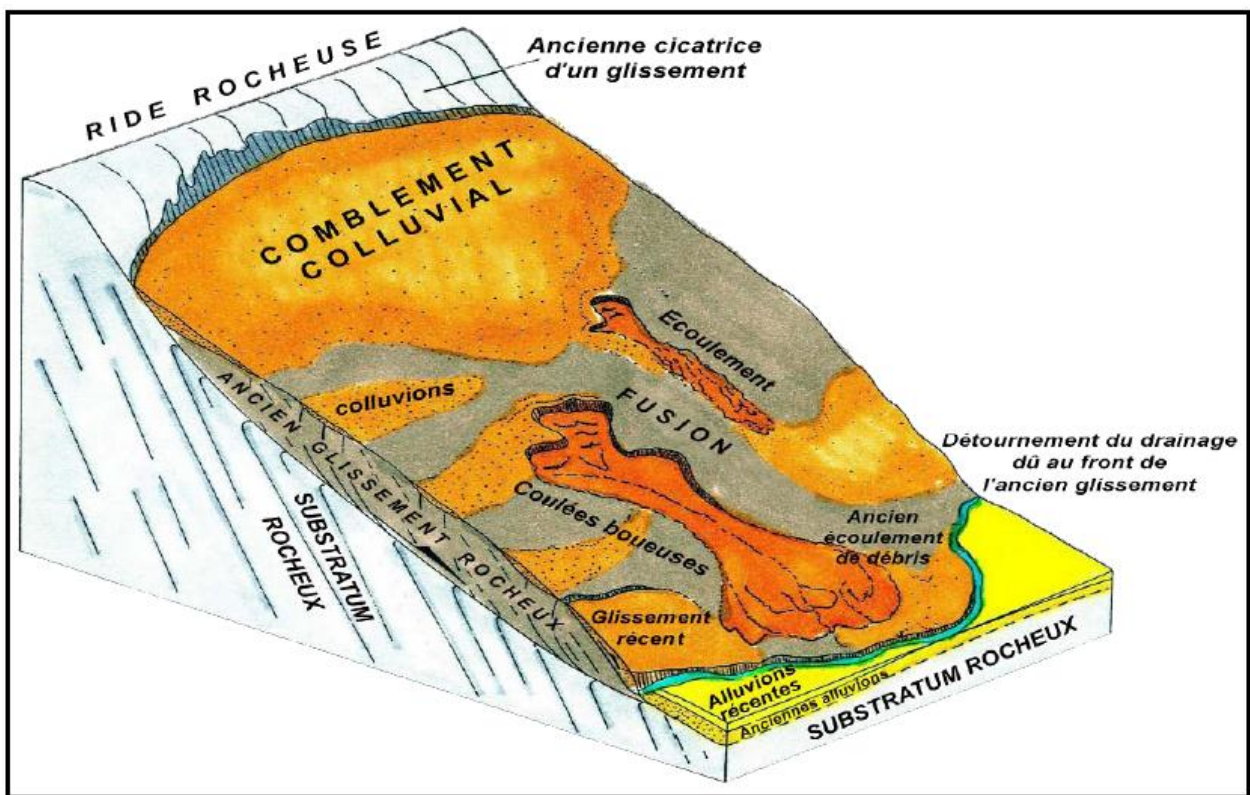


Figure .1.7 Mouvement complexe de type glissement coulee [03]

## **1.6. Des Exemples :**

### **1.6. 1. L'éboulement [22 janvier 1998 dans la falaise du Prémentil à Bourg d'Oisans :**

S'est produit Le 22 janvier 1998 un éboulement d'environ 230 000 m<sup>3</sup>. Il a été suivi le 29 et 30 juin de deux nouveaux éboulements d'un volume total d'environ 100 000 m<sup>3</sup>. La priorité a été donnée à la prévention contre le risque torrentiel :

- Dispositif d'alerte et plan de secours.
- études et travaux (digue torrentielle, plage de dépôt des Alberts et de la Morlière, merlon pare-blocs).



*Figure .1.8 .Nuage de poussière généré par l'éboulement [22 janvier 1998].*

### **1.6.2. Le glissement de terrain de l'Adverseil sur la commune de Corps le 16 janvier 2001 :**

Un glissement de versant dont le départ s'est produit au niveau de la crête topographique. Il s'agit d'un glissement rotationnel en partie supérieure (avec niche d'arrachement quasi-verticale) se transformant en coulée boueuse très liquide dans la partie inférieure. Le contexte géologique très fragile (argiles et moraines instables) et la forte pluviométrie cumulée pendant les 4 derniers mois en sont les principales causes. Volume glissé : environ 500 000 m<sup>3</sup>.



*Figure .1.8. Le glissement de terrain de l'Adverseil sur  
La commune de Corps [16 janvier 2001].*

**1.6.3. Le glissement de terrain de la combe des Parajons à la salle en Beaumont (9 janvier 1994) :**

Un glissement de terrain de 1,3 millions de m<sup>3</sup> s'est produit, dans la nuit du samedi 8 au dimanche 9 janvier 1994. . Les hauteurs d'eau cumulées relevées dans des stations proches et validées par Météo France, confirment la manifestation d'un phénomène météorologique exceptionnel, à caractère très localisé (fréquence millénaire). Le glissement a détruit ou endommagé 9 maisons et fait victimes surprises dans leur sommeil.



*Figure .1.9. Le glissement de terrain de la combe des Parajons à la Salle en Beaumont [9 janvier 1994].*

#### **1.6.4. Le glissement de terrain en Tizi Ouzou Algérie (1 Mai 2012) :**

Un énorme glissement de terrain s'est produit depuis une semaine (**1 Mai 2012**) dans une montagne d'un village éloigné en Algérie (Ait aissa, à 80 KM de Tizi Ouzou)



*Figure .1.10. Le glissement de terrain en Tizi Ouzou Algérie [1 Mai 2012].*

### **1.6.5. Affaissement du dallage entre les bâtiments en Sidi Youcef Béni Messous Alger (22 Mars 2011) :**

Les mouvements du terrain, ces derniers se traduisent par l'affaissement de la partie entre deux blocs bâtiments blocs en Sidi Youcef Béni Messous Alger (22 Mars 2011)



*Figure .I.11. Affaissement du dallage entre les bâtiments en Sidi Youcef Béni Messous Alger [ 22 Mars 2011 ].*

### **1.7. Les cause des glissements de terrain :**

L'apparition de ces phénomènes est relié a la nature géologique des terrains est un des principaux facteurs. Les matériaux affectés sont très variés (roche marneuses ou schisteuse, formations tertiaires altérées, colluvions fines, moraines argileuses, etc.....) mais globalement la présence d'argile en forte proportion est toujours un élément défavorable compte tenu de ses mauvaises caractéristiques mécaniques. La saturation des terrains en eau (présences de sources, fortes précipitations, fonte des neiges brutales) joue aussi un rôle moteur dans le déclenchement de ces phénomènes. Pour qu'un phénomène de mouvement de masse puisse prendre naissance, la présence simultanée de plusieurs facteurs est requise. Autant l'instabilité de versant est d'une grande ampleur, autant le nombre de facteurs impliqués dans sa genèse est important.

On distingue ainsi les facteurs conditionnant et les facteurs déclenchant

### 1.7.1. Les facteurs conditionnant :

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

- **La lithologie** : représente un facteur conditionnant majeur dans la stabilité des versants aussi bien par, la nature des matériaux (qualité géotechnique des roches) que par la structure (direction et pendage des couches, plans de schistosité, etc.....).
- **La pente** : est l'un des facteurs déterminant dans la genèse des glissements de terrain. En effet, pour qu'une rupture puisse se produire sur un versant, il faut qu'il y ait l'intervention de la gravité accompagnée d'un appel au vide. Ce phénomène ne pouvant prendre naissance sur des terrains plats, la prise en compte du degré de pente des versants et des couches est d'une importance capitale.
- **Le relief** : par sa composante altimétrique représente aussi l'un des facteurs les plus déterminants dans la genèse des glissements de terrains. Ainsi, plus l'altitude augmente, plus le risque d'occurrence de mouvement de terrain n'est présent.
- **La proximité du réseau de drainage** : est généralement liée au phénomène d'érosion hydrique parmi lesquels on retrouve les sapements de berges. Ce phénomène se développe généralement dans les portions des cours d'eau où la vitesse d'écoulement est suffisamment puissante pour éroder la partie basale d'un versant. Ce sont donc essentiellement les berges des cours d'eau supérieur allant du 3ème au 5ème ordre (selon la hiérarchisation de Strahler), qui sont les plus propices aux instabilités.
- **L'activité tectonique récente à actuelle** : peut conditionner ou déclencher un mouvement de masse au niveau de la zone de broyage des failles (cisaillements et/ou décrochements) formée de matériaux fragilisés. L'occurrence des mouvements de masse se trouve généralement accentuée à proximité des résurgences.

### 1.7.2. Les facteurs déclenchant :

Les facteurs déclenchant engendrent les mouvements par changements rapides des conditions du versant définies par les facteurs déterminants :

- **Les précipitations** : tiennent un rôle direct dans le déclenchement des mouvements de masse. En effet, la pluviométrie agit directement sur le déclenchement des mouvements de masse en diminuant la résistance au cisaillement et en rendant les terrains gorgés d'eau plus plastiques; ce qui a pour conséquence directe le déplacement de la masse sous son propre poids.
- **La sismicité** : ne peut déclencher un mouvement de masse qu'à partir d'une magnitude critique d'activation de l'ordre d'exemple,  $M = 4$ . Cependant on peut assister à de petits écroulements lors de libération d'énergies inférieures à la magnitude critique.
- **Les cours d'eau et les résurgences** : sont souvent responsables indirectement dans le déclenchement des mouvements de masse. En effet, leur action érosive (ravinement, sapement de berges, érosion régressive, etc.....) engendre souvent une déstabilisation des versants. L'action de l'eau peut être aussi de nature chimique lorsqu'elle entraîne une altération des matériaux par différentes actions comme l'oxydo-réduction, l'hydrolyse, l'hydratation, la dissolution, etc.....
- **Le couvert végétal** : exerce essentiellement une action phytostabilisante sur les versants à substrat argileux ou à substrat rocheux développant une couverture d'altération argileuse peu épaisse. Son absence ou sa rareté sur des versants accélère l'effet érosif du ruissellement et des précipitations; ce qui déclenche les mouvements de masse.

## **CHAPITRE 02**

### **EFFETS SISMIQUES ET CLIMATIQUES**

#### **2.1 Généralité :**

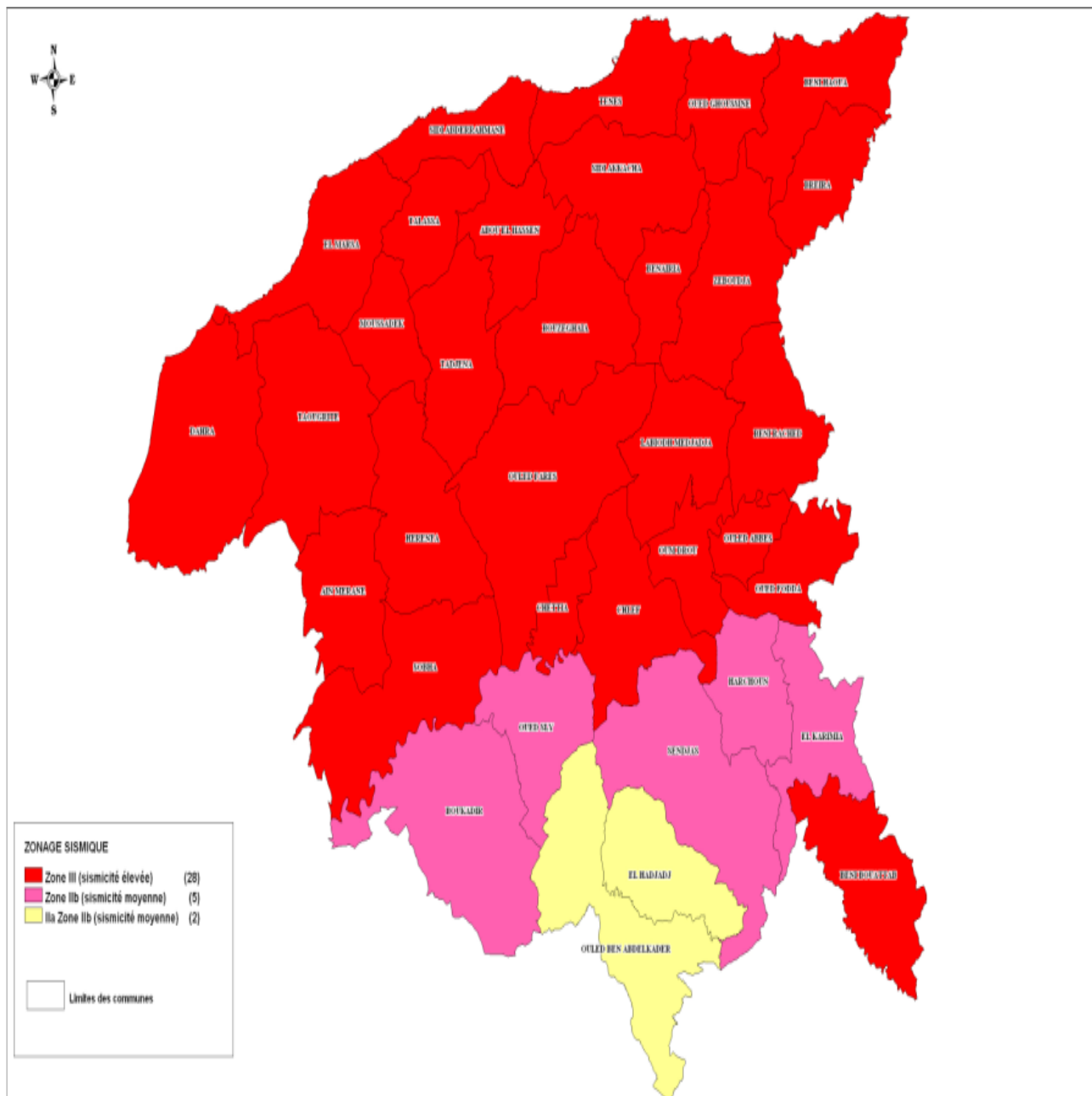
Espace intermédiaire entre le nord-centre algérien et le nord-ouest, le territoire de la Wilaya de Chlef exprime une géographie diversifiée. Bordée au nord par les reliefs littoraux façonnés en versants, falaises et plages et au Sud par les reliefs montagneux de l'Ouarsenis, la wilaya de Chlef est terre des influences de plaines et montagnardes. La partie centrale du territoire se situe dans le bassin du Chelif, encadrée par les monts du Dahra au nord et la chaîne de l'Ouarsenis au sud. C'est un territoire qui allie une diversité de reliefs et de conditions naturelles (climat, végétation, etc.....) qui a conditionné son développement.

#### **2.2.1 L'aléa sismique :**

Le Nord d'Algérie se situe dans une région où l'activité sismique est particulièrement intense, due à la proximité des plaques Euro asiatique et Africaine. De plus, la localisation de la région de Chlef, ne rend les séismes comme l'un des plus graves risques majeurs et naturels.

Le résultat d'une étude de risque sismique incluant l'estimation de la distribution détaillée du mouvement sismique et des périodes de retour respectives (Aléa) et des dommages et des pertes prévues occasionnés par des séismes. Les études de risque sismique peuvent être conduites dans un cadre globalement probabiliste, en considérant l'aléa sismique de la région, ou on peut choisir des scénarios sismiques plausibles et analyser le risque pour ces scénarios.

Cette étude est basée sur les éléments recueillis des études réalisées auparavant sur la wilaya de Chlef, et qui ont été mis à la disposition des auteurs.



*Figure. 2.1: Carte zonage sismique de la wilaya de Chlef [Source Plan d'Aménagement du Territoire de la Wilaya/ Chlef phase 3].*

## 2.2.2 Etude du cas du séisme de Chlef :

### Exemple : 10/10/1980 (Les dégâts et les impacts du séisme) :

Avec une magnitude de 7,3 sur l'échelle de Richter. C'est le plus important séisme connu par la région de Chlef. Son impact a été ressenti à plus de 200 Km de l'épicentre.

Comme tous les séismes, les dégâts peuvent être très importants sur les populations quand les constructions ne sont pas adaptées. Directement ou indirectement les causes de décès et de blessures sont multiples : effondrement de constructions, de routes et ouvrages d'arts, incendies liés aux ruptures de canalisations de gaz, blessures par chute d'objets, etc....

A ce titre, il faut rappeler qu'un nombre très important de pertes en vies humaines a été recensé dans la zone sinistrée : **2633** morts ,**8369** blessés ,**348** disparus et des centaines de milliers sans abris.

### 2.2.3 Classification des communes selon le niveau de sismicité :

L'étude de micro zonage sismique de la wilaya de Chlef ainsi que le règlement parasismique de 1999 révisé en 2003 [RPA 99 révisé 2003] montrent que la majorité du territoire de la wilaya est situé dans la zone III qui est caractérisée par une forte sismicité, puisque sur les 35 communes que compte la wilaya 28 appartiennent à cette catégorie, le reste, soit 07 communes sont classées dans la zone IIb et IIa, caractérisées par une moyenne sismicité.

**Tableau 2.1 : Classification des communes par zone sismique**

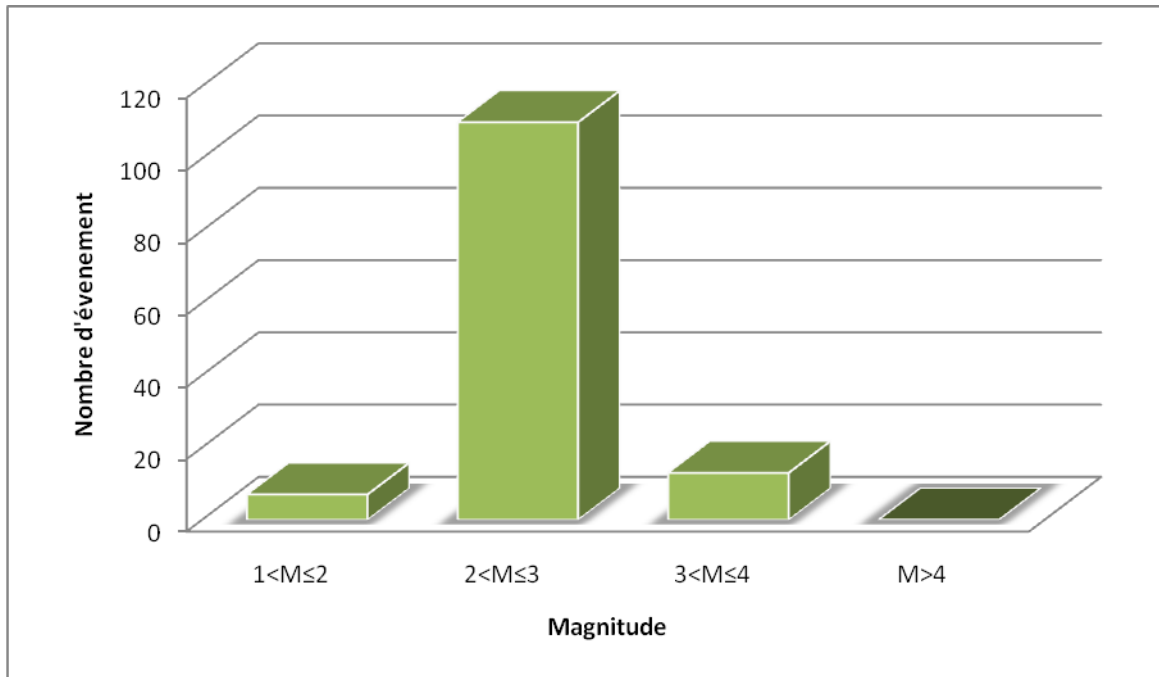
[Source : RPA99 révisé 2003].

Communes	Zones sismiques
Groupe de communes A: Chlef, Oum Drou, Oued Fodda, Beni Rached, Ouled Abbas, El Karimia, Beni Bouatteb, Zeboudja, Benairia, Bouzghaia, Ouled Fares, Chettia, Labiodh, Medjadja, Sobha, Ain Merane, Heranfa, Taougrit, Dahra, Ténès, Sidi Akkacha, Sidi Abderrahmene, Abou El Hassen, Talassa, Tadjena, El Marsa, Moussadek, Beni Haoua, Breira et Oued Goussin.	Zone III (sismicité élevée)
Groupe de communes B: El Karimia, Harchoun, Sendjas, Oued Sly et Boukadir	Zone IIb (sismicité moyenne)
Groupes de communes C: Ouled Ben Abd El Kader et El Hadjadj	Zone Iia (sismicité moyenne)

**Tableau 2.2 : Fréquence sismique par magnitude 2004 à 2012 (Ténès)**

[Source CRAAG de Chlef 2004].

Région	Magnitude	Dates
Ténès	1.9	14/07/2009
	2.0	19/03/2005-08/10/2006-23/11/2006-15/01/2008-03/08/2009-24/04/2011
	2.1	19/10/2008-16/09/2009
	2.2	31/07/2004-25/09/2004-15/10/2004-19/12/2006-01/02/2006-08/09/2006-15/10/2006-21/10/2006-18/02/2007-04/03/2007-18/03/2007-05/09/2007-08/09/2007-23/10/2007-01/12/2007-06/12/2007-08/06/2009-14/06/2009-15/06/2009-17/06/2009-22/10/2009-16/11/2009-23/11/2009-31/03/2010
	2.3	24/08/2010
	2.4	31/07/2004-31/10/2006-06/11/2006-04/03/2007-31/03/2007-18/04/2007-05/05/2007-20/06/2007-25/08/2007-05/09/2007-05/12/2007-02/07/2009-17/09/2009-13/01/2010
	2.5	20/03/2005-26/06/2005-09/11/2005-14/11/2005-12/04/2006-03/05/2006-24/05/2006-13/08/2006-13/11/2006-20/05/2007-07/06/2007-11/06/2007-20/06/2007-08/07/2007-16/07/2007-29/09/2007-28/10/2007-07/11/2007-09/12/2007-14/09/2009-14/04/2010
	2.6	04/07/2005-25/01/2006-16/02/2006-02/04/2006-27/06/2006-12/07/2006-23/07/2007-10/01/2008-27/10/2009-23/11/2009-31/12/2009-20/01/2010-28/02/2010
	2.7	08/06/2005-13/11/2006-14/05/2007-08/07/2007-19/11/2007-27/02/2008-13/03/2008-22/09/2008-06/10/2008-22/10/2008-07/07/2009-18/08/2009-04/10/2009-16/11/2009
	2.8	15/05/2005-24/06/2005-21/12/2005-23/01/2006-25/08/2006-12/02/2007-10/10/2007-05/01/2008-10/01/2008-18/10/2008-27/01/2010
	2.9	22/11/2007-10/06/2009-20/07/2009-23/09/2009-05/04/2010
	3.0	28/12/2005-06/05/2006-20/04/2007-21/04/2007
	3.2	29/07/2005-16/02/2006-21/04/2007-24/04/2007-31/10/2007-10/11/2007
	3.3	21/09/2004
	3.4	15/05/2007
	3.5	10/08/2005-05/09/2010
3.6	22/07/2010	
3.7	16/09/2008	
3.8	20/07/2005	



**Figure. 2.2** *Fréquence sismique par magnitude de la commune de Ténès [Source CRAAG de Chlef 2004].*

D'après cette Figure 2.2, la magnitude  $2 < M \leq 3$  le plus sismique par contre les magnitudes  $1 < M \leq 2$ ,  $3 < M \leq 4$  et  $M > 4$  moins sismique.

**Tableau 2.3: Fréquence sismique par magnitude 2004 à 2012 (El Marsa, Bouzghaia, Ain Merane et Abou El Hassen) [Source CRAAG de Chlef 2004].**

Région	Magnitude	Dates
El Marsa	2.0	12/05/2012
	2.3	16/03/2012
	2.4	26/03/2012
	2.6	05/03/2012-08/03/2012-03/04/2012
	2.9	05/03/2012
	3.1	05/03/2012
	3.3	06/04/2012
	3.4	19/03/2012
	3.5	05/03/2012
	3.6	05/04/2012
	3.9	24/03/2012
4.5	05/03/2012	
Bouzghaia	2.2	18/03/2007
	2.4	16/11/2006
	2.5	20/02/2007-04/03/2007
	5.1	16/12/2006
Ain Merane	2.3	24/04/2012
	2.6	29/12/2008
	2.8	09/06/2010
	3.2	02/01/2011
Abou El Hassen	2.5	13/05/20012

**Tableau 2.4: Fréquence sismique par magnitude 2004 à 2012 (Beni Haoua et Zeboudja)**

[Source CRAAG de Chlef 2004].

région	magnitude	Dates
Beni-Haoua	2.1	05/05/2012
	2.2	27/08/2006-16/11/2006-01/12/2008-27/07/2009-13/04/2011
	2.3	17/05/20012-25/05/2012
	2.4	21/08/2005-12/02/2007-31/03/2007-03/08/2009-04/10/2009
	2.5	25/01/2005-24/05/2006-05/07/2006-22/07/2006-28/09/2007-22/03/2008-23/03/2008-08/11/2008-17/08/2011-25/04/2012-10/05/2012
	2.6	28/11/2005-20/05/2007-05/07/2008-20/07/2009
	3.6	03/05/2006
	2.7	15/01/2008-29/07/2008-29/07/2009-20/01/2010
	2.8	06/02/2007
	2.9	14/01/2005-13/03/2008-17/03/2008-23/10/2009
	3.0	05/06/2006-30/04/2010-25/04/2012-22/05/2012-31/05/2012
	3.2	17/03/2008-20/09/2010-25/04/2012-28/04/2012
	3.3	25/04/2012
	3.6	03/05/2006
	3.7	19/09/2006
	3.8	28/09/2007
4.0	18/02/2007	
5.5	25/04/2012	
Zeboudja	2.0	04/02/2008
	2.2	08/01/2006-23/07/2007-06/02/2008
	2.3	02/04/2007-09/04/2010
	2.4	28/12/2008-27/02/2008-19/11/2006
	2.5	10/05/2006-18/04/2007-21/01/2010
	2.6	11/08/2006
	2.8	14/12/2006
	2.9	18/10/2010
	3.3	03/03/2008
	3.9	13/02/2008-29/03/2012

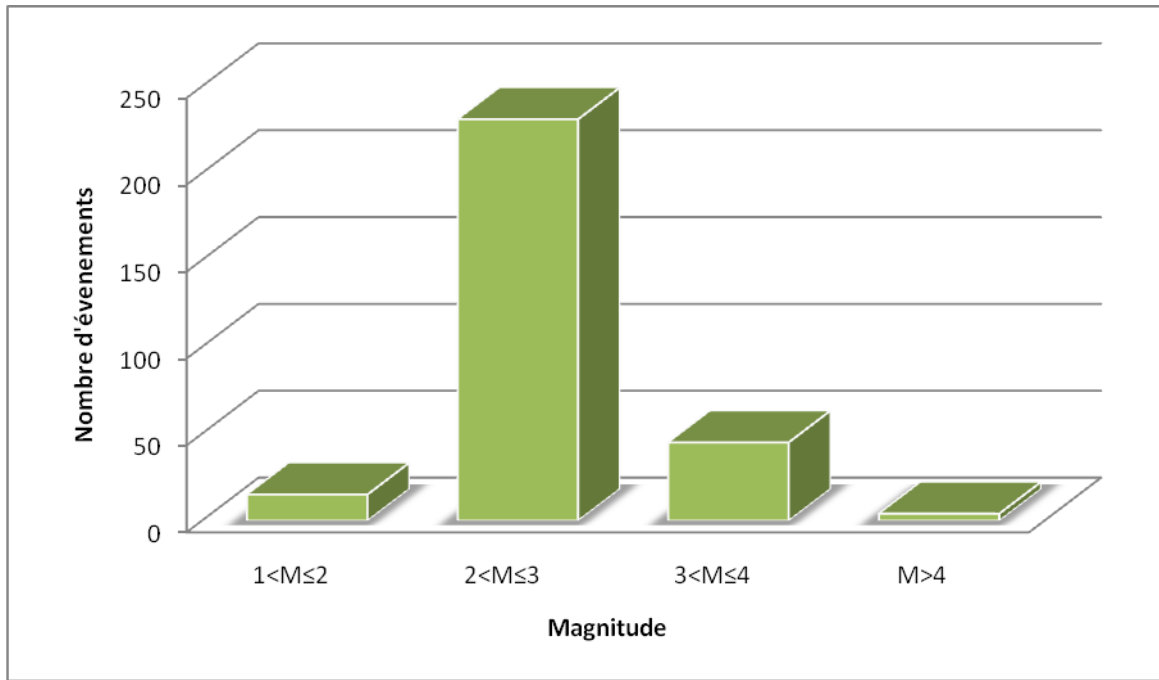
**Tableau 2.5 : Fréquence sismique par magnitude 2004 à 2012 (Oud El Fodda, El Karimia, Beni Rachad, Ouled Abbas et Oum Eddroua) [Source CRAAG de Chlef 2004].**

Région	Magnitude	Dates
Oud-El Fodda	2.0	18/07/2011
	2.3	13/06/2010
	2.4	02/06/2010-24/02/2011-11/05/2011
	2.5	25/05/2004
	2.6	14/07/2010
	2.7	20/10/2009
	2.8	07/07/2009-21/07/2009-21/06/2010
	3.0	29/07/2010
	3.4	14/05/2005
	3.5	10/08/2005-09/02/2011
	3.7	14/12/2008
El Karimia	2.0	13/02/2011
	2.1	13/02/2011
	2.2	12/04/2010-24/10/2010
	2.5	17/01/2011
	2.7	27/05/2009-26/02/2011-14/03/2011
	3.1	14/03/2011
Beni Rachad	2.0	05/11/2006
	2.3	08/01/2008-11/02/2010
	2.5	22/07/2011
Ouled Abbas	2.3	05/01/2011
	2.8	26/10/2005
Oum Eddroua	1.85	10/10/2007
	3.4	10/10/2007

**Tableau 2.6: Fréquence sismique par magnitude 2004 à 2012 (Chlef et Sendjas)**

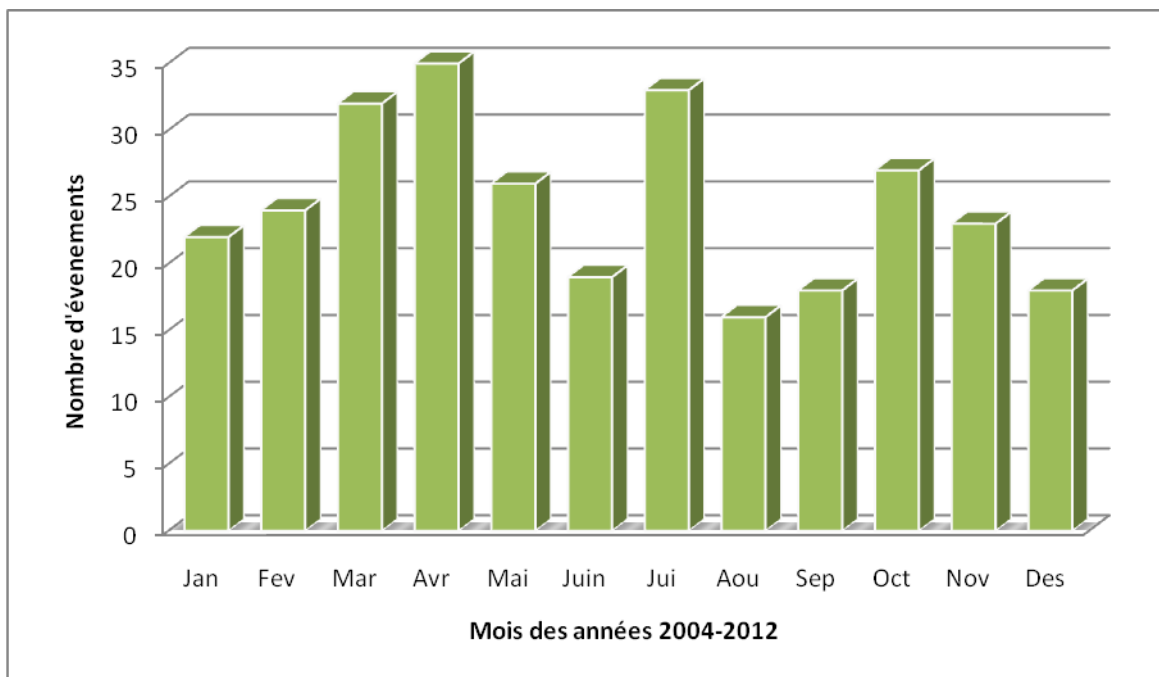
[Source CRAAG de Chlef 2004].

Région	Magnitude	Dates
Chlef	1.7	06/02/2006-28/04/2007
	2.0	29/04/2004-25/12/2004-05/02/2006-21/02/2006-16/11/2006
	2.1	01/07/2008
	2.2	25/07/2006-29/10/2008-14/12/2009
	2.4	31/07/2004-24/10/2005-16/11/2006-19/12/2006-05/07/2008
	2.5	03/04/2004-15/10/2004-19/12/2006-01/03/2007
	2.6	20/12/2004-08/11/2008
	2.7	18/06/2006-14/05/2007-30/08/2008
	2.9	31/07/2004-27/08/2008
	3.0	08/01/2004-13/07/2004-24/10/2004
	3.1	29/04/2004-04/08/2004-15/05/2005
	3.2	24/04/2007
	3.3	27/09/2010
	3.6	02/01/2004
4.0	17/07/2008	
Sendjas	2.3	25/11/2011
	2.4	27/01/2011
	2.6	14/07/2010
	2.7	30/01/2006
	2.8	26/10/2006
	3.1	08/04/2010
	4.3	07/07/2009



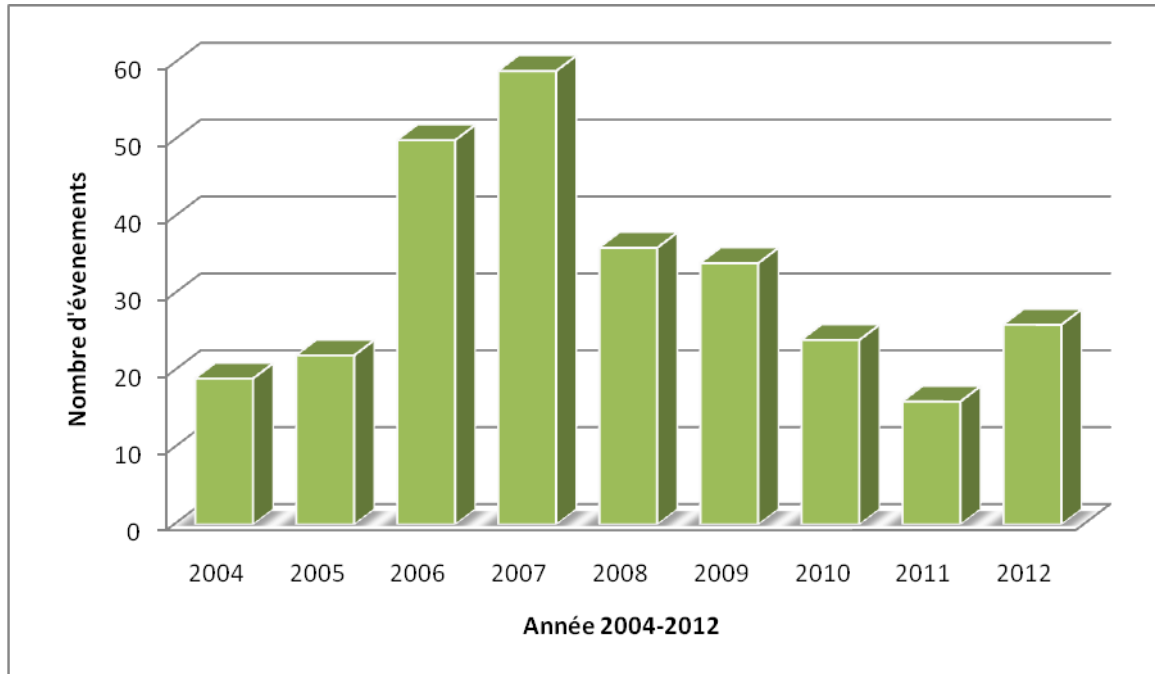
**Figure. 2.3: Fréquence sismique par magnitude de la region de Chlef** [Source CRAAG de Chlef 2004].

D'après cette Figure. 2.2, la magnitude  $2 < M \leq 3$  le plus sismique par contre les magnitudes  $1 < M \leq 2$ ,  $3 < M \leq 4$  et  $M > 4$  moins sismique



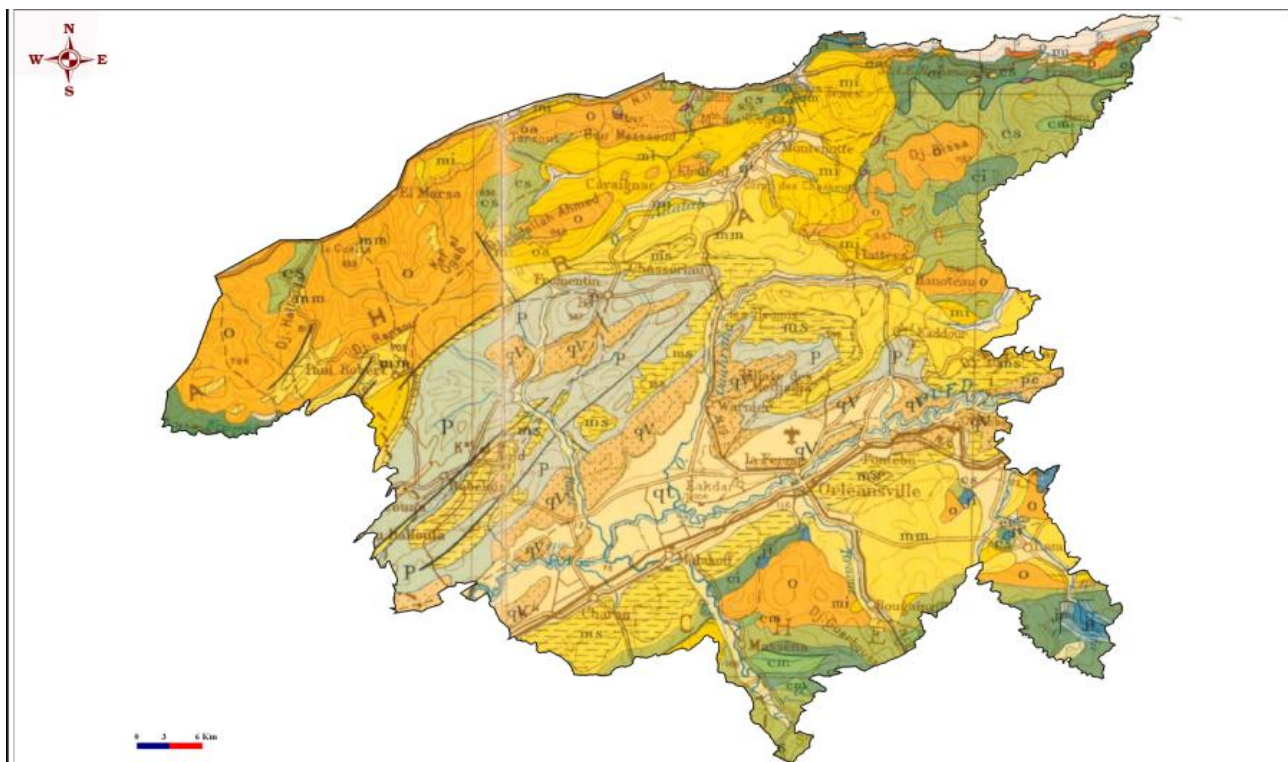
**Figure. 2.4: Fréquence Sismique par mois** [Source CRAAG de Chlef 2004].

D'après cette figure.2.3, les mois de Mars, Avril et Juillet sont les mois plus sismiques par contre les mois de Janvier, Février, Mai, Juin, Août, Septembre, Octobre, Novembre et Décembre sont les mois plus faible sismique .



**Figure. 2.5** *Fréquence sismique par année*  
*[Source CRAAG de Chlef 2004].*

D'après cette figure.2.4, les années 2006 et 2007, sont des années les très sismiques par contre : 2004, 2005, 2008, 2009, 2010, 2011 et 2012 sont des années moins sismique.



**Figure. 2.6: Carte de la wilaya de Chlef contexte géologique**  
*[Source Plan d'Aménagement du Territoire de la Wilaya/ Chlef phase 3].*

### 2.3 Lithologie :

L'analyse des conditions géologiques cette wilaya, comme pour le reste des reliefs telliens, est dominé par des terrains fragiles dominés par des faciès marno terrain par l'importance des phénomènes érosifs, surtout ceux relatifs aux ravinelements et aux mouvements de masse. En effet la Figure 2.6 carte géologique permet de constater argiles représentant environ un tiers (1/3) du territoire de la wilaya [Source Plan d'Aménagement du Territoire de la Wilaya/ Chlef phase 1].

#### 2.3.1 Sol :

Les sols de cette wilaya sont étudiés ici suivant la répartition des principaux ensembles morphologiques précédemment définis, il s'agit de sols qui seront étudiés sur la base d'un découpage en deux ensembles :

- ✓ le premier, concerne les sols du domaine montagneux, des reliefs de liaison et ceux des piémonts, généralement pauvres et squelettiques,

- ✓ le second, concerne les sols les plus riches de la wilaya, il regroupe généralement la plaine du Chélif, les plaines et les vallées littorales et intramontagnardes.

### **2.3.1.1 les sols du domaine montagneux, des reliefs de liaison et des piémonts :**

Ce sont des sols, généralement, pauvres, dégradés et squelettiques, ils appartiennent, généralement, soit à la classe des régosols lorsque le sol est argileux développé sur un substratum de roches tendres, comme les argiles, les marnes ou les marno-flyschoids, soit à la classe des lithosols lorsque le sol est rocailleux, développé sur un substratum de roches dures, exemple : des terrains calcaires, des grès, des quartzites, etc... .

Ce sont généralement des sols peu évolués à non évolués ou des sols minéraux bruts, où la morphogénèse (Erosion) l'emporte sur la pédogénèse (Altération).

En effet, le domaine montagneux est beaucoup plus affecté par les phénomènes érosifs et la dégradation des sols (Morphogénèse) que par les altérations et la formation des sols (Pédogénèse).

Ce sont des sols développés sur les reliefs et sur les bordures des plaines, exemple : des différentes associations de sols développés sur les calcaires, les marnes, les grès et sur les flysch. Ceci en plus des sols développés, partiellement et localement, à l'amont des glaciers bordiers et dont la plupart évoluent sur des carapaces calcaires ou sur des formations grossières [Source Plan d'Aménagement du Territoire de la Wilaya/ Chlef phase 1].

Cette analyse reste, cependant, subjective par le fait que les ensembles topographiques sont très contrastés et les paysages géomorphologiques et biogéographiques qui leurs sont associés sont très nuancés, ce qui se traduit sur le terrain par la présence de cas particuliers avec des sols parfois forestiers bien équilibrés, face où à l'opposé de certains endroits où les sols n'existent plus, exemple : des badlands qu'on peut rencontrer sur les terrains argileux ou argilo-marneux.

Figure 2.7, permet de constater que les terrains montagneux, du Dahra ou de l'Ouarsenis, sont dominés par des sols calcaires et des sols insaturés et localement par des sols podzoliques.

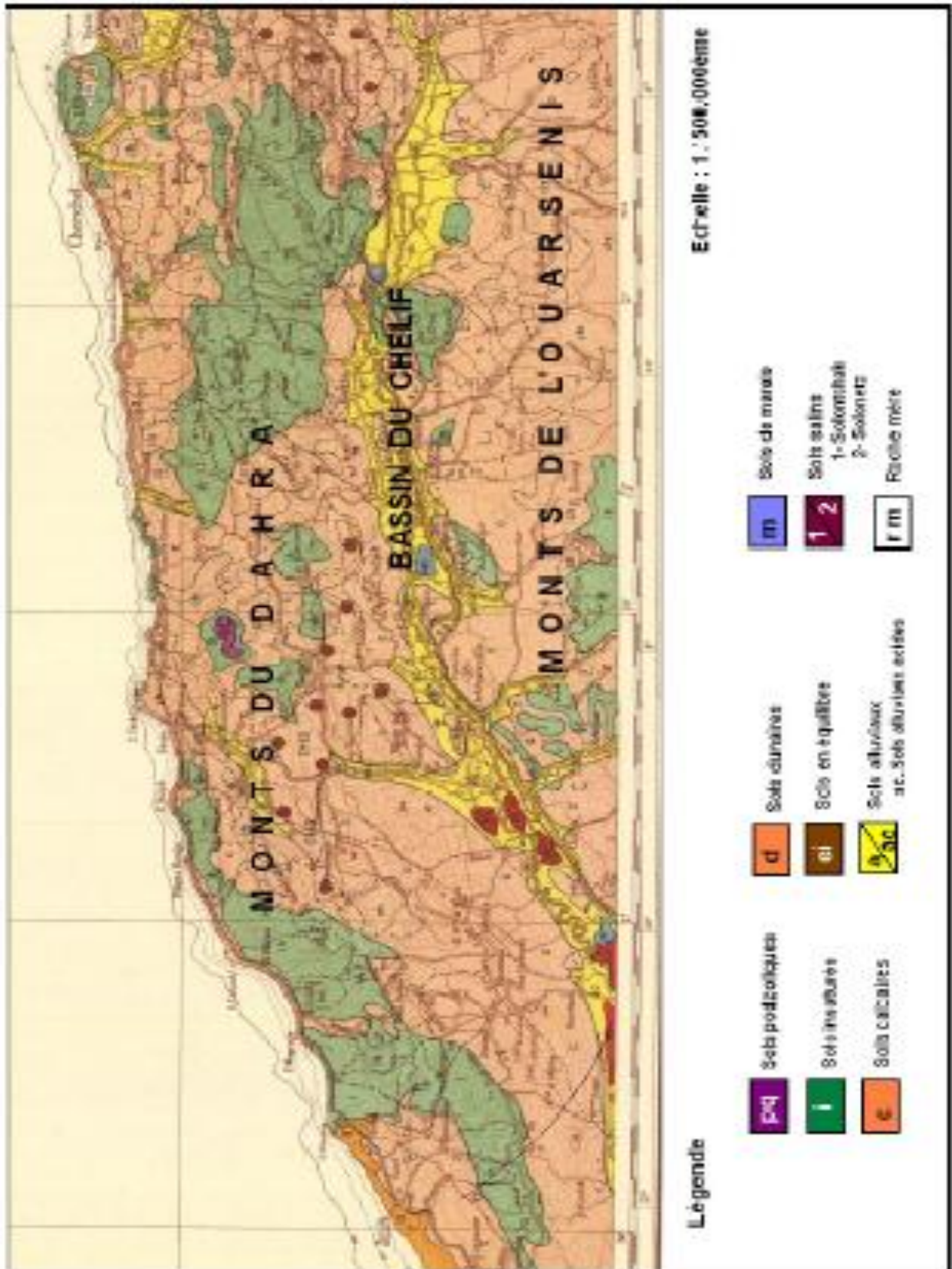


Figure 2.7. Carte des types de sol de wilaya de Chlef [Source Plan d'Aménagement du Territoire de la Wilaya/ Chlef phase 1].

### **2.3.1.2 les sols de la plaine du chelif, des plaines et des valles littorales et intramontagnardes :**

Cette classe concerne l'ensemble des sols alluviaux et alluvio-colluviaux qui forment l'essentiel de la plaine du Chélif, des plaines et des vallées littorales et intramontagnardes de wilaya de Chlef. Elle concerne, plus particulièrement, les sols développés sur les terrasses, sur les glacis et les cônes de déjection. Ce sont des sols bien équilibrés, en général, très riches et profonds, très développés dans les plaines d'Ouled Fodda, de Chlef, d'Oued Sly et de Boukadir.

Ce sont des sols très développés également à l'intérieur des plaines intramontagnardes et littorales, ils représentent parfois des sols encore plus riches que la plaine du Chélif.

Il existe, cependant, des endroits où les sols sont parfois moins riches ou même menacés par la salinité, l'hydromorphie ou par l'excès des carbonates de calcium. Il s'agit, généralement, de sols confrontés soit aux contraintes liées à l'excès d'eau pour les zones marécageuses ou pour les sols hydromorphes, soit aux contraintes liées à l'excès de sel pour les zones développées à l'aval des oueds venant d'un bassin versant riche en sel, ex des terrains triasiques ou de certains terrains marneux riches en chlorures.

Parmi les sols les plus développés dans la plaine du Chélif et dans les plaines des vallées intramontagnardes et littorales, ce sont ceux illustrés par les différentes cartes pédologiques [Source Plan d'Aménagement du Territoire de la Wilaya/ Chlef phase 1].

Les sols dans cette zone sont classés suivant l'origine et le stade d'évolution pédogénétique, il s'agit des classes suivantes :

#### **A. Les sols évolués sous l'action de l'homme : cette classe concerne les sols**

entièrement ou partiellement modifiés par les actions anthropiques.

**B. Les sols alluviaux non évolués :** cette classe concerne les sols alluviaux non évolués sableux du lit majeur des oueds. Ce sont des sols légers formés de sables fins et de limons plus ou moins sableux, riches profonds, très perméables. Cette classe concerne aussi les sols sablonneux du bourrelet des oueds.

**C. Les sols engorgés par l'eau :** Ce sont des sols appelés aussi sols hydromorphes, développés sur la zone de confluence de l'oued Fodda avec le Chéelif et sur les terrains développés au nord de la ville de Chlef et à l'ouest de Boukadir.

[Source Plan d'Aménagement du Territoire de la Wilaya/ Chlef phase 1].

**Cette classe concerne :**

- a. les sols engorgés par l'eau non salée des réseaux d'écoulement des eaux superficielles des plaines.
- b. les sols engorgés d'eau à couvert d'eau continue.
- c. les sols engorgés d'eau à couvert d'eau temporaire et à nappe phréatique non Salée.
- d. les sols engorgés d'eau à inondations temporaires, hivernales. Cette classe est formée de sols argileux des plus lourds de tous les sols engorgés par l'eau.

**D. Les sols calciques :** ce sont des sols calciques formés sur carapace calcaire, sols peu épais, pauvres et légers à moyens.

**E. Les sols alluviaux évolués :** cette classe concerne les sols alluviaux tirsifiés ou sols alluviaux solonetziques, les sols présentant un début de décalcification et une accumulation progressive de calcaire, les sols alluviaux en voie de décalcification, les sols alluviaux complexes à horizon d'accumulation des sulfates, et les sols alluviaux complexes formés d'horizons de textures diverses [Source Plan d'Aménagement du Territoire de la Wilaya/ Chlef phase 1].

**F. Sols colluviaux et sols alluviaux des affluents mineurs :** cette classe concerne les sols colluviaux provenant des massifs calcaires, les sols colluviaux provenant des massifs gréseux et des formations quaternaires anciennes et les sols colluviaux et sols alluviaux provenant des massifs marneux.

**G. Sols salés :** cette classe concerne les sols salés de type « solontchaks vifs », les solontchaks inertes avec plus de 1,8 % de Cl en surface et les hoposolontchaks avec 0,7 à 1,8 % de Cl en surface à l'ouest de Boukadir.

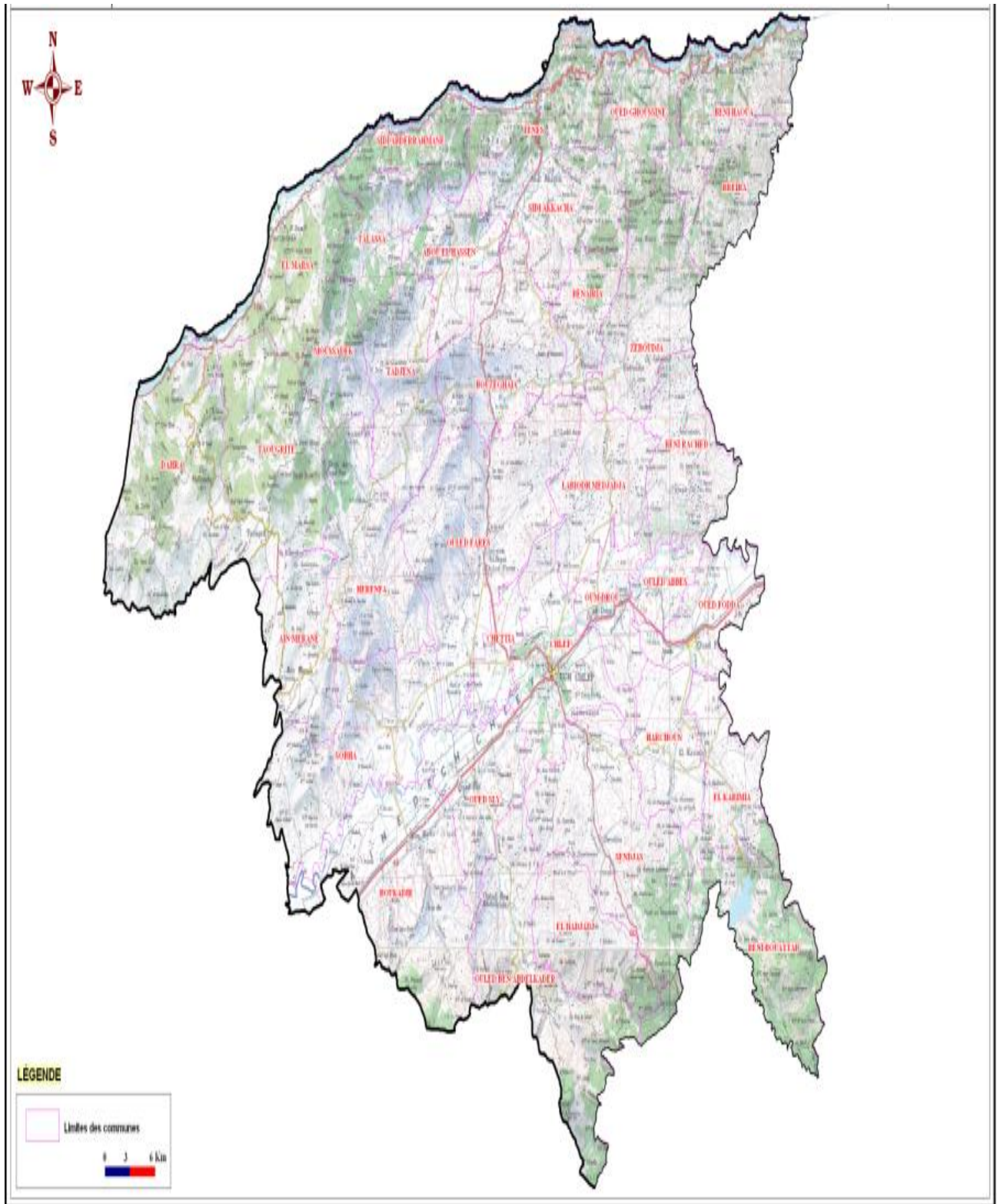
**H. Sols très évolués :** ce sont les sols partiellement décalcifiés à accumulation progressive de calcaire, les sols décalcifiés, rubéfiés et lessivés à accumulation progressive de calcaire, les sols décalcifiés, rubéfiés et lessivés à accumulation progressive de calcaire, généralement sur carapace calcaire et les colluvions des sols rouges lessivés.

**Sols des bordures des plaines :** cette classe est réservée aux sols développés autour des plaines proprement dites, elle concerne :

- l'association des sols à carapace calcaire
- l'association des sols décalcifiés et des sols jeunes formés sur roche-mère calcaire et perméable
- l'association des sols décalcifiés formés sur les glacis d'accumulation polygéniques
- l'association des sols jeunes formés sur les grès et les marnes et de ces roches-mères
- l'association des sols jeunes formés sur les marnes et les argiles et de ces roches-mères
- l'association des sols jeunes formés sur les marnes et les sables et de ces roches-mères --
- l'association des sols formés sur les sables et de ces roches-mères
- l'association des sols formés sur les calcaires tendres, ils sont très développés sur les calcaires à lithothamniées de la bordure sud de la plaine du Chélif entre Chlef et Boukadir
- l'association des sols rouges formés sur les calcaires massifs, jurassiques
- l'association des sols formés sur roches-mères siliceuses [Source Plan d'Aménagement du Territoire de la Wilaya/ Chlef phase 1].

:

### 2.4.1. La topographie :



*Figure. 2.8: Carte topographie de la wilaya de Chlef [Source Plan d'Aménagement du Territoire de la Wilaya/ Chlef phase 3].*

## 2.4.2 La pente

**Tableau 2.8: Les pentes des terrains à travers de la région de Chlef**

Zone de montagne	Superficie (ha)	Classe des pentes							
		0-3%		3-12.5%		12.5-25%		SUP 25%	
		Ha	%	ha	%	ha	%	Ha	%
Haute montagne	23370	0.00	0.00	2101	8.99	8717	37.3	12552	53.71
Moyenne montagne (étage supérieur)	655904	123113	18.77	195066	29.74	152498	23.25	184074	28.24
Moyenne montagne (étage inférieur)	806636	118979	14.75	172943	21.44	330640	40.99	184074	22.82
Piémont et zone contiguë	155461	89981	57.88	24687	15.88	11209	7.21	29584	19.03
Total	1641271	332073	20.23	394797	24.05	503064	30.65	411438	25.07

Les classes de pentes sont réparties équitablement sur l'ensemble du massif avec un léger avantage de la classe du 12,5 – 25 %.

D'après le tableau, nous constatons que :

- ✓ La haute montagne présente 53,71% de classe de pente supérieure à 25% ce qui représente plus de la moitié de sa superficie. Au niveau de la zone de moyenne montagne, nous constatons que les pentes sont réparties équitablement sur l'ensemble du massif avec une distinction pour l'étage inférieur où la classe de pente comprise entre 12,5 et 25% représente 40,99%. Pour ce qui est de la zone de piémont et contiguë, la classe de pente inférieure à 3% est dominante avec 57,88%. [Source Plan d'Aménagement du Territoire de la Wilaya/ Chlef phase 1].

## 2.5 Le climat :

La région de Chlef relève du domaine méditerranée que caractérise un été chaud et sec et un hiver doux et pluvieux.

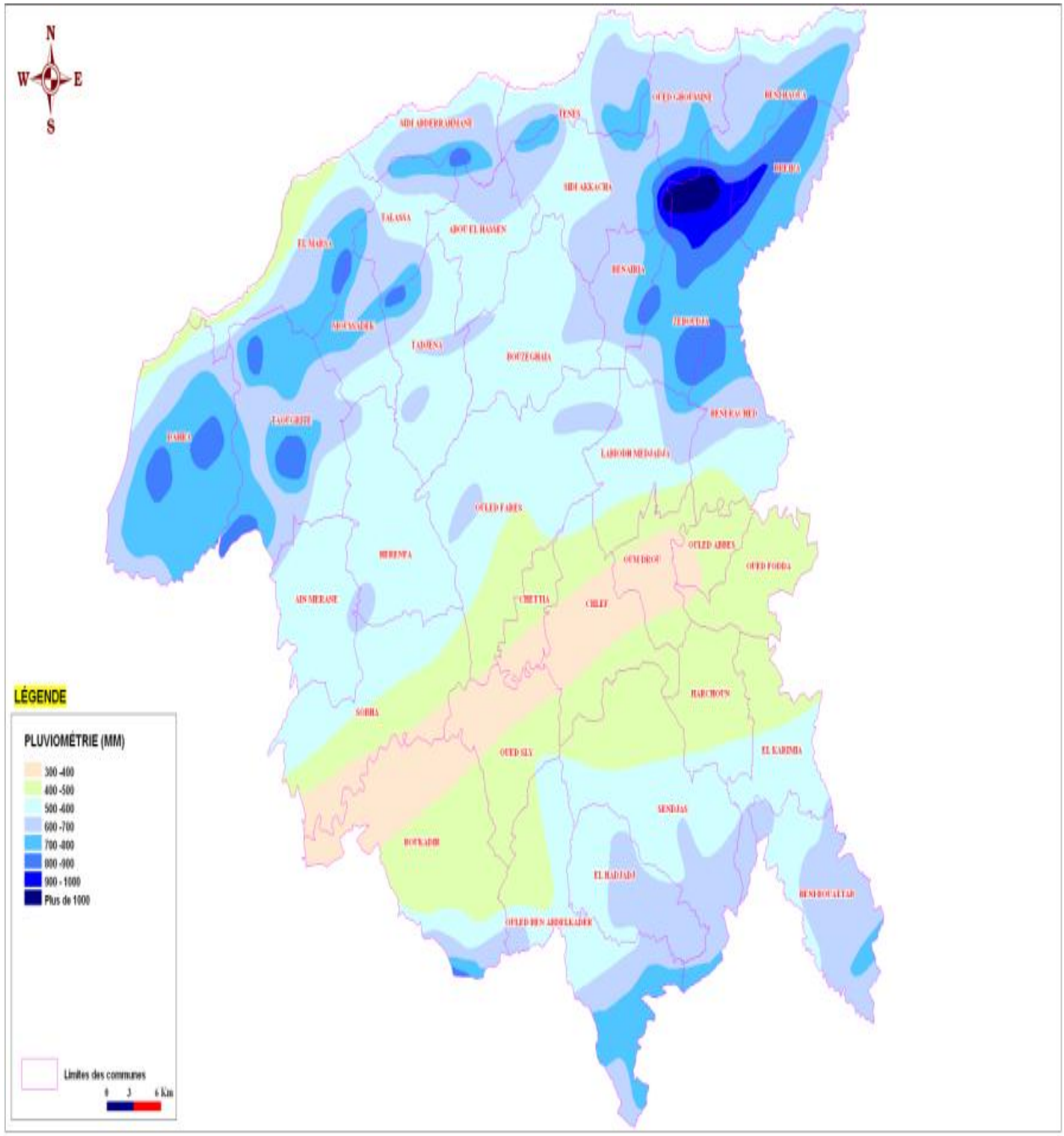
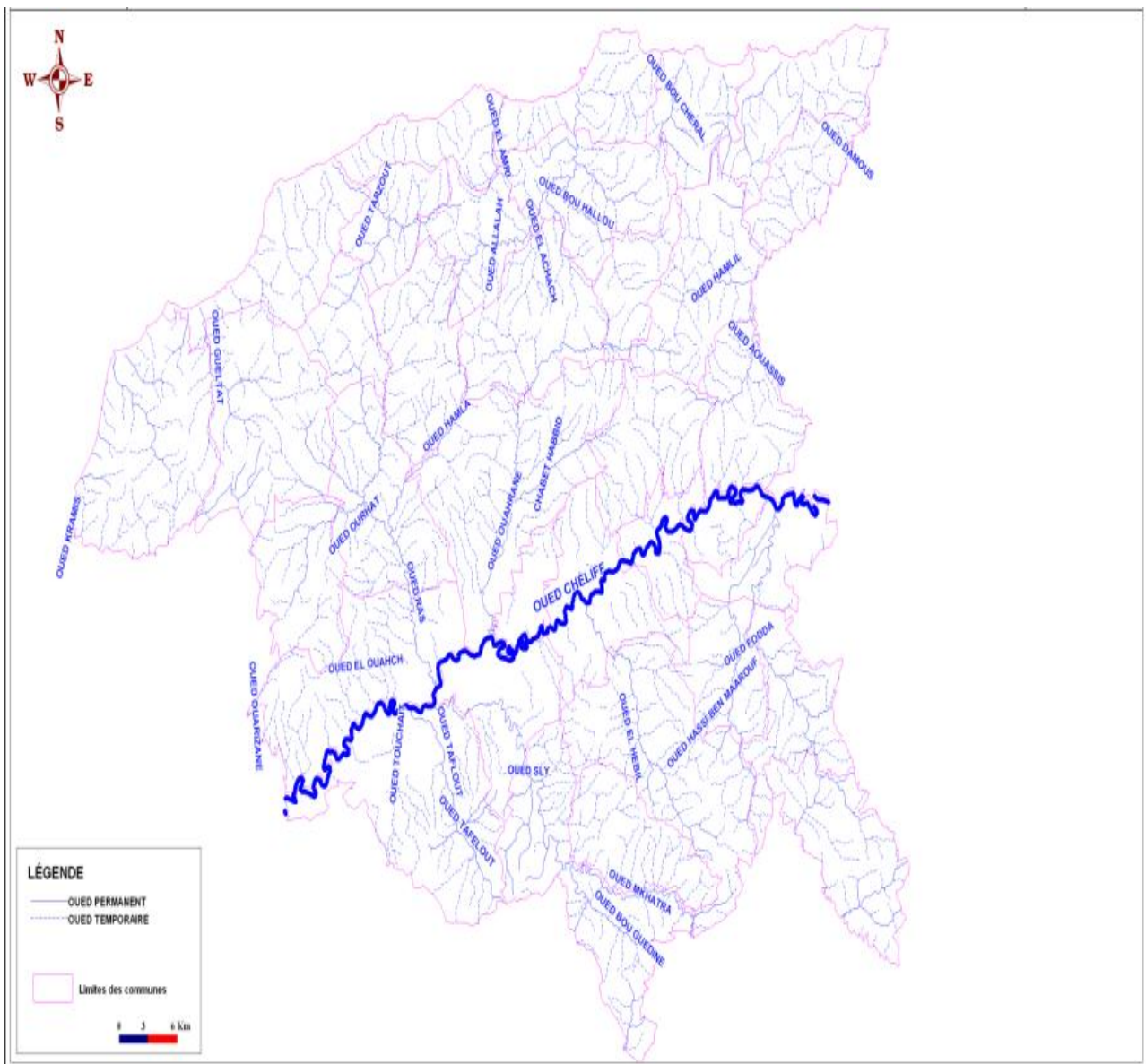


Figure. 2.9: Carte climatique de la wilaya de Chlef [Source Plan d'Aménagement du Territoire de la Wilaya/ Chlef phase 3].





*Figure. 2.11: Carte réseau hydrographique de la wilaya de Chlef [Source Plan d'Aménagement du Territoire de la Wilaya/ Chlef phase 3].*

## 2.6 Le réseau hydrographique :

Le réseau hydrographique de la wilaya de Chlef, bien qu'il soit entièrement dépendant de la mer méditerranée, reste très variable dans sa typologie et son fonctionnement suivant les domaines morphologiques traversés. Tous les oueds de cette wilaya rejoignent la mer méditerranée soit directement, comme c'est le cas pour les oueds de la façade nord du Dahra, soit indirectement comme c'est le cas pour le reste des oueds venant de la façade sud du Dahra et ceux de la façade nord de l'Ouarsenis qui se déversent tous dans l'oued Chelif avant qu'ils n'arrivent en mer. Ce dernier constitue ici le principal niveau de base local et représente le plus grand bassin versant de

l'Algérie tello-atlasique. Il draine tous les oueds de la façade sud du Dahra (rive droite du Chéelif), dont les plus importants d'Est en Ouest sont les oueds de Hammama-Bouni, Ouahrane et Ras. Il draine aussi tous les oueds de la façade nord de l'Ouarsenis, qui sont d'Est en Ouest, les Oueds de Fodda, Oued Sly et Tafelout.

Quant aux oueds de la façade nord du Dahra, tributaires de la mer, ils sont d'Est en Ouest les oueds de Damous (rive gauche), d'Allala, d'el Amri, de Tarzout et de Guelta.

Ceci sans parler des oueds secondaires qui se présentent, souvent, sous la forme de ravins ou localement sous la forme de torrents, lorsque certains grands ravins descendent brutalement vers la mer ou vers le niveau de base local, le Chéelif.

Cette situation reflète bien le caractère accidenté du relief de cette wilaya et la nature des terrains traversés, souvent tendres et fragiles, ainsi que la morphologie des versants et des pentes. Une situation à l'origine des phénomènes érosifs, très développés dans cette région, notamment ceux du ravinement et des mouvements de terrain [Source Plan d'Aménagement du Territoire de la Wilaya/ Chlef phase 1].

Ainsi s'explique pourquoi le profil en long de la plupart des oueds est caractérisé par sa forte déclivité d'amont en aval et son profil en large qui se caractérise, dans la plupart des cas, par sa forme en V traduisant le caractère accidenté des reliefs de cette région et l'importance du ravinement dans cette wilaya. Le profil en berceau n'est rencontré qu'à l'amont des reliefs, quant au fond plat des oueds, il n'est développé que dans les vallées évasées des plaines et des principaux oueds.

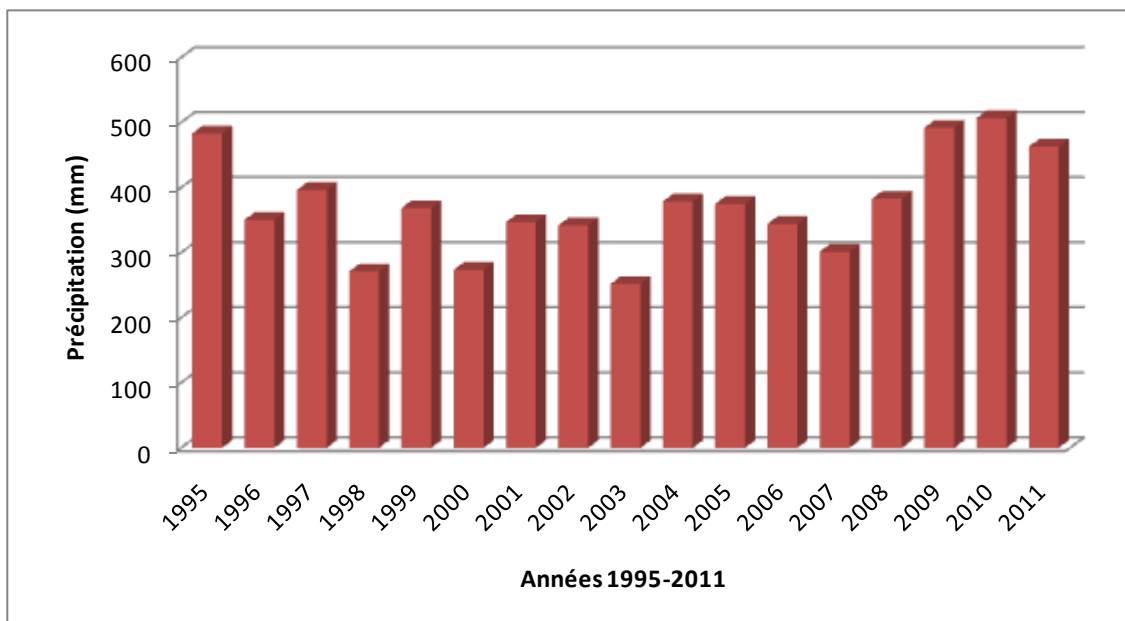
Cependant, cette situation n'exclut pas la présence fréquente d'oueds tortueux, surtout, lorsque certains d'entre-deux trouvent de grandes difficultés pour rejoindre la mer, souvent liée à la faiblesse de la pente, cas du Chéelif et de ses principales vallées affluentes venant du Dahra nord ou de l'Ouarsenis sud.

Ces oueds, comme l'illustre l'image satellitaire ci-dessous, ont beaucoup de difficultés pour atteindre la mer, cas du Chéelif tout le long de sa plaine. Cette situation exprime bien la fréquence des inondations et des débordements de cet oued sur sa terrasse récente.

**Tableau 2.9: Précipitations de la commune de Chlef (en mm)**

[Source ANRH de Chlef 1995].

Années	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fer	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	annul
1995	34.6	30.1	48.9	34.5	54.4	108.9	76.2	51.5	30.0	1.7	9.7	2.8	483.3
1996	41.8	20.2	5.1	31.2	65.4	3.5	0.0	14.0	16.0	0.4	7.1	19.8	350.5
1997	32.3	46.1	114.7	29.8	10.1	17.6	5.1	51.9	86.6	0.8	0.0	1.4	396.4
1998	15.3	15.2	13.1	17.9	60.7	66	70.6	6.0	6.1	0.0	0.0	0.0	271.2
1999	29.2	14.3	48.7	95.5	2.5	0.0	22.9	10.3	5.7	0.0	0.0	0.0	368.7
2000	30.3	83.4	68	68.4	56.9	13.5	3.8	32.9	11.5	0.0	0.0	0.0	273.8
2001	16.3	3.4	97.6	32.7	15.2	5.2	33.7	34.3	27.2	0.0	0.0	8.2	347
2002	0.0	17.9	60.8	37.7	69.8	57.1	12.5	42.4	42.6	1.0	0.0	5.2	342.1
2003	0.0	25.3	66.5	49.4	25.0	46.9	13.2	14.1	97.4	4.3	0.0	0.0	252.2
2004	0.0	37.6	24.8	63.3	17.0	79.4	15.5	5.2	71.7	7.0	0.5	1.2	378.8
2005	21.0	36.0	61.4	54.4	35.5	69.4	15.5	5.2	71.7	7.0	0.5	1.2	375.0
2006	17.4	0.0	0.0	88.2	27.3	60.8	49.2	66.6	34.2	0.0	0.7	0.0	344.4
2007	39.8	31.7	40.7	16.6	21.0	31.8	34.8	12.6	53.6	11.7	7.3	0.0	301.6
2008	9.1	35.6	46.2	64.4	61.2	21.0	51.9	74.4	15.3	2.0	0.0	2.0	383.1
2009	48.1	34.5	47.3	55.6	59.5	103.8	70.2	19.9	12.1	1.3	0.0	39.7	492.1
2010	22.3	45.1	81.9	27.5	102.5	55.2	21.1	54.1	74.5	22.0	0.8	0.0	507
2011	8.4	25.3	73.1	18.3	24.3	96.9	26.3	123.8	68	23.0	0.9	0.0	463.1



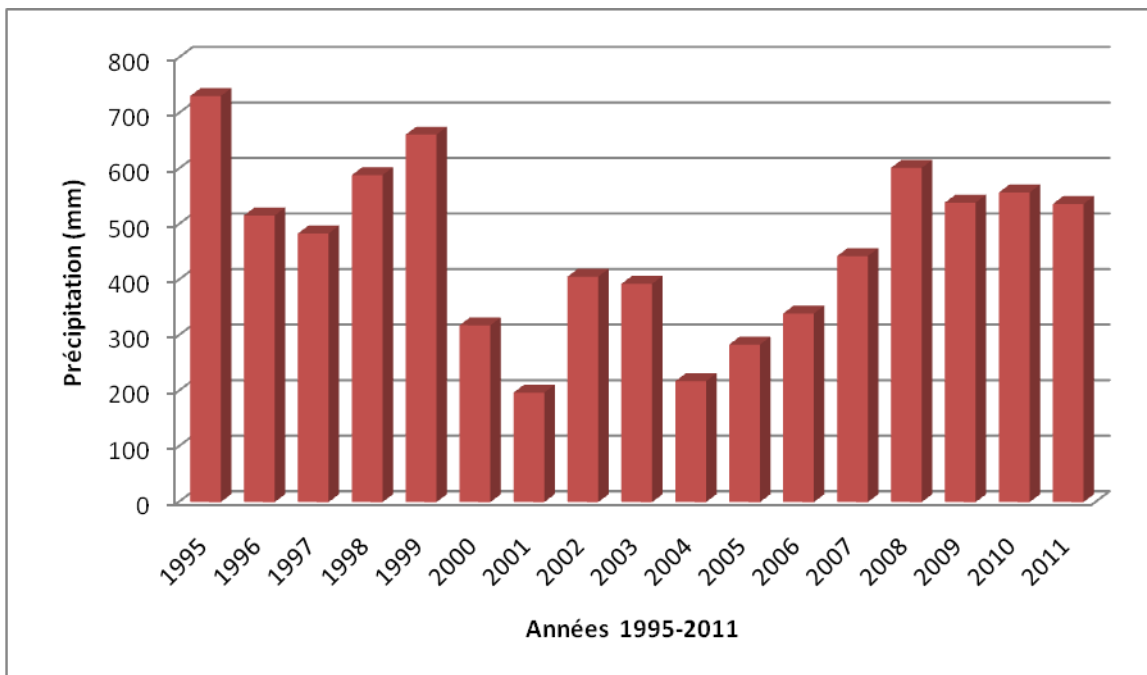
**Figure. 2.12 : Histogramme des précipitations de la commune de Chlef [Source ANRH de Chlef 1995].**

D’après cette Figure.2.12, les années 1995, 2009, 2010 et 2011, sont les années les plus pluvieuses : plus 400 mm ; par contre : 1996, 1997, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007 et 2008 sont des années plus secs: moins 400 mm.

**Tableau 2.10: Précipitations de la commune d'Oud Fodda (en mm)**

[Source ANEH de Chlef 1995].

Années	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fer	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Annul
1995	30.0	85.0	20.0	236	40.0	54.0	78.0	145	25.0	6.0	3.0	9.0	731
1996	15.0	97.0	133	17.0	21.0	38.0	84.0	16.0	70.0	16	8.6	0.5	516.1
1997	3.4	49	14.0	113	124	28.0	42.0	84.0	21.5	0.7	1.0	3.0	483.6
1998	34.0	39	70.0	123	76.0	105	50.0	41.0	12.0	1.8	0.0	37.0	588.8
1999	6.7	105	112	49.0	88.0	114	29.0	30.0	119	8.0	0.0	1.0	661.7
2000	22.9	0.0	80.4	35.0	97.5	38.9	0.6	29.4	13.3	0.0	0.0	0.0	318.4
2001	10.5	0.7	50.5	28.6	13.7	14.1	36.9	29.8	7.0	1.3	0.0	4.0	197.1
2002	0.0	24.0	51.0	17.7	133.3	78.2	6.5	35.2	34.6	0.0	0.0	25.4	405.9
2003	0.0	36.8	55.2	74.7	29.3	58.2	25.5	36.4	67.8	3.5	0.0	5.6	393
2004	0.3	20.4	32.9	54.3	10.8	60.3	25.1	5.5	0.5	6.6	0.0	0.0	217.1
2005	14.5	24.6	62.4	58.0	15.0	53.1	31.0	5.0	7.0	9.0	2.0	2.5	283.7
2006	21.5	0.0	57.0	64.8	21.0	43.4	56.4	56.9	10.6	0.0	5.0	3.0	339.6
2007	42.8	67.8	82.6	17.1	21.0	43.0	59.3	9.6	81.6	11.5	6.7	0.0	443
2008	24.2	96.4	75.8	123.9	68.2	37.1	85.9	73.1	13.0	3.6	0.0	0.7	601.9
2009	36.9	16.5	39.8	139.8	85.3	95.1	65.4	15.3	13.8	2.4	0.0	29.2	539.3
2010	17.1	73.5	110.3	36.8	82.8	56.5	18.4	64.1	76.6	21.0	0.0	0.4	557.5
2011	3.8	32.3	82.1	19.0	18.2	125.9	44.2	116.3	42.0	13.0	0.0	0.0	536.8



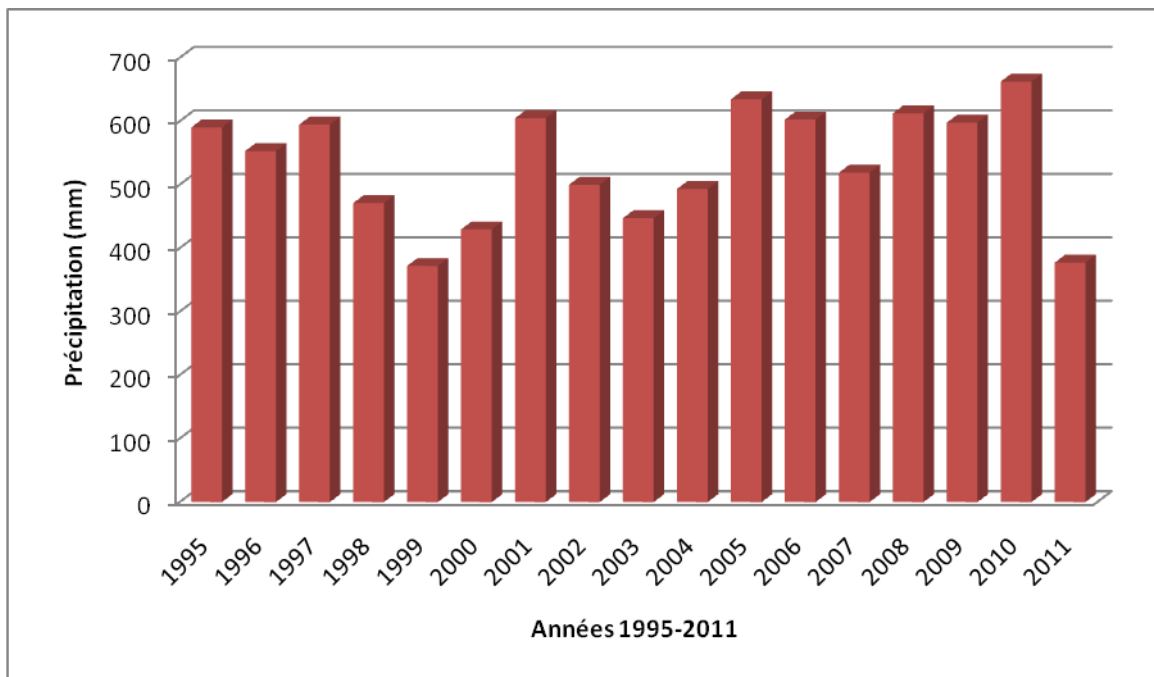
**Figure. 2.13: Histogramme des précipitations de la commune d’Oud Fodda [Source ANRH de Chlef 1995].**

D’après cette Figure.2.13, les années 1995, 1996, 1997, 1998, 1999, 2007, 2008, 2009, 2010 et 2011, sont les années les plus pluvieuses : plus 400 mm ; par contre : 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005 et 2006 sont des années plus secs: moins 400 mm.

**Tableau 2.11: Précipitations de la commune de Benairia (en mm)**

[Source ANRH de Chlef 1995].

Années	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fer	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Annul
1995	93.0	12.1	72.8	35.0	89.0	90.4	97.1	73.1	26.0	0.8	1.0	0.0	590.3
1996	50.0	55.6	77.0	31.9	89.7	20.6	46.0	165	16.4	0.9	0.0	0.0	553.1
1997	24.0	55.6	148.4	60.5	14.8	49.8	27.2	82.4	124.8	1.2	0.0	0.0	594.7
1998	24.3	43.5	30.6	29.6	196.3	76.5	63.4	5.6	1.2	0.0	0.0	0.0	471.0
1999	43.0	16	66.9	161.1	21.8	0.0	30.9	24.2	15.0	0.0	0.0	0.0	372.0
2000	22.6	82.1	101.8	20.8	84.4	35.0	1.4	69.3	11.5	0.0	0.0	0.0	429.6
2001	26.2	5.1	336.4	31.2	35.7	5.0	61.7	57.0	44.2	0.3	0.0	0.0	604.8
2002	0.00	15.1	89.1	52.5	124.1	69.3	41.0	71.3	37.6	0.0	0.0	0.0	500
2003	0.30	30.7	105.3	85.0	23.8	52.3	33.0	25.3	86.6	5.0	0.0	0.0	447.3
2004	10.3	39.8	59.5	138.9	46.2	143.6	35.5	17.8	1.7	0.0	0.0	0.0	493.3
2005	19.0	6.7	74.5	138.7	124	94.7	12.6	4.0	157.4	3.0	0.0	0.0	634.6
2006	21.6	0.0	2.0	236.2	39.2	54.6	78.6	145	25.5	0.0	0.0	0.0	602.7
2007	13.8	97.3	133.6	17.7	21.5	38.4	84.9	16.6	70.4	16.2	8.6	0.0	519
2008	3.4	49.4	147.4	111.6	124.4	28.2	42.4	84.3	21.5	0.0	0.0	0.0	612.6
2009	34.4	39.3	70.4	127.0	74.1	109.4	50.1	41.0	12.7	1.5	0.0	37.9	597.8
2010	6.7	105	112.9	49.7	86.3	114.5	29.5	30.8	118.9	8.0	0.0	0.0	662.5
2011	8.0	25.1	95.2	36.3	30.7	90.7	3.9	45.4	30.0	12.0	0.0	0.0	377.3



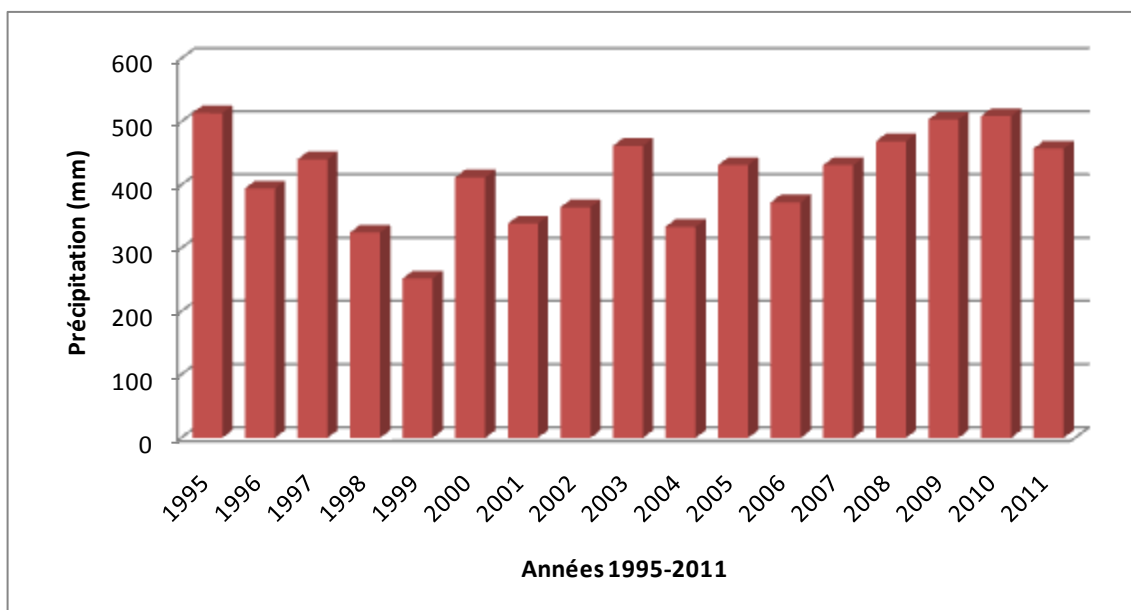
**Figure. 2.14: Histogramme des précipitations de la commune de Benairia [Source ANRH de Chlef 1995].**

D’après cette Figure.2.14, les années 1995, 1996, 1997, 1998, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009 et 2010, sont les années les plus pluvieuses : plus 400 mm ; par contre : 1999 et 2011 sont des années moyennes : moins 400 mm.

**Tableau 2.12: Précipitations de la commune d'Ouled Abbes (en mm)**

[Source ANRH de Chlef 1995].

Années	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fer	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Annul
1995	43.3	29.8	51.0	36.7	75.6	99.4	87.2	41.0	34.7	2.3	11.7	1.0	513.7
1996	48.7	30.4	15.1	37.8	79.9	8.0	0.5	136.8	14.2	0.4	5.5	17.3	394.6
1997	11.9	46.9	153.6	24.9	13.5	40.1	9.5	47.5	92.5	0.0	0.0	0.0	440.4
1998	13.3	31.2	28.3	23.3	71.8	78.0	76.7	1.4	0.3	0.0	0.0	0.7	325
1999	31.9	16	51.1	106.6	3.0	0.0	7.2	18.7	17.7	0.0	0.0	0.0	252.2
2000	22.2	81.4	81.4	33.0	107	25.0	2.6	46.4	13.2	32.3	0.0	0.0	412.2
2001	19.7	1.4	111.7	31.5	28.0	4.0	45.5	45.3	41.1	0.0	0.0	9.8	339
2002	0.0	12.0	58.2	30.3	118	63.8	14.4	34.7	32.3	1.0	0.0	0.0	364.8
2003	7.0	32.1	98.3	36.0	31.2	61.5	21.0	33.8	112	14.6	0.0	0.0	462.1
2004	0.0	39	30.5	99.5	24.0	101.3	32.9	5.3	1.0	0.5	0.0	0.0	334
2005	10.1	59.2	59.2	85.8	44.5	89.2	21.7	11.0	78.0	0.0	0.0	3.4	431.6
2006	10.8	0.0	0.0	132.2	28.5	46.9	71.4	66.9	15.2	0.0	0.0	0.9	372.8
2007	69.6	56.6	93.7	22.0	23.7	29.5	40.4	14.2	63.6	11.1	7.5	0.0	431.6
2008	4.3	29.0	92.2	111.4	25	24.5	64.8	102	16	0.0	0.0	0.0	469.2
2009	26.9	20.8	74.6	97.6	56.3	111.1	54.9	18.5	15.2	0.7	0.0	27.1	503.7
2010	14	82.8	80.0	40.6	95.8	104.8	19.1	53.0	55.2	0.7	0.0	0.0	509
2011	6.3	17.7	117.6	26.9	33.3	108.3	28.7	91.4	27.0	0.5	0.0	0.0	457.7



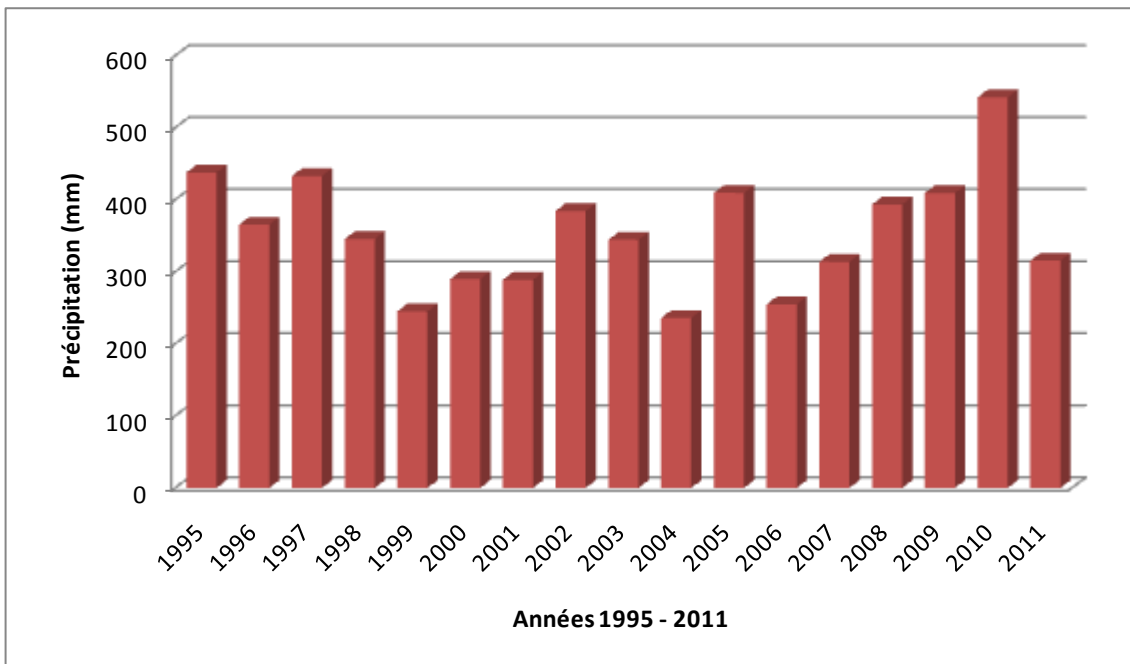
**Figure. 2.15: Histogramme des précipitations de la commune d'Ouled Abbas [Source ANRH de Chlef 1995].**

D'après cette Figure.2.15, les années 1995, 1997, 2003, 2005, 2007, 2008, 2009, 2010 et 2011, sont les années les plus pluvieuses : plus 400 mm ; par contre : 1996, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002, 2004 et 2006 sont des années plus sèches : moins 400 mm.

**Tableau 2.13: Précipitations de la commune de Sendjas (en mm)**

[Source ANRH de Chlef 1995].

Années	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fer	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Annul
1995	26.5	13.0	38.0	27	43.5	89.0	92.0	42.0	37.3	1.0	28	0.5	437.8
1996	40.0	26.0	6.6	36.6	76.0	12.5	0.0	143	13.5	0.0	0.0	11.3	365.5
1997	28.0	40.0	122.8	31.2	19.8	25.0	3.5	61.8	101	0.0	0.0	0.0	433.1
1998	2.5	14.0	12.2	29.8	70.8	92.5	93.0	7.0	17.8	0.0	0.0	0.0	345.5
1999	34.9	16.2	55.7	94.7	3.5	0.0	13.5	22.7	4.0	0.0	0.0	0.0	245.2
2000	24.6	74.2	64.8	26.0	36.9	26.0	0.4	27.0	10	0.4	0.0	7.0	289.9
2001	12.6	3.6	114.5	30.1	15.5	11.8	30.0	36.5	27	0.4	0.0	7.0	289.0
2002	14.0	24.7	66.3	23.8	101.1	67.9	5.4	39.7	35.5	1.3	0.0	5.2	384.9
2003	0.0	34.3	53.5	65.0	18.5	57.1	15.4	22.0	67.3	11.4	0.0	0.0	344.5
2004	2.7	36.0	19.8	62.5	10.7	81.0	19.9	2.9	0.4	0.0	0.0	0.0	235.9
2005	8.0	25.7	63.5	52.5	38.7	103.4	21.4	0.3	71.2	24.9	0.0	0.0	409.6
2006	24.5	0.0	0.0	66.6	21.7	41.4	59.1	61.0	16.3	0.0	0.0	0.0	254.9
2007	36.2	48.2	52.1	13.3	22.1	34.0	31.5	13.5	49.5	9.7	3.9	0.0	314.0
2008	14.8	31.9	46.1	81.7	72.3	21.5	59.6	40.4	13.8	105	0.0	0.0	393.6
2009	50.9	2.6	30.3	63.9	70.0	80.7	63.7	12.8	13.9	6.2	0.0	14.3	409.3
2010	24.8	51.5	95.7	31.3	77.5	75.3	22.1	58.0	87.7	18.4	0.0	0.0	542.3
2011	0.0	79.1	72.0	17.3	14.4	95.8	10.0	13.0	9.0	5.0	0.0	0.0	315.6



**Figure. 2.16: Histogramme des précipitations de la commune de Sendja [Source ANRH de Chlef 1995].**

D'après cette Figure.2.16, les années 1995, 1997, 2005 et 2010, sont les années les plus pluvieuses : plus 400 mm ; par contre : 1996,1998, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2006, 2007, 2008, 2009 et 2011 sont des années plus secs : moins 400 mm.

## CHAPITRE 03

### PARAMETRE DE SOL DES SITES

#### 3.1. Généralité :

Les données géologiques et géotechniques relatives au site de la wilaya de Chlef sous ces différentes formes (lithologie, paramètres physico-mécaniques, etc.....) peuvent être stockées et traitées pour permettre à déterminer le comportement et les caractéristiques réel d'un site. L'outil informatique, de plus en plus performant, permet et aide de collecter et stockée ces données de façon a arrivé à une corrélation menant à une meilleure compréhension des sols [9].

Les différents essais géotechniques ont été réalisés par le laboratoire des travaux publics LCTP de Chlef.

Enfin cette étude sur les sites instable dans wilaya de Chlef est classée comme suit :

- ✓ Ténès.
- ✓ Sidi Abderrahmane.
- ✓ Ouled Ben Abdelkader.
- ✓ Zeboudja.
- ✓ Bouzghaia.
- ✓ Béni haoua.

#### 3.2. Les étapes de travail comment stockés et traité le sol :

Cette empreinte est composée de quatre quadrants dont :

1. le premier représente le tableau de Casagrande (abaque)
2. le deuxième concerne le tableau de Skempton qui caractérise l'activité des sols.
3. le troisième représente la distribution granulométrie.
4. le quatrième de boucler les quadrants cites ci-haut

En examinant la methode de travail les quatres graphes, on observe que:

- ✓ dans le premier quadrant, La droite A représenté une limite empirique; elle passe par le point avec la limite de liquidité de  $WL= 20$  sur l'axe horizontale et le point avec une limite de liquidité de  $WL= 50$ .

L'équation de la droite A est donc :  $IP = 0,73 (WL - 20)$ .

La droite A représenté, selon Casagrande, la frontière entre les argiles inorganiques (CL-CH) qui sont généralement situées au-dessus de la droite et les sols plastiques contenant des matières organiques (CL-CH) qui sont en-dessous de la droite A. Indiquent qu'il existe une zone de

chevauchement. Les limons non organiques (ML et MH) se retrouvent également sous la droite A. CASAGRANDE [10].

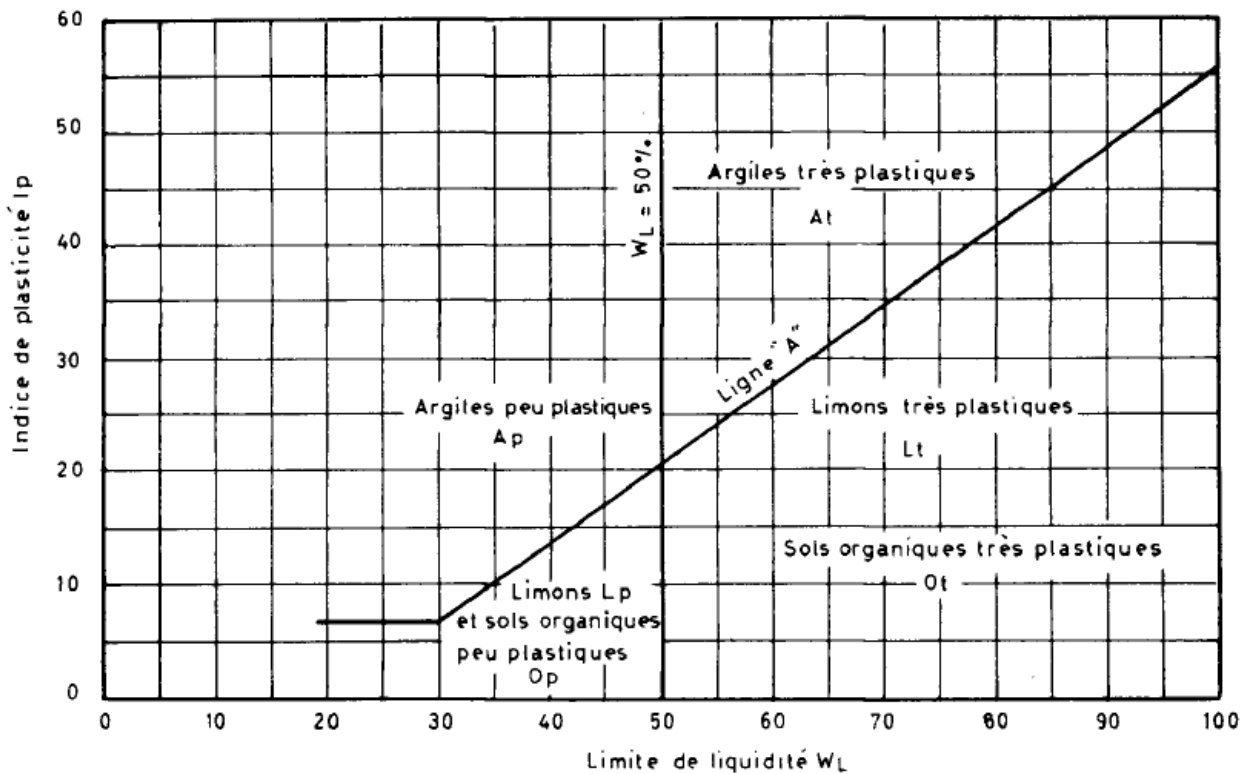


Figure 3.1 abaque casagrande [10].

- ✓ Dans le deuxième quadrant, qui caractérise l'activité des sols fins défini par Skempton [11], la position relative du point P<sub>2</sub>, ayant pour coordonnées (x<sub>d</sub>% avec I<sub>p</sub>), peut facilement être visualisée par des droites d'activité égale à:  $I_A = (I_p \text{ avec } x_{2\mu})$ . Les différents domaines d'activité :

Non active, Active et Extrêmement active sont respectivement délimités par les droites de valeur  $I_A = 0.5$ ,  $I_A = 1.0$  et  $I_A = 2.0$ .

- ✓ Dans le troisième quadrant présente la distribution dimensionnelle des grains. pour les sols grenus (non cohésif), on prend seulement la portion P<sub>10</sub> – P<sub>90</sub> à partir de x<sub>d</sub> = 10% de la courbe de distribution. pour les sols fins (limon et argile), la courbe de distribution de l'empreinte est caractérisée par la valeur P<sub>90</sub> et le point P<sub>3</sub> ayant comme abscisse x<sub>2μ</sub>.

- ✓ Dans le dernier quadrant, le point  $P_4$  à une abscisse égale à la limite de liquidité  $W_L$  et la même ordonnée que le point inférieur du troisième quadrant. Pour les sables, ce point correspond au  $d_{10}$  et pour les argiles et les limons il correspond à  $d_{2\mu}$ .
- ✓ Ainsi, en connectant les cinq points  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$ ,  $P_4$  et  $P_{90}$  des différents quadrants 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.



*Figure .3.2. Photo de site de Ténès [rapport].*

### *Site de Ténès*



*Figure .3.3. Photo montrant de site de Ténès [google].*

### **3.3. Caractérisation des sols de site de Ténès :**

Le tableau 3.1 comprend les résultats des essais de caractérisation physiques des sondages S<sub>1</sub>-S<sub>10</sub>, sur des échantillons prélevés au niveau des sondages susnommés à partir d'essai réalisés au laboratoire LCTP de Chlef.

**Tableau 3.1 : caractérisation physique du site de Ténès :**

*[Source (DTP de Chlef)].*

Sondage (S <sub>1</sub> - S <sub>10</sub> )	Lithologie	Profondeur (m)	S <sub>r</sub> (%)	W(%)	W <sub>L</sub> (%)	P <sub>f</sub> <2m (%)	I <sub>p</sub> (%)
S <sub>1</sub>	Limon et gravier peu sableux rougeâtre à marron	0.60-1.30	98.4	18.20	33.40	37.70	16.30
	Argile plastique graveleuse sableuse rougeâtre à marron	1.30-3.00	75.56	14.00	43.40	53.30	24.10
S <sub>2</sub>	Limon graveleux sableux rougeâtre à marron	0.50-1.20	90.39	16.74	38.10	49.70	18.20
	Argile limoneuse sableuse graveleuse rougeâtre à marron	1.20-2.90	84.50	17.60	40.80	52.60	21.50
S <sub>3</sub>	Argile plastique graveleuse peu sableuse marron foncée	0.50-1.50	68.58	12.70	43.80	55.07	25.40
	Limon sableux graveleux sableux rougeâtre à marron foncée	1.50-3.00	67.50	12.50	44.30	33.70	25.80
S <sub>4</sub>	Argile plastique graveleuse sableuse marron	0.60-1.60	64.8	12.00	38.20	50.10	23.70
	Argile plastique graveleuse sableuse marron	1.60-3.30	75.06	13.90	53.30	39.80	32.90
S <sub>5</sub>	Sable argileux graveleuse marron clair	0.60-1.60	72.32	15.50	42.00	32.80	18.22
	Argile plastique sableuse graveleuse marron foncée	1.60-2.80	68.9	14.30	47.50	40.20	27.40
S <sub>6</sub>	argile graveleuse sableuse marron claire	0.50-1.60	68.46	14.20	45.10	38.20	23.70
	Sable argileux graveleux marron clair	1.60-3.20	68.84	14.30	45.10	32.60	15.30
S <sub>7</sub>	Sable limoneux graveleux marron	0.60-1.30	97.03	21.52	41.10	25.00	15.70
	Argile peu plastique sableuse peu	1.30-3.00	27.04	21.53	54.00	53.01	25.59

	graveleuse marron foncée						
S <sub>8</sub>	Argile peu sableuse peu graveleuse marron foncée	0.60-1.30	92.70	19.57	50.60	67.33	29.50
	Argile plastique peu sableuse graveleuse marron à verdâtre	1.30-3.20	98.01	23.26	48.20	50.71	21.57
S <sub>9</sub>	Argile peu plastique sableuse peu graveleuse marron foncée	0.50-1.20	96.24	20.17	60.50	52.25	26.11
	Argile peu plastique sableuse graveleuse marron à verdâtre	1.20-2.90	88.76	18.41	56.00	54.10	25.78
S <sub>10</sub>	Argile sableuse graveleuse marron	0.60-1.30	92.88	19.61	51.00	50.50	22.30
	Argile plastique sableuse peu graveleux marron foncé	1.30-3.20	77.87	16.44	68.20	59.42	31.35

### 3.3.1. Interprétation de l’empreinte de Ténès

**En observe d’après le deux Tableaux de Ténès :**

Pour  $33.40\% \leq W_L \leq 68.20\%$  et  $15.30 \leq I_P \leq 32.90\%$ , cet intervalle de valeurs caractérise le domaine des argiles inorganiques de plasticité moyenne à forte plasticité.

Les teneurs en eau donnent des valeurs moyennes.

D’après les valeurs du degré de saturation, le sol est très saturé.

En observant l’empreinte obtenue, on constate que la plupart des points différents sondages, S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub>, S<sub>4</sub>, S<sub>5</sub> et S<sub>6</sub> se trouvent au-dessus a la droite A dans la zone CL des argiles peu plastique, par ce que leur limite de liquidité ne dépasse pas les 50%. Par contre pour les sondages S<sub>4</sub> à la profondeur 1.60-3.30 m, S<sub>7</sub> à la profondeur 1.30-3.00 m, S<sub>8</sub> à la profondeur 0.60-1.30 m, S<sub>9</sub> et S<sub>10</sub> les points P<sub>1</sub> se trouvent au-dessus a la droite A dans la zone CH, c’est-à-dire des argiles très plastiques, par ce que leur limite de liquidité dépasse les 50%.

On remarque que les points P<sub>1</sub> des différents sondages forment une parallèle à la droite A, dont l’équation est de :  $I_P = 0.73 (W_L - 12)$ , cela signifie que les différents échantillons appartiennent à la même formation géologique [10].

Dans le deuxième quadrant, le point P<sub>2</sub> des différents échantillons présente une activité entre 0.50 et 0.90, ainsi leur indice d'activité est actifs, sachant que l'indice d'activité croit avec la teneur en élément inférieur à 2µm. On remarque que les échantillons des sondages S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub>, S<sub>4</sub>, S<sub>5</sub>, S<sub>6</sub>, S<sub>7</sub>, S<sub>8</sub>, S<sub>9</sub> et S<sub>10</sub> sont actifs, (Pourcentage de 25.00 et 67,33% d'éléments inférieurs à 2µm).

Dans le troisième quadrant, caractérisant la courbe granulométriques des particules solides, on remarque que les sondages S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub>, S<sub>4</sub>, S<sub>5</sub>, S<sub>6</sub>, S<sub>7</sub>, S<sub>8</sub>, S<sub>9</sub>, et S<sub>10</sub> ont un pourcentage de particules fines entre 25% et 67,33%, ce qui explique leur activité moyenne, ce type de sol ne peut être que de l'argile.

En comparant les différentes empreintes, on remarque que le sondage S<sub>8</sub> présente une empreinte enveloppe, et que celles des sondages S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub>, S<sub>4</sub>, S<sub>5</sub>, S<sub>6</sub>, S<sub>7</sub>, S<sub>9</sub>, et S<sub>10</sub> sont proches ce qui permet de prédire un comportement similaire.

Site de Ténès

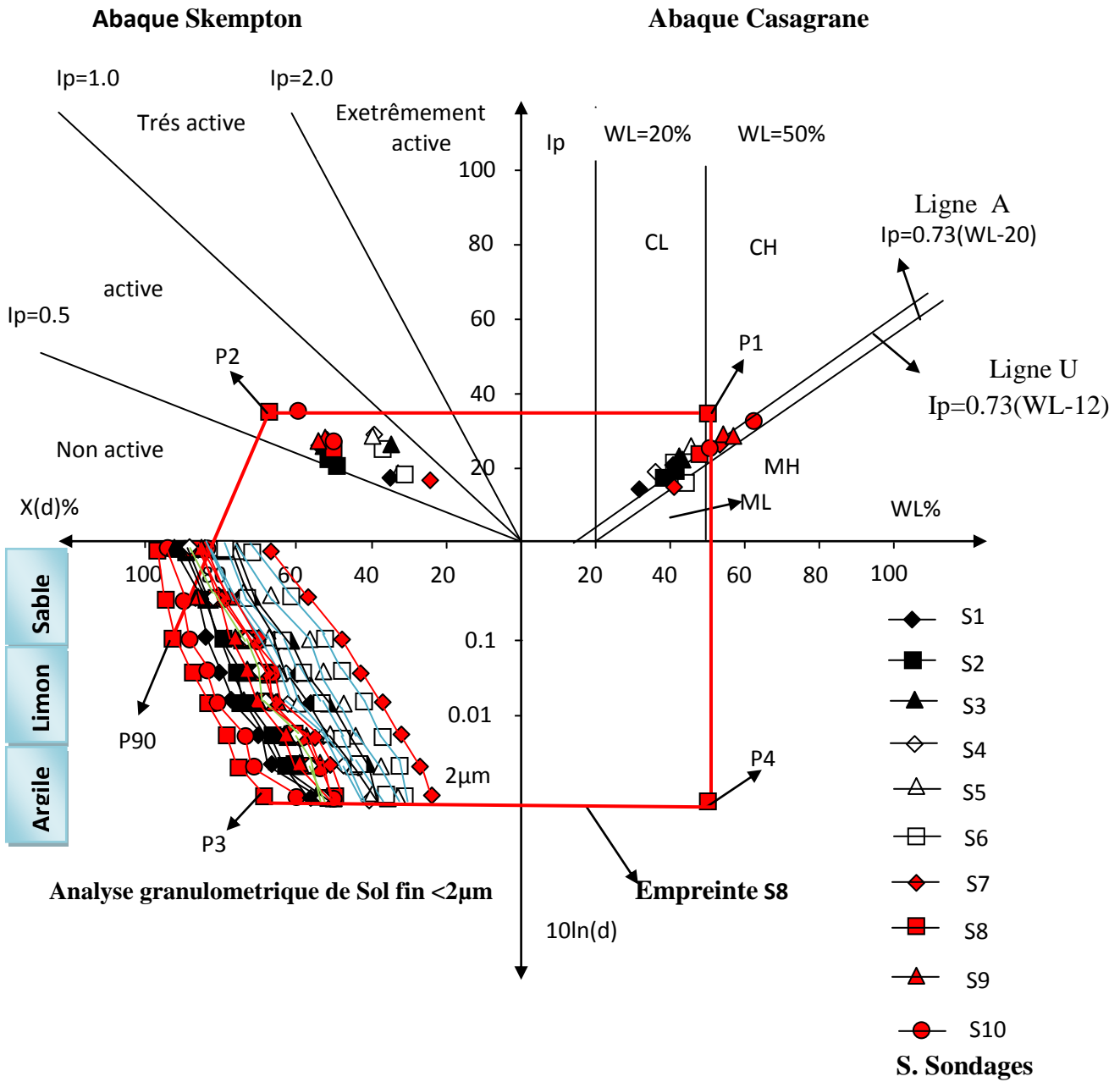


Figure .3.4. Empreinte du sol de Ténès



*Figure .3.5. Photo de Sidi Abderrahmane [rapport].*

*Sidi Abderrahmane*



*Figure .3.6. Photo montrant de Sidi Abderrahmane [google].*

### 3.4. Caractérisation des sols de Sidi Abderrahmane :

Le tableau 3.3 comprend les résultats des essais de caractérisation physiques des sondages S<sub>1</sub>-S<sub>8</sub>, sur des échantillons prélevés au niveau des sondages susnommés à partir d'essai réalisés au laboratoire LCTP de Chlef.

**Tableau 3.2 : caractérisation physique du site de Sidi Abderrahmane :**

*[Source (DTP de Chlef)].*

Sondage (S <sub>1</sub> -S <sub>8</sub> )	Lithologie	Profondeur (m)	S <sub>r</sub> (%)	W(%)	W <sub>L</sub> (%)	P <sub>f</sub> <2μm (%)	I <sub>P</sub> (%)
S <sub>1</sub>	Sable limoneux marron graveleux	0.50-1.30	50.55	11.38	37.00	32.02	16.13
	Argile sableuse peu graveleuse marron à verdâtre	1.30-3.00	62.66	14.39	42.00	51.25	21.73
	Argile plastique beige sableuse peu graveleuse	4.30-5.90	54.00	12.38	45.80	58.00	22.68
	Argile et sable marron à verdâtre peu graveleux	7.40-8.90	71.37	16.39	45.00	47.33	19.30
S <sub>2</sub>	Limon et sable marron foncé peu graveleux	0.40-1.30	60.53	13.90	44.00	35.83	17.22
	Limon et sable marron peu graveleux	1.30-3.00	52.00	10.04	36.60	42.50	18.40
	Argile limoneuse marron à verdâtre sableuse peu avec traces de gravier	4.000-6.00	85.96	19.74	40.80	59.83	17.02
	Argile verdâtre et sable limoneux	8.80-10.40	80.65	18.52	46.25	50.98	22.24
S <sub>3</sub>	Limon et sable marron foncé graveleux	0.50-1.20	58.00	13.11	44.50	37.30	17.12
	Argile verdâtre sableuse peu graveleuse	1.20-3.20	76.68	17.61	47.70	63.43	24.97
	Sable et limon marron avec traces de gravier	4.70-6.40	66.15	15.19	34.50	41.00	15.43

	Limon et sable peu graveleux grisâtres à verdâtres	11.50-12.0	53.00	10.60	36.80	47.55	16.21
S4	Argile plastique marron peu sableuse avec traces de gravier	0.60-1.10	57.09	13.11	59.00	75.62	32.11
	Argile verdâtre à sableuse peu graveleuse	1.10-2.70	76.68	17.61	43.70	53.54	20.32
	Limon marron foncée et sable peu graveleux	4.80-5.40	81.65	18.75	42.86	45.40	16.86
	Argile verdâtre et sable limoneux avec traces de gravier	8.60-10.60	69.76	16.02	40.30	53.20	20.24
S5	Argile plastique marron peu sableuse avec traces de gravier	0.50-1.10	88.96	20.43	58.50	76.45	31.17
	Argile plastique verdâtre sableuse avec traces de gravier	1.10-2.80	55.26	12.69	47.75	60.83	28.25
	Sable et limon marron à verdâtre peu graveleux	4.10-5.90	79.73	18.31	42.00	38.00	13.25
	Argile verdâtre et sable avec traces de gravier	5.90-7.50	81.21	18.65	41.45	55.16	19.85
S6	Limon et sable marron avec traces de gravier	0.60-1.20	54.85	10.97	40.20	37.70	18.11
	Argile verdâtre sableuse peu graveleuse	1.20-3.00	58.53	13.44	41.00	56.45	21.60
	Sable limoneux marron peu graveleux	4.40-6.00	65.80	15.11	37.60	27.30	14.05
	Sable limoneux marron peu graveleux	7.50-9.40	62.44	14.34	34.20	30.77	13.65
S7	Sable et argile marron peu graveleuse	0.40-1.60	53.78	12.35	39.90	40.20	20.00
	Limon sableux marron peu graveleux	1.60-3.40	82.74	19.00	29.90	49.20	13.70
	Argile verdâtre plastique avec traces	8.80-10.60	82.00	18.83	46.00	96.40	23.74

	de gravier et de sable						
S <sub>8</sub>	Sable limoneux marron avec traces de gravier	0.40-1.60	74.60	17.13	29.80	32.20	12.50
	Sable limoneux marron avec traces de gravier	3.30-5.00	97.75	25.80	41.00	50.20	20.00
	Argile plastique verdâtre avec traces de sable et de gravier	8.40-10.20	80.60	18.51	33.90	96.80	18.30

### 3.4.1. Interprétation de l’empreinte du site de Sidi Abderrahmane:

#### En observé dans deux tableaux du site de Sidi Abderrahmane :

Pour  $29.80\% \leq W_L \leq 59.00\%$  et  $12.50 \leq I_P \leq 32.11\%$ , cet intervalle de valeurs caractérise le domaine des argiles inorganiques de plasticité moyenne à forte plasticité.

Les teneurs en eau donnent des valeurs moyennes.

D’après les valeurs du degré de saturation, le sol est très saturé.

En observant l’empreinte obtenue, on constate que la plupart des points différents sondages, S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub>, S<sub>4</sub>, S<sub>5</sub>, S<sub>6</sub>, S<sub>7</sub> et S<sub>8</sub> se trouvent au-dessus a la droite A dans la zone CL des argiles peu plastique et sondage S<sub>5</sub> à la profondeur 4.10-5.90 m se trouvent sous a la droite A dans la zone ML des limon peu plastique; parce que leur limite de liquidité ne dépasse pas les 50%. par contre pour le sondage S<sub>5</sub> à la profondeur 0.50-1.10 m, se trouvent au-dessus a la droite A dans la zone CH, c’est-à-dire des argiles très plastiques, par ce que leur limite de liquidité dépasse les 50%.

On remarque que les points P1 des différents sondages forment une parallèle à la droite A, dont l’équation est de :  $IP = 0.73 (WL - 14)$ , cela signifie que les différents échantillons appartiennent à la même formation géologique par contre le sondage S<sub>5</sub> qui ne se trouve pas sur cette ligne a priori, il semble ne pas appartenir à la même formation géologique que les autres sondages, S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub>, S<sub>4</sub>, S<sub>6</sub>, S<sub>7</sub> et S<sub>8</sub> se la même formation géologique [10].

Dans le deuxième quadrant, le point P<sub>2</sub> des différents échantillons présente une activité entre 0.35 et 0.80, ainsi leur indice d’activité est non actif à actif. On remarque que les échantillons des sondages S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub>, S<sub>4</sub>, S<sub>5</sub>, S<sub>6</sub>, S<sub>7</sub> et S<sub>8</sub> sont actifs, par contre l’échantillon du sondage S<sub>7</sub> est de profondeur a 8.80 à 10.60 m et le sondage S<sub>8</sub> a profondeur 8.40 à 10.20 m, non actifs .

Au niveau du troisième quadrant, caractérisant la courbe granulométriques des particules solides, on remarque que les sondages S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7 et S8 ont un pourcentage de particules fines entre 27.30% et 63.43%, ce qui explique leur activité moyenne, par contre le sondage qui reste présente un pourcentage des particules fines de supérieure 75.62%, 75.45%, 96.40% et 96.80%, ce qui explique faible activité, ce type de sol ne peut être que de l'argile.

En comparant les différentes empreintes, on remarque que le sondage S4 présente une empreinte enveloppe, et que celles des sondages S1, S2, S3, S6, S7 et S8 sont proches ce qui permet de prédire un comportement similaire.

Site de Sidi Abderrahmane

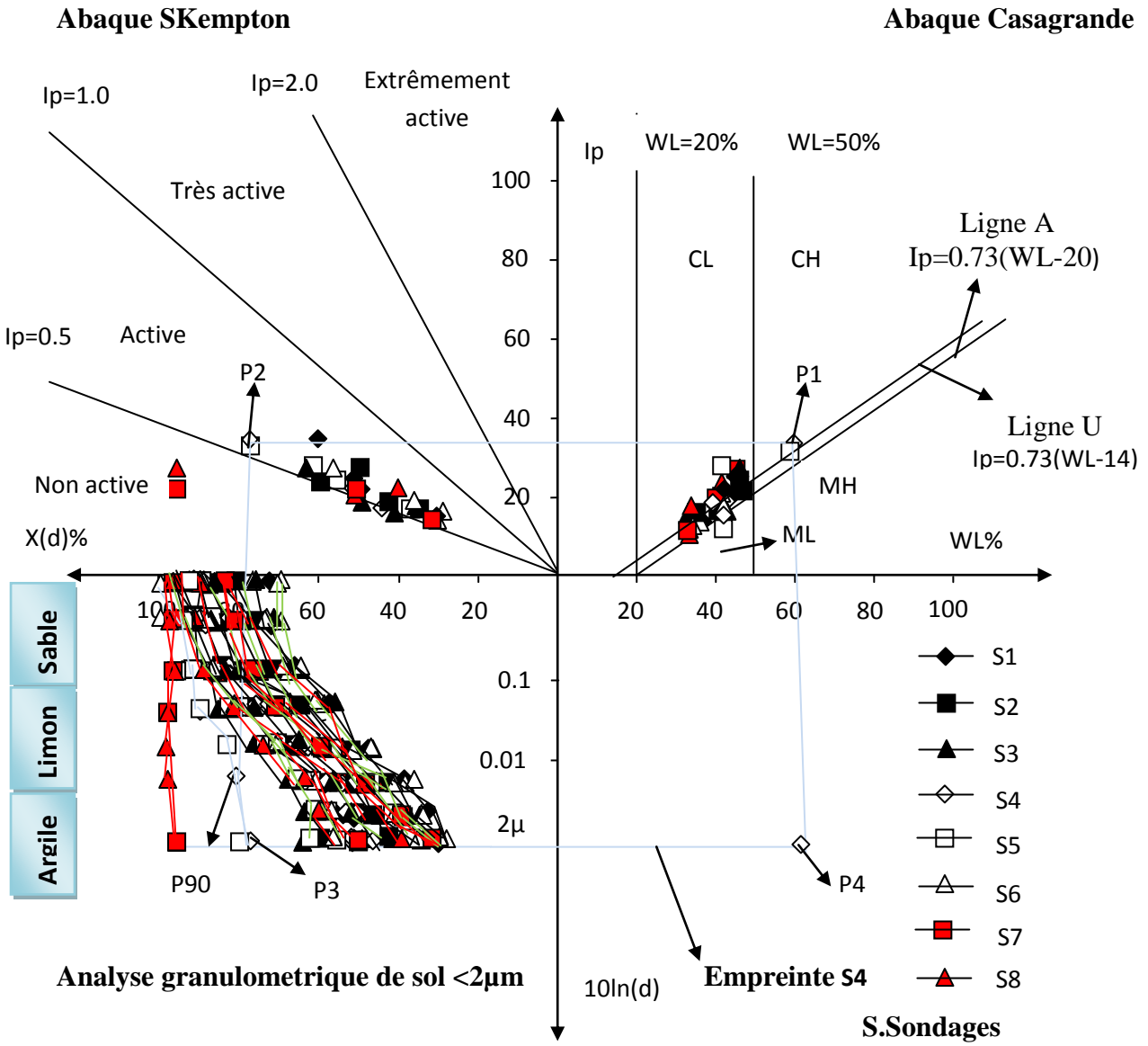
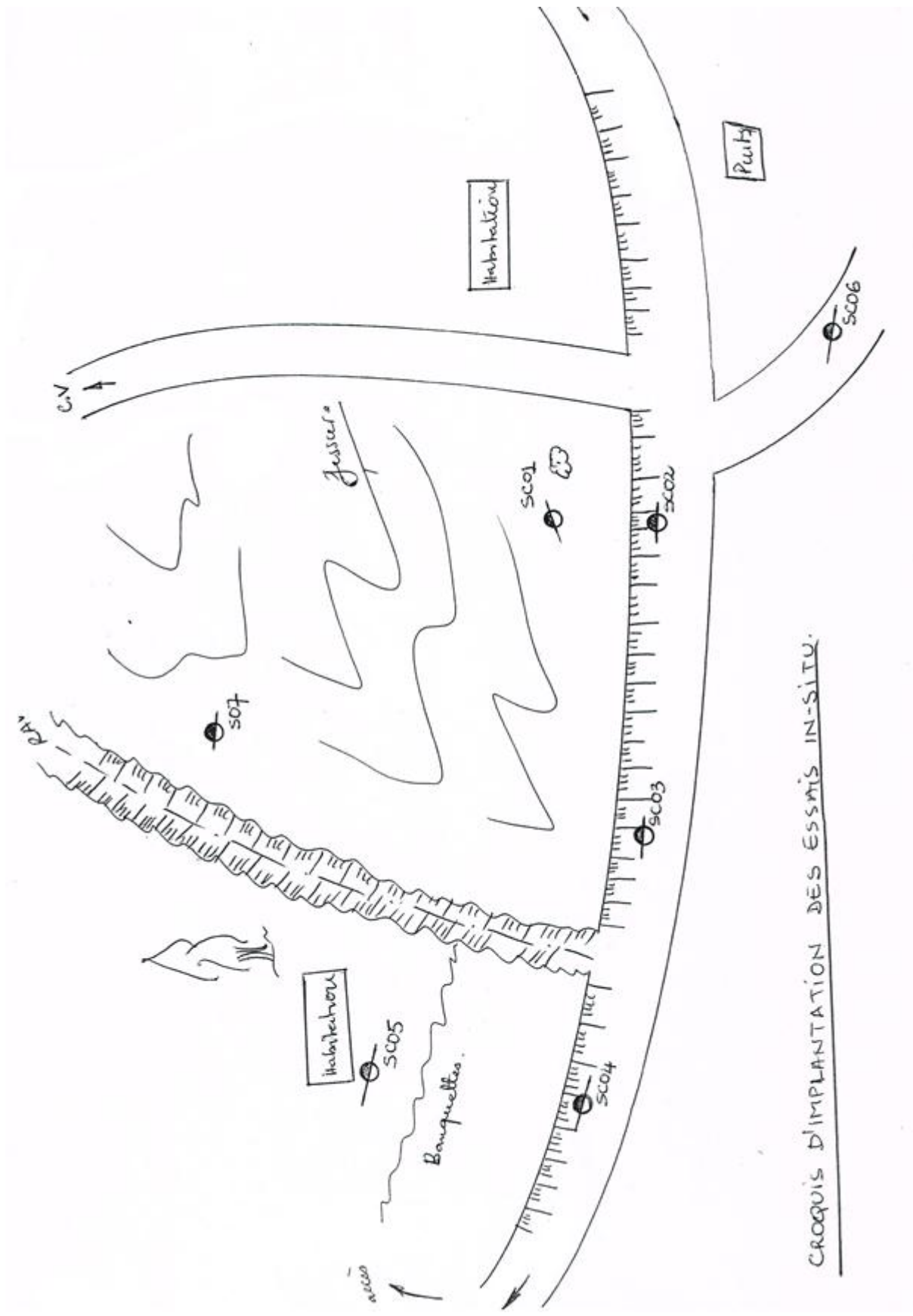


Figure .3.7. Empreinte du sol de Sidi Abderrahmane



CROQUIS D'IMPLANTATION DES ESSAIS IN-SITU.

Figure .3.8 Plan implantation des sondages mécanique et physique Site d'Ouled Ben Abdelkader.



*Figure .3.9. Photo Site d'Ouled Ben Abdelkader*  
Site d'Ouled Ben Abdelkader



*Figure .3.10. Photo montrant site d'Ouled Ben Abdelkader [google].*

### 3.5. Caractérisation des sols d'Ouled Ben Abdelkader :

Le tableau 3.3 comprend les résultats des essais de caractérisation physiques des sondages S<sub>1</sub>-S<sub>7</sub>, sur des échantillons prélevés au niveau des sondages susnommés à partir d'essai réalisés au laboratoire LCTP de Chlef.

**Tableau 3.3 : caractérisation physique du site d'Ouled Ben Abdelkader**  
[Source LCTP de Chlef].

Sondage (S <sub>1</sub> -S <sub>7</sub> )	Lithologie	Profondeur (m)	S <sub>r</sub> (%)	W(%)	W <sub>L</sub> (%)	P <sub>f</sub> <2μm (%)	I <sub>p</sub> (%)
S <sub>1</sub>	Argile limoneuse à passage de galets et cailloux	2.80-3.30	86.64	11.80	43.79	32.08	20.02
	Argile limoneuse de couleur beige à passage de graviers et galets compacte à raide	15.40-15.75	75.08	14.16	48.78	33.10	18.37
S <sub>2</sub>	Argile limoneuse de couleur brune claire fissurée à passage de graviers par endroit, altéré et à concrétion calcaire	1.90-2.20	81.98	16.38	47.74	41.78	9.26
	Argile limoneuse de couleur brune claire fissurée à passage de graviers et de petits grains sableux	11.40-11.90	72.25	13.05	50.84	43.52	21.25
	Argile limoneuse de couleur brune claire fissuré à passage de galets et graviers, très compacte à raide	13.70-14.15	79.68	15.07	45.82	37.73	17.43
	Argile limoneuse altérée de couleur brune claire et à passage de graviers et galets par endroit	20.10-20.85	79.42	14.18	46.92	41.35	16.22
	Argile limoneuse à concrétion calcaire,	2.90-3.20	74.59	14.91	52.75	40.8	14.92

	de couleur marron, très compacte à raide, altérée						
	Argile limoneuse de couleur beige très compacte à raide et devenant altérée et marronnâtes en profondeur	8.50-9.00	72.07	14.19	45.78	40.97	13.19
	Argile limoneuse altérée, friable, à passées de graviers par endroit	21.90-22.40	69.59	12.93	43.87	27.45	14.19
S <sub>4</sub>	Argile limoneuse à finement sableuse, friable et graveleuse de couleur beige	3.50-3.75	77.18	16.71	51.58	33.88	20.13
	Argile limoneuse à passer de galets schisteux par endroit ; compacts âtres compacte	13.50-13.90	77.60	14.83	48.53	33.23	17.25
	Argile limoneuse fériale à conglomérat cailloux	20.50-20.75	76.79	13.50	46.80	34.41	18.39
S <sub>5</sub>	Argile limoneuse de couleur marron altérée, à concrétion calcaire, peu plastique à plastique à graviers.	3.40-3.75	70.30	16.52	37.81	38.95	14.24
	Argile limoneuse graveleuse à galets, friable, de couleur marron.	7.50-8.00	80.32	15.79	41.80	37.88	13.28
	Argile limoneuse graveleuse bariolée de couleur marronnâtes, très compacte à raide.	13.30-13.75	82.77	19.42	46.67	40.10	12.24
	Argile de couleur beige très compacte, faible à passer de galets.	24.50-24.85	65.14	13.48	40.78	37.45	13.44
S <sub>6</sub>	Argile limoneuse	4.00-4.35	90.12	14.87	41.80	32.5	13.16

	de couleur beige, friable, altérée, à passage de galets et graviers, compacte à raide.						
	Conglomérat argileux et gros galet récupéré sous forme de carottes de minces épaisseurs.	11.00-11.45	96.27	16.93	42.61	39.85	14.16
	Argile limoneuse de couleur variable (rouge brique et parfois beige) à passer de galets et graviers.	20.00-20.55	79.68	12.95	39.73	42.32	11.05
S <sub>7</sub>	Argile limoneuse à concrétion calcaire, friable à passer de graviers de couleur marron	2.50-3.00	90.35	15.83	36.82	42.05	11.30
	Argile limoneuse très compacte, friable à passer de graviers de couleur beige	11.30-11.70	71.94	12.85	33.94	39.55	12.34

### 3.5.1. Interprétation de l’empreinte du site d’Ouled Ben Abdelkader:

En observé dans deux tableaux du site d’Ouled Ben Abdelkader :

Pour  $33.94\% \leq WL \leq 51.58\%$  et  $9.26 \leq IP \leq 21.25\%$ , cet intervalle de valeurs caractérise Le domaine des argiles inorganiques de plasticité moyenne à forte plasticité.

Les teneurs en eau donnent des valeurs moyennes.

D’après les valeurs du degré de saturation, le sol est très saturé.

En observant l’empreinte obtenue, on constate que la plupart des points différents sondages, S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub>, S<sub>4</sub>, S<sub>5</sub>, S<sub>6</sub> et S<sub>7</sub> se trouvent sous a la droite A dans la zone ML des limons peu plastique et les sondages S<sub>1</sub> à la profondeur 2.80-3.30 m, S<sub>2</sub> à la profondeur 11.40-11.90 m, S<sub>4</sub> à la profondeur 20.50-20.75 m et S<sub>5</sub> à la profondeur 3.40-3.75 m se trouvent au-dessus a la droite A dans la zone CL des argiles peu plastique; parce que leur limite de liquidité ne

dépasse pas les 50%. par contre pour le sondage S<sub>3</sub> à la profondeur 2.90-3.20 m, se trouvent sous a la droite A dans la zone MH, c'est-à-dire des limons très plastiques, par ce que leur limite de liquidité dépasse les 50%.

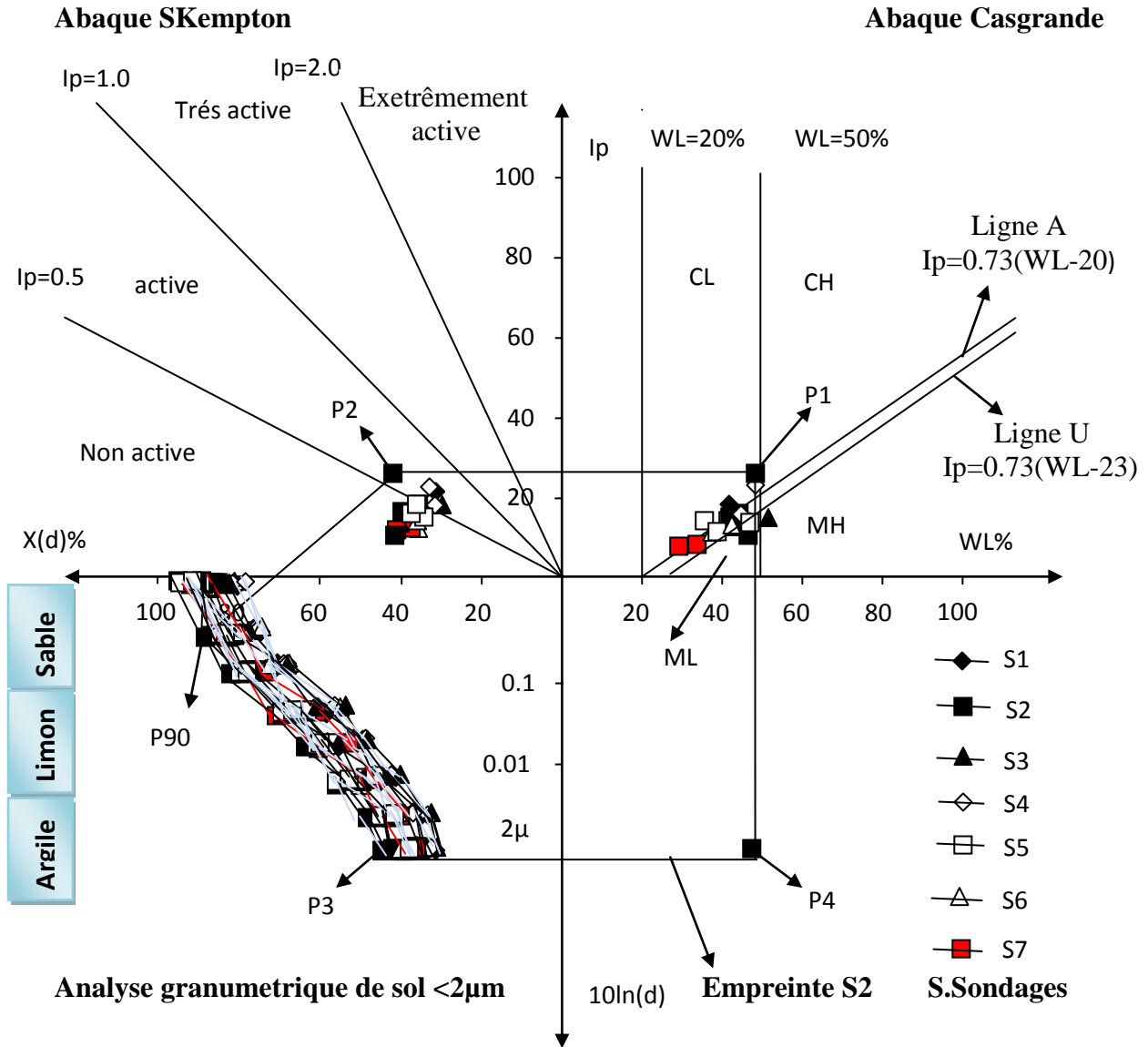
On remarque que les points P1 des différents sondages forment une parallèle à la droite A, dont l'équation est de :  $IP = 0.73$  (WL-23), cela signifie que les différents échantillons appartiennent à la même formation géologique par contre les sondages S<sub>2</sub> à la profondeur 11.40-11.90 m et S<sub>4</sub> à la profondeur 20.50-20.75 m qui ne se trouve pas sur cette ligne a priori, il semble ne pas appartenir à la même formation géologique par contre les autres sondages, S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub>, S<sub>4</sub>, S<sub>5</sub>, S<sub>6</sub> et S<sub>7</sub> se la même formation géologique [10].

Dans le deuxième quadrant, le point P<sub>2</sub> des différents échantillons présente une activité entre 0.25 et 0.75, ainsi leur indice d'activité est non actif est actif. On remarque que les échantillons des sondages S<sub>1</sub>, S<sub>4</sub>, S<sub>5</sub>, S<sub>6</sub> et S<sub>7</sub> sont non actifs, par contre l'échantillon des sondages S<sub>2</sub> et S<sub>3</sub> est actifs.

Au niveau du troisième quadrant, caractérisant la courbe granulométriques des particules solides, on remarque que les sondages S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub>, S<sub>4</sub> S<sub>5</sub>, S<sub>6</sub> et S<sub>7</sub> ont un pourcentage de fines entre 27.45% et 43.52%, ce qui explique entre leur activité faible, ce type de sol ne peut être que de limon.

En comparant les différentes empreintes, on remarque que le sondage S<sub>2</sub> présente une empreinte enveloppe, et que celles des sondages S<sub>1</sub>, S<sub>3</sub>, S<sub>4</sub> S<sub>5</sub>, S<sub>6</sub> et S<sub>7</sub> sont proches ce qui permet de prédire un comportement similaire.

**Site d'Ouled Ben Abdelkader**



*Figure .3.11. Empreinte du sol de site d'Ouled Ben Abdelkader*

# CHAPITRE 04

## CARACTERISATION GEOTECHNIQUE ET CORRELATIONS DU SITE

### **4.1. Généralité :**

On a procédé à une corrélation de trois différentes catégories de site, de nature très varié. Qui consiste d'extraire les paramètres physique et mécanique du sol dans la même région de Chlef. on étudie la corrélation de variation de l'angle de frottement interne du sol en fonction de l'indice de plasticité, la cohésion en fonction de la limite de liquidité et la variation de corrélation du coefficient de compressibilité en fonction de la limite de liquidité, pour chaque site, puis on fait une la corrélation pour l'ensemble des trois sites en même graphe [12].

### **4.2. Site de Ténès:**

Le tableau 4.1 comprend les résultats des essais de caractérisation mécaniques des sondages S<sub>1</sub>-S<sub>10</sub>, sur des échantillons prélevés au niveau des sondages susnommés à partir d'essai réalisés au laboratoire LCTP de Chlef.

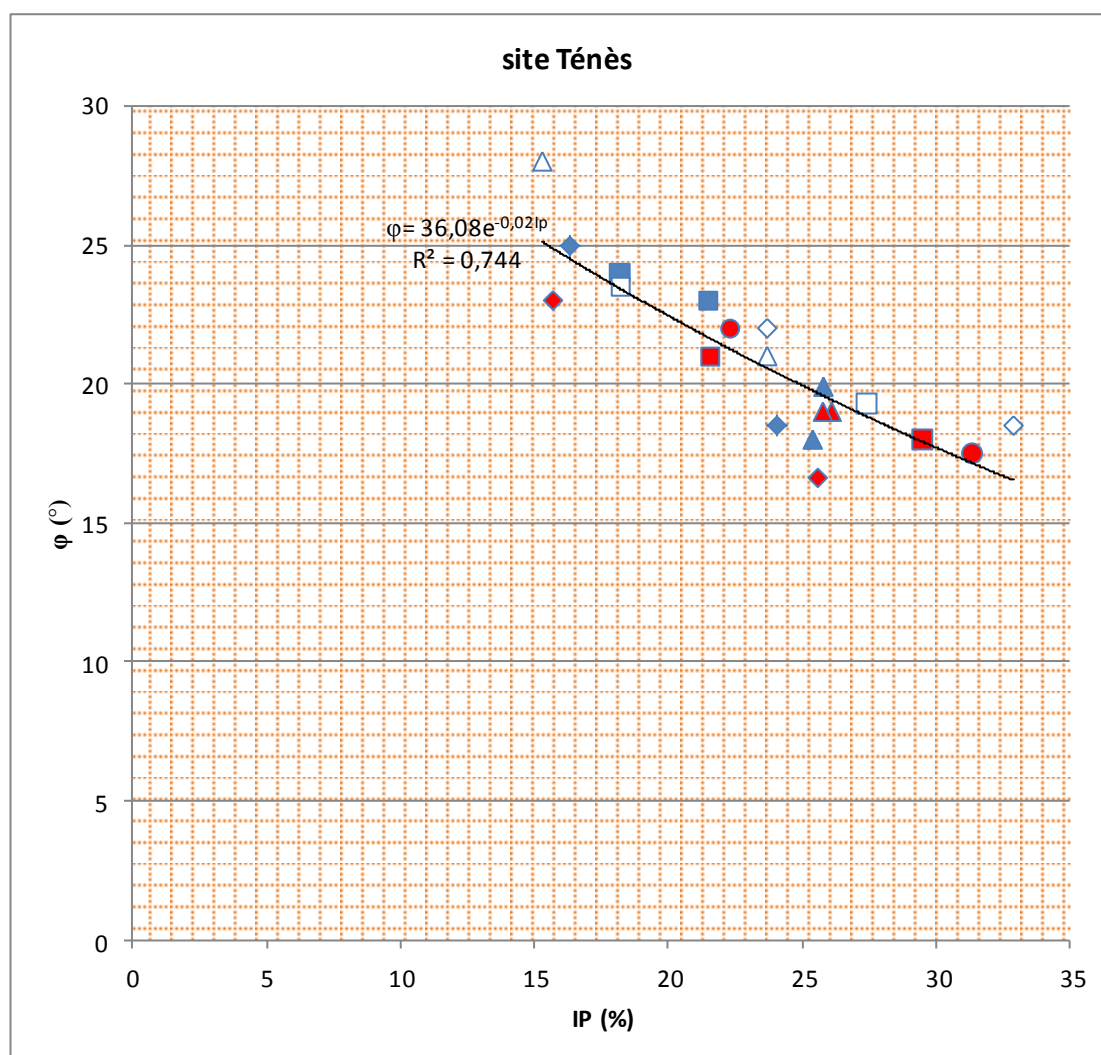
**Tableau 4.1 : caractérisation mécanique du site de Ténès :**

*[Source DTP de Chlef].*

Sondage (S <sub>1</sub> - S <sub>10</sub> )	Lithologie	Profondeur (m)	Cc(%)	Pc (bars)	C (bars)	φ (°)
S <sub>1</sub>	Limon et gravier peu sableux rougeâtre à marron	0.60-1.30	0.200	2.01	0.51	25.00
	Argile plastique graveleuse sableuse rougeâtre à marron	1.30-3.00	0.177	1.80	0.67	18.50
S <sub>2</sub>	Limon graveleux sableux rougeâtre à marron	0.50-1.20	0.153	2.04	0.59	24.00
	Argile limoneuse sableuse graveleuse rougeâtre à marron	1.20-2.90	0.129	1.94	0.67	23.00
S <sub>3</sub>	Argile plastique graveleuse peu sableuse marron foncée	0.50-1.50	0.119	2.87	0.45	18.00
	Limon sableux graveleux sableux rougeâtre à marron foncée	1.50-3.00	0.162	1.85	0.82	19.90
S <sub>4</sub>	Argile plastique graveleuse sableuse marron	0.60-1.60	0.170	2.87	0.41	22.00
	Argile plastique graveleuse sableuse marron	1.60-3.30	0.185	1.85	0.69	18.5
S <sub>5</sub>	Sable argileux graveleux marron clair	0.60-1.60	0.130	1.40	0.56	23.5
	Argile plastique sableuse graveleuse marron forcée	1.60-2.80	0.147	1.47	0.87	19.30
S <sub>6</sub>	argile graveleuse sableuse marron claire	0.50-1.60	0.197	1.99	0.65	21.00
	Sable argileux graveleux marron clair	1.60-3.20	0.166	2.99	0.51	28.00
S <sub>7</sub>	Sable limoneux graveleux marron	0.60-1.30	0.139	2.23	0.45	23.00
	Argile peu plastique sableuse peu graveleuse marron foncée	1.30-3.00	0.110	2.03	0.98	16.62
S <sub>8</sub>	Argile peu sableuse peu graveleuse marron foncée	0.60-1.30	0.145	2.51	0.61	18.00
	Argile plastique peu sableuse graveleuse marron à verdâtre	1.30-3.20	0.140	2.77	0.85	21.00
S <sub>9</sub>	Argile peu plastique sableuse peu graveleuse marron foncée	0.50-1.20	0.130	2.41	0.87	19.00
	Argile peu plastique sableuse graveleuse marron à verdâtre	1.20-2.90	0.210	1.67	0.61	19.50
S <sub>10</sub>	Argile sableuse graveleuse marron	0.60-1.30	0.161	1.51	0.71	22.00
	Argile plastique sableuse peu graveleux marron foncé	1.30-3.20	0.410	1.32	0.88	17.50

#### 4.2.1 Corrélations entre l'indice de plasticité et l'angle de frottement de Site de Ténès :

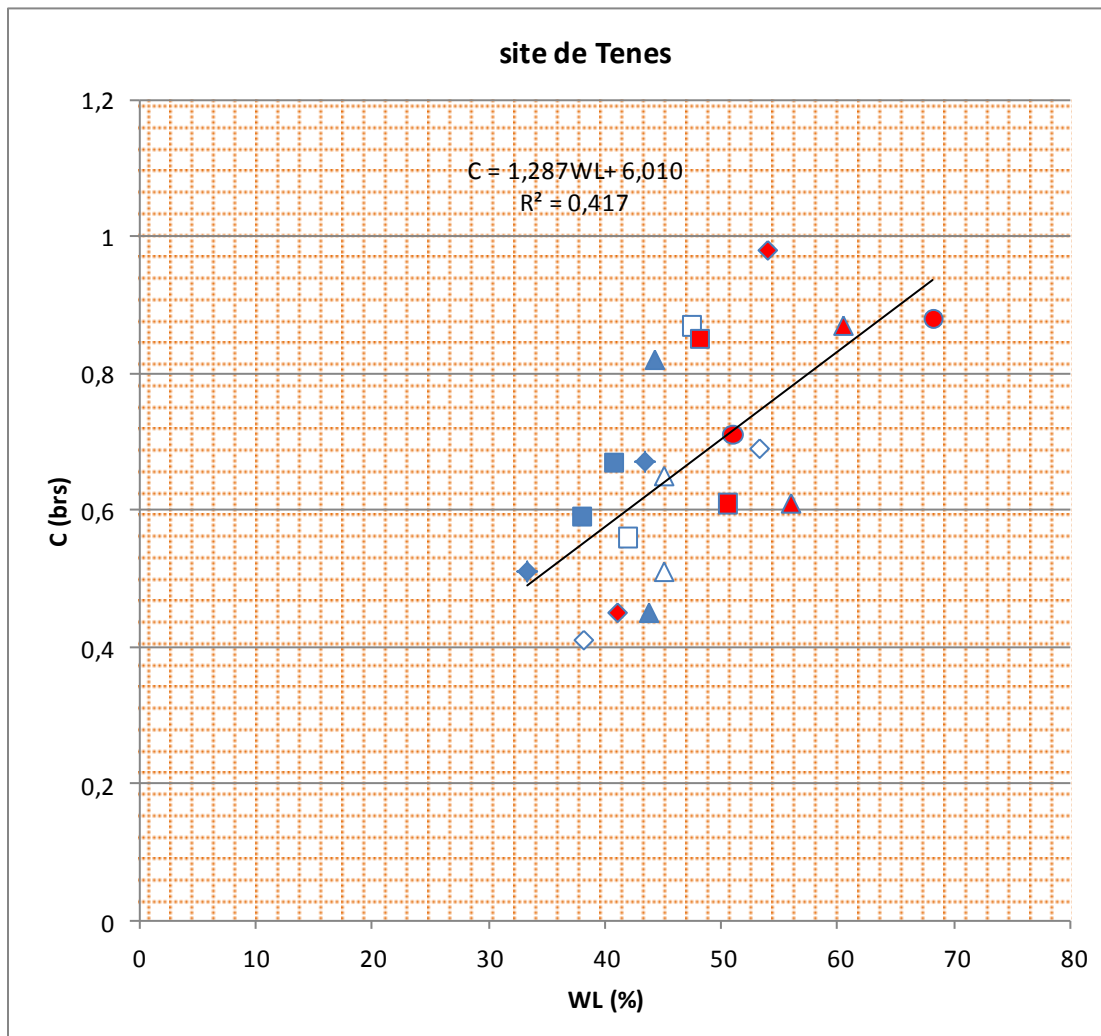
D'après la **Figure. 4.1**, on remarque que l'angle de frottement interne  $\varphi$  décroît en fonction de l'indice de plasticité  $I_P$  d'une manière exceptionnelle, d'équation  $\varphi = 36,08e^{-0,02I_P}$ , avec un coefficient de corrélation **R=0.87**.



*Figure. 4.1 : corrélation entre l'angle de frottement interne  $\varphi$  et l'indice de plasticité  $I_P$*

#### 4.2.2 Corrélation entre la limite de liquidité et la cohésion de Site de Ténès:

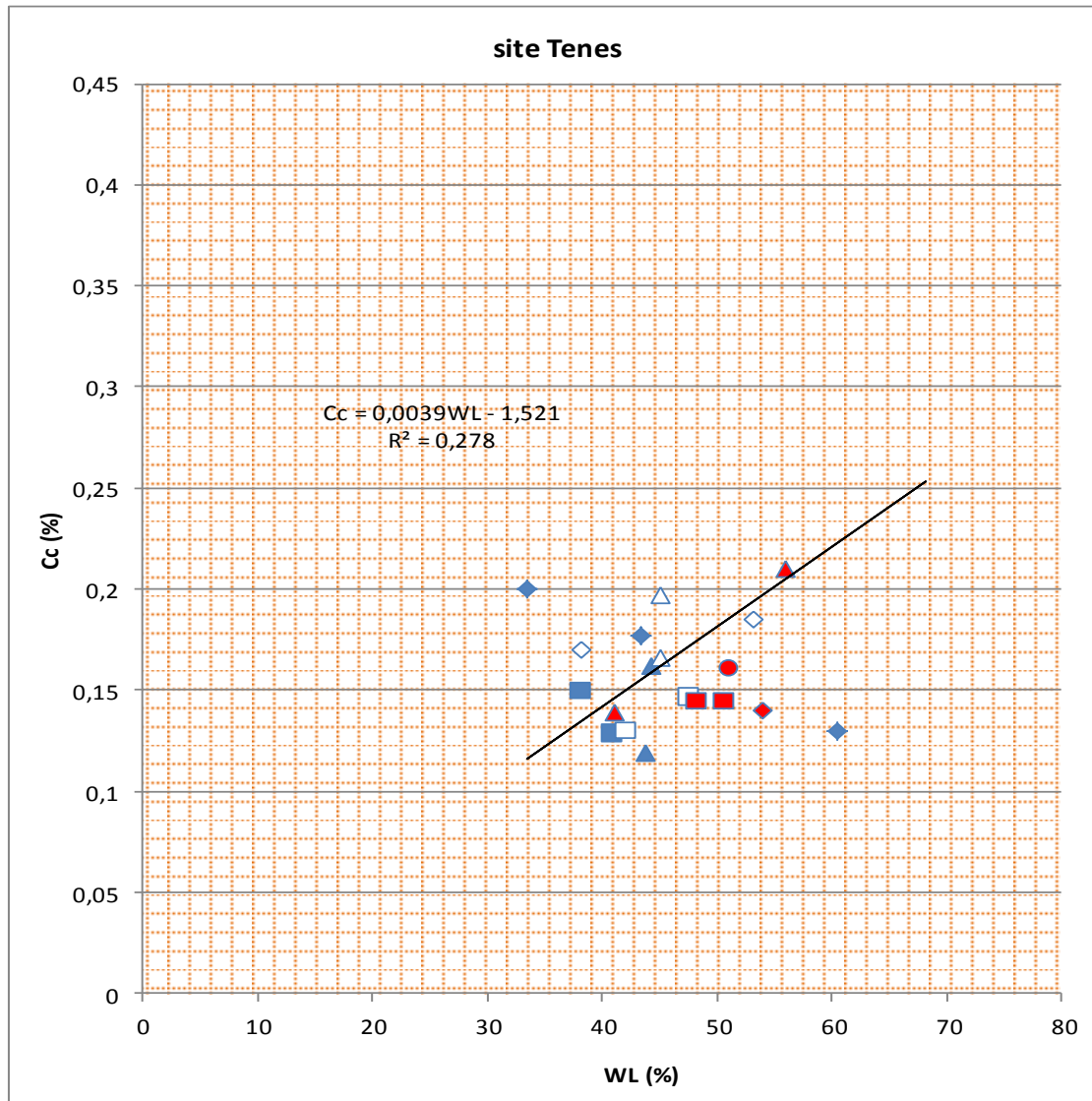
Selon la **Figure. 4.2**. On observe que la cohésion  $C$  augmente au même temps que la limite de liquidité  $W_L$  suivant une équation droite et linéaire  $C=1.287 (W_L +6.010)$ , avec le coefficient de corrélation  $R= 0,65$ .



*Figure. 4.2 : corrélation entre la cohésion  $C$  et limite de liquidité  $W_L$ .*

### 4.2.3 Corrélation entre la limite de liquidité et le coefficient de compressibilité de Site de Ténès:

D'après la **Figure. 4.3**, L'indice de compression  $C_c$  décroissant par rapport aux valeurs déduites par la relation de Terzagui:  $C_c=0,009(W_L-10)$ , La divergence est en particulier importante lorsque la limite de liquidité augmente. la droite de régression obtenue par l'équation [12] :  $C_c=0,0039(W_L-1,521)$ .avec coefficient de corrélation  $R=0,53$ .



**Figure. 4.3 :** corrélation entre l'indice de compression de  $CC$  et la limite de liquidité  $WL$

### 4.3. Site de Sidi Abderrahmane :

Le tableau 4.2 comprend les résultats des essais de caractérisation mécanique des sondages S<sub>1</sub>-S<sub>8</sub>, sur des échantillons prélevés au niveau des sondages susnommés à partir d'essais réalisés au laboratoire LCTP de Chlef.

**Tableau 4.2 : caractérisation mécanique du site de Sidi Abderrahmane**

*[Source DTP de Chlef].*

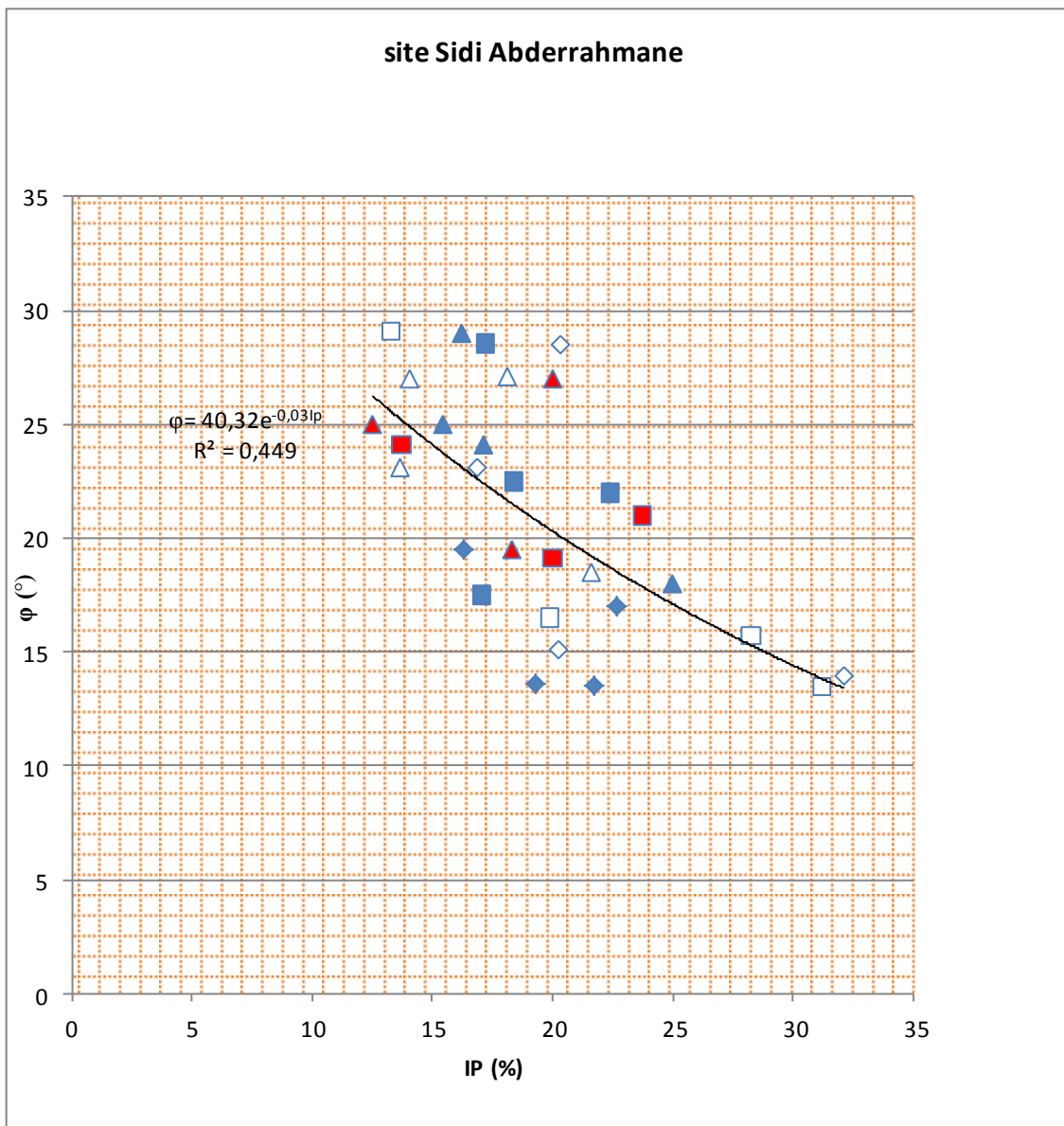
Sondage (S <sub>1</sub> -S <sub>8</sub> )	Lithologie	Profondeur (m)	Cc(%)	Pc(bars)	C(bars)	φ (°)
S <sub>1</sub>	Sable limoneux marron graveleux	0.50-1.30	0.166	1.90	0.93	19.50
	Argile sableuse peu graveleuse marron à verdâtre	1.30-3.00	0.190	2.50	1.06	13.80
	Argile plastique beige sableuse peu graveleuse	4.30-5.90	0.210	2.30	1.10	17.00
	Argile et sable marron à verdâtre peu graveleux	7.40-8.90	0.215	2.80	0.98	13.60
S <sub>2</sub>	Limon et sable marron foncé peu graveleux	0.40-1.30	0.220	2.10	1.30	28.55
	Limon et sable marron peu graveleux	1.30-3.00	0.195	1.85	0.87	22.50
	Argile limoneuse marron à verdâtre sableuse peu avec traces de gravier	4.000-6.00	0.213	2.90	0.95	17.50
	Argile verdâtre et sable limoneux	8.80-10.40	0.266	2.95	1.35	30.50
S <sub>3</sub>	Limon et sable marron foncé graveleux	0.50-1.20	0.157	1.10	1.24	24.10
	Argile verdâtre sableuse peu graveleuse	1.20-3.20	0.210	3.04	1.15	18.00
	Sable et limon marron avec traces de gravier	4.70-6.40	0.162	1.70	0.96	25.00

	Limon et sable peu graveleux grisâtres à verdâtres	11.50-12.0	0.187	1.91	0.91	29.00
S4	Argile plastique marron peu sableuse avec traces de gravier	0.60-1.10	0.239	2.23	1.30	13.95
	Argile verdâtre sableuse peu graveleuse	1.10-2.70	0.195	2.77	0.97	28.50
	Limon marron foncée et sable peu graveleux	4.80-5.40	0.180	1.11	0.92	23.10
	Argile verdâtre et sable limoneux avec traces de gravier	8.60-10.60	0.230	2.11	0.89	15.10
S5	Argile plastique marron peu sableuse avec traces de gravier	0.50-1.10	0.198	2.99	1.35	13.80
	Argile plastique verdâtre sableuse avec traces de gravier	1.10-2.80	1.39	2.48	1.01	15.70
	Sable et limon marron à verdâtre peu graveleux	4.10-5.90	0.290	1.39	0.90	29.10
	Argile verdâtre et sable avec traces de gravier	5.90-7.50	0.203	2.40	1.13	16.50
S6	Limon et sable marron avec traces de gravier	0.60-1.20	0.19	2.01	1.18	30.10
	Argile verdâtre sableuse peu graveleuse	1.20-3.00	0.168	2.87	1.01	18.50
	Sable limoneux marron peu graveleux	4.40-6.00	0.226	2.21	1.19	27.00
	Sable limoneux marron peu graveleux	7.50-9.40	0.188	1.78	0.88	23.10
S7	Sable et argile marron peu graveleuse	0.40-1.60	0.201	1.90	0.95	19.10
	Limon sableux marron peu graveleux	1.60-3.40	0.148	1.15	0.80	24.11

	Argile verdâtre plastique avec traces de gravier et de sable	8.80-10.60	0.155	2.03	1.10	21.00
S8	Sable limoneux marron avec traces de gravier	0.40-1.60	0.140	2.07	0.95	25.00
	Sable limoneux marron avec traces de gravier	3.30-5.00	0.199	1.91	0.91	30.00
	Argile plastique verdâtre avec traces de sable et de gravier	8.40-10.20	1.14	2.39	0.99	13.82

### 4.3.1 Corrélation entre l'indice de plasticité et l'angle de frottement de Site de Sidi Abderrahmane :

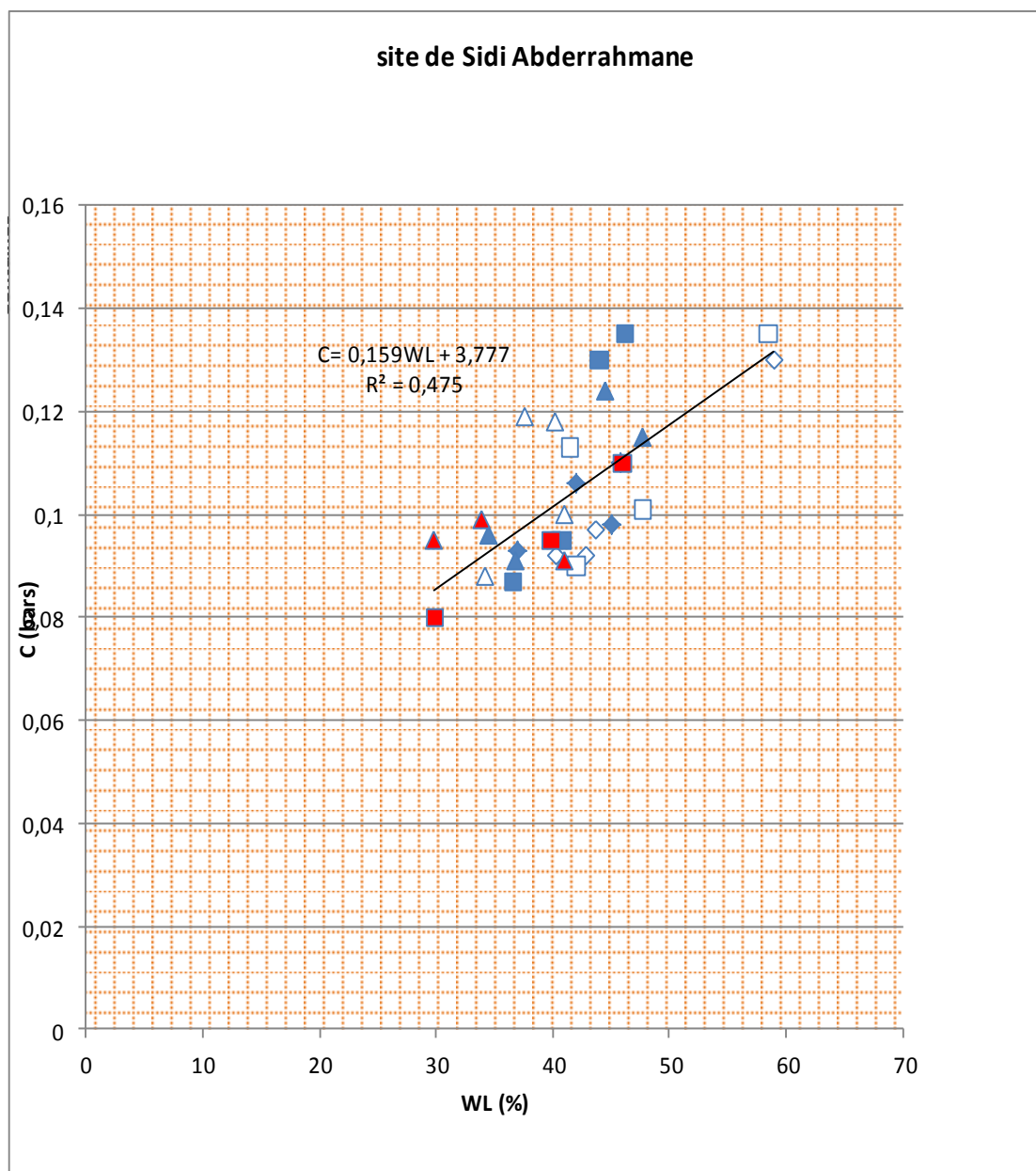
D'après la **Figure. 4.4**, on a remarqué que l'angle de frottement interne  $\varphi$  décroît en fonction l'indice de plasticité  $I_p$ , d'une manière exceptionnelle, d'équation  $\varphi = 40.32e^{-0,03I_p}$ , avec un coefficient de corrélation **R=0,67**.



*Figure. 4.4 : corrélation entre l'angle de frottement interne  $\varphi$  et l'indice de plasticité  $I_p$ .*

### 4.3.2 Corrélation entre la limite de liquidité et la cohésion Site de Sidi Abderrahmane :

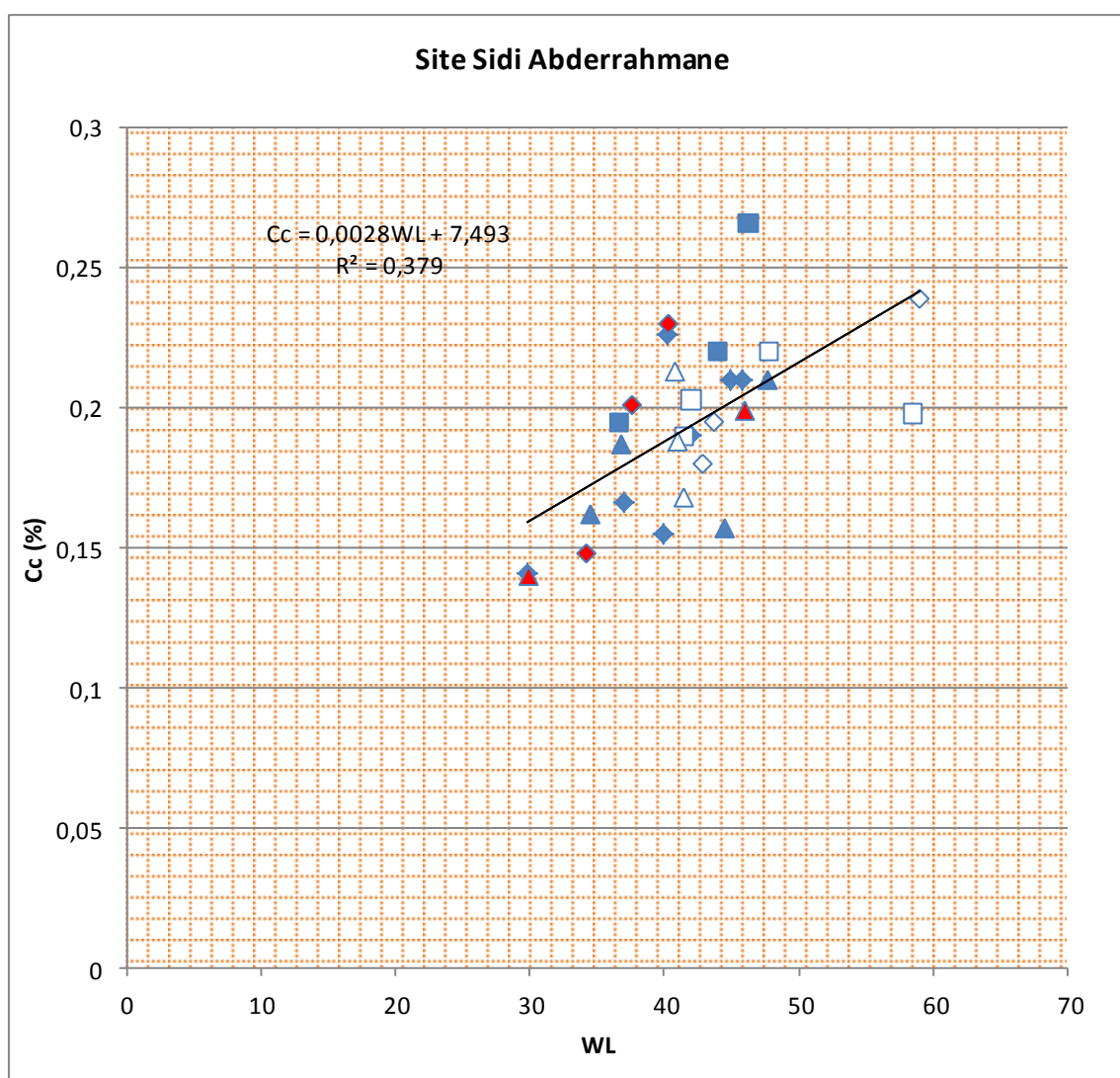
Selon la **Figure. 4.5**, on observe que la cohésion  $C$  augmente au même temps que la limite de liquidité  $W_L$  suivant une équation droite et linéaire  $C=0,159(W_L+3.777)$ , avec le coefficient de corrélation  $R= 0,69$ .



*Figure. 4.5 : corrélation entre la cohésion  $C$  et limite de liquidité  $W_L$ .*

### 4.3.3 Corrélation entre la limite de liquidité et le coefficient de compressibilité de Site de Sidi Abderrahmane :

D'après la **Figure. 4.6** L'indice de compression  $C_c$  décroissant par rapport aux valeurs déduites par la relation de Terzagui:  $C_c=0,009(W_L-10)$ , La divergence est en particulier importante lorsque la limite de liquidité augmente .la droite de régression obtenue par l'équation [13].  $C_c =0,0028(W_L+7.493)$ . Avec coefficient de corrélation  $R=0,62$ .



*Figure. 4.6 : corrélation entre l'indice de compression de  $C_c$  et la limite de liquidité  $W_L$*

#### 4.4. Site d'Ouled Ben Abdelkader:

Le tableau 4.3 comprend les résultats des essais de caractérisation mécaniques des sondages S1-S7, sur des échantillons prélevés au niveau des sondages susnommés à partir d'essai réalisés au laboratoire LCTP de Chlef.

**Tableau 4.3 : caractérisation mécanique du site d'Oued Ben Abdelkader :**

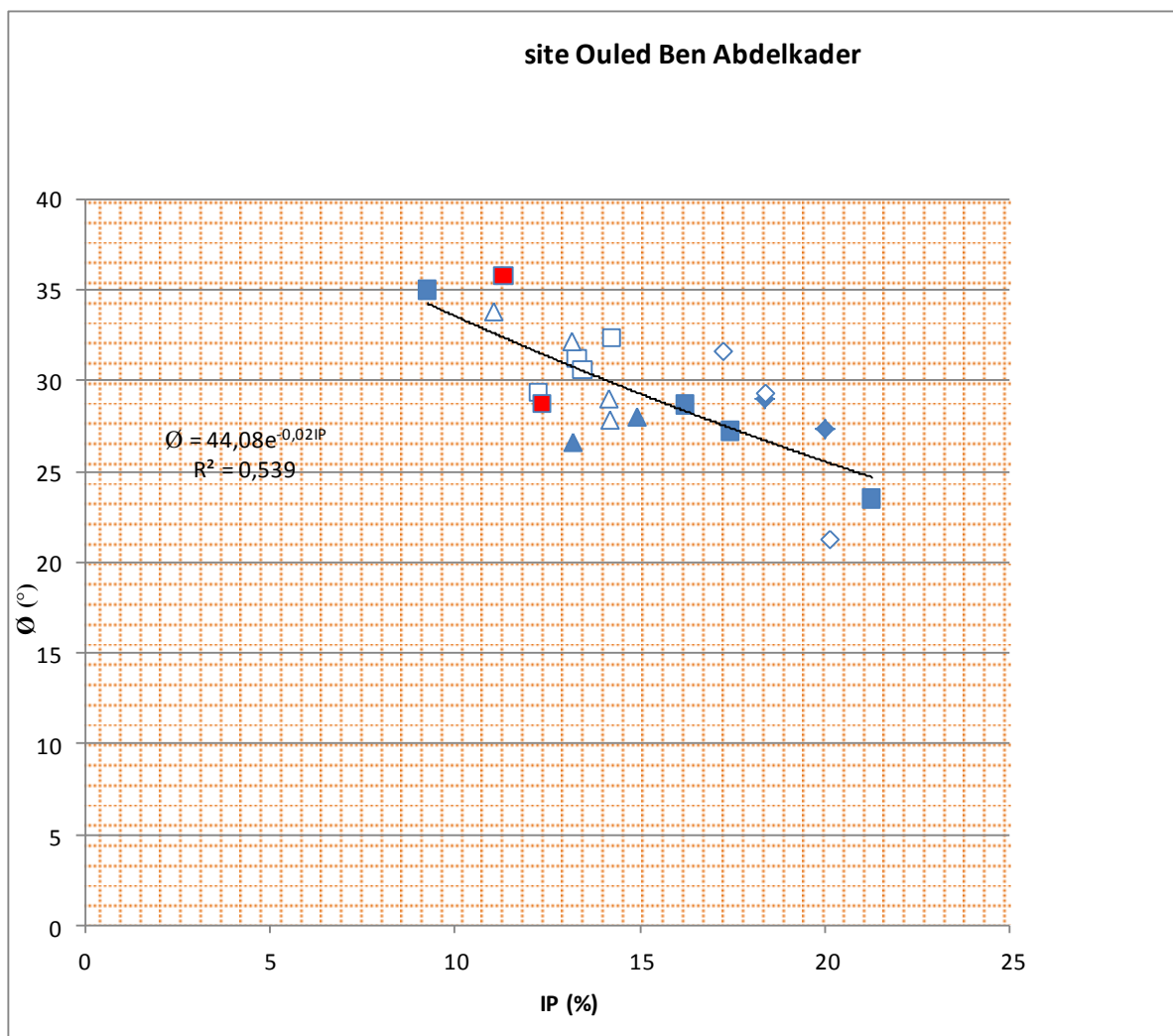
*[Source LCTP de Chlef].*

Sondage (S1-S7)	Lithologie	Profondeur (m)	Cc(%)	Pc (bars)	C(bars)	$\phi$ (°)
S1	Argile limoneuse à passage de galets et cailloux	2.80-3.30	0.184	1.45	0.05	27.34
	Argile limoneuse de couleur beige à passage de graviers et galets compacte à raide	15.40-15.75	0.220	1.88	0.08	29.00
S2	Argile limoneuse de couleur brun clair fissurée à passage de graviers par endroit, altéré et à concrétion calcaire	1.90-2.20	0.230	2.36	0.06	35.00
	Argile limoneuse de couleur brune claire fissurée à passage de graviers et de petits grains sableux	11.40-11.90	0.220	1.78	0.09	23.50
	Argile limoneuse de couleur brune claire fissuré à passage de galets et graviers, très compacte a raide	13.70-14.15	0.181	1.76	0.08	27.23
	Argile limoneuse altérée de couleur brune claire et à passage de graviers et galets par endroit	20.10-20.85	0.203	2.02	0.15	28.70
S3	Argile limoneuse à concrétion calcaire, de couleur marron, très compacte à raide, altérée	2.90-3.20	0.230	2.53	0.10	28.00
	Argile limoneuse de couleur beige très compacte à raide et devenant altérée et marronnâtes en profondeur	8.50-9.00	0.196	2.39	0.10	26.60
	Argile limoneuse altérée, friable, à passées de graviers par endroit	21.90-22.40	0.231	2.18	0.06	27.83
S4	Argile limoneuse a finement	3.50-3.75	0.210	1.73	0.13	21.25

	sableuse, friable et graveleuse de couleur beige					
	Argile limoneuse à passer de galets schisteux par endroit ; compacte à très compacte	13.50-13.90	0.178	1.95	0.15	31.61
	Argile limoneuse fériale à conglomérat cailloux	20.50-20.75	0.210	1.81	0.05	29.30
S5	Argile limoneuse de couleur marron altérée, à concrétion calcaire, peu plastique à plastique a graviers.	3.40-3.75	0.190	1.50	0.03	32.39
	Argile limoneuse graveleuse à galets, friable, de couleur marron.	7.50-8.00	0.188	1.96	0.04	31.24
	Argile limoneuse graveleuse bariolée de couleur marronnâtes, très compacte à raide.	13.30-13.75	0.209	2.23	0.09	29.35
	Argile de couleur beige tréponématose, faible à passer de galets.	24.50-24.85	0.201	2.03	0.08	30.61
S6	Argile limoneuse de couleur beige, friable, altérée, à passage de galets et graviers, compacte à raide.	4.00-4.35	0.145	2.04	0.07	29.00
	Conglomérat argileux et gros galet récupéré sous forme de carottes de minces épaisseurs.	11.00-11.45	0.177	1.81	0.10	33.80
	Argile limoneuse de couleur variable (rouge brique et parfois beige) à passer de galets et graviers.	20.00-20.55	0.201	2.42	0.09	28.00
S7	Argile limoneuse à concrétion calcaire, friable à passer de graviers de couleur marron	2.50-3.00	0.201	2.42	0.09	35.78
	Argile limoneuse très compacte, friable à passer de graviers de couleur beige	11.30-11.70	0.140	1.71	0.03	27.78

#### 4.4.1 Corrélation entre l'indice de plasticité et l'angle de frottement de Site d'Ouled Ben Abdelkader :

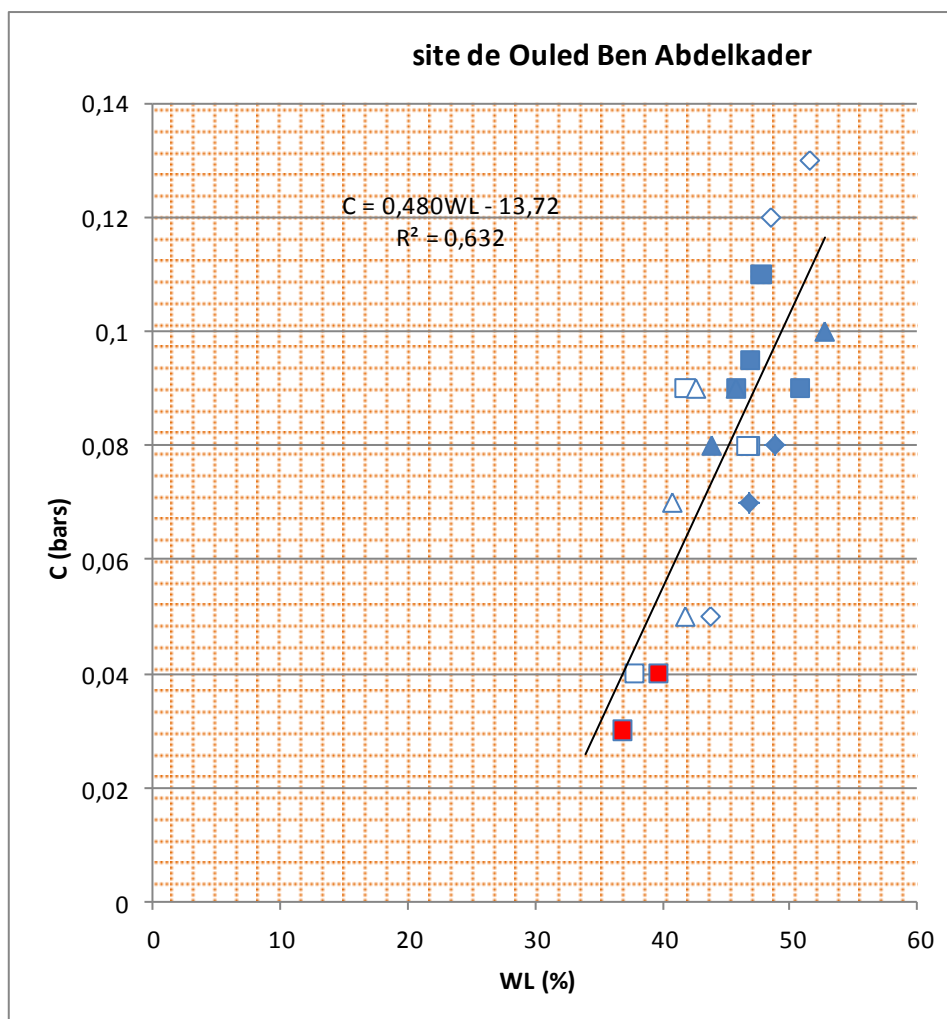
D'après la **Figure. 4.7**, on a remarqué que l'angle de frottement interne  $\varphi$  décroît en fonction l'indice de plasticité  $I_p$ , d'une manière exceptionnelle, d'équation  $\varphi = 44.08e^{-0.02I_p}$ , avec un coefficient de corrélation  $R=0,74$



*Figure. 4.7 : corrélation entre l'angle de frottement interne  $\varphi$  et l'indice de plasticité  $I_p$ .*

#### 4.4.2 Corrélation entre la limite de liquidité et la cohésion de Site d'Ouled Ben Abdelkader:

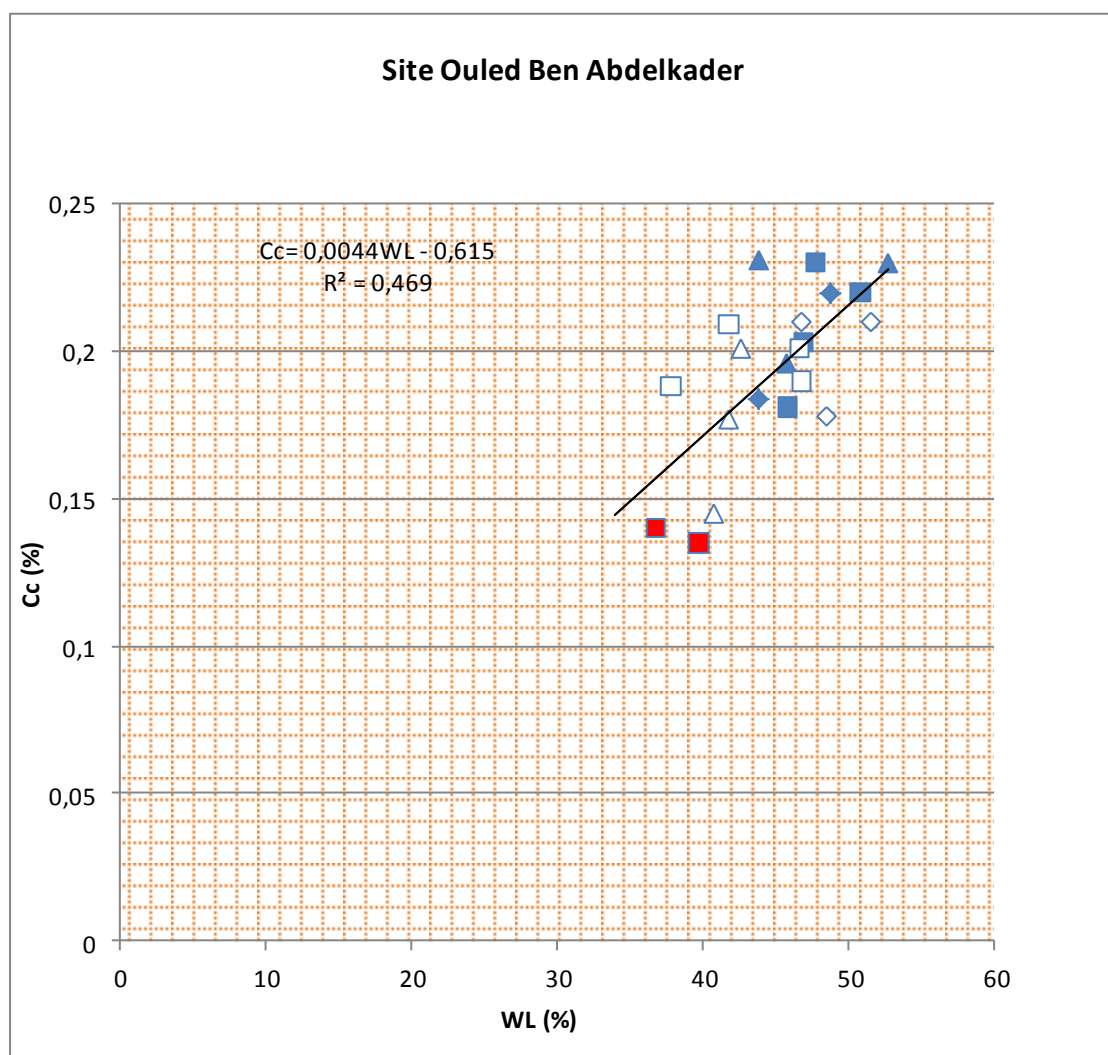
Selon la **Figure. 4.8**, on observe que la cohésion  $C$  augmente en fonction de la limite de liquidité  $WL$  suivant une équation droite et linéaire  $C=0,480(WL -13,72)$ , avec le coefficient de corrélation  $R= 0,80$ .



*Figure. 4.8 : corrélation entre la cohésion  $C$  et limite de liquidité  $WL$ .*

#### 4.4.3 Corrélation entre la limite de liquidité et le coefficient de compressibilité de Site d'Ouled Ben Abdelkader:

D'après la **Figure. 4.9**, L'indice de compression  $C_c$  décroissant par rapport aux valeurs déduites par la relation de Terzagui:  $C_c=0,009(W_L-10)$ , La divergence est en particulier importante lorsque la limite de liquidité augmente. la droite de régression obtenue par l'équation [13].  $C_c=0,0044(W_L-0.615)$ . Avec coefficient de corrélation  $R=0,69$ .

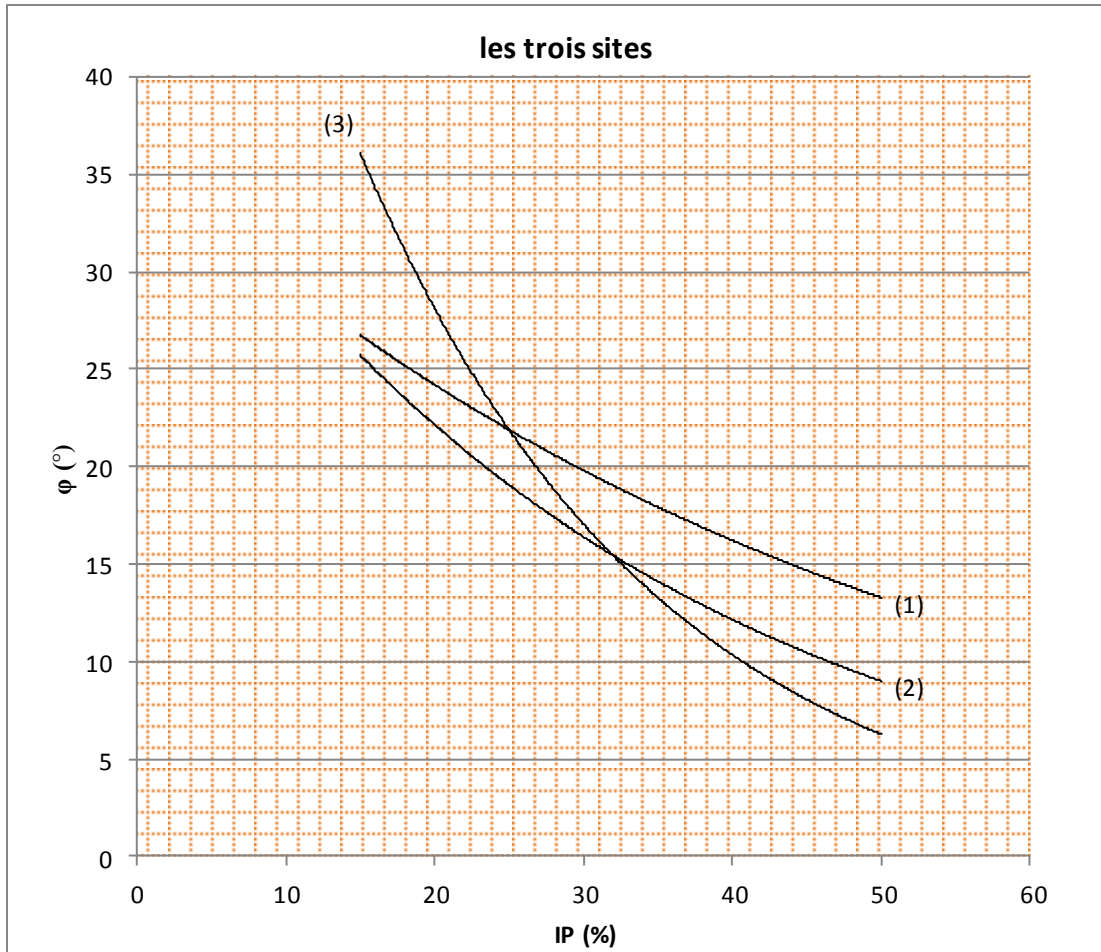


*Figure. 4.9 : corrélation entre l'indice de compression de  $C_c$  et la limite de liquidité  $W_L$*

#### 4.5. Comparaisons les trois sites :

En comparaisons les trois sites : (1) site Ténès, (2) site Sidi Abderrahmane et (3) site Ouled Ben Abdelkader.

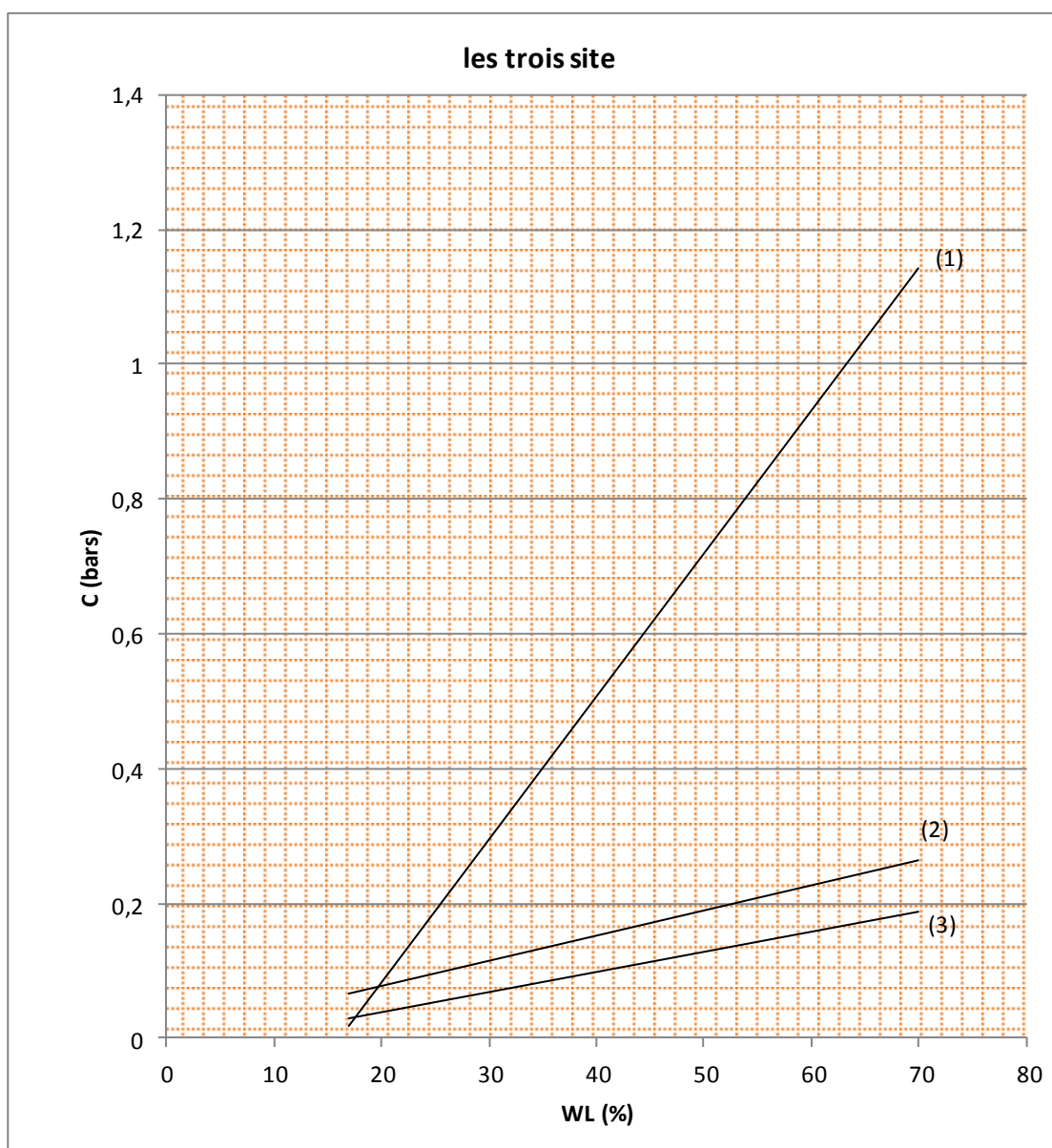
#### 4.5.1 Corrélation entre l'indice de plasticité et l'angle de frottement pour les trois sites :



*Figure. 4.10: corrélation entre l'angle de frottement interne  $\phi$  et l'indice de plasticité  $I_p$  pour les trois sites (1-Ténès .2- Sidi Abderrahmane .3- Ouled Ben Abdelkader).*

En fin, pour les trois sites, l'angle de frottement interne  $\phi$  décroît en fonction l'indice de plasticité  $I_p$ , d'une manière exponentielle a tous les sites Ténès, Sidi Abderrahmane et Ouled Ben Abdelkader, exprimant le bon comportement physique et mécanique des différentes sites et la même formation géologique.

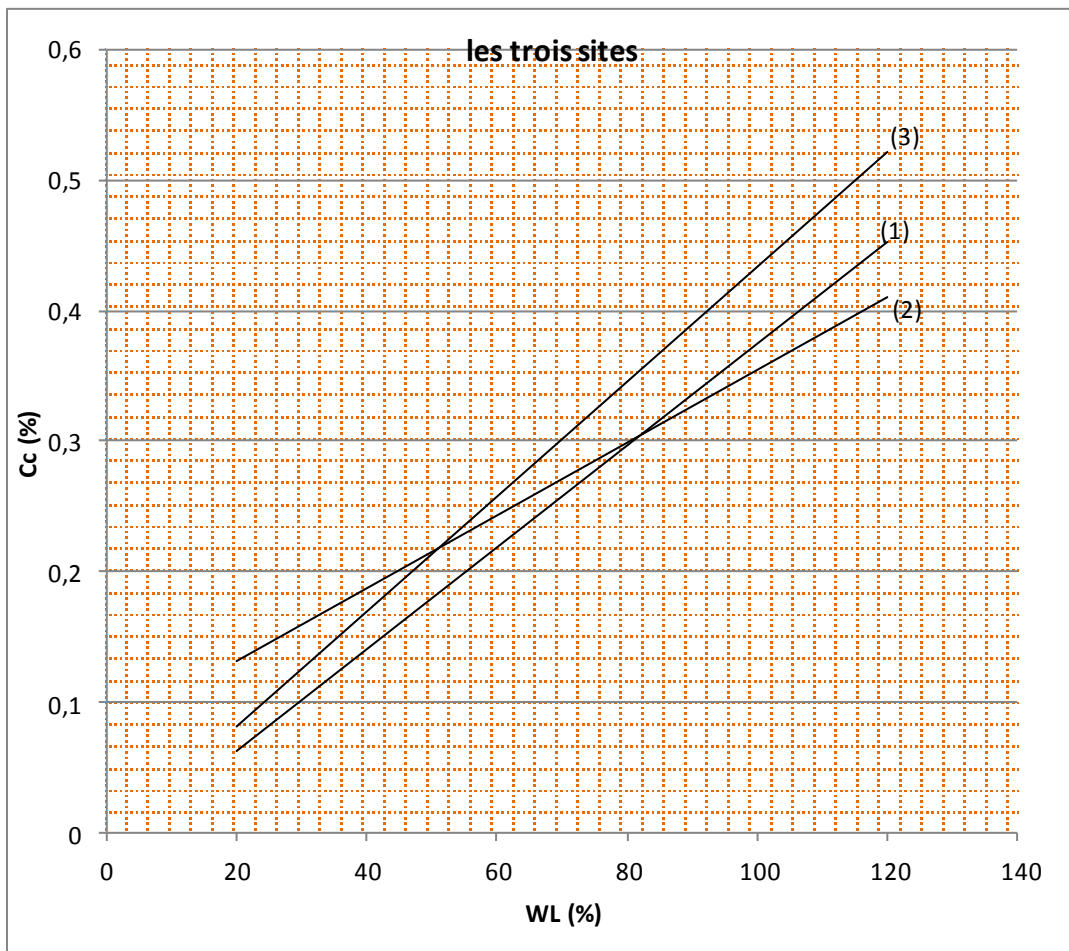
#### 4.5.2 Corrélation entre la limite de liquidité et la cohésion pour les trois sites :



*Figure. 4.11 : corrélation entre la cohésion  $C$  et limite de liquidité  $WL$  pour les trois sites (1-Ténès .2- Sidi Abderrahmane .3- Ouled Ben Abdelkader).*

Finalement on observe que pour les trois sites, la cohésion  $C$  augmente en fonction de la limite de liquidité  $WL$  par une fonction droite et linéaire à tous les sites Ténès, Sidi Abderrahmane et Ouled Ben Abdelkader.

### 4.5.3 Corrélation entre la limite de liquidité et le coefficient de compressibilité pour les trois sites :



*Figure. 4.12 : corrélation entre l'indice de compression de  $C_c$  et la limite de liquidité  $W_L$  pour les trois sites (1-Ténès .2- Sidi Abderrahmane .3- Ouled Ben Abdelkader).*

On observe que pour les trois sites Ténès, Sidi Abderrahmane et Ouled Ben Abdelkader, L'indice de compression  $C_c$  est notablement moins élevé que celui qu'on peut déduire de la relation de Terzaguié [13]:  $C_c=0,009(W_L-10)$ .et la même formation géologique.

#### **N.B ;**

Compte tenu des résultats des essais recueillis des laborations le coefficient R en considère compte faible corrélation de en déduit qu'il n'a pas de corrélation ente la cohésion C et la limite de liquidité  $W_L$ .

# **CHAPITRE 05**

## **SYSTEME EXPERT**

### **5.1. Définition de système expert :**

Un système expert est un logiciel qui reproduit le comportement d'un expert humain accomplissant une tâche intellectuelle dans un domaine précis.

### **5.2. Les systèmes experts sont nés d'une idée simple :**

Rendre les ordinateurs intelligents en leur fournissant la connaissance des experts. Le fondement du concept de système expert réside dans la nature explicite de la connaissance. En effet, celle-ci n'est absolument pas noyée dans un algorithme, elle est formalisée par un ensemble de règles qui vont être enchaînées pour simuler le raisonnement d'un expert humain.

Le système expert ne sont utiles et envisageables que pour les domaines possédant des expert humains, ces experts sont des individus qui connaissant bien le domaine à modéliser et qui sont aussi capables transmettre leur savoir. Ce dernier point est primordial.

Les systèmes experts sont utilisés lorsque les méthodes algorithmes classiques ne peuvent pas être appliquées avec succès. Ils sont généralement conçus pour résoudre des problèmes de classification ou de décision.

Les systèmes experts sont une des applications de l'intelligence artificielle les plus utilisées dans le monde de l'entreprise. De nombreux systèmes experts ont été implantés avec succès pour résoudre des problèmes concrets comme l'attribution d'un crédit.

Malheureusement, les systèmes experts souffrent d'une faiblesse intrinsèque : toutes les expertises ne sont pas facilement formalisables sous forme de règles. [14].

### **5.3. Principe base des caractéristique et moteur d'interférences :**

**Un système expert peut se décomposer en deux composantes principales :**

1. la base connaissances, elle-même composée d'une base règles qui modélise la connaissance du domaine considéré et d'une base de faits qui contient les informations concernant le cas à traiter.

2. le moteur d'inférences dont le rôle est de raisonner à partir des données contenues dans la base de connaissances.

L'élément clé d'un système expert réside dans l'indépendance qui existe entre la base de connaissances et le moteur d'inférences, elle permet une représentation des connaissances sous forme purement déclarative et explicite, c'est-à-dire sans lien avec la manière dont ces connaissances sont utilisées. L'avantage de cette architecture est qu'il est possible de faire évoluer les connaissances du système sans avoir à agir sur le mécanisme de raisonnement.

La base connaissances d'un système expert se décompose en deux parties. La première partie contient des faits spécifiques du domaine, les connaissances factuelles. On parle alors de base de faits.

La seconde partie, la base de règles, contient les règles qui vont permettre au système de raisonner à partir des faits. Ces connaissances déductives sont représentées par des règles de production. [15].

#### **a. Base de règles :**

Comme nous venons de le voir, la base de règles rassemble la connaissance et le savoir-faire de l'expert. Elle n'évolue donc pas au cours d'une session de travail.

Une règle se présente sous la forme : si alors Y.X est appelé prémisses et Y conclusion. Alors que X est une conjonction de conditions, c'est-à-dire une suite de comparaisons d'attributs et de valeurs à l'aide d'opérateurs, la conclusion est une affectation, Fait=Valeur.

Grâce à ce type de représentation proche du langage naturel, la connaissance du système sera facilement accessible à l'utilisateur qui pourra ainsi aisément la modifier ou l'agrandir.

De même que dans un système expert, la connaissance est traduite en règles, la méta connaissance s'exprime par des métarègles (c'est-à-dire des règles sur la manière d'utiliser les règles).

L'organisation d'une base de connaissance aux moyennes métarègles reste essentiellement déclarative, contrairement à toute organisation basée sur une structuration a priori de l'ensemble des règles (écrire les règles dans un ordre donné, etc.....).

### **b. Base de faits :**

La base de faits constitue en quelque sorte de mémoire de travail de système expert. Elle est variable au cours de l'exécution est vidée lorsque l'exécution se termine. Au début de la session, elle contient ce que l'on sait du cas examiné avant toute intervention du moteur d'inférences. Puis elle est complétée par les faits déduits par le moteur ou demandés à l'utilisateur.

Les faits peuvent prendre des formes plus ou moins complexes. Les faits élémentaires peuvent avoir des valeurs :

1. Booléennes : Vrai, Faux.
2. Symboliques : Valeurs appartenant à un ensemble fini de symboles.
3. Réelles : Valeurs appartenant à un ensemble continu.

Un système expert qui n'utilise que des faits booléens est dit d'ordre zéro. Un système expert qui utilise des faits symboliques ou réels, sans utiliser de variables, est l'ordre zéro positive.

Un système utilisant toute la puissance de la logique du premier ordre est d'ordre un.

### **c. Moteur d'inférences :**

Pour exploiter cette connaissance, un moteur d'inférences est nécessaire pour relier la description d'un problème aux capacités d'analyse d'une situation donnée. De façon générale, le moteur d'inférences sera capable de répondre à des questions, de raisonner et de tirer conséquences impliquées par la connaissance incluse dans le système. [16].

Le moteur d'inférence va enchaîner les règles c'est-à-dire qu'il va effectuer un chaînage. Il existe plusieurs types de chaînages, c'est-à-dire plusieurs types de raisonnements :

Le chaînage avant qui permet de déduire les faits découlant de données initiales,

Le chaînage arrière qui permet d'atteindre des buts,

Le chaînage mixte qui est mélange des deux types de chaînages précédents.

#### **d. Le chaînage avant :**

Le mécanisme du chaînage avant est simple : pour déduire un fait particulier, on déclenche les règles dont les prémisses sont connues jusqu'à ce que la règle ne puisse être déclenchée.

On va analyser chaque fait et on va examiner toutes les règles où ce fait apparaît en prémisses. Pour les règles déclenchées, on va affecter les attributs en conclusion des valeurs qui leur correspondent. On dit que les faits ont été propagés. Ces attributs affectés feront partie du résultat final de l'expertise ; et, en même temps, ils seront eux-mêmes propagés. On fait cela jusqu'à l'épuisement des faits, et on communique les résultats à l'utilisateur. [17].

#### **e. Le chaînage arrière :**

Le mécanisme de chaînage arrière consiste à partir du fait que l'on souhaite établir, à rechercher toutes les règles qui concluent sur ce fait, à établir la liste des faits qu'il suffit de prouver pour qu'elles puissent se déclencher puis à appliquer récursivement le même mécanisme aux faits contenus dans cette liste.

Le chaînage arrière est clairement un mécanisme d'induction : on vérifie les hypothèses en remontant depuis l'objectif. On recherche ainsi à vérifier si un fait est possible : celui-ci étant choisi selon des critères extérieurs. [18].

#### **g. Le Chaînage mixte :**

Le Chaînage mixte utilise les deux Chaînages présentés ci-dessus. On peut alors aussi bien raisonner à partir des faits que l'on connaît comme prédicat ou comme objectifs.

Ce sont les caractéristiques du problème qui vont conditionner le chaînage qu'il est judicieux d'utiliser. Ainsi, lorsque les faits sont peu nombreux ou que le but est inconnu, il est préférable d'employer un chaînage avant. Par contre, dans le cas où les buts sont peu nombreux ou précis, le chaînage arrière est préconisé. [19].

### **5.4. Caractéristiques d'un système expert :**

Dans ce système, la base de connaissance est organisée, très simplement sous forme d'une ou plusieurs matrices à deux entrées. L'une est représentée par les éléments diagnostiques, thérapeutiques ou autres que l'on souhaite différencier, l'autre par les éléments concourants à cette différenciation. Dans notre prototype, à l'intersection de chaque action, de chaque

composante du rôle propre infirmier avec chaque difficulté présentée par le patient, est portée la valeur que leur accorde l'expert en tant que réponse adaptée.

L'échelle des pondérations varie arbitrairement entre 0 et 100 : 100 correspond à l'affirmation d'une réponse totalement adéquate à la difficulté présentée, 0 à celle d'une inadéquation totale. Entre ces deux bornes, l'expert à toute latitude pour faire varier son appréciation sur le lien qui les relie. Quand aucun rapport n'a lieu d'exister entre eux on indique alors 101.

Le moteur d'inférence est représenté par l'algorithme du MIN. Très schématiquement, il va lire pour chaque situation que l'on a entrée, les pondérations qui sont affectées à chaque action qu'il va ensuite classer en fonction des plus petits coefficients. La moins bien classée est celle pour laquelle un des signes a donné le coefficient le plus faible quand bien même elle aurait le plus de difficultés la requièrent formellement (pondération à 100). Il s'agit donc d'une démarche d'élimination élaborée dans l'esprit du "Primum non nocere" élément fondamental de l'enseignement de l'élève infirmière.

La constitution de ce premier classement correspond au fonctionnement en chaînage avant du système.

A partir de là, l'utilisateur peut choisir l'une des actions possibles. Ce choix peut ne pas se porter obligatoirement sur la mieux classée. En effet, en marge du précédent classement, le système affecte pour chaque action le nombre des pondérations égales à 100. Si celui-ci est important pour une action donnée il peut alors inciter l'élève à la choisir plutôt que celle classée en premier.

Le système lui propose alors les autres difficultés à rechercher chez le patient pour conforter ou infirmer cette décision : c'est le chaînage arrière.

S'il valide de nouvelles difficultés qu'il a été ainsi amené à rechercher, le système repart en chaînage avant et donne un nouveau classement. Le cycle s'arrêtera quand plus aucun élément n'influera sur le classement ou ne pourra être proposé en complément. [20].

## **5.5. Développements ultérieurs**

L'idéal bien sûr serait de réaliser un système expert qui à partir de sources de difficultés présentées par un patient pourrait permettre l'identification d'un ou plusieurs des 14 besoins fondamentaux et ensuite indiquerait les actions à mettre en œuvre pour y satisfaire. Dans ce prototype, nous avons fait le choix de nous limiter à la seconde partie pour deux raisons.

La première est que pour la mise en œuvre et la validation d'une nouvelle méthodologie il était plus raisonnable de s'attacher à un domaine restreint et concret facilement appréhendable dans l'expérience quotidienne [21].

La seconde est que l'ensemble des sources de difficultés à inclure pour la constitution de la première partie correspond à l'ensemble de toutes celles pouvant être présentées par un patient. Si nous admettons qu'elles sont par exemple au nombre de 200 nombre bien inférieur à la réalité sans aucun doute pour 14 besoins, cela impliquerait 2800 règles à identifier. Sans parler des difficultés liées au maintien de la cohérence interne dans un tel système Par contre sous réserve de sa validation, lorsque l'étape actuelle aura été généralisée à l'ensemble des 14 besoins fondamentaux, nous devrions alors être en possession de l'information nécessaire à la création d'un système expert véritablement conforme à la démarche de soins infirmiers : l'identification des sources de difficultés les plus spécifiques et les plus discriminantes pour la différenciation des 14 besoins fondamentaux du patient.

#### **5.6. Problèmes adaptés aux systèmes experts :**

Les chercheurs ont défini un ensemble informel de critères pour déterminer si un problème est adapté ou non à être résolu par la technologie système expert :

**5.6.1.** Le besoin d'une solution doit justifier le coût et l'effort de la construction d'un système expert.

**5.6.2.** L'expertise humaine n'est pas valable dans toutes les situations dont on a besoin.

**5.6.3.** Le problème peut être résolu en utilisant une technique de raisonnement symbolique.

**5.6.4.** Le domaine est bien structuré.

**5.6.5.** Le problème ne peut pas être résolu en utilisant des méthodes traditionnelles de calcul.

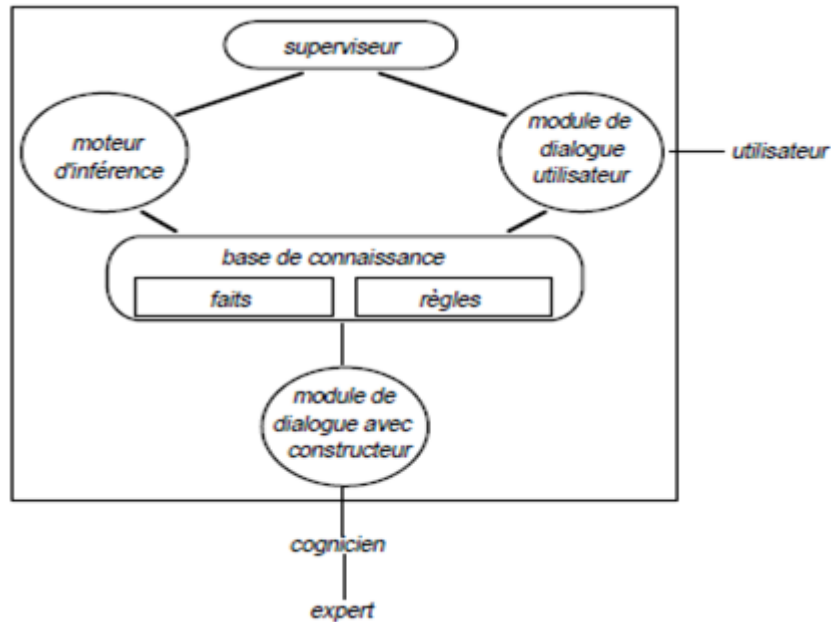
**5.6.6.** La coopération entre experts de domaine existe.

**5.6.7.** Le problème est de taille considérable

#### **5.7. Systèmes experts en géotechnique :**

Les systèmes experts ont pour but de faciliter le travail des spécialistes dans des disciplines très variées. Ces nouvelles approches sont très prometteuses dans le domaine géotechnique. Ou l'ingénieur doit souvent prendre des décisions sans pouvoir se baser sur des modèles d'analyses formels, mais en ne se fiant qu'à l'expérience personnelle et à son intuition. Ceci est

particulièrement le cas pour le choix de la méthode d'excavation et de soutènements adéquates. Car, contrairement aux études de stabilités ou aux calculs de dimensionnements, on ne possède aucun modèles mathématiques adapté à de telles tâches.



**Figure 5.7 Schéma d'une système expert**

Un premier système expert l'aide au choix du soutènement adéquat de tunnels en fonction des conditions géologiques, hydrologiques et géotechniques rencontrées ainsi que de caractéristiques de l'ouvrage a été créé. Les travaux actuels portent sur la mise au point d'un système expert capable de prédire les classes d'excavation. [22].

### 5.8. Méthodologie:

Les facteurs pris en compte sont dépendants, 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. 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 utilisant une méthode simple, basée sur l'individualité des facteurs défavorables, dont leur classification couvre l'ensemble des caractéristiques de nos sites. On a après cela cherché à évaluer l'importance de

chacun des facteurs gradués de manière simple, arithmétique, en les classant selon une échelle numérique.

La méthodologie de l’empreinte réalisée 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 $\mu$ m.

Les facteurs ne sont pas 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 1 à 4. Cette méthodologie a pour but de prendre en compte les facteurs déterminants élémentaires (paramètres physique d’un sol) pour pouvoir définir la somme numérique suivante :

$$\sum \delta_i = \delta I_P + \delta P_f + \delta I_A + \delta E + \delta S$$

Cette méthodologie a pour but de prendre en compte un certain paramètre primaire et de définir leurs contributions respectives. Les facteurs pris en compte dans une telle approche sont définis comme suivant:

**a. Facteur d’indice de plasticité [I<sub>P</sub>]:**

L’indice de plasticité peut être calculé à partir de la limites d’Atterberg, celle-ci met en évidence l’effet de la teneur en eau (W) sur la consistance du matériau fin. Il correspond à la différence entre la limite de liquidité (W<sub>L</sub>) et la limite de plasticité (W<sub>P</sub>) du matériau. En présentant l’étendue du domaine plastique et donne une indication sur l’aptitude du matériau argileux à acquérir de l’eau. [23].

**b. Facteur de Pourcentage des particules fines [P<sub>f</sub>] inférieur à 2 $\mu$ m:**

Le pourcentage des particules fines < à 2 $\mu$ m, montre la contenance en pourcentage des particules fines au sol dans le sens granulométrique et non pas minéralogique. Alors les sols fins sont les plus concernés par le mouvement du terrain. [24].

### **c. Facteur de L'activité [I<sub>A</sub>]:**

Le gonflement du sol est très défavorable pour la construction, ces changements de volume du sol sont dus à deux processus alternant :

- un gonflement suite à la fixation d'eau disponible
- un rétraction suite à la perte de l'eau fixée.

Dans les deux cas les dégâts sont très graves et sérieux. L'aptitude d'un sol à changer de volume dépend de sa teneur en argiles gonflantes. Parmi les argiles les plus susceptibles a fixé l'eau dans la région de notre étude, figurent montmorillonites. A partir de l'indice de plasticité et du pourcentage de particules fines inférieurs à 2 $\mu$ m, il est possible de définir l'indice de Skempton I<sub>A</sub> qui est l'activité, cet indice peut servir à l'estimation du taux de gonflement. [11]

### **d. Facteur de L'eau [E]:**

Ce facteur d'eau [E] rassemble les effets résultants 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 en changeant leurs caractéristiques volumiques et géotechniques (cohésion, saturation, etc.....).

Encore l'effet du facteur eau a été pris en compte, qualitativement, en fonction de sa présence et de son faciès chimique.

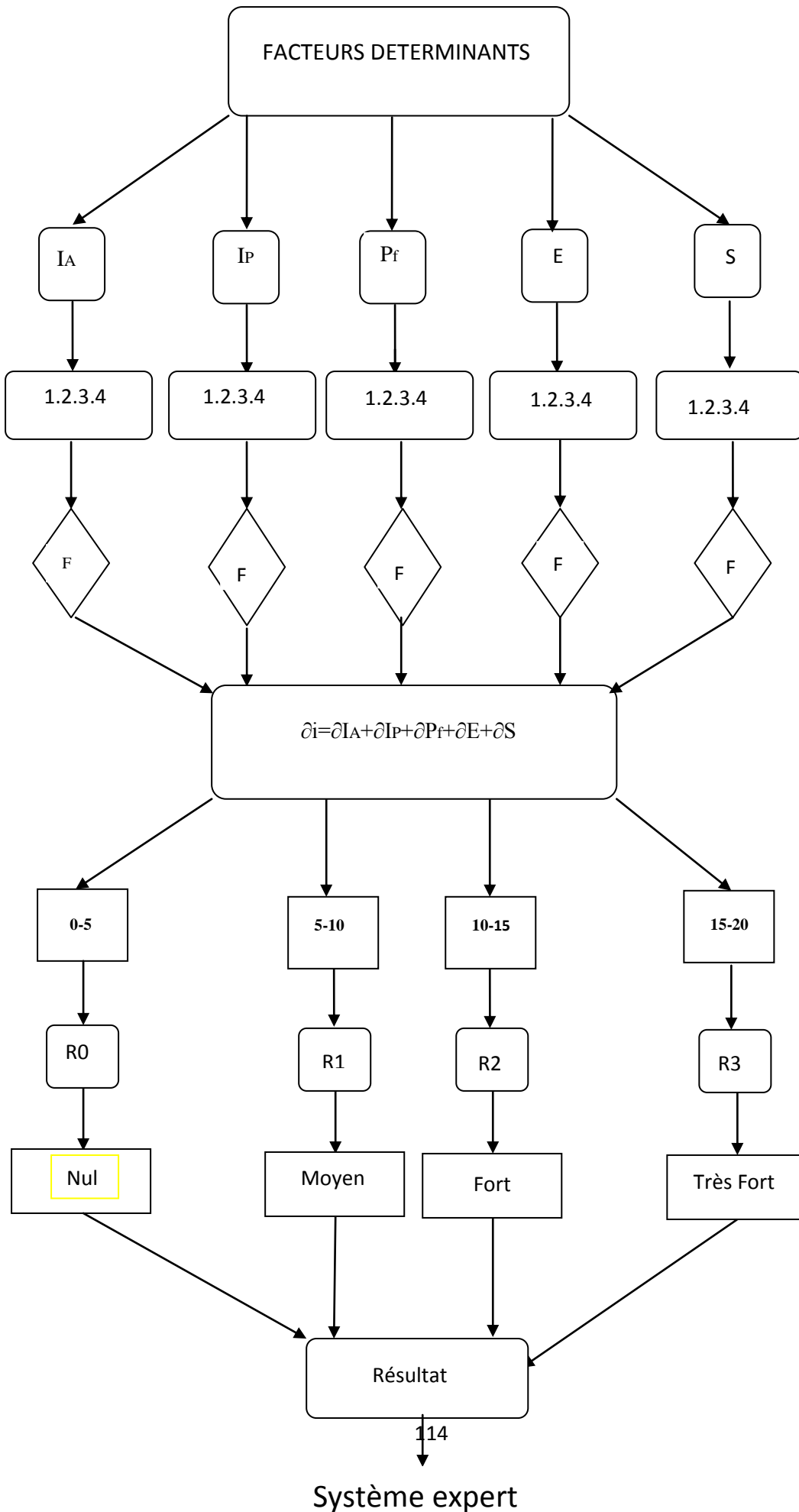
**e. Facteur sismique :** Ce facteur regroupe les effets sismique chaque zone de région, séisme est une principale cause un dégât et d'instabilité des terrains.

**Le Tableau 5.1** illustre tous les paramètres des différents facteurs qui sont déterminants dans l'évaluation des mouvements de terrain dans les différents sites.

*Tableau 5.1: des différents paramètres des sites :*

<b>Risque R(i)</b>	<b>Faible R(1) [0-5]</b>	<b>Moyenne R(2) [5-10]</b>	<b>Fort R(3) [10-15]</b>	<b>Très fort R(4) [15-20]</b>
interval de variation $\delta I_A$	$0 < I_A \leq 0.5$ $\delta=1$	$0.5 < I_A \leq 1$ $\delta=2$	$1 < I_A \leq 2$ $\delta=3$	$I_A > 2$ $\delta=4$
interval de variation $\delta I_P$	$0 < I_P \leq 10$ $\delta=1$	$10 < I_P \leq 20$ $\delta=2$	$20 < I_P \leq 30$ $\delta=3$	$I_P > 30$ $\delta=4$
interval de variation $\delta P_f$	Très peu d'argile $0 < P_f \leq 20$ $\delta=1$	Peu d'argile $20 < P_f \leq 40$ $\delta=2$	Moyennement argileux $40 < P_f \leq 60$ $\delta=3$	Très argileux $P_f > 60$ $\delta=4$
interval de variation $\delta E$	Aucun présence d'eau et précipitation $E < 300\text{mm}$ $\delta=1$	Présence d'eau faiblement et précipitation $300 < E \leq 400$ $\delta=2$	présence d'eau forte et précipitation $400 < E \leq 500$ $\delta=3$	Présence d'eau séléniteuse et précipitation $E > 500$ $\delta=4$
interval de variation $\delta S$	$1 < M \leq 2$ $\delta=1$	$2 < M \leq 3$ $\delta=2$	$3 < M \leq 4$ $\delta=3$	$M > 4$ $\delta=4$

**Le schéma de système expert :**



114  
 Système expert

L'ensemble des indices de contribution donnent le risque pour la zone concernée. Par exemple, pour un même facteur dans une zone donnée, s'il présente l'aspect défavorable au mouvement du terrain, on lui affecte la contribution la plus importante, dans une autre zone s'il se présente sous la forme qui n'influe pas sur le mouvement. Le degré de risque de ([0-5], [5-10], [10-15], [15-20]) voir Tableau.5.1.

## 5.9. Exemple d'applications les trois sites:

### 1. Site de Ténès :

Le site de Ténès est caractérisé par un relief en plaine, avec quelques hauteurs isolées. Des montagnes et les forêts.

Présence d'eau puisque front de mer de plage ; La région de Ténès est caractérisée par un climat pluvieux, qui se contente de fortes précipitations plus 500 mm par année.

Dans cette région de Ténès où plus d'un séisme le terrain instable

Dans cette région de Ténès des instabilités ont été répertoriées, on peut utiliser l'approche d'estimation du degré d'instabilité de la façon suivante:

### D'après l'empreinte relative au site de Ténès :

Montre la valeur maximale et minimale de  $I_p$  d'une tableau.3.1  $20 < I_p = 24.10 \leq 30$  ce qui implique que  $\delta I_p = 3$ .

Montre deuxième cadre de Figure .3.1.le point  $P_2$  permet de lire  $0.5 \leq I_A \leq 1$  ce qui donne  $\delta I_A = 2$ .

Montre la valeur maximale et minimale de  $P_f < 2\mu m$  d'une tableau.3.1  $40 \leq P_f = 46.16 \leq 60$  ce qui implique que  $\delta P_f = 3$ .

La précipitation supérieure 500 mm par année, ce qui donne un  $\delta E = 4$ . (Voir chapitre 02)

Le degré de la magnitude de Séisme qui implique Séisme  $\delta S = 3$ . (Voir chapitre 02)

ils sont calculés comme suit :

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

**AP. N :**

$$\sum \delta_i = 3 + 2 + 3 + 4 + 3 = 15$$

La somme des coefficients est égale à 15, en étant le risque fort représenté par R (3). Puisque le nombre est inclus dans le segment [10,15]. Alors le site de Ténès présente un risque fort et doit être précédé par une étude géotechnique profonde et détaillée.

## 2. Site de Sidi Abderrahmane :

Le site de Sidi Abderrahmane est caractérisé par un relief en variante, avec quelques hauteurs isolées. La topographie étant pratiquement horizontale, dont le relief est parfois quelques déclivités de pente très douces.

Présence d'eau puisque front de mer de plage ; La région de Sidi Abderrahmane est caractérisée par un climat pluvieux, qui se contente de fortes précipitations plus 500 mm par année.

Dans cette région de Sidi Abderrahmane où plus d'un séisme le terrain instable  
 Dans cette région de Sidi Abderrahmane 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 Abderrahmane :

Montre la valeur maximale et minimale de  $I_P$  d'une tableau.3.1  $20 < I_P = 22.30 \leq 30$  ce qui implique que  $\delta I_P = 3$ .

Montre dixième cadre de Figure .3.1.  $0.5 \leq I_A \leq 1$  ce qui donne  $\delta I_A = 2$ .

Montre la valeur maximale et minimale de  $P_f < 2\mu m$  d'une tableau.3.1  $P_f = 62.05 > 60$  ce qui implique que  $\delta P_f = 4$ .

La précipitation supérieure 500 mm par année, ce qui donne un  $\delta E = 4$ . (Voir chapitre 02)

Le degré de la magnitude de Séisme qui implique Séisme  $\delta S = 3$ . (Voir chapitre 02)

ils sont calculés comme suit:

$$\sum \delta_i = \delta I_P + \delta I_A + \delta P_f + \delta E + \delta S$$

**AP. N :**

$$\sum \delta_i = 3 + 2 + 4 + 4 + 3 = 16$$

La somme des coefficients est égale à 16, en étant le risque fort représenté par R (4). Puisque le nombre est inclus dans le segment [15,20]. Alors le site de Ténès présente un risque très fort et doit être précédé par une étude géotechnique profonde et très détaillée.

### 3. Site d' Ouled Ben Abdelkader:

Le site d'Ouled Ben Abdelkader est caractérisé par un relief en plaine, avec quelques hauteurs isolées et des collines marneuses et remblais de oudes.

Présence d'eau puisque des oudes ; La région de Ouled Ben Abdelkader est caractérisée par un climat pluvieux, qui se contente de fortes précipitations plus 400 mm par année.

Dans cette région d'Ouled Ben Abdelkader où plus d'un séisme le terrain instable

Dans cette région d'Ouled Ben Abdelkader 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 d'Ouled Ben Abdelkader :

Montre la valeur maximale et minimale de  $I_P$  d'une tableau.3.1  $10 < I_P = 15.25 \leq 20$  ce qui implique que  $\delta I_P = 2$ .

Montre dixième cadre de Figure .3.1.  $0.5 \leq I_A \leq 1$  ce qui donne  $\delta I_A = 2$ .

Montre la valeur maximale et minimale de  $P_f < 2\mu m$  d'une tableau.3.1  $20 \leq P_f = 35.48 \leq 40$  ce qui implique que  $\delta P_f = 2$ .

La précipitation supérieure 400 mm par année, ce qui donne un  $\delta E = 3$ . (Voir chapitre 02)

Le degré de la magnitude de Séisme qui implique Séisme  $\delta S = 2$ . (Voir chapitre 02)

ils sont calculés comme suit:

$$\sum \delta_i = \delta I_P + \delta I_A + \delta P_f + \delta E + \delta S$$

**AP. N :**

$$\sum \delta_i = 2 + 2 + 2 + 3 + 3 = 12$$

La somme des coefficients est égale à 12, en étant le risque fort représenté par R (3). Puisque le nombre est inclus dans le segment [10,15]. Alors le site de Ténès présente un risque fort et doit être précédé par une étude géotechnique profonde et détaillée.

**Tableau 5.2: Estimation des différents paramètres des sites étudiés dans la wilaya de Chlef :**

site	$\Delta I_p$	$\delta P_f$	$\delta I_A$	$\delta E$	$\delta S$	$\sum \delta i$	R(i)
Ténès	$I_{P_{Min}}=15.30$ $I_{P_{Max}}=32.90$ $(I_{P_{Min}}+I_{P_{Max}})/2=$ 24.10 $\delta I_P=3$	$P_{f_{Min}}=25.00$ $P_{f_{Max}}=67.33$ $(P_{f_{Min}}+P_{f_{Max}})/2=$ 46.16 $\delta P_f=3$	$\delta=2$	$\delta=4$	$\delta=3$	$\delta=15$	R (3)
Sidi Abderrahmane	$I_{P_{Min}}=12.50$ $I_{P_{Max}}=32.11$ $(I_{P_{Min}}+I_{P_{Max}})/2=$ 22.30 $\delta I_P=3$	$P_{f_{Min}}=27.30$ $P_{f_{Max}}=96.80$ $(P_{f_{Min}}+P_{f_{Max}})/2=$ 62.05 $\delta P_f=4$	$\delta=2$	$\delta=4$	$\delta=3$	$\delta=16$	R (4)
Ouled Ben Abdelkader	$I_{P_{Min}}=9.26$ $I_{P_{Max}}=21.25$ $(I_{P_{Min}}+I_{P_{Max}})/2=$ 15.25 $\delta I_P=2$	$P_{f_{Min}}=27.45$ $P_{f_{Max}}=43.52$ $(P_{f_{Min}}+P_{f_{Max}})/2=$ 35.48 $\delta P_f=2$	$\delta=2$	$\delta=3$	$\delta=3$	$\delta=12$	R (3)
Bouzhghia	$I_{P_{Min}}=10.08$ $I_{P_{Max}}=31.90$ $(I_{P_{Min}}+I_{P_{Max}})/2=$ 20.99 $\delta I_P=2$	$P_{f_{Min}}=4.43$ $P_{f_{Max}}=45.58$ $(P_{f_{Min}}+P_{f_{Max}})/2=$ 25.00 $\delta P_f=2$	$\delta=2$	$\delta=4$	$\delta=3$	$\delta=13$	R (3)
Zeboudja	$I_{P_{Min}}=10.20$ $I_{P_{Max}}=18.14$ $(I_{P_{Min}}+I_{P_{Max}})/2=$ 14.17 $\delta I_P=2$	$P_{f_{Min}}=15.40$ $P_{f_{Max}}=39.00$ $(P_{f_{Min}}+P_{f_{Max}})/2=$ 27.20 $\delta P_f=2$	$\delta=2$	$\delta=3$	$\delta=3$	$\delta=12$	R (3)
Beni Haoua	$I_{P_{Min}}=11.18$ $I_{P_{Max}}=33.51$ $(I_{P_{Min}}+I_{P_{Max}})/2=$ 22.34 $\delta I_P=3$	$P_{f_{Min}}=12.16$ $P_{f_{Max}}=58.80$ $(P_{f_{Min}}+P_{f_{Max}})/2=$ 35.48 $\delta P_f=2$	$\delta=2$	$\delta=4$	$\delta=4$	$\delta=15$	R (3)

Les tableaux des sites (zeboudja, béni haoua, bouzhghia) dont les caractéristiques physico mécaniques sont les suivantes Annexe.

# *ANNEXE*

**Tableau 5.3 : caractérisation physique du site de Zeboudja**  
**[Source LCTP de Chlef].**

Sondage (S1- S6)	Lithologie	Profondeur (m)	S <sub>r</sub> (%)	W(%)	W <sub>L</sub> (%)	P <sub>f</sub> <2μm (%)	I <sub>P</sub> (%)
S <sub>1</sub>	Gravier et sable marron avec un peu de fines	0.40-1.40	85.50	18.01	46.00	13.74	19.62
	Début par gravier et sable avec un peu de fines puis argile verdâtre sableuse peu graveleuse	1.40-3.20	86.20	16.29	53.50	44.44	31.90
	Argile sous forme de sable, traces de gravier et de fine présence matière organique	3.20-5.20	75.53	15.00	41.60	5.80	14.43
S <sub>2</sub>	Sable graveleux peu limoneux marron foncé	0.40-1.40	79.80	19.93	41.00	19.90	13.93
	Argile verdâtre limoneuse sableuse et de gravier	1.40-3.40	96.20	15.97	50.76	42.67	27.44
	Argile verdâtre sous forme de sable peu graveleuse traces de fines présences matière organique	5.40-7.40	76.48	17.68	42.53	4.43	14.59
S <sub>3</sub>	Sable graveleux limoneux marron foncé	0.40-1.30	90.23	13.65	41.80	19.52	14.92
	Argile verdâtre limoneuse graveleuse peu sableuse présence matière organique	3.20-5.20	91.20	15.69	51.60	45.58	26.78
	Argile verdâtre sous forme de sable limoneux traces de gravier présence matière organique	5.20-7.20	85.29	16.31	35.50	27.92	12.43
S <sub>4</sub>	Sable et gravier avec un peu de fines marron	0.40-1.80	86.32	13.83	27.10	12.96	10.08
	Gravier sableux à matrice argileuse	3.70-5.70	75.56	15.20	36.50	28.69	20.51
S <sub>5</sub>	Sable et gravier peu limoneux marron	0.40-1.60	80.79	17.20	41.50	11.83	14.21
	Sable limoneux graveleux marron	1.60-3.60	91.39	12.10	43.32	30.40	19.41
	Sable limoneux beige à jaunâtre avec un peu de gravier	5.60-7.60	67.81	17.84	46.44	29.43	16.32
S <sub>6</sub>	Sable et gravier avec peu de fines marron	0.40-1.70	91.93	19.18	36.87	14.89	12.82
	Sable limoneux graveleux beige à jaunâtre	3.70-5.70	87.96	14.15	48.00	24.63	17.82
	Sable limoneux graveleux beige à jaunâtre	5.70-11.70	83.81	18.20	-	9.72	-

**Tableau 5.4 : caractérisation mécanique du site de Zeboudja**

*[Source LCTP de Chlef].*

Sondage (S <sub>1</sub> - S <sub>6</sub> )	Lithologie	Profondeur (m)	Cc(%)	Pc (bars)	φ (°)	C(bars)
S <sub>1</sub>	Gravier et sable marron avec un peu de fines	0.40-1.40	0.223	2.35	30.20	0.97
	Début par gravier et sable avec un peu de fines puis argile verdâtre sableuse peu graveleuse	1.40-3.20	0.159	3.02	18.30	0.98
	Argile sous forme de sable, traces de gravier et de fine présence matière organique	3.20-5.20	0.126	1.89	19.00	0.65
S <sub>2</sub>	Sable graveleux peu limoneux marron foncé	0.40-1.40	0.189	1.65	23.00	0.45
	Argile verdâtre limoneuse sableuse et de gravier	1.40-3.40	0.147	1.98	35.40	0.47
	Argile verdâtre sous forme de sable peu graveleuse traces de fines présences matière organique	5.40-7.40	0.258	2.03	31.50	0.35
S <sub>2</sub>	Sable graveleux limoneux marron foncé	0.40-1.30	0.235	2.15	27.01	0.75
	Argile verdâtre limoneuse graveleuse peu sableuse présence matière organique	3.20-5.20	0.214	1.65	29.30	0.65
	Argile verdâtre sous forme de sable limoneux traces de gravier présence matière organique	5.20-7.20	0.258	1.78	25.30	0.48
S <sub>4</sub>	Sable et gravier avec un peu de fines marron	0.40-1.80	0.168	2.03	13.50	0.75
	Gravier sableux à matrice argileuse	3.70-5.70	0.148	2.78	17.50	0.48
S <sub>5</sub>	Sable et gravier peu limoneux marron	0.40-1.60	0.126	1.89	25.90	0.45
	Sable limoneux graveleux marron	1.60-3.60	0.138	0.99	20.70	0.75
	Sable limoneux beige a jaunâtre avec un peu de gravier	5.60-7.60	0.248	0.95	19.50	0.58
S <sub>6</sub>	Sable et gravier avec peu de fines marron	0.40-1.70	0.235	2.01	32.00	0.32
	Sable limoneux graveleux beige à jaunâtre	3.70-5.70	0.298	1.77	28.90	0.95
	Sable limoneux graveleux beige a jaunâtre	5.70-11.70	0.149	1.67	27.40	0.82

**Tableau 5.5 : caractérisation physique du site de Bouzghaia**

*[Source DTP de Chlef].*

Sondage (S <sub>1</sub> - S <sub>6</sub> )	Lithologie	Profondeur (m)	S <sub>r</sub> (%)	W(%)	W <sub>L</sub> (%)	P <sub>f</sub> <2μm (%)	I <sub>p</sub> (%)
S <sub>1</sub>	Sable graveleux limoneux marron à beige	0.50-1.50	90.94	7.92	44.00	26.50	13.20
	Sable limoneux graveleux marron à beige	1.50-2.60	95.90	8.61	38.50	23.80	12.44
S <sub>2</sub>	Limon marron graveleux sableux	0.70-1.10	82.83	8.34	41.46	39.00	15.26
	Sable argileux limoneux graveleux grisâtre à verdâtre, présence de la matière organique	2.80-4.00	79.80	8.11	43.50	31.00	15.31
S <sub>3</sub>	Sable graveleux limoneux marron	0.50-1.20	85.70	10.28	48.20	16.00	18.14
	Sable graveleux limoneux marron	3.00-4.20	76.70	8.96	42.30	29.40	16.92
S <sub>4</sub>	Sable et gravier limoneux marron	0.50-1.80	80.83	8.20	39.41	15.40	12.68
	Sable limoneux graveleux marron verdâtre présence de la matière organique	2.90-5.00	84.86	10.32	41.51	22.00	12.98
S <sub>5</sub>	Sable et gravier marron foncée avec un peu de fines	0.40-1.70	76.85	13.86	43.00	17.20	12.20
	Sable graveleux limoneux marron	1.70-3.20	68.89	20.70	41.05	26.80	13.15
	Argilite altérée gris sous forme de gravier et de sable	4.80-6.90	71.87	14.57	31.20	26.75	10.20
S <sub>6</sub>	Sable graveleux limoneux marron grisâtre	0.40-1.80	69.74	12.73	33.20	27.40	12.10
	Sable graveleux marron avec un peu de fines	1.80-3.60	-	19.16	42.03	18.80	11.13
	Argilite altérée gris sous forme de gravier et de sable	7.40-9.40	96.41	14.29	42.53	32.17	15.23

**Tableau 5.6 : caractérisation mécanique du site de Bouzghaia**

[Source DTP de Chlef].

Sondage (S <sub>1</sub> - S <sub>6</sub> )	Lithologie	Profondeur (m)	Cc(%)	Pc(bars)	C(bars)	φ (°)
S <sub>1</sub>	Sable graveleux limoneux marron à beige	0.50-1.50	0.214	2.51	0.95	35.14
	Sable limoneux graveleux marron à beige	1.50-2.60	0.212	2.01	0.75	32.00
S <sub>2</sub>	Limon marron graveleux sableux	0.70-1.10	0.198	1.90	0.42	19.20
	Sable argileux limoneux graveleux grisâtre à verdâtre, présence de la matière organique	2.80-4.00	0.148	1.80	0.75	17.50
S <sub>3</sub>	Sable graveleux limoneux marron	0.50-1.20	0.110	1.45	0.92	13.66
	Sable graveleux limoneux marron	3.00-4.20	0.115	2.70	0.42	14.00
S <sub>4</sub>	Sable et gravier limoneux marron	0.50-1.80	0.234	2.50	0.35	27.30
	Sable limoneux graveleux marron verdâtre présence de la matière organique	2.90-5.00	0.211	2.80	0.75	19.80
S <sub>5</sub>	Sable et gravier marron foncée avec un peu de fines	0.40-1.70	0.168	1.56	0.89	18.02
	Sable graveleux limoneux marron	1.70-3.20	0.165	1.95	0.45	29.00
	Argilite altérée gris sous forme de gravier et de sable	4.80-6.90	0.123	1.68	0.95	37.20
S <sub>6</sub>	Sable graveleux limoneux marron grisâtre	0.40-1.80	0.208	2.05	0.54	35.80
	Sable graveleux marron avec un peu de fines	1.80-3.60	0.113	3.58	0.57	31.50
	Argilite altérée gris sous forme de gravier et de sable	7.40-9.40	0.203	2.03	0.76	25.40

**Tableau 5.7 : caractérisation physique du site de Beni haoua**

*[Source DTP de Chlef].*

Sondage ( S <sub>1</sub> - S <sub>6</sub> )	Lithologie	Profondeur (m)	S <sub>r</sub> (%)	W(%)	W <sub>L</sub> (%)	P <sub>f</sub> <2μm (%)	I <sub>p</sub> (%)
S <sub>1</sub>	Argile sableuse marron avec un peu de gravier	0.50-1.80	81.82	15.20	49.12	46.50	17.21
	Argile limoneuse verdâtre graveleuse sableuse	5.80-7.80	79.68	16.30	40.70	37.80	18.67
S <sub>2</sub>	Gravier et sable marneron avec un peu de fines	0.40-1.70	92.56	22.94	35.41	13.16	11.80
	Argile plastique limoneuse verdâtre sableuse peu graveleuse	3.50-5.30	87.54	18.10	47.50	54.20	28.38
S <sub>3</sub>	Sable graveleux limoneux marron foncé	0.40-1.70	93.65	17.20	46.20	19.60	15.93
	Argile plastique limoneuse verdâtre sableuse avec traces de gravier	5.70-7.70	79.54	15.30	52.30	58.80	30.45
S <sub>4</sub>	Gravier et sable marron avec un peu de fines	0.40-1.70	80.37	17.20	38.11	12.16	12.98
	Argile plastique limoneuse verdâtre sableuse peu graveleuse	3.70-5.70	88.47	19.17	48.10	57.60	29.30
S <sub>5</sub>	Argile plastique limoneuse verdâtre graveleuse peu sableuse	0.40-1.90	87.69	18.23	56.50	51.00	32.86
	Argile plastique limoneuse verdâtre sableuse peu graveleuse	3.90-5.90	86.79	16.58	58.19	51.50	33.51
S <sub>6</sub>	Gravier et sable marron foncé avec un peu de fines	0.40-1.70	68.57	19.34	31.28	14.60	11.18
	Sable limoneux marron et gravier	1.70-3.30	89.62	19.28	40.70	21.60	14.21
	Argilite altérée gris sous forme de gravier et de sable	4.80-6.80	73.74	12.98	36.62	34.40	13.42

**Tableau 5.8 : caractérisation mécanique du site de Beni haoua**

*[Source DTP de Chlef].*

Sondage ( S <sub>1</sub> - S <sub>6</sub> )	Lithologie	Profondeur (m)	Cc(%)	Pc(bars)	C(bars)	φ (°)
S <sub>1</sub>	Argile sableuse marron avec un peu de gravier	0.50-1.80	0.199	2.32	0.23	25.40
	Argile limoneuse verdâtre graveleuse sableuse	5.80-7.80	0.210	1.65	0.45	32.10
S <sub>2</sub>	Gravier et sable marron avec un peu de fines	0.40-1.70	0.165	1.98	0.24	35.80
	Argile plastique limoneuse verdâtre sableuse peu graveleuse	3.50-5.30	0.132	1.58	0.25	36.20
S <sub>3</sub>	Sable graveleux limoneux marron foncé	0.40-1.70	0.111	2.35	0.14	27.50
	Argile plastique limoneuse verdâtre sableuse avec traces de gravier	5.70-7.70	0.189	2.98	0.84	29.50
S <sub>4</sub>	Gravier et sable marron avec un peu de fines	0.40-1.70	0.178	1.20	0.25	24.80
	Argile plastique limoneuse verdâtre sableuse peu graveleuse	3.70-5.70	0.235	1.54	0.14	27.40
S <sub>5</sub>	Argile plastique limoneuse verdâtre graveleuse peu sableuse	0.40-1.90	0.148	1.80	0.58	28.50
	Argile plastique limoneuse verdâtre sableuse peu graveleuse	3.90-5.90	0.253	1.90	0.12	29.30
S <sub>6</sub>	Gravier et sable marron foncé avec un peu de fines	0.40-1.70	0.213	1.85	0.19	31.20
	Sable limoneux marron et gravier	1.70-3.30	0.164	2.03	0.65	17.80
	Argilite altérée gris sous forme de gravier et de sable	4.80-6.80	0.178	1.67	0.76	16.66

## *CONCLUSION*

Les mouvements de terrain sont les manifestations du déplacement gravitaire de masses de terrain déstabilisées sous l'effet de sollicitations naturelles (fonte des neiges, pluviométrie anormalement forte, séisme, etc.) ou anthropiques (terrassement, vibration, déboisement, exploitation de matériaux ou de nappes aquifères, etc.) [25].

La synthèse bibliographique a mis en évidence la complexité de la géologie de la région. Cette étude a été réalisée sur des sols provenant de trois sites appartenant au Chlef, à partir d'un ramassage de données provenant des études établies par laboratoires d'étude de sol LTP Chlef.

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 : Ténès, Sidi Abderrahmane et Ouled Ben Abdelkader.

Les empreintes de ce site montrent qu'on est en présence d'argile inorganique de moyenne plasticité selon la classification USCS (Unified Soil Classification System), ayant une activité moyenne  $0.5 \geq I_A > 1$ , ce qui des argiles et limons, les fuseaux granulométriques montrent un pourcentage de particules fines  $< 2 \mu\text{m}$  moyenne caractérisant leurs propres formations géologiques.

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 et limons étudiées.

Enfin, nous appliquons le système expert pour faciliter le travail avec des facteurs : Facteur d'indice de plasticité [Ip], Facteur de Pourcentage des particules fines [Pf] inférieur à  $2\mu\text{m}$ [Pf], Facteur de L'activité [IA], Facteur de L'eau [E], Facteur sismique [S].

## **LISTE DES TABLEAUX**

- Tableau 2.1 : Classification des communes par zone sismique*
- Tableau 2.2 : Fréquence sismique par magnitude 2004 à 2012 (Ténès)*
- Tableau 2.3: Fréquence sismique par magnitude 2004 à 2012 (El Marsa, Bouzghaia, Ain Merane et Abou El Hassen)*
- Tableau 2.4: Fréquence sismique par magnitude 2004 à 2012 (Beni Haoua et Zeboudja)*
- Tableau 2.5 : Fréquence sismique par magnitude 2004 à 2012 (Oud El Fodda, El Karimia, Beni Rachad, Oudled Abbes et Oum Eddroua)*
- Tableau 2.6: Fréquence sismique par magnitude 2004 à 2012 (Chlef et Sendjas)*
- Tableau 2.8: Les pentes des terrains à travers de la région de Chlef*
- Tableau 2.9: Précipitations de la commune de Chlef*
- Tableau 2.10: Précipitations de la commune d'Oud Fodda*
- Tableau 2.11: Précipitations de la commune de Benairia*
- Tableau 2.12: Précipitations de la commune d'Ouled Abbes*
- Tableau 2.13: Précipitations de la commune de Sendjas*
- Tableau 3.1 : caractérisation physique du site de Ténès*
- Tableau 3.2 : caractérisation mécanique du site de Ténès*
- Tableau 3.3 : caractérisation physique du site de Sidi Abderrahmane*
- Tableau 3.4 : caractérisation mécanique du site de Sidi Abderrahmane*
- Tableau 3.5 : caractérisation physique du site d'Ouled Ben Abdelkader*
- Tableau 3.6 : caractérisation mécanique du site d'Ouled Ben Abdelkader*
- Tableau 5.1: des différents paramètres des sites*
- Tableau 5.2: Estimation des différents paramètres des sites étudiés.*
- Tableau 5.3 : caractérisation physique du site de Zeboudja :*
- Tableau 5.4 : caractérisation mécanique du site de Zeboudja :*
- Tableau 5.5 : caractérisation physique du site de Bouzghaia :*
- Tableau 5.6 : caractérisation mécanique du site de Bouzghaia*
- Tableau 5.7 : caractérisation physique du site de Beni haoua :*
- Tableau 5.8 : caractérisation mécanique du site de Beni haoua*

## **LISTE DES FIGURES**

- Figure .1.5. Affaissement dû à une exploitation minière .*
- Figure .1.2. Glissement à la Grave (Hautes Alpes,05)- [1995].*
- Figure .1.3. Glissement rotationnel dans des sols argileux [rivière Delisle,2005].*
- Figure .1.6. Processus de formation d'un effondrement .*
- Figure .1.1. Chute d'un gros blocs à Veynes (Hautes Alpes ;05)- [1996].*
- Figure .1.4. coulée argileuse ayant endommagé une partie du centre-ville de Nicolet [1955].*
- Figure .1.7 Mouvement complexe de type glissement coulee*
- Figure .1.8 .Nuage de poussière généré par l'éboulement [22 janvier 1998].*
- Figure .1.8.Le glissement de terrain de l'Adverseil sur la commune de Corps [16 janvier 2001].*
- Figure .1.9.Le glissement de terrain de la combe des Parajons à la Salle en Beaumont [9 janvier 1994.*
- Figure .1.10.Le glissement de terrain en Tizi Ouzou Algérie [1 Mai 2012].*
- Figure .1.11. Affaissement du dallage entre les bâtiments en Sidi Youcef Béni Messous Alger [22 Mars 2011].*
- Figure. 2.1: Carte zonage sismique de la wilaya de Chlef.*
- Figure. 2.2 Fréquence sismique par magnitude de la commune de Ténès.*
- Figure. 2.3: Fréquence sismique par magnitude de la region de Chlef*
- Figure. 2.4: Fréquence Sismique par mois*
- Figure. 2.5 Fréquence sismique par année*
- Figure. 2.6: Carte de la wilaya de Chlef contexte géologique.*
- Figure 2.7. Carte des types de sol de wilaya de Chlef*
- Figure. 2.8: Carte topographie de la wilaya de Chlef.*
- Figure. 2.9:Carte climatique de la wilaya de Chlef*
- Figure. 2.10:Carte bioclimatique de la wilaya de Chlef.*
- Figure. 2.11:Carte réseau hydrographique de la wilaya de Chlef.*
- Figure. 2.12 : Histogramme des précipitations de la commune de Chlef*
- Figure. 2.13: Histogramme des précipitations de la commune d'Oud Fodda*
- Figure. 2.14: Histogramme des précipitations de la commune de Benairia*

*Figure. 2.15: Histogramme des précipitations de la commune d'Ouled Abbes*

*Figure. 2.16: Histogramme des précipitations de la commune de Sendja*

*Figure 3.1 abaque casagrande*

*Figure .3.2. Photo de site de Ténès*

*Figure .3.3. Photo montrant de site de Ténès*

*Figure .3.4. Empreinte du sol de Ténès.*

*Figure .3.5. Photo de Sidi Abderrahmane*

*Figure .3.6. Photo montrant de Sidi Abderrahmane*

*Figure .3.7. Empreinte du sol de Sidi Abderrahmane.*

*Figure .3.8 Plan implantation des sondages mécaniques et physique Site d'Ouled Ben Abdelkader.*

*Figure .3.9. Photo Site d'Ouled Ben Abdelkader*

*Figure .3.10. Photo montrant site d'Ouled Ben Abdelkader*

*Figure .3.11. Empreinte du sol d'Ouled Ben Abdelkader.*

*Figure. 4.1 : corrélation entre l'angle de frottement interne  $\varphi$  et l'indice de plasticité  $I_p$*

*Figure. 4.2 : corrélation entre l'angle de frottement interne  $\varphi$  et l'indice de plasticité  $I_p$*

*Figure. 4.3 : corrélation entre l'angle de frottement interne  $\varphi$  et l'indice de plasticité*

*Figure. 4.4: corrélation entre l'angle de frottement interne  $\varphi$  et l'indice de plasticité  $I_p$*

*Pour les trois sites.*

*Figure. 4.5 : corrélation entre la cohésion  $C$  et limite de liquidité  $W_L$ .*

*Figure. 4.6 : corrélation entre la cohésion  $C$  et limite de liquidité  $W_L$ .*

*Figure. 4.7 : corrélation entre la cohésion  $C$  et limite de liquidité  $W_L$ .*

*Figure. 4.8 : corrélation entre la cohésion  $C$  et limite de liquidité  $W_L$  pour les trois sites.*

*Figure. 4.9 : corrélation entre l'indice de compression de  $C_c$  et la limite de liquidité  $W_L$ .*

*Figure. 4.10 : corrélation entre l'indice de compression de  $C_c$  et la limite de liquidité  $W_L$ .*

*Figure. 4.11 : corrélation entre l'indice de compression de  $C_c$  et la limite de liquidité  $W_L$*

*Figure. 4.12 : corrélation entre l'indice de compression de  $C_c$  et la limite de liquidité  $W_L$*

*Pour les trois sites.*

*Figure 5.7 Schéma d'une système expert*

## **RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIE**

- [01] : Ministère de l'Écologie et du Développement durable, 2003, *Les événements naturels dommageables en France et dans le Monde en 2002*, Risques naturels majeurs, 24 pages.
- [02] VARNES D. J., (1978) – Slope movement types and processes. In : "*Landslides: Analysis and control*" R. L. Schuster & R. J. Krizek Editions. National Academy of Sciences, Washington DC., Transportation Research Board Special Report, 176, p. 11-33.
- [03] BAYNES F.J. & LEE M. (1998) - *Geomorphology in landslide risk analysis, an interim report*. Proceedings of the Eighth Congress of the Int. Assoc. of Engineering Geologists, Balkema, 1129-1136.
- [04] FLAGEOLLET J. C., (1989) – *Les mouvements de terrains et leur prévention*. Editions Masson, Série Géographie, Paris, 224 p.
- [05] FARES A., (1994) – *Essai méthodologique de la cartographie des risques naturels liés aux mouvements de terrain. Application à l'aménagement de la ville de Taounate (Rif, Maroc)*. Thèse de Doctorat, Université de Franche Comté, 177 p.
- [06] MORGENSTERN N.R. (1985) - *Geotechnical aspects of environmental control*. Proc. 11th ICSMFE, S.Francisco, 1, 155-186.
- [07] CRUDEN D.M. & VARNES D.J. (1996) *Landslide types and processes* in Turner & Schuster, *Landslides, Investigation and Mitigation*, Special Report 247, National Academy Press, Washington, D.C.
- [08] MILLIES-LACROIX A., (1968) – Les glissements de terrains. Présentation d'une carte prévisionnelle des mouvements de masse. *Mines et Géologie*, n° 27, p. 45-55.

[09]: S.Andrei, Test data systematization and stockage to predict the parameters describing the Behaviour of unsaturated soils.

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

[11]: Skempton and Hutchinson (1969), Stability of Natural Soil Slopes and Embankment Foundations, State of the Art Report 291-340.

[12]: Magnan. J P corrélations entre des paramètres de sol. Ingénieur genie civil

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

[14]: Berthouex O.M., Lai M., et Darjatmoko, A statistic-based information and expert system for plant control and improvment. Dans Proceedings of the 5th National conference on Microcomputers .in Civil Engineering .Orlando ,4 au 6 novembre 1987 .Editeur : W.E.Carrol University of Central Florida College of Engineering,Colege of Extended Studies and American Society of Civil Engineereers, Orlando, pp146-150.

[15] A. Romiszowski, "Artificial Intelligence and Expert Systems in Education: Progress, Promise and Problems", *Australian Journal of Educational Technology*, vol. 3, no. 1, pp. 6-24, 1987.

[16]: PAQUIN, L.-C., "DÉRÉDEC-EXPERT, environnement informatique pour la génération de systèmes experts"; présentation primée au *Colloque sur les systèmes experts et leurs applications*, Avignon, 1987.

[17]: Gagnon J., Serodes J. B., *SEXTANG : système expert d'aide a l'exploitation des stations d'épuration par étangs aérés facultatifs, conseil national de recherches Canada, réimpression de la revue canadienne de génie civil,vol.20 ,N°3,pp500 508,1993.*

[18]: THOMASSET, C., PAQUIN, L.-C., "Expert Systems in Law and the Representation of Legal Knowledge: Can we Isolate it from the Why and the Who?", *III International Congress: Logica, Informatica, Diritto: Expert Systems in Law*, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto per la documentazione giuridica, editore: Antonio A. Martino, Firenze, 1989, pp. 751-772.

[19]: Zhu X.X., Simpson A.R., *An expert system for turbidity control advice in water treatment plant operation, Research Report, N°R92 (parts 1 and 2), department of civil engineering., The Univ. of Adelaide, South Australia, 1992.*

[20]: Holsapple C.W., Whinston A.B., *GURU : l'utilisation des systèmes experts dans L'entreprise. Les éditions d'organisation, 1987.*

[21] : Blanc M., Charron E., Freyssenet M., Le « développement » des systèmes-experts en entreprise, Cahiers de recherche du GIP « Mutations Industrielles », n° 35, novembre 1989, 84 p. Édition numérique, freyssenet.com, 2007.

[22]: H. Kochukuttan and A. Chandrasekaran, "Development of a Fuzzy Expert System for Power Quality Applications", IEEE Publication No. 0-8186-7873-9/1997.

[23]: American Society of Civil Engineers, juin 1947, page 783.

[24] : Cf. document ZTVE-StB 59 ou article de M. Ducker dans *Strasse und Autobahn* - N° 1, 1964, page 2.

[25] : Ministère de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement, ministère de l'Équipement, 1999, *Plans de prévention des risques naturels prévisibles, Risques de mouvement de terrain*, La Documentation française, Paris, 71 pages.