

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

**Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique**

**Université Abderrahmane Mira de Bejaia**

***FACULTE DE LA TECHNOLOGIE***

**Département de Génie Civil**



## **Mémoire de fin d'étude**

En vue de l'obtention du diplôme Master en Génie Civil

Option : **Géotechnique**

Thème :

---

### ***Étude de stabilisation du versant Sillal-Tifra***

---

Présenté par :

M<sup>f</sup> : CHEMAM Abdelkader

M<sup>f</sup> : BAHRI Abdelkrim

Encadré par :

M<sup>f</sup> : Idir HADDI, Enseignant

à l'Université de Bejaia.

Soutenue le 19/06/2012 Devant le jury composé de :

M<sup>f</sup> : BRARA. A, Enseignant à université de Bejaia.

M<sup>me</sup> : AREZKI, Enseignante à université de Bejaia.

Année 2011-2012

### **Résumé :**

Le versant Sillal-Tifra montre plusieurs zones instables engendrées par d'importants mouvements de terrains. La combinaison de plusieurs facteurs est à l'origine du déclenchement de ces mouvements telle que : la nature lithologique, l'orographie, la pluviométrie, le débit important de l'Oued Remila et l'activité anthropique (excavations au sein du village Sillal, surcharge des talus par les constructions et remblais...)

Ces mouvements de terrain ont causés de graves préjudices aux infrastructures routières, notamment le CW13 et aux constructions.

Les études réalisées dans les domaines ; hydrologique, hydrogéologique et géotechnique ont servie pour cerner le problème de l'instabilité, et l'établissement d'une carte d'aptitude des sols à la construction, et la recommandation des solutions de confortements et de stabilisations de la région Sillal-Tifra.

**Mots clés :** versant, stabilisation, mouvements de terrains, sapement, érosion.

### **Abstract :**

The Sillal-Tifra slope shows several unstable zones that generated by significant movements of grounds. The combination of several factors is at the origin of the release of those movements such as: lithological nature, orography, pluviometry, significant flow of the Remila's Wadi and the anthropic activity (excavations at the Sillal village, overload of the slopes by constructions and embankments...)

These movements of ground caused serious injuries with the road infrastructures in particular the CW13 and constructions.

The studies carried out in the fields hydrological, hydrogeologic and geotechnical were used to determine the problem of the instability and the establishment of a chart, as aptitudes of the grounds, for construction, and the recommendation of the solutions of confortement and stabilization of the Sillal-Tifra area.

**Key words:** slope, stabilization, movements of grounds, undermining, erosion.

## **Remerciements**

*Nous remercions profondément nos familles qui nous ont soutenus durant tout le cursus.*

*Nous tenons à exprimer notre gratitude à Monsieur HADDI Idir, enseignant à l'université de Bejaia et promoteur de thèses, pour nous avoir proposé ce sujet et nous avoir guidé tout au long de ce travail. Nous le remercions vivement de sa disponibilité, pour ses conseils avisés et son aide précieux pour la rédaction de ce mémoire.*

*Nous remercions également les employés du laboratoire LTNC pour l'aide qui nous ont donnés pour le bon déroulement de ce travail. Nos profonds remerciements vont à Mrs YAHIAOUI Boualem, AKDIM A-Ghani, KHEMMOUDJ Kadour de leur aide inestimable pour la réalisation de ce projet.*

*Nos remerciements sont adressés aux enseignants du département de Génie Civil qui ont contribués à notre formation.*

*Nous remercions les membres du jury qui nous font l'honneur d'examiner et de critiquer ce modeste travail.*

*Nos remerciements vont aussi à toute personne ayant participé de près ou de loin pour la réalisation de ce travail.*

## *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail*

*A ma très chère mère que je remercie assez pour les sacrifices et encouragements qu'elle a consentis pour moi.*

*A mon très cher père.*

*A mes sœurs et frères.*

*A Toute ma famille.*

*A la mémoire de mon cher cousin Dallil.*

*A mon binôme ainsi qu'à toute sa famille.*

*A tous mes amis (es).*

*A toute la promotion Géotechnique 2012.*

*A. BAHRI*

## *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail*

*A ma très chère mère que je remercie assez pour les sacrifices et encouragements qu'elle a consentis pour moi.*

*A mon très cher père.*

*A mes sœurs et frères.*

*A ma petite adorable nièce Millina*

*A Toute ma famille.*

*A mon binôme ainsi qu'à toute sa famille.*

*A tous mes amis (es).*

*A toute la promotion Géotechnique 2012.*

**A. CHEMAM**

# *Table des matières*

<b>Introduction générale</b> .....	<b>1</b>
<b>Chapitre I Synthèse bibliographique</b> .....	<b>2</b>
1 Généralités .....	2
1.1 Introduction.....	2
1.2 Définition du bassin versant .....	2
1.3 Définition d'un bassin topographique et bassin hydrogéologique.....	3
1.4 Instabilité des versants.....	4
1.5 Les différentes formes d'instabilités .....	4
1.5.1 Les mouvements de masses lents.....	4
1.5.2 Les mouvements de masses rapides sans plan de cisaillement.....	5
1.5.3 Mouvements de masse rapides avec plan de cisaillement (les glissements de terrains) .....	6
1.5.4 Les mouvements de masses rapides (les coulées).....	9
1.5.5 Les affaissements et effondrements .....	9
2 Principales causes de l'instabilité des versants .....	11
2.1 Introduction.....	11
2.2 Les causes de l'instabilité .....	11
2.2.1 La nature des terrains constituant le versant.....	11
2.2.2 L'influence de l'eau sur la stabilité des versants .....	12
2.2.3 Pente des talus.....	12
2.2.4 Suppression de la buté de pied d'un versant.....	13
2.2.5 Implantation des surcharges sur un versant.....	14
2.2.6 L'effet de déboisement .....	14
2.2.7 Le risque sismique.....	14
3 Processus d'étude de l'instabilité des versants .....	15
3.1 Introduction.....	15
3.2 Repérage de la zone instable.....	16
3.2.1 Repérage topographique.....	16
3.2.2 Les observations des indices d'instabilités .....	16
3.3 L'examen du contexte géologique du site .....	16
3.4 Climat de la région .....	17
3.5 Hydrologie de surface.....	17
3.6 Hydrogéologie du site.....	17

3.7	Reconnaissance géophysique.....	18
3.8	Reconnaissance géotechniques.....	18
3.8.1	L'enquête préliminaire.....	19
3.8.2	Sondages mécaniques et essais in-situ.....	20
3.8.3	Essais géotechniques en laboratoire.....	20
4	Méthodes de confortement.....	21
4.1	Introduction :.....	21
4.2	Terrassements.....	22
4.2.1	Remblai de pied des talus.....	22
4.2.2	Allègement en tête.....	23
4.2.3	Reprofilage.....	23
4.3	Dispositifs de drainage.....	24
4.3.1	Collecte et canalisation des eaux de surface.....	24
4.3.2	Tranchées drainantes.....	25
4.3.3	Drains subhorizontaux.....	25
4.4	Introduction d'éléments résistants.....	26
4.4.1	Ouvrages de soutènements.....	27
4.4.2	Tirants d'ancrages.....	27
4.4.3	Renforcement par inclusions.....	28
4.5	Confortement et traitements complémentaires.....	29
4.5.1	Les injections.....	29
4.5.2	Le reboisement.....	29
4.6	Conclusion.....	30
	<b>Chapitre II Présentation et cadre géologique de la région d'étude.....</b>	<b>31</b>
2.1	Introduction.....	31
2.2	Situation géographique.....	31
2.3	Climat et végétation.....	32
2.4	Orographie.....	33
2.5	Les réseaux hydrographiques.....	33
2.6	Présentation géologique de la région de Sidi Aich.....	33
2.7	Synthèse lithostratigraphique.....	34
2.8	La géologie du secteur étudié.....	39
2.9	La sismicité.....	41
2.10	Conclusion.....	41
	<b>Chapitre III Pathologie et causes de l'instabilité.....</b>	<b>42</b>

3.1	Introduction.....	42
3.2	Indices pathologiques .....	42
3.3	Les causes des instabilités .....	44
3.3.1	Causes naturelles.....	44
3.3.2	Causes dues à l'activité humaine .....	46
3.3.3	Défaillance des réseaux d'assainissement .....	47
3.3.4	Suppression de la buté de pied des talus .....	48
3.3.5	Effets de déboisement .....	49
3.4	Conclusion .....	49
	<b>Chapitre IV Etude hydrologique et hydrogéologique (Sillal-Tifra).....</b>	<b>50</b>
4.1	Introduction.....	50
4.2	Analyse morphométrique du versant Sillal.....	50
4.2.1	Emplacement géographique.....	50
4.2.2	Les cours d'eaux .....	51
4.2.3	Caractéristiques morphométriques.....	52
4.3	Analyse des paramètres climatiques .....	55
4.3.1	Climat du secteur étudié .....	55
4.3.2	Etude des précipitations.....	56
4.3.3	La température .....	62
4.3.4	Graphe ombro-thermique .....	64
4.3.5	L'aridité .....	65
4.4	Évaluation du bilan hydrologique .....	66
4.4.1	Calcul de l'évapotranspiration potentielle (ETP).....	66
4.4.2	Calcul de l'évapotranspiration réelle (ETR).....	67
4.4.3	Calcul du bilan hydrologique.....	68
4.5	Hydrogéologie du site.....	72
4.5.1	Mesures piézométriques effectuées au niveau du site étudié .....	73
4.6	Conclusion .....	75
	<b>Chapitre V Etude géotechnique et classification des sols .....</b>	<b>76</b>
5.1	Introduction.....	76
5.2	Les moyens de reconnaissance in-situ.....	76
5.2.1	Les sondages mécaniques.....	77
5.2.2	Essais au pénétromètre dynamique .....	85
5.3	Les moyens d'étude au laboratoire.....	89
5.3.1	L'analyse granulométrique .....	90



5.3.2	La teneur en eau .....	92
5.3.3	Les densités.....	93
5.3.4	Les limites d'Atterberg.....	94
5.3.5	Essais mécaniques.....	97
5.4	Mesure des déplacements .....	102
5.4.1	Interprétation des mesures topographiques .....	104
5.5	Conclusion.....	105
	<b>Conclusion générale.....</b>	<b>110</b>
	<b>Recommandations.....</b>	<b>108</b>
	<b>Référence bibliographique .....</b>	<b>112</b>

## *Liste des figures*

<b>Figure 1:</b> Deux bassins versants voisins, en pointille les lignes de partages des eaux.....	3	
<b>Figure 2:</b> Bassin topographique.....	3	
<b>Figure 3:</b> Les formes d'instabilités.....	4	
<b>Figure 4:</b> Le phénomène de reptation.....	5	
<b>Figure 5:</b> Exemple d'un fluage [1] .....	5	
<b>Figure 6:</b> Chute de blocs	<b>Figure 7:</b> Eboulement.....	6
<b>Figure 8:</b> Glissement plan [1] .....	7	
<b>Figure 9:</b> Glissement rotationnel [1] .....	8	
<b>Figure 10:</b> Différents types de rupture circulaire [1].....	8	
<b>Figure 11:</b> Glissements rétrogressifs .....	8	
<b>Figure 12:</b> Schéma d'une coulée boueuse [6] .....	9	
<b>Figure 13:</b> Cavité Artificielle	<b>Figure 14:</b> cavité Karstique naturelle.....	10
<b>Figure 15:</b> Suppression de la butée de pied de talus.....	13	
<b>Figure 16:</b> L'incidence des séismes sur les mouvements de terrain .....	15	
<b>Figure 17:</b> Types d'alimentation en eau dans un glissement de terrain .....	18	
<b>Figure 18:</b> La butée de pied .....	22	
<b>Figure 19:</b> Allègement en tête.....	23	
<b>Figure 20:</b> Reprofilage.....	23	
<b>Figure 21:</b> Coupe d'une tranchée drainante.....	25	
<b>Figure 22:</b> drains subhorizontaux.....	26	
<b>Figure 23:</b> Clouage d'un glissement.....	28	
<b>Figure 24:</b> Situation géographique de la commune de Tifra.....	31	
<b>Figure 25:</b> Dégradation des habitations à cause des instabilités .....	32	
<b>Figure 26:</b> Carte géologique de la région de Sidi Aich [21] .....	37	
<b>Figure 27:</b> Extrait de la carte géologique de l'état-major de la région de Sidi Aich.....	40	
<b>Figure 28:</b> Carte de zonage sismique du territoire national. [11].....	41	
<b>Figure 29:</b> Inclinaison des arbres au niveau de l'APC de Tifra .....	42	
<b>Figure 30:</b> Apparition de fissures de traction en tête des talus et dégradation des routes. ....	43	
<b>Figure 31:</b> Apparition de fissures sur les habitations et déplacement des murs de soutènement. ....	43	
<b>Figure 32:</b> Eboulements et chutes de pierres au niveau de la station thermale.....	43	

<b>Figure 33:</b> Reconnaissance visuelle de certaines formations géologiques du versant Sillal-Tifra .....	44
<b>Figure 34:</b> Pentes importantes et éboulement des masses rocheuses au niveau de la station thermique .....	45
<b>Figure 35:</b> Le débit et la vitesse importante de l'Oued Remila qui transporte d'énormes blocs gréseux .....	46
<b>Figure 36:</b> Affouillement des berges le long de l'Oued Remila coté aval de CW13 et abondance des sources naturelles .....	46
<b>Figure 37:</b> Etat des talus chargés en remblais .....	47
<b>Figure 38:</b> Aménagement intensif en chef-lieu par des habitations et matériaux de constructions .....	47
<b>Figure 39:</b> Etat des fossés et regards bétonnés (milieu urbain CW13).....	48
<b>Figure 40:</b> Conséquences des travaux de terrassements et le non soutènement des talus le long de CW13 .....	48
<b>Figure 41:</b> Carte de situation du bassin versant de la Soummam. [12] .....	51
<b>Figure 42:</b> Carte des sous bassins versants de la Soummam [12] .....	51
<b>Figure 43:</b> Carte des réseaux hydrographique du bassin versant de la Soummam [12] .....	52
<b>Figure 44:</b> Carte des sous bassins versants et réseaux hydrographiques du sous bassin versant Sillal-Tifra.....	52
<b>Figure 45:</b> Carte des superficies des sous bassins versants de la Soummam. [13] .....	53
<b>Figure 46:</b> Distribution des précipitations moyennes mensuelles .....	60
<b>Figure 47:</b> Répartition des précipitations moyennes saisonnières durant.....	60
<b>Figure 48:</b> Répartition de précipitations moyennes saisonnières durant .....	61
<b>Figure 49:</b> Répartition de précipitations moyennes saisonnières durant .....	61
<b>Figure 50:</b> Graphe Ombro-Thermique durant la période : 2000 - 2009 .....	64
<b>Figure 51:</b> Carte des étages bioclimatiques du bassin versant de la Soummam .....	65
<b>Figure 52:</b> Représentation graphique du bilan hydrologique durant la période : .....	71
<b>Figure 53 :</b> Piézomètre.....	73
<b>Figure 54:</b> Variation piézométrique du niveau de la nappe du 07/11/2010 au 07/05/2011 .....	74
<b>Figure 55 :</b> Carte de repérage des essais in-situ .....	77
<b>Figure 56 :</b> Coupe lithologique 01. [21] .....	79
<b>Figure 57 :</b> Coupe lithologique 02. [21] .....	80
<b>Figure 58 :</b> Coupe lithologique 03. [21] .....	81
<b>Figure 59 :</b> Coupe lithologique 04. [21] .....	82
<b>Figure 60 :</b> Coupe lithologique 05. [21] .....	83

<b>Figure 61</b> : Profil géotechnique des sols.....	84
<b>Figure 62</b> : Courbe pénétrométrique PDL N°1. [21] .....	86
<b>Figure 63</b> : Courbe pénétrométrique PDL N°2. [21] .....	87
<b>Figure 64</b> : Courbe pénétrométrique PDL N°3. [21] .....	88
<b>Figure 65</b> : Courbe granulométrique SC N°1. [21] .....	91
<b>Figure 66</b> : Résultats des essais de limites d'Atterberg .....	97
<b>Figure 67</b> : Représentation graphique des déplacements selon X, Y .....	103
<b>Figure 68</b> : Représentations graphique des déplacements selon l'axe Z .....	103
<b>Figure 69</b> : Carte d'aptitude des sols à la construction.....	106

## *Liste des tableaux*

<b>Tableau 1</b> : les altitudes du sous bassin Sillal-Tifra.....	53
<b>Tableau 2</b> : Caractéristiques morphométriques du sous bassin Sillal-Tifra .....	55
<b>Tableau 3</b> : Précipitations moyennes mensuelles en mm durant la période : 2000 - 2009 (Station de Tifra 151007) [13] .....	58
<b>Tableau 4</b> : Précipitations moyennes mensuelles en mm durant la période: 2000 - 2009 (Station d'El-kseur 151003) [13] .....	58
<b>Tableau 5</b> : Précipitations moyennes mensuelles en mm durant la période: 2000 - 2009 (Station de Sidi Aich 151001) [13] .....	59
<b>Tableau 6</b> : Températures moyennes mensuelles en °C durant la période : 2000 - 2009 (Station d'El-Kseur). .....	63
<b>Tableau 7</b> : Bilan hydrologique - Station d'El-Kseur (Période : 2000 - 2009).....	70
<b>Tableau 8</b> : Niveaux piézométriques [21] .....	74
<b>Tableau 9</b> : Pourcentages des fractions granulaires des échantillons prélevés dans le sondage N°1.....	91
<b>Tableau 10</b> : Classification des sols selon W.....	92
<b>Tableau 11</b> : Classification des sols selon $\gamma_h$ et $\gamma_d$ .....	93
<b>Tableau 12</b> : Résultats des essais (W, $\gamma$ , Sr) à partir du sondage SC1 .....	93
<b>Tableau 13</b> : Résultats des essais exécutés en 2011 à partir du Sondage N°3.....	94
<b>Tableau 14</b> : Résultats des essais exécutés en 2011 à partir du Puit N°1.....	94
<b>Tableau 15</b> : Degré de plasticité des sols selon $I_p$ .....	95
<b>Tableau 16</b> : Gonflement potentiel des sols selon $I_p$ .....	96
<b>Tableau 17</b> : Estimation du gonflement potentiel du sol étudié .....	96
<b>Tableau 19</b> : Résultats des essais de limites d'Atterberg .....	96
<b>Tableau 19</b> : Classification du sol selon $C_c$ .....	98
<b>Tableau 20</b> : Classification du sol selon $C_g$ .....	98
<b>Tableau 21</b> : Résultats des essais oedométriques.....	98
<b>Tableau 22</b> : Classification du sol selon $CaCo_3$ .....	100
<b>Tableau 24</b> : Caractéristiques physico-mécaniques des sols .....	101
<b>Tableau 24</b> : Déplacements donnés par la station topographique N°01. [21] .....	102
<b>Tableau 25</b> : Déplacements donnés par la station topographique N°02. [21] .....	102

# Introduction générale

---

Le travail présenté dans ce mémoire vise la réalisation d'étude des zones instables dans la commune de Tifra, et l'établissement d'une carte d'aptitude des sols à la construction. Le présent travail porte sur les mouvements de terrain affectant le versant Sillal, ces derniers sont localisés dans différentes régions et ont causé de graves dommages aux infrastructures routières notamment le CW13 et aux habitations de la localité de Tifra.

Dans l'esprit de contribuer à un meilleur diagnostic de ces mouvements de terrains et des facteurs qui sont à leur origine, nous allons orienter notre étude sur la combinaison des données géologiques, hydrologiques, hydrogéologiques et géotechniques, afin de mieux cerner la dynamique de ces mouvements et de proposer les solutions adéquates.

L'étude de l'instabilité du versant Sillal a été menée en adoptant les approches suivantes ;

L'approche géologique selon laquelle les différents ensembles lithostratigraphiques du bassin versant seront définis afin d'avoir un aperçu sur le contexte géologique de la région d'étude.

Les études hydrologiques et hydrogéologiques sont les aspects les plus importants sur lesquels nous allons appuyer cette étude, puisque l'eau joue un rôle primordial dans le déclenchement des mouvements de terrains. L'objectif de ces études est d'établir un bilan hydrique et d'apercevoir l'impact des eaux souterraines sur les formations géologiques.

L'approche géotechnique vise essentiellement à établir les essais adéquats, et de déterminer les caractéristiques physico-mécaniques voire chimiques des formations en place, afin de classer les sols et de voir leur impacte sur l'instabilité qui règne dans la région d'étude.

## Chapitre I Synthèse bibliographique

### 1. Généralités

#### 1.1 Introduction

Les problèmes de l'instabilité des versants sont rencontrés fréquemment dans la construction des routes, des canaux et des digues de barrages... Certaines pentes naturelles peuvent devenir instables et engendrent des problèmes d'instabilité qui peuvent être catastrophiques et provoquent des pertes en vies humaines ainsi que des dégâts matériels considérables.

Un mouvement de terrain est un déplacement, plus ou moins brutal, du sol ou du sous-sol avec des volumes très variables pouvant aller de quelques mètres cubes, à plusieurs millions de mètres cubes, ce déplacement se fait par l'action des facteurs naturelles (agent d'érosion, pesanteur, séisme...) ou anthropiques (ouverture de fouilles, modification du régime des eaux, déboisement, terrassements...), ces travaux peuvent rompre l'équilibre naturel d'un site et amorcer un processus de rupture de masse sur un site auparavant stable [6].

#### 1.2 Définition du bassin versant

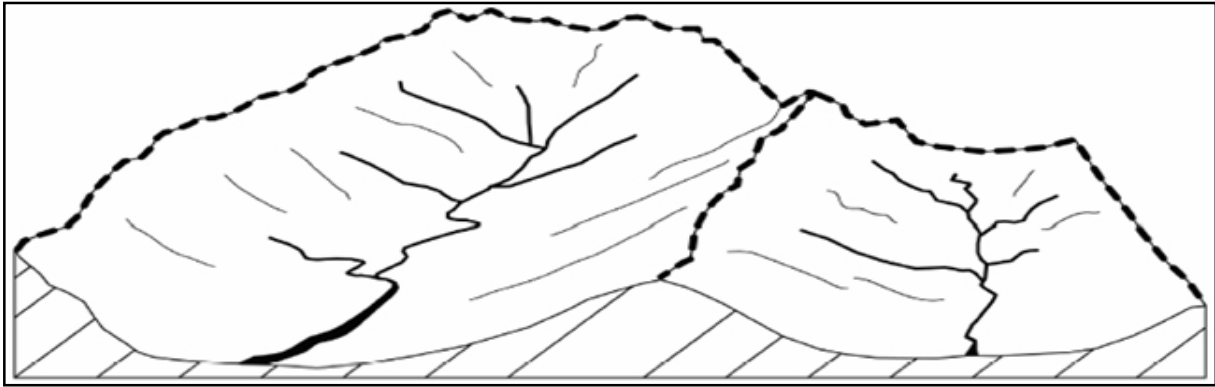
Le bassin versant représente en principe, l'unité géographique sur laquelle se base l'analyse du cycle hydrologique et de ses effets.

Il s'agit d'un domaine dans lequel tous les écoulements des eaux convergent vers un même point appelé exutoire. Ainsi toute goutte d'eau qui tombe dans ce territoire délimité par les frontières naturelles se dirige vers un cours d'eau ou ses affluents, puis vers l'aval et son exutoire.

Cette aire d'alimentation a des limites géographiques qui ne tiennent pas compte des limites administratives.

Deux bassins versants sont effectivement séparés entre eux par une ligne de crête topographique appelée alors la ligne de partage des eaux.

A l'intérieur d'un grand bassin, un sous bassin peut être défini pour chaque affluent.

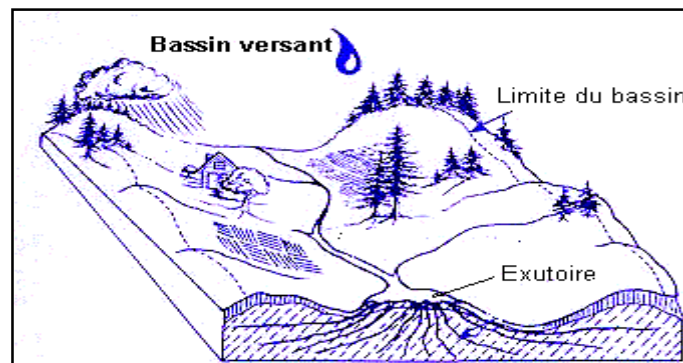


**Figure 1:** Deux bassins versants voisins, en pointille les lignes de partages des eaux

### 1.3 Définition d'un bassin topographique et bassin hydrogéologique

Un bassin versant peut être défini non seulement pour les eaux superficielles (bassin versant hydrographique ou topographique), mais aussi pour les eaux souterraines (bassin versant hydrogéologique).

Le bassin versant topographique sous-entend que le sol est imperméable. Les bassins versants hydrogéologiques sont définis non pas à partir des lignes de crêtes topographiques, mais à partir des lignes de crêtes piézométriques (hauteur d'eau dans le sol).



**Figure 2:** Bassin topographique



### 1.4 Instabilité des versants

Les mouvements de terrains sont parmi les phénomènes les plus affectant les versants. Ils sont extrêmement variés par leur dimension, leur morphologie et leur évolution cinématique. Ils provoquent une modification du versant et se produisent lors des périodes pluvieuses avec des précipitations prolongées, tremblements de terre et/ou de l'action conjuguée de facteurs géologiques et géomorphologiques divers. Ce problème constitue à l'heure actuelle l'une des préoccupations majeure des ingénieurs.

### 1.5 Les différentes formes d'instabilités

Il existe différentes formes d'instabilités des bassins naturels telles que les glissements, reptation et fluage, coulées, sapements...etc.

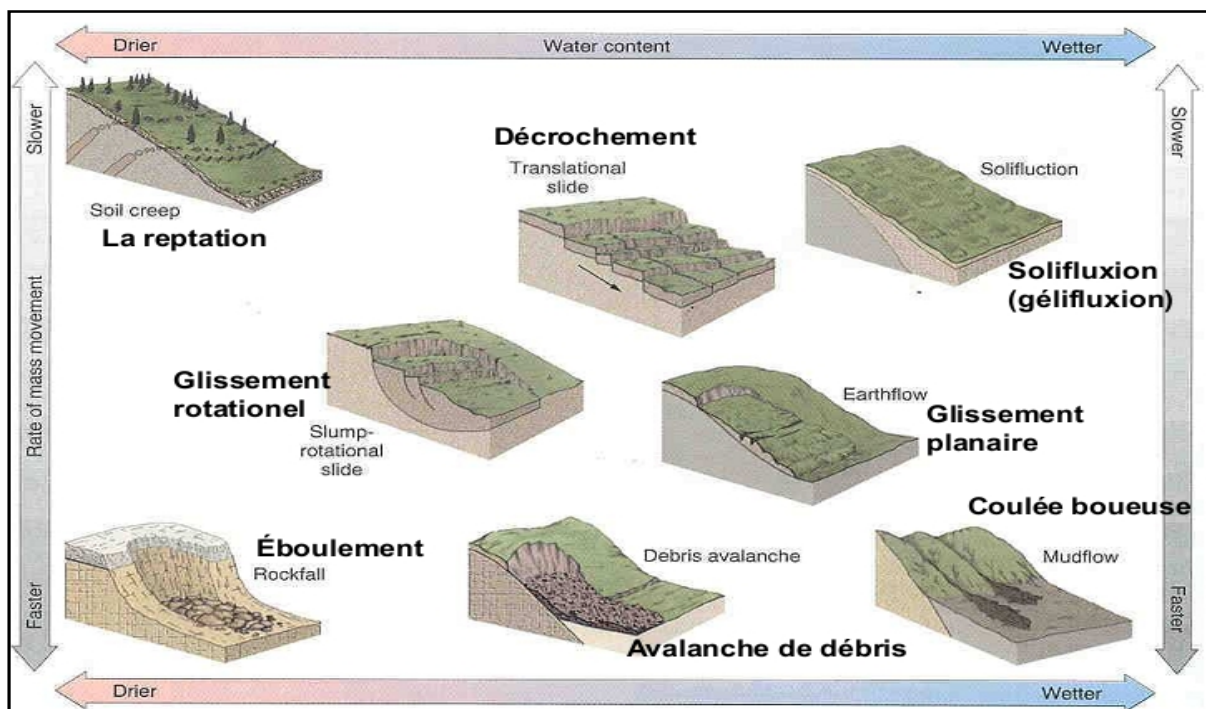


Figure 3: Les formes d'instabilités

Les phénomènes de l'instabilité sont généralement classés comme suit :

#### 1.5.1 Les mouvements de masses lents

Ce type de mouvement est caractérisé par sa progression très lente, on peut citer :

- a- **Reptation** : La reptation désigne un lent mouvement du sol (mesurée en mm/an) ou des formations rocheuses vers le bas des versants. Les facteurs de perturbation sont: humidité/séchage, chaleur/froid, creusement, labours, séismes,...

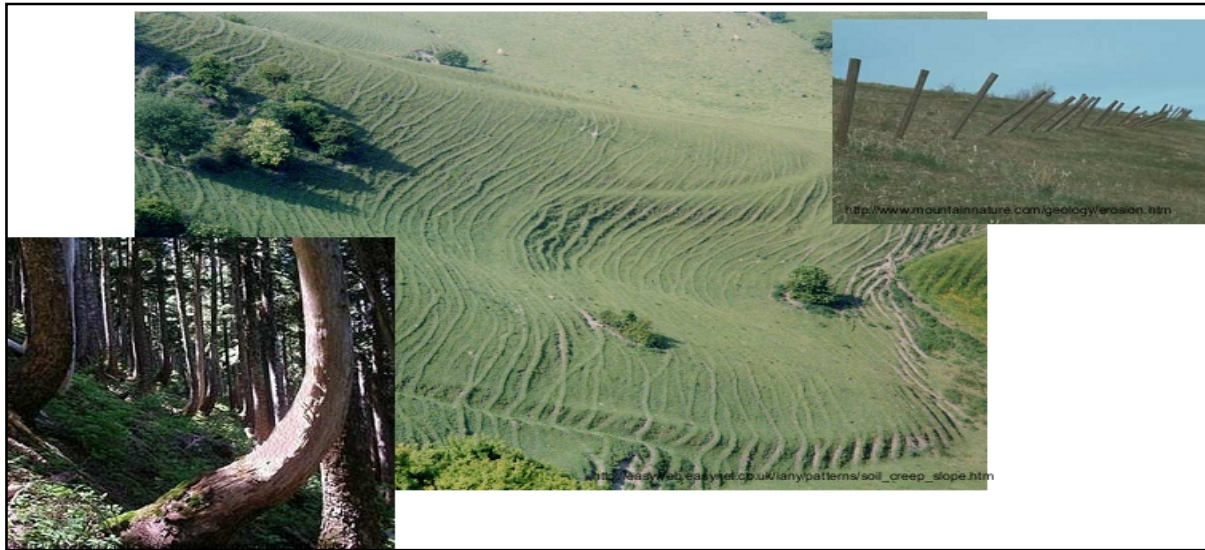


Figure 4: Le phénomène de reptation

- b- **Le fluage** : Les phénomènes de fluage correspondent à des mouvements lents dus à des sollicitations atteignant le domaine plastique donc proche de la rupture. L'état ultime peut être soit la stabilisation, soit la rupture. [1]

Il se caractérise par l'absence de cisaillement, et de surface de glissement, et affectent principalement les versants naturels.

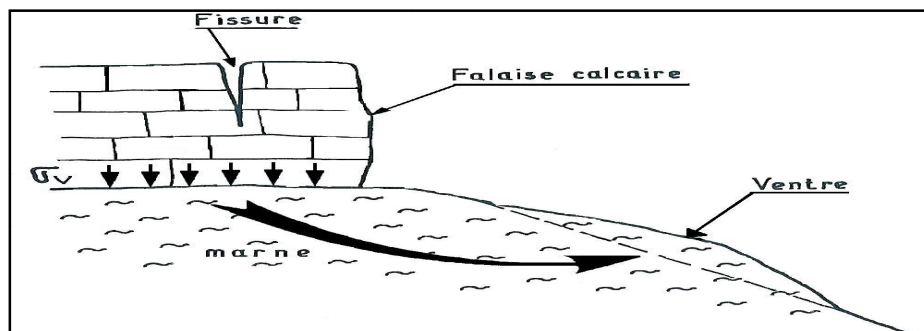


Figure 5: Exemple d'un fluage [1]

### 1.5.2 Les mouvements de masses rapides sans plan de cisaillement

- Chute rapide et catastrophique
- Pas de plan de cisaillement
- La teneur en eau n'entre pas en considération

- Affectent des roches rigides et fracturées (calcaire, grès, roches cristallines,...)
- Éboulement, écoulement et effondrement sont plus ou moins synonymes...
- On parle davantage d'écroulement quand une importante masse rocheuse tombe en se désagrégant et « roule » sur une certaine distance.
- On utilise davantage le terme d'effondrement quand il y a affaissement d'un plafond.



**Figure 6:** Chute de blocs



**Figure 7:** Eboulement

### 1.5.3 Mouvements de masse rapides avec plan de cisaillement (les glissements de terrains)

Un glissement de terrain est un mouvement de masse qui se développe généralement dans des matériaux meubles, et exclusivement dans les formations limono-argileuses, Il se produit dans des circonstances très variées, affectant des ouvrages construits par l'homme, ou tous simplement des pentes naturelles.

L'importance des glissements de terrains peut aller des petits décrochements de quelque mètres cubes sur les versants, jusqu'au glissement de grande importance de plusieurs kilomètres cubes.

Les facteurs les plus importants qui influent sur la stabilité d'une pente sont :

- L'inclinaison par rapport à l'horizontale.
- Le matériau constitutif.
- Présence de nappes aquifères
- Action sismique ou tous types de vibrations.
- Les chocs (explosion).
- Les surcharges en amont.
- La structure géologique (succession des couches, pente des lits et failles...).

Parmi les glissements de terrains avec apparition de plan de cisaillement on cite :

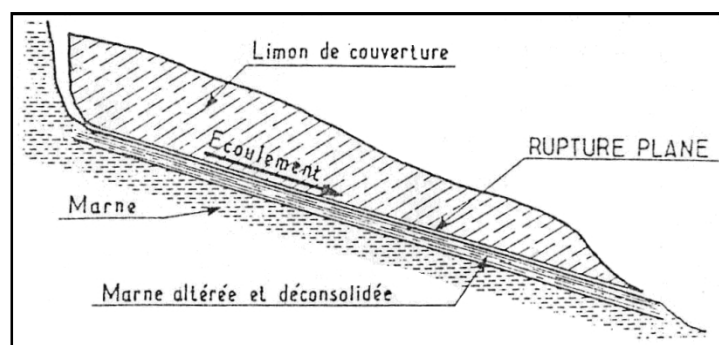
**a- Les glissements plans :** Le terrain se glisse le long d'une pente sous forme de translation sur un plan incliné. En général ce plan est prolongé vers le haut par une fissure de traction. Le plan de glissement s'établit dans la majorité des cas, sur une discontinuité du milieu par :

- Joint de stratification, dans le cas d'une série sédimentaire à pendage aval
- Surface de contact entre un terrain de couverture et le substratum
- Plan de faille

La rupture peut alors correspondre au cisaillement d'une couche de faible résistance, ou le glissement sur un joint séparant deux formations de nature différente. Ce type de glissement est donc avant tout conditionné par la structure de la formation et la présence de discontinuité en aval.

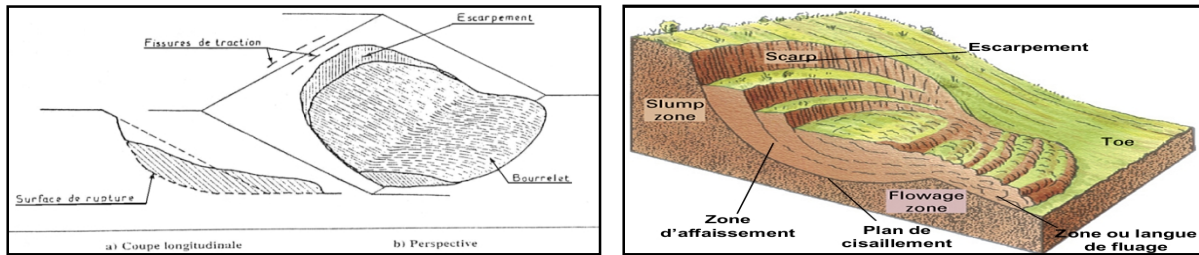
Les causes qui déclenchent ou accélèrent les glissements plans sont :

- Les terrassements ou les fouilles creusées au pied du versant, dans ce cas la position du plan de glissement dépend en partie de la profondeur de la fouille.
- Les joints argileux sont particulièrement favorables aux déclenchements de glissements plans. Lorsque les terrains qui les surmontent sont perméables, les eaux d'infiltration sont arrêtées par ces joints qui se ramollissent et jouent un rôle de « couche savon » pour les formations sus-jacentes [2].



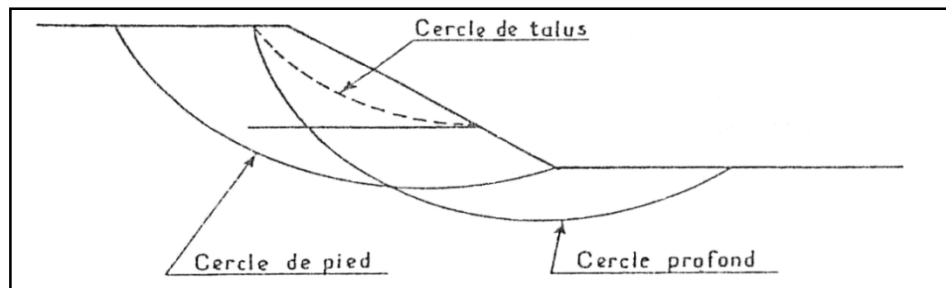
**Figure 8:** Glissement plan [1]

**b- Les glissements rotationnels :** Ils se développent en principe dans les milieux homogènes et isotropes, c'est à dire non affectés par la présence de discontinuité géologique.



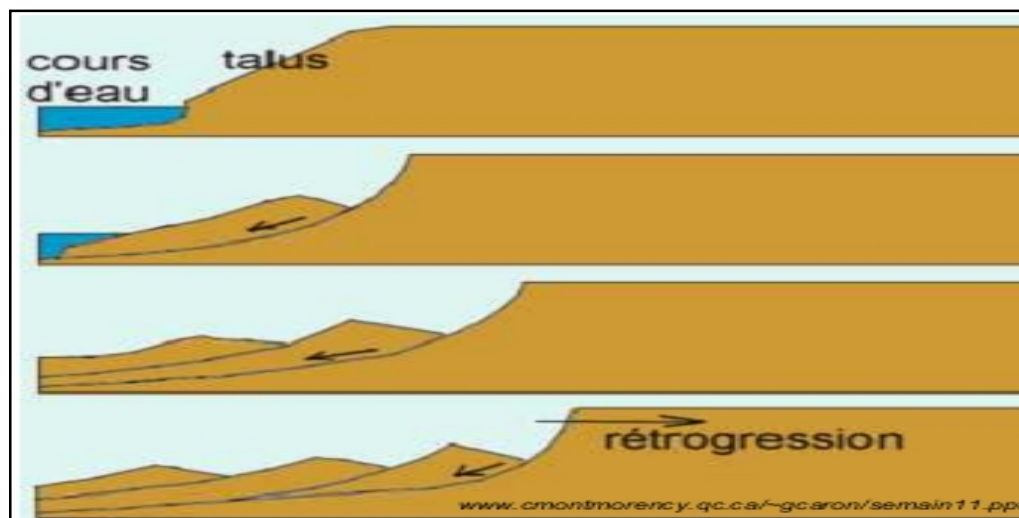
**Figure 9:** Glissement rotationnel [1]

Le surface de rupture est creuse et a l'allure d'une cuillère, la coupe latérale a une forme circulaire, ce qui permet d'admettre que le mouvement est une rotation de la masse instable autour d'un centre fictif.



**Figure 10:** Différents types de rupture circulaire [1]

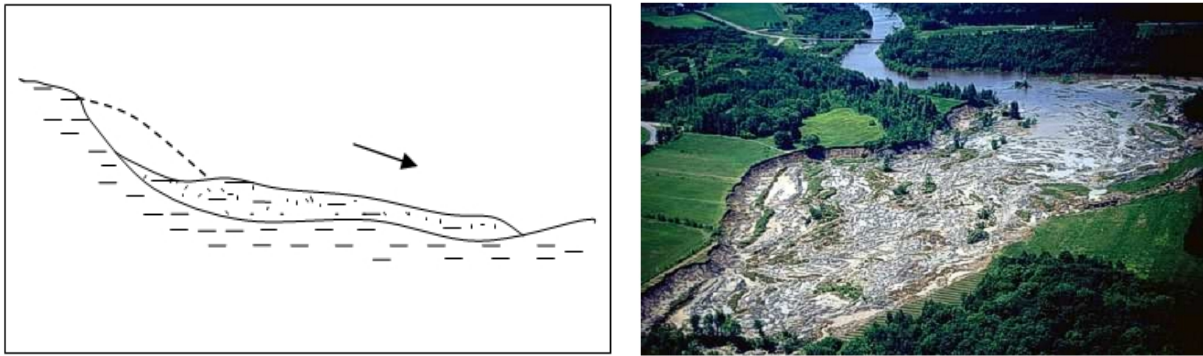
**c- Les glissements rétrogressifs :** Ce Type de glissement est généralement caractérisé par un reculement par étapes. Quand un pan de versant se détache en bordure, le pan suivant est déstabilisé et finit par glisser à son tour. Le glissement se stabilise quand la pente atteint un équilibre.



**Figure 11:** glissements rétrogressifs

### 1.5.4 Les mouvements de masses rapides (les coulées)

- a- **Les coulées boueuses** : Sont des écoulements visqueux ou fluides de matériaux sans cohésion ou ayant perdue leur cohésion dès la mise en mouvement, qui peuvent cheminer sur des centaines de mètres et sur des pentes de quelques degrés seulement. Plus le milieu est fluide, plus le phénomène est brutal et étendue. Les matériaux susceptibles de perdre leur cohésion sont les argiles, les limons, ou des éboulis fins.



**Figure 12:** Schéma d'une coulée boueuse [6]

Lors d'un phénomène de coulée boueuse ;

- Le degré de remaniement est total.
- La vitesse et la distance parcourue par une coulée boueuse est très variables. Elles dépendent de nombreux facteurs comme la nature des matériaux, la viscosité du mélange, la topographie, la saturation des sols sur lesquels se déplace les coulés.

Les caractéristiques des coulées boueuses sont les suivantes :

- Les matériaux sont meubles, hétérogènes, à matrice argileuse.
- Le phénomène se déclenche lorsque le matériau dépasse une teneur en eau limite ( $W_l$ )

### 1.5.5 Les affaissements et effondrements

Les affaissements et les effondrements sont des mouvements gravitaires à composante essentiellement verticale qui résultent généralement de l'évolution des cavités souterraines. Ils se manifestent par un fléchissement lent et progressif des terrains de couvertures dans le cas des affaissements, et par une rupture brutale du toit d'une cavité dans le cas des effondrements. Ces cavités peuvent être d'origine naturelle ou artificielle [3] :

- **Cavités naturelles**

Elles se forment dans certaines formations géologiques sensibles à l'action de l'eau (phénomène de dissolution). En s'infiltrant dans les fissures naturelles du sous-sol, l'eau chargée en gaz carbonique engendre la dissolution des roches carbonatées et forme des entonnoirs de dissolution et parfois d'énormes cavités karstiques.

- **Cavités artificielles**

Elles sont créées par les activités humaines : anciennes exploitations de ressources minérales (mines, carrières), puits, infrastructures souterraines (tunnels, caves à vin...).



**Figure 13:** Cavité Artificielle



**Figure 14:** Cavité Karstique naturelle

Les affaissements de grandes extensions se produisent généralement au-dessus des zones d'exploitation profondes, tandis que les effondrements naissent plutôt au-dessus des zones d'exploitation à faible profondeur.

Pour lutter contre ces phénomènes, il est nécessaire de s'assurer que les terrains envisagés à supporter des constructions ne sont pas situés au dessus des cavités, ou bien eux même ne sont pas exposés aux phénomènes ayant tendance à créer des vides (phénomènes de karstisation, lessivage...etc.) [2].

## **2. Principales causes de l'instabilité des versants**

### **2.1 Introduction**

L'instabilité des versants est due à une ou plusieurs causes concomitantes. Ces causes sont soit naturelles telles qu'une forte pluie, l'érosion d'une berge, ou un séisme, soit artificiellement issues d'une activité humaine, telles que les travaux de terrassement, ou la déforestation.

Pour analyser le mécanisme d'une rupture, il convient de bien repérer les divers facteurs susceptibles d'intervenir et de créer une hiérarchie entre eux.

C'est seulement lorsque les causes d'une instabilité sont clairement établies, qu'il devient possible d'examiner avec quelque chance de succès les dispositions confortatives capable de redonner au site sa stabilité [2].

### **2.2 Les causes de l'instabilité**

Les causes envisageables dans l'étude d'une instabilité des versants peuvent se rattacher à trois catégories :

#### **2.2.1 La nature des terrains constituant le versant**

Généralement c'est l'ensemble des données géologiques et géotechnique qui caractérisent le terrain.

##### **a- Les types de sols vulnérables à l'instabilité**

Par leur nature propre, certains terrains sont prédisposés à l'instabilité il s'agit :

- Des terrains à granulométrie fine ; silts et limons.
- Des argiles, surtout celle constituées par des montmorillonites.
- Les formations de couverture sont fréquemment constituées de matériaux d'altération en place, d'éboulis de pente, souvent d'un mélange à dominance argileuse, elles sont donc particulièrement vulnérables aux glissements.



## **b- Modification des caractéristiques du sol par remaniement**

Les sols remaniés tel que les remblais sont très exposés à des instabilités. Le remaniement modifie d'une manière partielle voir entière les caractéristiques de résistance du sol, soit la résistance à la compression et/ou la résistance au cisaillement ce qui joue un rôle néfaste pour les versants naturels et les talus.

### **2.2.2 L'influence de l'eau sur la stabilité des versants**

Lorsque l'eau s'infiltré dans le sol, elle prend la place qu'occupait l'air dans les interstices, les fissures et les cavités. L'eau étant plus lourde que l'air, le terrain peut se retrouver surchargée, ce qui joue en faveur de la gravité au détriment de la force de cohésion.

Dans les sols cohérents (les argiles), l'eau est aussi à l'origine d'un autre processus de déstabilisation, car elle détermine en grande partie leur comportement. Lorsqu'un sol cohérent se charge en eau, les particules s'éloignent les unes des autres, sous l'effet de ce que l'on appelle la pression interstitielle. A mesure que cette pression s'intensifie, la force d'attraction qui unit les grains diminue et ils se mettent progressivement à évoluer indépendamment les uns des autres.

La consistance d'une masse initialement compacte et rigide se rapproche alors de celle d'une pâte. C'est exactement ce que l'on observe en poterie, quand on mouille la terre pour la ramollir et parvenir à la modeler. Si l'on ajoute encore de l'eau, elle peut même se liquéfier et se mettre à évoluer comme un liquide visqueux.

Il arrive donc, lorsqu'il pleut en quantités suffisantes, que des coulées de boue de tailles variables se forment sur les versants argileux. Il peut s'agir de petites coulées qui se développent en surface. [10]

### **2.2.3 Pente des talus**

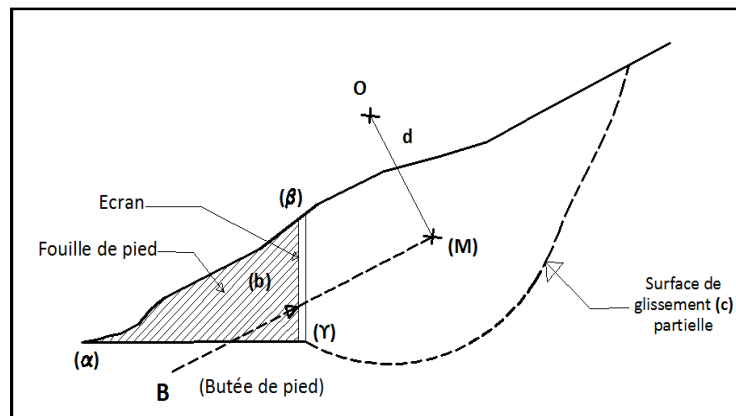
La pente d'un talus représente un paramètre qui conditionne sa stabilité, on remarque que suivant la forte pente, les instabilités sont plus importantes, et à faible pente sont moins importants.

Pour les versants argileux, la notion « pente d'équilibre naturelle » n'a pas de sens puisqu'elle dépend essentiellement de la teneur en eau du milieu, or cette teneur en eau varie indéfiniment en fonction notamment des cycles pluviométriques.

### 2.2.4 Suppression de la butée de pied d'un versant

Si B est la butée du pied fournie par le coin de terre (b), l'élimination de coin réduit de la valeur (Bxd), le couple stabilisateur qui agit sur la masse de terre (m) en équilibre limite sur le cercle de glissement (c). En plus de cette action, l'entaille du point (b) favorise le drainage des eaux qui s'écoulent dans le versant.

La suppression de la butée de pied peut avoir plusieurs origines :



**Figure 15:** Suppression de la butée de pied de talus

#### a- Par terrassement

Lorsque le terrassement est effectué en période sèche, le glissement n'apparaît en général qu'aux premières pluies; la rupture peut alors être brutale.

Sur certains sites à stabilité précaire, une simple ouverture d'une petite tranchée de canalisation suffit à déclencher un glissement de grande ampleur par développement du processus rétrogressifs.

La meilleure règle de sécurité consiste à réaliser l'ouvrage de soutènement qui doit venir remplacer le coin de la butée supprimée par le terrassement.

#### b- Par affouillement ou érosion régressive

Dans les vallées, il arrive qu'en période de crue, la rivière affouille ses berges dans les boucles concaves, cette affouillement entraîne une suppression de la butée de pied ; elle est à l'origine de glissements de grands ampleurs dans les régions montagneuses. Les terres qui glissent étant au fur et à mesure évacuées par les eaux.

Le processus n'a aucune raison de s'arrêter, par ailleurs, les fortes pluies qui sont à l'origine d'une crue, détrempe également les terrains du site lui-même et donc les rendent au même temps plus vulnérables à l'instabilité.

### **2.2.5 Implantation des surcharges sur un versant**

Il peut s'agir d'un remblai, d'un immeuble fondé superficiellement, d'un mur de soutènement...

Lorsqu'elles sont placées en partie haute ou à mi-pente d'un versant, les surcharges sont fréquemment à l'origine de glissement de terrain. Elles créent en effet un moment moteur favorable à l'apparition d'une rupture.

La surcharge peut aussi, dans un premier temps déclenché une petite rupture qui amorce un glissement d'ensemble par ripage, la force de ripage est également accrue par la surcharge.

A l'inverse de ce qui vient d'être dit, les surcharges de pied de versant, par le couple stabilisateur qu'elles apportent, accroissent pratiquement toujours la stabilité du site.

### **2.2.6 L'effet de déboisement**

Le déboisement d'un versant entraîne fréquemment, et dans un délai généralement assez court, une instabilité des versants.

Le risque associé au déboisement est accrue lorsque celui-ci est accompagné d'un dessouchage qui désorganise le terrain en profondeur et favorise ensuite la pénétration des eaux dans la masse. Le rôle stabilisateur des arbres tient à plusieurs facteurs :

- L'ancrage par les racines
- Le drainage par évapotranspiration
- La rétention des eaux de pluie
- La protection contre l'érosion

### **2.2.7 Le risque sismique**

Le séisme, que l'on appelle plus couramment tremblement de terre, est la manifestation du passage d'ondes dans le sol. Par l'action de ces vibrations, les différents terrains ondulent selon leurs propres caractéristiques.

Mais si l'énergie du séisme est supérieure à la capacité de vibration du terrain, alors celui-ci devient instable. D'où la création de nouvelles fractures qui peuvent amener à des glissements de terrain.

Toutefois, ce sont les fractures déjà existantes qui sont les plus grandes zones de faiblesse lors d'un séisme. Ce sont aussi des zones qui ont tendance à canaliser les ondes sismiques lorsque se produisent des tremblements de terre. C'est pourquoi on observe souvent des mouvements de terrain dans les zones où il existe de nombreuses discontinuités.

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

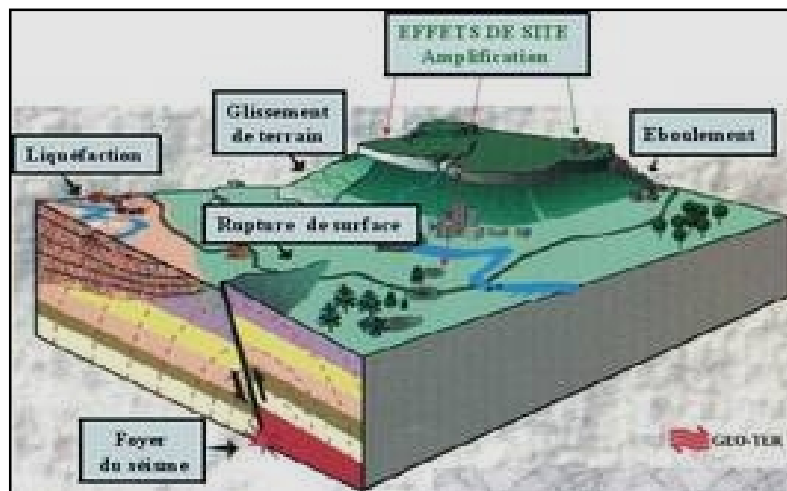


Figure 16: L'incidence des séismes sur les mouvements de terrain

## Processus d'étude de l'instabilité des versants

### 2.1 Introduction

Une étude efficace doit nécessairement combiner l'approche géologique et l'approche mécanique dans le but d'envisager des solutions adéquates au phénomène d'instabilité des versants.

Avant d'exposer les différentes méthodes d'analyse de l'instabilité, il est évident d'indiquer les diverses étapes d'une étude, ou ce qu'on appelle l'étude préliminaire qui doit être réalisée dans le site et qui permet de repérer très tôt les secteurs critiques susceptibles d'avoir un problème d'instabilité. Cette étude nécessite la succession des étapes suivantes :

## **2.2 Repérage de la zone instable**

### **2.2.1 Repérage topographique**

Les cartes topographiques à petite échelle disponibles sont insuffisantes pour repérer les zones instables, il convient donc pour un mouvement bien localisé d'entreprendre un levé topographique à grande échelle de la zone en mouvement et d'en tirer un plan en courbes de niveau [4].

### **2.2.2 Les observations des indices d'instabilités**

Dans la nature, trois types de zones peuvent être distinguées :

Zone active, zone en mouvement permanent lent et zone stable. Ces zones peuvent être facilement distinguées sur le terrain, par un bon observateur, en se basant sur divers indices caractéristiques des mouvements et parmi lesquels on peut citer :

- Les arbres, verticaux ou penchés, droits ou tordus, ils constituent les repères les plus courants et souvent les seuls en zones non urbanisées.
- Le déplacement ou l'inclinaison des poteaux électriques ou téléphoniques constitue des bons indices d'un mouvement actif.
- Les fissures observées sur les murs de construction ou de soutènement fournissent des bons repères.
- Les fissures ouvertes observées au niveau des routes et chemins de transport constituent des témoins de l'existence d'un mouvement récent et actif [5].

## **2.3 L'examen du contexte géologique du site**

La connaissance de la nature géologique des terrains rencontrés, leurs épaisseurs, leurs pendages et directions constitue une étape fondamentale dans l'étude de l'instabilité d'un versant. C'est le travail de base qui permet en suite une implantation efficace des sondages, et des essais géotechniques à réaliser. Donc il n'est possible de faire une étude de stabilité correcte sans faire une étude géologique approfondie au préalable [6].

L'étude géologique doit cerner l'ensemble du versant, elle est basée sur la réalisation de plusieurs coupes géologiques selon les lignes de plus grande pente, permettant d'estimer la profondeur de la surface de rupture et de localiser les zones de faible ou forte résistance mécanique (couche d'argile molle ou substratum rocheux), celle-ci se fait par observation des couches à l'affleurement. Ces observations seront précisées par d'autres moyens d'investigation tels que le creusement de puits et la réalisation de sondages de reconnaissances.

Il faut vérifier aussi, le pendage et la direction des plans de stratification et de schistosité, car si le pendage est dans le même sens que le versant, il est également défavorable pour la stabilité du versant. Ce cas est très fréquent dans les glissements plans où la surface de discontinuité constitue un plan de glissement, surtout en présence d'écoulements à travers cette surface [5].

## **2.4 Climat de la région**

En se basant sur les renseignements fournis par les stations météorologiques les plus proches du site, la quantité des précipitations ressentie par le site peut jouer un rôle important dans la stabilité du versant. Il est à noter que les précipitations de quantité moyenne et persistantes sont plus dangereuses pour la stabilité d'un versant que les fortes averses de courte durée. Les premières favorisent une infiltration poussée et donc une imprégnation plus profonde et importante des terrains, les secondes se dissipent en grande partie par ruissellement, sans modification considérable de la teneur en eau des terrains profonds [2].

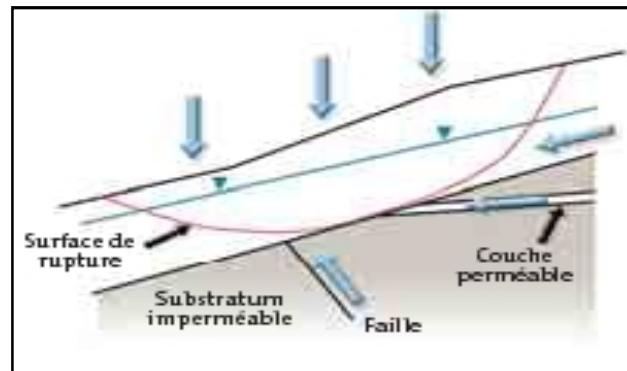
## **2.5 Hydrologie de surface**

L'étude hydrologique du site consiste à estimer la quantité relative des eaux infiltrées et ruisselées, et de repérer les principales zones d'infiltration des eaux de surface qui sont généralement les zones à forte perméabilité et à fissures ouvertes.

## **2.6 Hydrogéologie du site**

Etant donné le rôle primordial que joue l'eau dans l'instabilité des pentes, l'étude hydrogéologique est très importante. Elle a pour but de connaître la répartition des pressions interstitielles dans le sol, et leur évolution dans le temps et de localiser les zones aquifères, afin de faciliter l'installation des piézomètres et l'implantation des drains.

Il sera toujours utile de procéder à l'analyse chimique des eaux souterraines pour connaître leur effet sur les formations et les terrains avoisinants (argiles, roches carbonatées). [5].



**Figure 17:** Types d'alimentation en eau dans un glissement de terrain

## 2.7 Reconnaissance géophysique

Par leur coût faible et leur rapidité de mise en œuvre, les méthodes géophysiques peuvent contribuer d'une manière très importante à l'étude d'un versant, telle que :

- La prospection électrique de subsurface qui permet de détecter les eaux souterraines et aussi de connaître les couches qui peuvent constituer des plans de rupture (ex : couche d'argile humide).
- La prospection sismique, en particulier la sismique réfraction, qui permet d'avoir une idée sur l'épaisseur de la masse en mouvement dans laquelle la vitesse de propagation des ondes sismiques est inférieure à celle de la masse stable située en dessous [5].

D'une façon générale la mise en œuvre de la prospection géophysique permet de compléter les étapes précédentes par les informations qualitatives et/ou quantitatives suivantes [11]:

- Estimation des épaisseurs de terrains de couverture (éboulis notamment) par rapport au toit du substratum.
- Présence d'une fraction argileuse dans les terrains de couverture.
- Etat d'altération de la couverture superficielle.
- Présence d'eau superficielle.

## 2.8 Reconnaissance géotechniques

Le moyen le plus directe et le plus exacte de définir le sol (géologie, mécanique, hydrologie...) est l'étude géotechnique. Elle intervient au différent stade d'un projet (avant

projet sommaire, avant projet définitif, au cours de la réalisation et en fin de projet (expertise)).

Le programme d'une étude géotechnique doit être établi selon le type et l'ampleur du problème exposé, et cela pour une reconnaissance optimale et une résolution du problème qui sera adéquate.

### 2.8.1 L'enquête préliminaire

Le géotechnicien doit avoir une approche à la fois naturaliste et technique des problèmes. Pour mener à bien sa mission, sa première tâche, lorsqu'on lui en laisse l'initiative, est de définir le programme de reconnaissance.

Ce dernière devra être complétée, bien réfléchi et adaptée à la fois au site et à l'ouvrage. Elle devra en particulier permettre de définir :

- La géologie.
- Les caractéristiques physiques, mécaniques et chimiques des sols
- Le régime hydrogéologique et hydrologique.

Et ne pas se limiter obligatoirement à l'emprise du projet, mais être éventuellement étendue à son voisinage, ce que l'on peut appeler «le site géotechnique» ou encore le périmètre géotechnique de protection.

Afin d'établir ce programme, le géotechnicien doit appréhender à priori les problèmes particuliers liés au site vis-à-vis du projet, et préjuger des solutions qui en résulteront. Il va donc se lever à une enquête portant, notamment, sur :

- La visite du site avec examen des ouvrages voisins,
- L'étude des cartes topographiques, géologiques et des photos aériennes
- La consultation des documents relatifs aux risques naturels (carte de carrières, plan d'exposition au risque naturels, carte sismique,...)
- L'utilisation de banques de données

Avant de s'engager dans un projet, il est souhaitable que ces premières phases d'étude fassent l'objet d'une mission spécifiée confiée à des géotechniciens. En effet les campagnes d'investigations sont parfois définies par le donneur d'ordre, sans tenir compte des particularités du site, ce qui peut conduire à de graves déboires [1].



### 2.8.2 Sondages mécaniques et essais in-situ

Les sondages mécaniques (les sondages carottés, essais pressiométriques, essais de pénétration statiques et dynamiques...), donnent beaucoup de renseignements sur le sous-sol. Ils fournissent une coupe lithologique précise des terrains rencontrés. Ils doivent être implantés après une étude géologique approfondie et une campagne géophysique détaillée [6].

Ils sont également très utiles pour :

- Fournir une définition géologique précise du site étudié.
- Confirmer l'épaisseur des formations rencontrées.
- Définir la géométrie de la masse en mouvement.
- Localiser la position de la surface de rupture.
- Repérer le niveau piézométrique des nappes rencontrées.
- Mesurer les caractéristiques physiques et mécaniques des formations du site concerné par des essais géotechniques en laboratoire.
- Installation des inclinomètres pour la surveillance de l'évolution des mouvements du terrain.

L'espacement à adopter entre les sondages est donné par l'hétérogénéité du site et par l'importance du projet lui-même. Certains sondages doivent être implantés à l'intérieur de la zone instable et d'autres à sa périphérie.

La longueur et l'orientation des forages doivent être choisies de façon à permettre de traverser la surface de rupture et d'arriver au substratum stable [2].

### 2.8.3 Essais géotechniques en laboratoire

Le repérage de la surface de rupture est confirmé par un constat visuel, et par des essais in-situ, complétés par des essais en laboratoire dans le but de déterminer les caractéristiques physiques et mécaniques du sol.

Comme complément des investigations citées ci-dessus, nous citons ci-après les différents essais de laboratoire, qui permettent de déterminer quelques caractéristiques physiques et mécaniques du sol. Les paramètres à déterminer sont les suivants :

- Identification granulométrique qui permet de déterminer la dimension des constituants de l'échantillon et leur proportion.
- Teneur en eau qui permet de caractériser le degré d'humidité du sol.
- Détermination des limites d'Atterberg ou de la valeur au bleu de méthylène sur un sol, qui permet de caractériser sa consistance et l'argilosité des sols.
- Détermination des paramètres de cisaillement d'un sol : angle de frottement  $\phi$  et cohésion  $C$ .
- Mesure de la pression interstitielle (triaxiale).
- Densités.

Cette méthodologie concerne en particulier, l'étude d'un mouvement de terrains actif, mais elle peut être appliquée à l'étude de la stabilité d'un versant avant l'apparition de tous indices de mouvements pour éviter tout désordre pouvant apparaître au cours ou après la construction d'un ouvrage, et qui peut conduire à des problèmes difficiles à résoudre.

## **Méthodes de confortement**

### **2.1 Introduction :**

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

- Implanter ou déplacer le bâtiment, l'ouvrage d'art ou la route en dehors de la zone en mouvement, dans un secteur reconnu comme stable
- Concevoir l'ouvrage de telle sorte qu'il ne soit pas endommagé par le mouvement de terrain : soit en résistant aux efforts apportés par le mouvement de terrain (solution réservée aux petits mouvements), soit adaptant le mode de construction de sorte que les fondations soient dissociées du sol en mouvement. présente le principe d'un dispositif de fondation sur pieux dans un glissement

Si ce type de solution n'est pas retenu, on est amené à conforter la pente avec l'une des techniques présentées ci-après. [9].

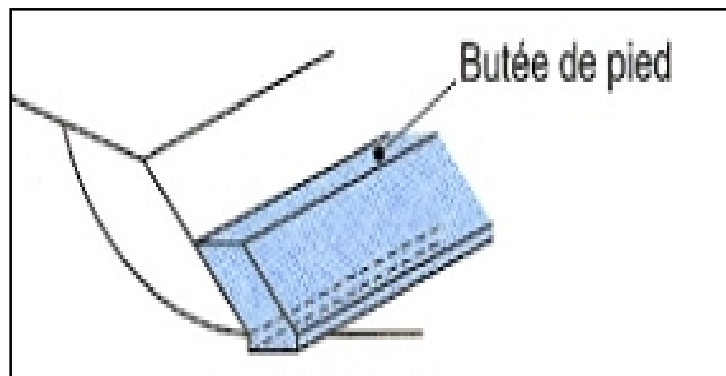
## 2.2 Terrassements

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

- Les actions sur l'équilibre des masses : allègement en tête, remblai en pied
- Les actions sur la géométrie de la pente : Reprofilage
- Les substitutions partielles ou totales de la masse instable

### 2.2.1 Remblai de pied des talus

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



**Figure 18:** La butée de pied

### 2.2.2 Allègement en tête

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

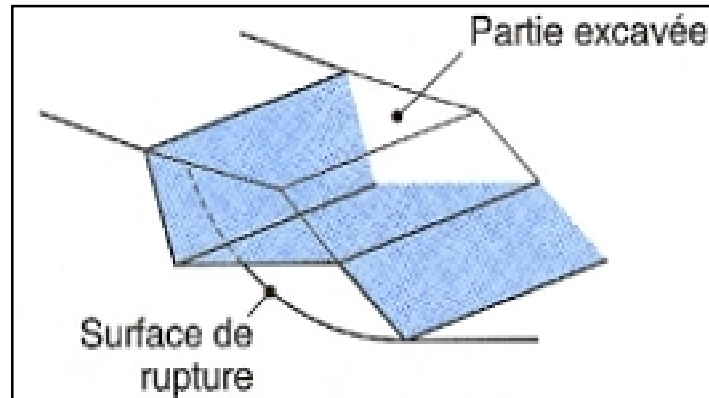


Figure 19: Allègement en tête

### 2.2.3 Reprofilage

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

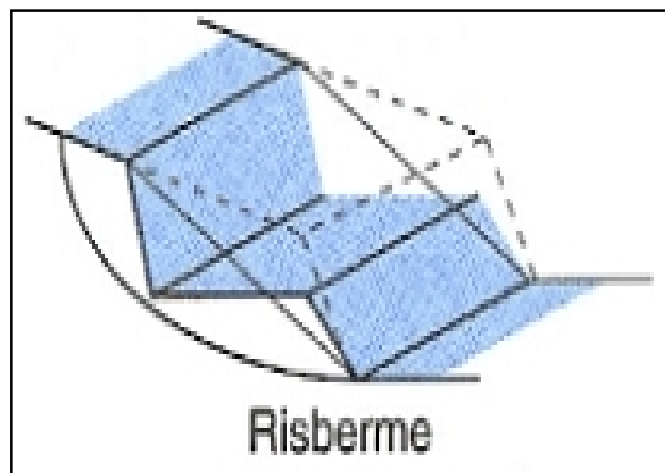


Figure 20: Reprofilage

## 2.3 Dispositifs de drainage

Dans la plupart des cas de glissements, l'eau joue un rôle moteur déterminant. Par conséquent on utilise couramment les techniques de drainage, qui ont pour but de réduire les pressions interstitielles.

C'est donc en termes de diminution de pression interstitielle, qu'il faut évaluer l'efficacité d'un dispositif de drainage. Les différentes techniques qui peuvent être mises en œuvre pour atteindre cet objectif relèvent de deux options fondamentales :

- Eviter l'alimentation du site en eau
- Expulser l'eau présente dans le massif instable

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

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

### 2.3.1 Collecte et canalisation des eaux de surface

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

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

### 2.3.2 Tranchées drainantes

Les tranchées drainantes, sont des ouvrages couramment utilisés pour rabattre le niveau de la nappe. Elles sont implantées sur le site de façon à venir recouper les filets d'eau (lignes de courant dans un horizon homogène, couche aquifère, venues d'eau ponctuelles,...).

Le choix de l'implantation (dans le sens de la plus grande pente ou dans un sens parallèle aux lignes de niveau, ou encore en épis), de la profondeur et de l'espacement des tranchées, dépend des résultats de l'étude hydrogéologique et conditionne l'efficacité du drainage.

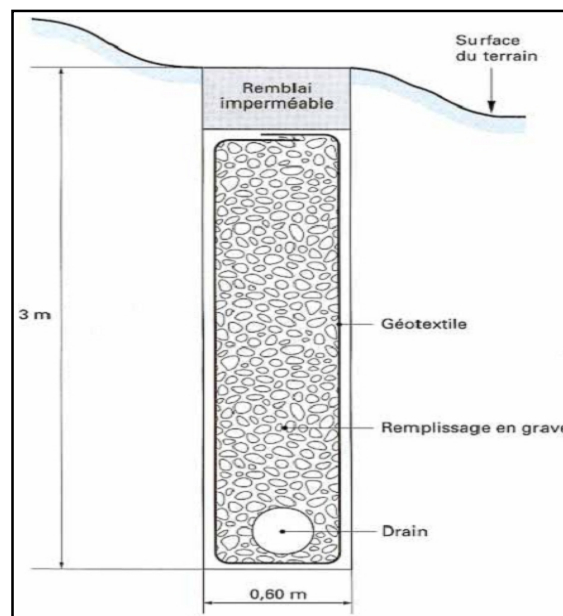


Figure 21: Coupe d'une tranchee drainante

### 2.3.3 Drains subhorizontaux

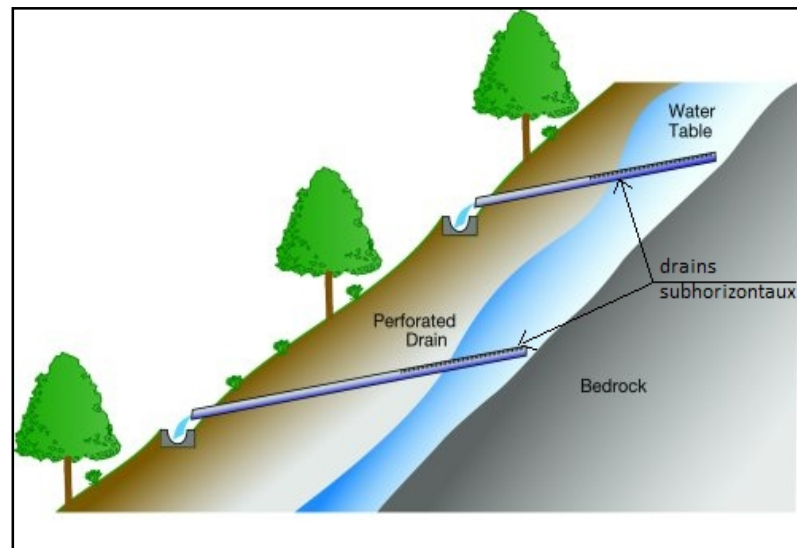
Lorsque les contraintes d'accessibilité du site ou les conditions de circulation empêchent la réalisation de tranchées, la réalisation de drains subhorizontaux peut permettre de diminuer les pressions interstitielles et de décharger les aquifères localisés.

La technique consiste à réaliser de nombreux forages avec une faible pente par rapport à l'horizontale ( $2^{\circ}$  à  $5^{\circ}$ ) et à placer des tubes crépines [9].

Ces tubes sont généralement en PVC (50 à 80 mm de diamètre), parfois en acier lorsque de grandes déformations sont susceptibles de se produire. Un dispositif de captage des eaux recueillies dans les drains avec un exutoire adapté complète l'ensemble. Les drains subhorizontaux sont disposés en un ou plusieurs faisceaux ou plus simplement en lignes.

Cette technique s'emploie dans de nombreuses configurations de glissements et dans de nombreuses formations géologiques.

Cependant, les terrains très peu perméables s'y prêtent mal ; en effet, le rayon d'action des drains est dans ce cas très faible. Les drains subhorizontaux permettent en particulier de drainer des couches et des poches aquifères, éventuellement en charge, et des circulations d'eau localisées (dans des fractures, dans des couches de faible épaisseur).



**Figure 22:** Drains subhorizontaux

## 2.4 Introduction d'éléments résistants

On entend par éléments résistants des structures telles que :

- Murs de soutènement
- Tirants d'ancrage et murs ancrés
- Clouages par des barres, des micropieux
- Rangées de pieux, de barrettes ou de profilés métalliques.

Ces techniques ne s'attaquent pas à la cause des mouvements mais visent à réduire ou à arrêter les déformations. Elles sont intéressantes dans les cas où les solutions curatives (terrassements et drainages) ne peuvent pas être techniquement ou économiquement mises en œuvre.

### 2.4.1 Ouvrages de soutènements

Les ouvrages rigides ne sont pas les mieux adaptés à la stabilisation des mouvements de terrain, du fait de leur incompatibilité avec toute déformation; en outre, le dimensionnement doit prendre en compte les efforts très importants engendrés par le mouvement. Lorsque l'ouvrage est correctement ancré et suffisamment résistant vis-à-vis des efforts qui lui sont appliqués, il est fixe. La pratique est de dimensionner l'ouvrage en prenant en compte un effort limite de butée du sol en amont, qui est l'effort maximal apporté par les masses en mouvement.

Les ouvrages souples sont des structures obtenues à partir de gabions, de murs cellulaires, ou de sol renforcé par des fils, par armatures synthétiques ou métalliques, par nappes de géotextiles, par grilles métalliques.

Ces ouvrages fonctionnent comme des massifs poids. On les dimensionne en deux phases : vis-à-vis de la stabilité interne selon une méthode propre à chacune des techniques, et vis-à-vis de la stabilité externe.

Ces techniques, qui admettent les déformations du sol, sont utilisées plus couramment que les murs rigides.

### 2.4.2 Tirants d'ancrages

Le principe consiste à réduire les forces actives du glissement et à accroître les contraintes normales effectives sur la surface de rupture. Pour ce faire, on ancre des tirants constitués de câbles d'acier multi-torons dans le terrain stable situé sous la surface de rupture, et on applique en tête un effort de traction. Cet effort peut être réparti sur la surface du terrain par l'intermédiaire de plaques ou de petits massifs en béton armé. Dans de nombreux cas, les tirants sont combinés à un mur ou à des longrines [9].

Il est prudent de se réserver la possibilité de venir reprendre la tension dans les tirants, aussi bien en cas d'augmentation que de diminution de celle-ci. Pour ce faire, il est judicieux de prévoir un suivi régulier des déformations du terrain (par le biais de tubes inclinométriques) et quelques cales dynamométriques pour la surveillance des tensions dans les tirants.



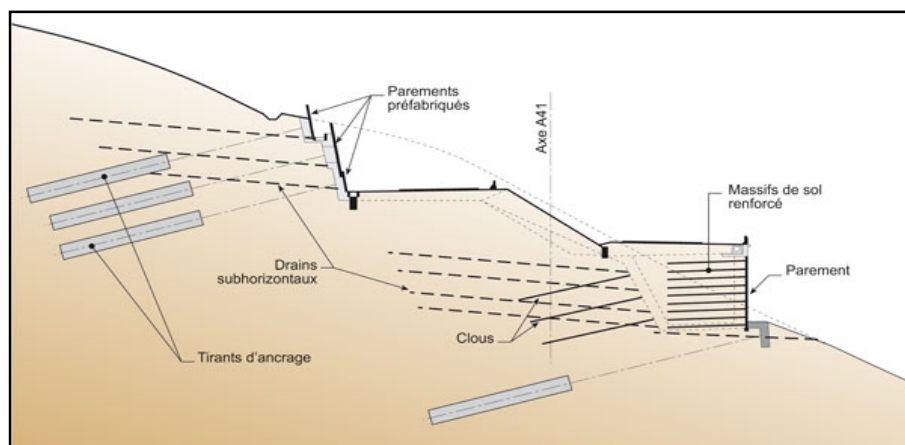
### 2.4.3 Renforcement par inclusions

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

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

La stabilisation d'un glissement de terrain par clouage repose sur le principe suivant : la partie supérieure du massif en mouvement engendre une déformation des clous ; les efforts qui en résultent sont transmis par les clous au substratum, qui s'oppose alors au mouvement.

L'efficacité du clouage réside dans la mobilisation d'efforts de tractions et de cisaillements dans le clou. Pour que ces efforts stabilisateurs soient mobilisés, il est nécessaire qu'il se produise des déplacements relatifs sol / clou. Le clouage a donc un effet progressif et des mouvements résiduels se produisent encore après le clouage.



**Figure 23:** Clouage d'un glissement

Par ailleurs, on ne peut pas stabiliser par cette technique des glissements de grande ampleur, qui nécessiteraient l'introduction d'efforts considérables. Le dimensionnement d'un ouvrage de confortement par clouage se fera en justifiant une sécurité suffisante vis-à-vis des risques de rupture.

## **2.5 Confortement et traitements complémentaires**

### **2.5.1 Les injections**

On sait en effet que les fissures de cisaillements, de retrait ou de tractions jouent un rôle très négatif dans le développement d'un mouvement de terrain, en favorisant la pénétration des eaux dans la masse en équilibre limite. Toute fois l'efficacité d'une tel obturation suppose que la déformation de la masse ne recouvre pas immédiatement les fissures obturées, il est donc souhaitable, soit de pratiquer l'injection après une première phase de stabilisation (par drainage), soit de revenir à plusieurs reprises.

Dans un terrain occupé par une nappe aquifère, l'injection peut contribuer à réduire la perméabilité du milieu ce qui peut s'accompagné d'un accroissement dangereux de la charge suffisamment profonde, une injection peut par contre par un effet de barrage, détourner l'écoulement d'une nappe de la zone instable et donc améliorer sont équilibre par suppression de la pression de courant.

### **2.5.2 Le reboisement**

Le reboisement représente un moyen économique et souvent efficace. En effet, le rôle stabilisateur des arbres tient à plusieurs facteurs : D'une part, les racines jouent un rôle mécanique par augmentation de la résistance au cisaillement des sols (le rôle d'ancrage par les racines), d'autre part, la couverture végétale influe sur le bilan hydrique du versant en participant au drainage du terrain instable par évapotranspiration. En plus, la couverture végétale lutte contre l'érosion superficielle des sols.

## 2.6 Conclusion

La définition des différentes formes et phénomènes de l'instabilité des versants, aident à mieux les comprendre et avoir une vision élargie de ce phénomène (géométrie, formes de l'instabilité, différentes caractéristiques, ampleur...).

La définition des principales causes de l'instabilité des versants, qui sont liés principalement à des causes naturelles tel que : la nature du terrain, le pendage, présence des eaux, et séisme, et artificielles dues à l'activité humaines tel que : le déboisement, les surcharges en tête des talus, et terrassements...

La méthodologie d'une étude d'instabilité des versants, doit être menée de telles sortes à ce qu'on puisse avoir un enchainement dans l'enquête, qui nous permettra d'envisager les moyens à utiliser pour une récolte maximales des données sur le phénomène, qui seront exploitées pour sa résolution.

Le choix de la méthode de confortement dépend essentiellement des caractéristiques mécaniques, hydrologiques et morphologiques ... des terrains instables.

Les méthodes de confortement peuvent intervenir en modifiant la géométrie du site, réalisation des drains, ou par introduction des éléments rigides (soutènements...).

## Chapitre II Présentation et cadre géologique de la région d'étude

### 2.1 Introduction

L'étude de stabilisation des versants nécessite généralement comme première étape, la récolte d'un maximum de données dans les différents domaines ; géographique, climatique, végétations... et de bien illustrer le contexte géologique du secteur étudié.

### 2.2 Situation géographique

La commune de Tifra se situe à quelques 70 kilomètres à l'ouest du chef lieu de Béjaïa, et au Nord de la Daïra de Sidi Aich dont elle dépend administrativement. Elle est limitée :

- Au Nord, par Adekar et Taourirt-Ighil
- Au Sud par Tinebdar
- A l'Ouest par Akfadou et Chemini
- A l'Est par Fenaïa et Il-Mathen.

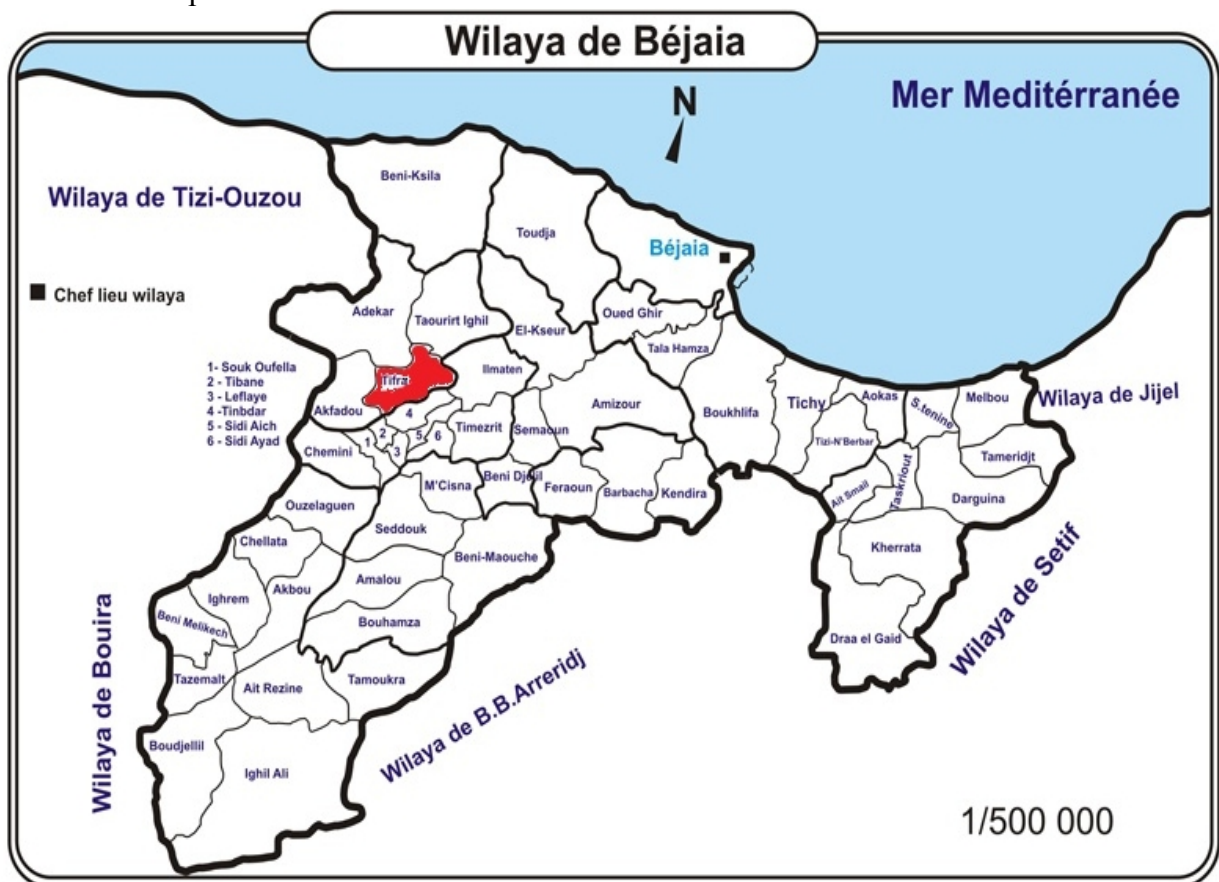


Figure 24: Situation géographique de la commune de Tifra

La commune de Tifra s'étend sur une superficie de **39 Km<sup>2</sup>**, composée de **25** villages et comprend environ **8000** habitants, la densité de la population est de **199** habitants par Km<sup>2</sup>. [7]

La localité de Tifra montre de nombreuses zones instables marquées par une succession de glissements considérables, qui se déclenchent dans la partie aval de la retenue, qui ont engendré des dégradations importantes au niveau de quelques habitations, et qui sont menacées de ruines.



**Figure 25:** Dégradation des habitations à cause des instabilités

### 2.3 Climat et végétation

Le secteur étudié se situe sur des hauteurs allant jusqu'à 1460 mètres, caractérisé par le climat de l'atlas tellien ; tempéré, neigeux et humide en hivers, sec et chaud en été. Avec des précipitations annuelles variant de 300 à 1100 millimètres. Un écart de température assez important; en été les températures avoisinent les 35 C° et descendent généralement au-dessus de 0 C° en hiver sur les hauts reliefs.

Le couvert végétal a une influence directe sur l'écoulement pluvial aussi bien que les facteurs orographiques et climatiques. La résistance à l'écoulement est d'autant plus grande que le couvert végétal est plus dense. Le couvert végétal de la région d'étude a été largement dégradé et défriché en montagne par les incendies, et par une petite agriculture extensive, ce qui a entraîné une perte d'eau par évaporation et une accélération de l'érosion.

Le couvert végétal de la région est caractérisé par une couverture de chêne-liège, des maquis de lentisques, de bruyères, de l'arbousier ainsi d'autres broussailles. [8].

## 2.4 Orographie

La région étudiée se particularise par un aspect orographique important. En effet, elle est marquée par des reliefs très accidentés, montrant des contrastes topographiques remarquables: la rive droite de l'Oued Remila en allant vers Hammam Sillal, et la partie Ouest située entre Ighzer Ouberouak et Ighzer Ivourayen se caractérise par des pentes importantes variant de 30° à 60°. La partie Sud sur la rive gauche de l'Oued Remila présente une pente moins importante environ 30°. Le relief présente notamment des massifs culminants à des hauteurs très élevées et de profonds ravins [22].

## 2.5 Les réseaux hydrographiques

Le réseau hydrographique de la région Sillal est caractérisé par une hiérarchie et un réseau très denses. La région de Tifra est représenté par un certain nombre de petits Oueds qui collectent et drainent les eaux de surface vers l'Oueds Remila situé au pied du versant. Ce dernier s'écoule de l'Ouest vers l'Est et croise le CW13 au niveau de la station thermale. Il reçoit de nombreux affluents qui sont principalement ; Ighzer Ouberouak à l'Est et Ighzer Ivourayen à l'Ouest qui forment deux sous bassins. Signalons aussi la présence d'une source thermale au chef lieu et plusieurs sources naturelles en abondances qui se répartissent sur les hauts reliefs, au Nord dans les régions de Tifra et Fetala, et la partie Sud dans les régions de Talaouzrou et Fleah.

## 2.6 Présentation géologique de la région de Sidi Aich

D'après la carte géologique détaillée de l'état majeure de la région de Sidi Aich, dans cette dernière fait partie la région d'étude, s'étend sur deux régions dont l'aspect est très différent s'explique par des changements de la constitution lithologique du sol, du relief et du climat.

Tout le Nord du bassin n'est plus couvert que par le massif argilo-gréseux de Akfadou. C'est une région où les grés forment tantôt de grande entablements horizontaux, tantôt des arêtes et des parois très déchiquetées. Tandis que la partie Sud est essentiellement schisteuse.

L'Oued Soummam à creusé une large vallée. Les défilés de Takritz et de Sidi Aich délimitent deux plaines alluviales.

## 2.7 Synthèse lithostratigraphique

Les différents ensembles lithostratigraphiques représentés dans le bassin de Sidi Aich peuvent être résumés comme suit (Figure 26) :

I- Le secondaire :

a- Le trias : Facies classique du trias gypso-salin en pointèrent diapirs. Il est donné par :

**Keuper** : Présenté par des grés rouges ou blancs à grains fins avec marnes versicolores interstratifiés. Localement dans la région de Timiliouine, les bancs de calcaires remplacent les bancs des grés.

**Muschelkalk** : Du calcaire dans la région de Tizi Guidmimenn, et des grés rouges souvent très massifs dans la région de Chellata.

**Permo-trias** : Grés rouge très grossiers avec rares bancs de grés fins, et présence de gros galets de quartz provenant de la série des schistes métamorphiques.

b- Le jurassique :

**Jurassique sup et moyen** : Localisé dans le massif de Timezrit; schistes rouges à la base et vertes au sommet avec des bancs de calcaires fins. Dans le massif de Chellata, quelques témoins très réduits de la transgression du jurassique sup.

**Lias**: Les différents termes de la série liasique ne sont pas séparés sur la carte. La série, très tectonisées est représentée dans:

- le massif de Chellata par des dolomies et calcaires dolomitiques ; des calcaires sublithographique et des calcaire à polypiers ; des calcaires bien lités à rognons de silex.
- le massif de Timezrit, par des calcaires sublithographique jaune-chamois dans la partie inférieure minéralisée et des calcaires finement lités à silex.

c- Le créacé :

**Lutétien-campanien**: Il comprend des marnes grises et des marno-calcaires. Des marnes roses et vertes et des marnes gréseuses brunes dans lesquelles son interstratifiés des bancs de calcaires.

**Danien et maestrichtien :** Il comprend deux faciès :

- Marnes schisteuses noires et grises à lentilles de calcaires chamois. L'affleurement de l'Oued Remila contient en plus de nombreux bancs conglomératiques.
- Marno-calcaires, avec marnes noires interstratifiés qui forment les dernières assises d'Arbala.

**Cénomaniens inf :** Marno-calcaires noires et marnes grises atteignant une centaine de mètres d'épaisseur. On y trouve de nombreuses bélemnites indéterminables et ammonites très déformables.

**Crétacé inf :** Il est localisé au Nord de la Soummam caractérisé par un faciès flysch très uniforme, atteignant 400 m d'épaisseur, et alternance de grès et quartzites avec schistes verts et noirs très argileux. Ces dépôts sont fournis plus à l'West (Bouira).

**Complexe albo-barrémien :** Schistes noirs esquilleux avec quelques rares lentilles de calcaires noirs. Un faciès monotone de 4 à 500 m d'épaisseur, surmonté au Sud West de Seddouk par le cénomaniens inf et reposant au Timezrit sur le néocomien.

**Néocomien :** Représenté seulement dans le massif de Timezrit, il débute de la bordure Sud par des marno-calcaires concordant avec le jurassique sup, et renferment des ammonites pyriteuses très mal conservées jusqu'à la bordure Nord caractérisé par un conglomérat de base à élément surtout jurassique sup qui est directement transgressif sur le lias.

Le sommet du néocomien est représenté dans tout le massif par des schistes noirs très esquilleux.

II- Le tertiaire :

a- Eocène :

**Lutétien sup :** A la base du calcaire, des massifs blancs, bleutés et calcaire chamois, et se rechargent progressivement en éléments détritiques quartzeux, et parmi les dernières assises, des conglomérats polygéniques à ciment gréseux.

b- Oligocène : Cet étage présente deux faciès différents :

- Faciès kabyle : localisé en bordure du massif du Chellata.

Sur la bordure Nord, il est formé par des conglomérats qui appartiennent aux calcaires du lutétien sup et des galets empruntés aux calcaires du lias et aux grès du trias.



Sur la bordure Sud, il est caractérisé par l'intrication de faciès secondaires : calcaires bréchoides à fins esquilles de silex dans la région de Chellata, et des calcaires à nummulites remaniées alternant avec des marnes et argiles vertes et rouges dans les régions de Iril ou Delés, Timiliouin.

- Faciès numidien : il est distingué par un faciès argileux et un faciès gréseux.

Les argiles à la base de la série sont vertes et rouges avec par fois de petits bancs de quartzites ou de marnes schisteuses noires. Les grés sont jaunes souvent grossiers.

**Glissements de marnes et argiles :** Sont comparable à la solifluxion pendant la période des pluies ; des masses de plusieurs m<sup>3</sup> d'argiles oligocènes glissent le long des pentes sur des distances pouvant atteindre 1 à 2km.

Les marnes schisteuses du crétacé présentent le même phénomène à une échelle plus réduite.

- c- Miocène :

**Cônes de déjection ancienne :** Sont largement développés surtout d'Irzer Amokrane à Takritz, en alluvions de piedmont, les éléments peu roulés sont mélangés à des limons jaunes et rouges. Cette formation se distingue par l'absence de stratification.

**Burdigalien :** Des marnes grises dans lesquelles sont interstratifiés des grés et des conglomérats, les grés sont jaunes en bancs grossiers ou fins.

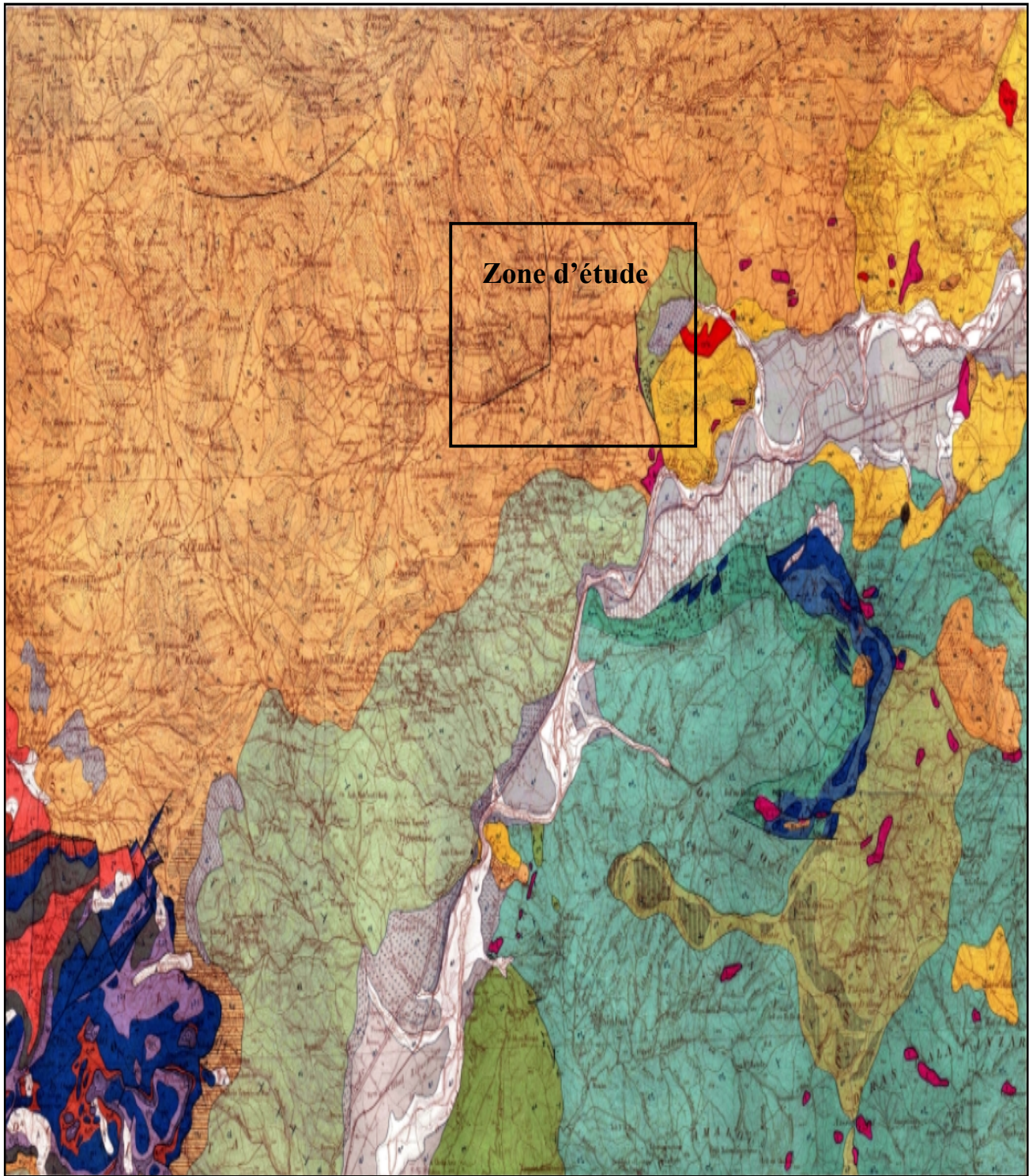
Le ciment des conglomérats est rubéfié notamment à Tiklat et à Takritz.

**Tuf volcanique :** Formant de grosses lentilles dans le miocène de la région d'El-Kseur.

- III- Le quaternaire :

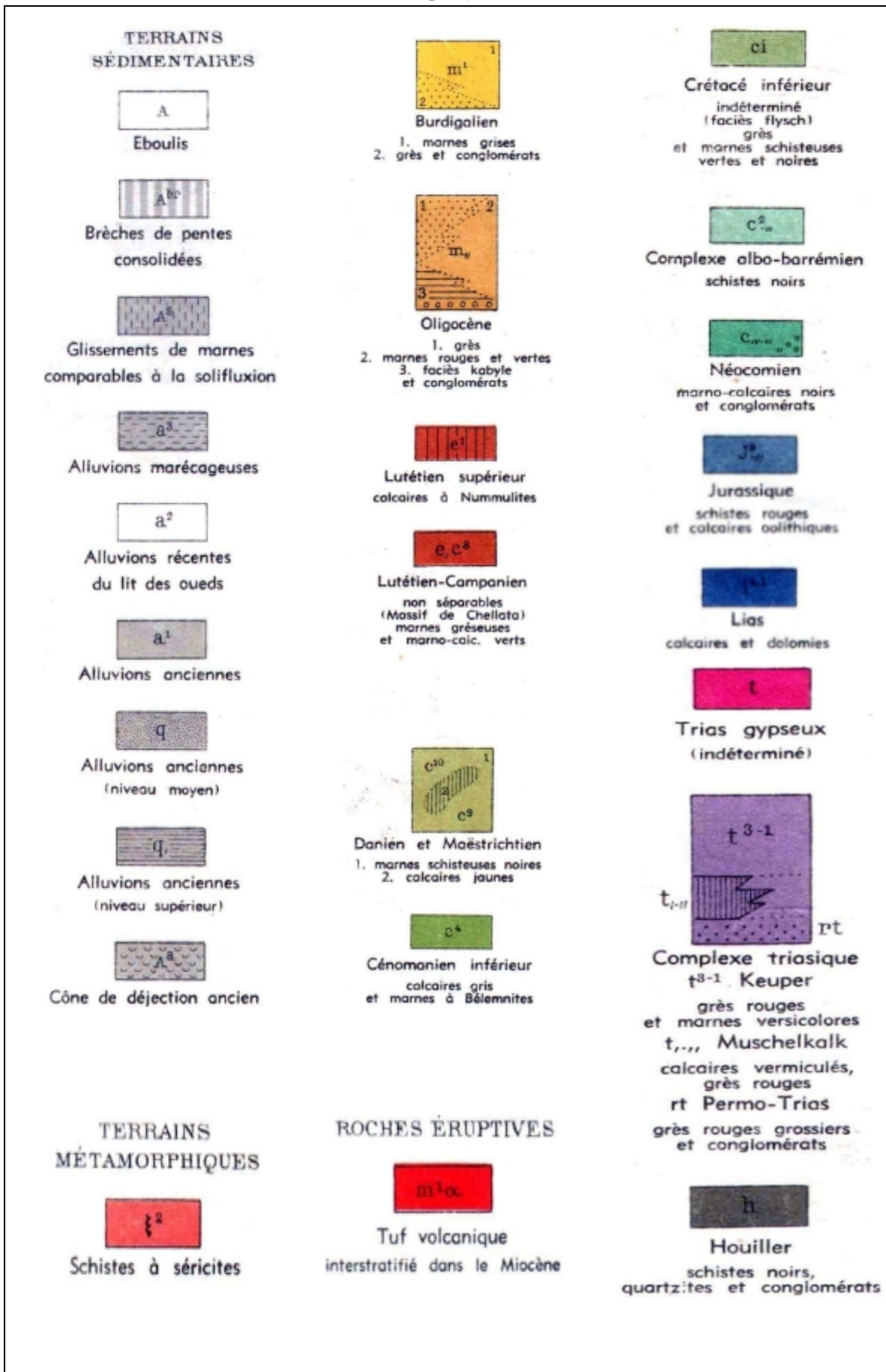
Il se trouve tout au long de l'Oued Soummam et se compose de :

- Alluvions marécageuses
- Alluvions récentes du lit des Oueds
- Alluvions anciennes (niveau inf) : basses terrasses formé de sables et de cailloutis
- Alluvions anciennes (niveau moyen) : terrasses à environ 10 mètres au dessus du cours de la Soummam formées de limons et cailloutis.
- Alluvions anciens (niveau sup) : terrasses à environ 40 mètres au dessus du cours de la Soummam formées de sables et de cailloutis.



**Figure 26:** Carte géologique de la région de Sidi Aich [21]

LEGENDE



## 2.8 La géologie du secteur étudié

Selon la carte géologique détaillée de l'état-major de la région de Sidi-Aich, dont fait partie le versant Sillal-Tifra, on distingue une évolution des formations géologiques allant du secondaire aux quaternaire, de plus, la région est qualifiée de grande tectonique.

- Les parties Nord, Sud et Ouest par rapport au chef lieu Sillal sont distinctes par un faciès numidien qui comporte un faciès argileux et un faciès gréseux. Les argiles sont verdâtres et rougeâtres avec parfois de petits bancs de quartzites ou de marnes schisteuses noires. Les grés sont jaunes et grossiers, d'âge oligocène.
- La partie Est de l'Oued Remila est dominée par des marnes schisteuses noires et grises et contient en plus de nombreux bancs conglomératiques d'âge paléocène, des alluvions quaternaires de l'Oued Soummam, et des cônes de déjections de ses principaux affluents. Des marnes grises dans lesquelles sont interstratifiés des grés et des conglomérats, les grés sont jaunes, en bancs grossiers ou fins d'âge miocène. Des tufs volcaniques interstratifiés dans le miocène.

Le versant étudié est caractérisé par la présence de deux failles importantes en intersection ; l'une s'étend le long d'Ighzer Ivourayen et se croise avec la deuxième faille (du Nord au Sud) au niveau de Hammam Sillal. Et de deux failles jumelées sur la partie Sud- Est de l'Oued Remila.

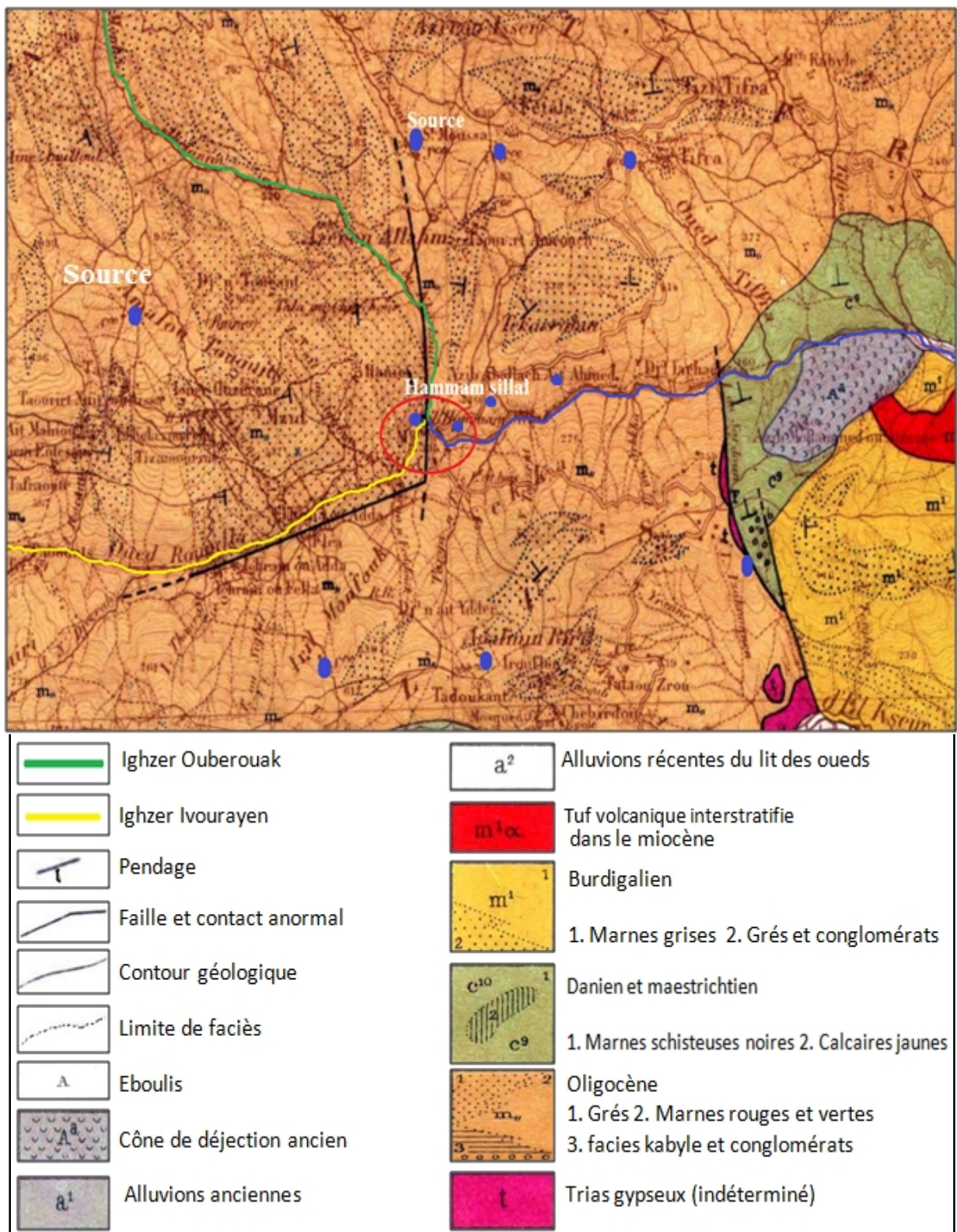


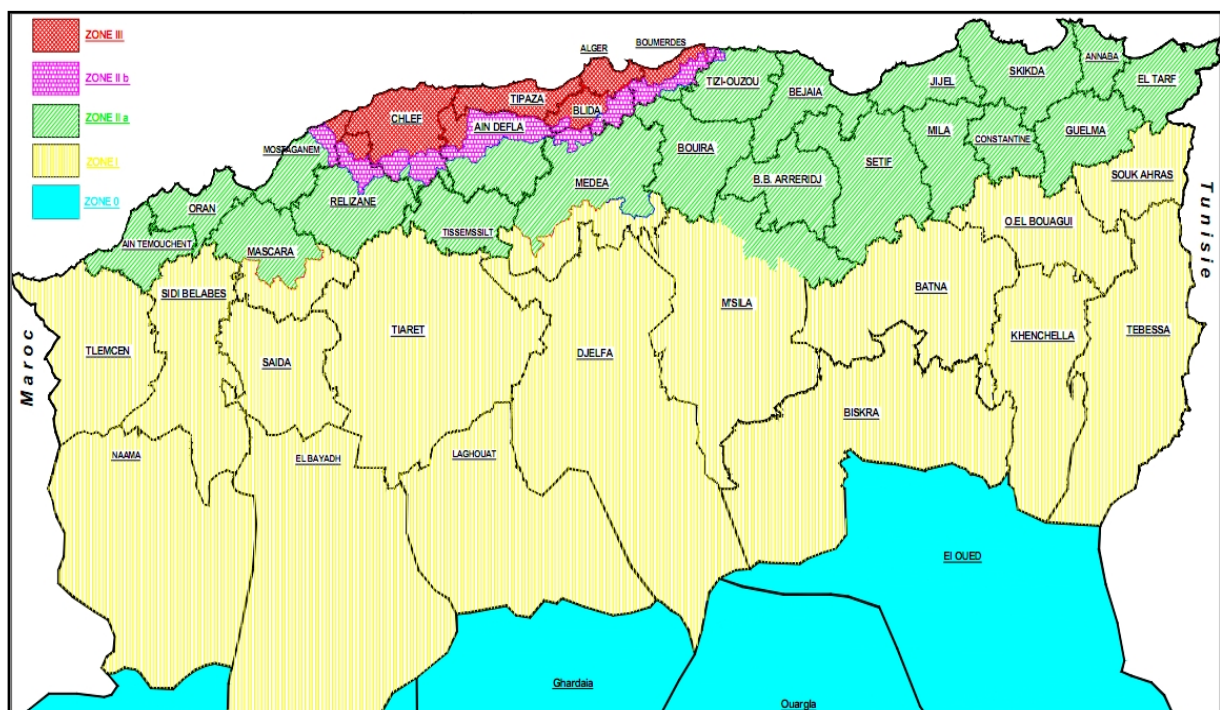
Figure 27: Extrait de la carte géologique de l'état-major de la région de Sidi Aich

## 2.9 La sismicité

Le règlement parasismique Algérien, élaboré en 1983 (R.P.A. 83) après le séisme d'El Asnam survenu en Octobre 1980, révisé en 2003 après le séisme de Boumerdes (arrêté n° 08 du 08 février 2004), divise le territoire Algérien en cinq régions sismiques montrées sur la figure 28 :

- Zone III : Sismicité élevée.
- Zone II a et II b : Sismicité moyenne.
- Zone I : Sismicité faible.
- Zone 0 : Sismicité négligeable.

La wilaya de Bejaia est classée comme une zone de sismicité moyenne, c'est-à-dire en zone **II a**.



**Figure 28:** Carte de zonage sismique du territoire national. [11]

## 2.10 Conclusion

La récolte de ces données de base sur le versant étudié, nous montre divers facteurs (les reliefs accidentés, forte pluviométrie, couvert végétale réduit, présence du Oued Remila ...) qui sont défavorables et qui accentuent le risque de déstabilisation de la région. Le recourt à d'autres investigations sur les lieux nous permet de bien définir les causes, et de cerner le problème de l'instabilité.

## Chapitre III Pathologie et causes de l'instabilité

### 3.1 Introduction

La présente phase consiste à la localisation des zones instables, et la définition de la nature de chacune d'elles. Pour cela, nous allons appuyer cette étude sur des indices témoignant de l'instabilité de la région, afin de préciser ses causes.

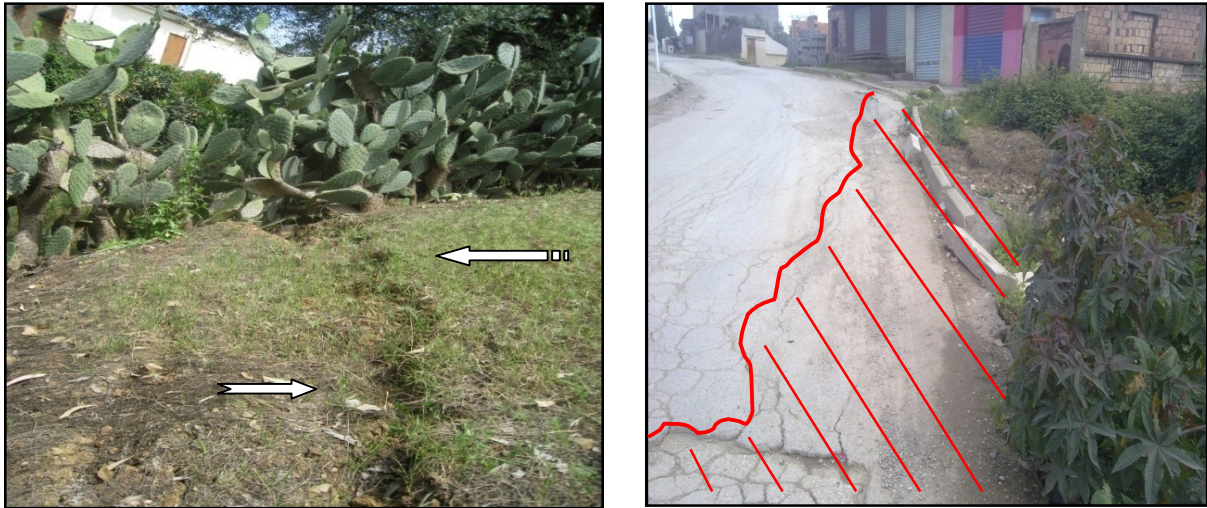
### 3.2 Indices pathologiques

En effet, plusieurs indices d'instabilité sont visibles en surface au niveau du versant de Sillal. Ces indices sont essentiellement représentés par d'importants déplacements en masse, des basculements et fissurations de constructions, et inclinaisons des arbres. Ces indices sont généralement localisés sur le côté aval de CW13, et dans le chef-lieu Hammam Sillal et ses environnements.

Ces indices pathologiques sont illustrés par les figures suivantes :



**Figure 29:** Inclinaison des arbres au niveau de l'APC de Tifra



**Figure 30:** Apparition de fissures de traction en tête des talus et dégradation des routes.



**Figure 31:** Apparition de fissures sur les habitations et déplacement des murs de soutènement.



**Figure 32:** Eboulements et chutes de pierres au niveau de la station thermale



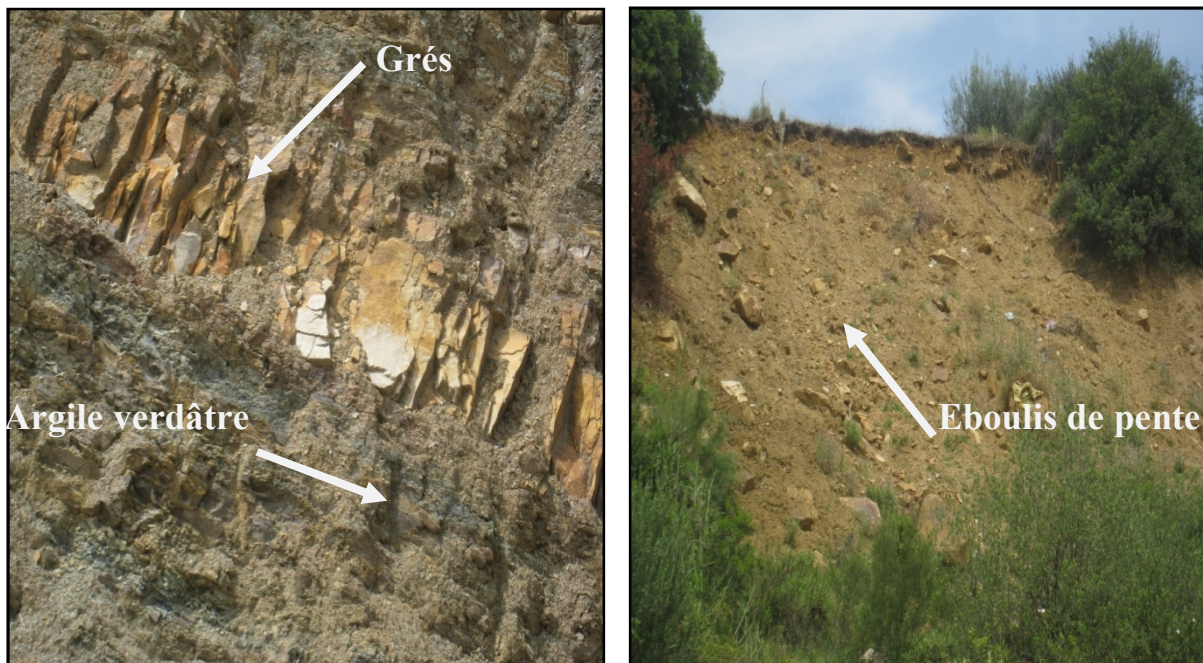
### 3.3 Les causes des instabilités

L'instabilité du versant est due à plusieurs causes, soit naturelle tel que ; la nature du sol, topographie du terrain, affouillement des berges, influence de l'eau..., soit due à l'activité humaine tel que ; l'implantation des surcharges en tête des talus, suppression de la buté du pied des talus, effets de déboisement...

#### 3.3.1 Causes naturelles

##### a- Nature du sol

Certaines formations géologiques de la région de Sillal-Tifra sont défavorables et sont à l'origine des instabilités rencontrées, généralement à l'aval du CW13, et au niveau de la station thermale Hammam Sillal. Les hauts reliefs sont constitués généralement par des dalles gréseuses numidiens qui se superposent sur une formation tendre et soluble constituée par des argiles vertes et rouges et des marnes schisteuses. Cette disposition est à l'origine des chutes des blocs gréseux. Le côté aval de CW13 au niveau de l'APC a une formation géologique différente, constituée par des éboulis de pentes qui perdent de leur cohésion en contact de l'eau et forme des coulées en état de saturation vers l'Oued Remila.



**Figure 33:** Reconnaissance visuelle de certaines formations géologiques du versant Sillal-Tifra

**b- Les pentes**

La morphologie du site étudié est caractérisée par des bancs gréseux numidiens, qui constituent un relief en gradins. Les dalles gréseuses sont disposées sur les marnes schisteuses de base, sous l'effet de la gravité et de la fissuration, et vu que le versant est accidenté et marqué par des pentes raides ( $30^\circ$  à  $60^\circ$ ), des éboulements de masses rocheuses se détachent fréquemment des reliefs. Ces éboulements permanents des rochers ont façonné le paysage et ont donné au site un aspect de relief en escalier.



**Figure 34:** Pentes importantes et éboulement des masses rocheuses au niveau de la station thermale

**c- Influence de l'eau :**

Les eaux permanentes s'écoulent aléatoirement en saisons pluviales et leurs intensités sur tout le versant étudié, et la présence de nombreuses sources naturelles actives constamment situées sur les hauts reliefs, elles sont généralement en abondance, et s'écoulent le long des reliefs qui causent l'érosion de surface d'une part et la saturation de certains endroits d'autre part.

Le débit important de l'Oued Remila en particulier en périodes des crues, engendre des dégradations ; sapement des deux rives et entraîne les énormes blocs gréseux, affouillement des berges, c'est un mécanisme incontrôlable et inépuisable.

Le sapement des berges saturées en eaux engendre des coulées de boues et des avalanches de galets et gros blocs gréseux. L'alternance des saisons sèches et des saisons humides laisse la région de Hammam Sillal coté aval de CW13 en une instabilité permanente.



**Figure 35:** Le débit et la vitesse importante de l'Oued Remila qui transporte d'énormes blocs gréseux.



**Figure 36:** Affouillement des berges le long de l'Oued Remila coté aval de CW13 et abondance des sources naturelles.

### 3.3.2 Causes dues à l'activité humaine

Les instabilités des terrains peuvent aussi être engendrées par l'activité de l'homme. Différents cas de figures sont possibles, parmi eux :

### a- Surcharge des talus

La surcharge des talus par l'aménagement intensif des habitations privés et/ou publiques dans le chef-lieu Hammam Sillal, le stockage des matériaux de constructions ou les remblais notamment en contrebas du CW13 à l'endroit du monument des martyres, accentuent le risque de déclenchement d'un futur glissement.

Les images suivantes illustrent clairement cette cause.



**Figure 37:** Etat des talus chargés en remblais



**Figure 38:** Aménagement intensif en chef-lieu par des habitations et matériaux de constructions

### 3.3.3 Défaillance des réseaux d'assainissement

La réalisation des collecteurs des eaux de pluie le long de CW13 d'une manière non adéquate, et le manque de leur entretien a engendré une mauvaise orientation des eaux pluviales.

L'abandon et le non fonctionnement des regards dans le chef-lieu à cause de l'entretien et la mauvaise orientation des conduites des eaux usées, augmente le risque d'instabilité des lieux.



**Figure 39:** Etat des fossés et regards bétonnés (milieu urbain CW13)

### 3.3.4 Suppression de la butée de pied des talus

Durant nos différentes investigations sur les lieux, on a pu constater des instabilités et des mouvements de terrains le long de CW13, causés par la suppression de la butée et le non soutènement des talus. Par ailleurs, les différents terrassements effectués, en particulier dans le chef-lieu d'une manière intensif ont participé au déclenchement des différents glissements.



**Figure 40:** Conséquences des travaux de terrassements et le non soutènement des talus le long de CW13

### 3.3.5 Effets de déboisement

L'exploitation et la mise en valeur des terres autour du site étudié dans le but de la construction des bâtis, les routes, défrichage des maquis pour l'agriculture, les feux de forêt et l'absence d'une opération de reboisement avec des espèces adaptées à la nature des sols, fragilise le site davantage en facilitant l'infiltration des eaux et l'augmentation du risque d'érosion de surface.

### 3.4 Conclusion

L'observation des indices pathologiques de la région étudiée, nous a permis de repérer les différentes zones instables et leur type d'instabilité, généralement localisées sur le coté aval de CW 13 et au niveau de la station thermal.

Les différents mouvements de terrain dans cette région sont généralement observés lors des périodes de crue. L'eau joue un rôle très important dans l'instabilité de la région qui influe directement sur l'état des talus par l'érosion de surface, et la saturation des différentes formations géologiques par l'infiltration. Sans négliger le débit important de l'Oued Remila qui engendre le sapement et l'affouillement de ses berges, et la surcharge des talus qui accentue le risque de l'instabilité.

Lorsque les causes sont bien définies, des études beaucoup plus approfondies sont envisageables pour mieux cerner le problème.

## Chapitre IV Etude hydrologique et hydrogéologique (Sillal-Tifra)

### 4.1 Introduction

Il est évident que l'eau joue un rôle primordial dans le déclenchement des mouvements de terrain. L'expérience a montré que la plus part des catastrophes liés aux glissements de terrain ont eu lieu durant les saisons des pluies et/ou la fonte des neiges. Cette constatation rend l'eau responsable de l'instabilité des talus, et ceci s'explique par deux faits importants :

- La présence d'eau augmente le poids et la poussée des terres mises en jeu dans le glissement surtout quand le massif n'est pas suffisamment perméable.
- La présence d'eau diminue très sensiblement les caractéristiques mécaniques de la plus part des sols.

Ces deux effets conduisent toujours à l'instabilité du terrain. De ce fait, la caractérisation hydrologique et hydrogéologique d'une région est l'un des aspects les plus importants de l'étude des zones instables.

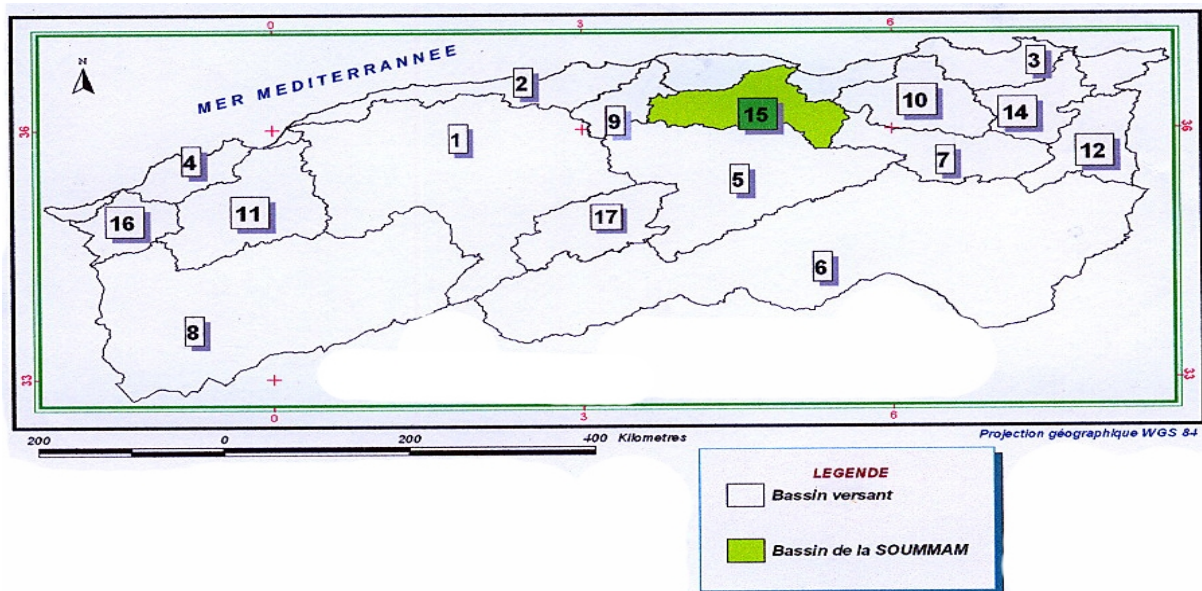
A cet effet, nous essayerons de donner dans la présente étude les principales caractéristiques hydroclimatiques de la région de Tifra, notamment les données pluviométriques, les données de la température, l'évapotranspiration, le ruissellement, l'infiltration et les variations du niveau piézométrique de la région. L'ensemble des données précédentes permet d'établir un bilan hydrique de la région.

### 4.2 Analyse morphométrique du versant Sillal

#### 4.2.1 Emplacement géographique

Au nord, il est limité par les chaînes de Djurdjura, à l'est par les montagnes de la petite Kabylie et au sud par les montagnes de Bibans et de Djebel Mansourah, ainsi le bassin versant de la Soummam prend une position géographique d'orientation très irrégulière s'étendant dans les directions nord-est-sud-ouest et sud-est, allant des points  $3^{\circ}60'$  -  $5^{\circ}57'$  de longitude Greenwich et de  $35^{\circ}75'$  -  $36^{\circ}77'$  de latitude de nord.

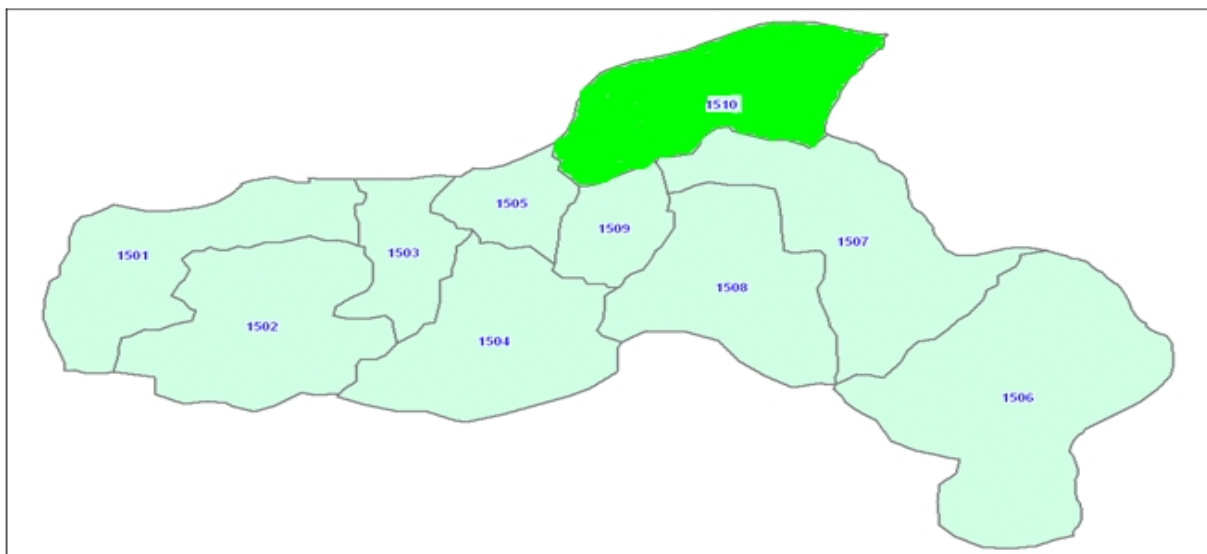
Le bassin versant de la Soummam est délimité par les lignes de partages constituées par le golf de Bougie et par les cours de La Djemaa, de l'Agrioun et de l'El Kebir, tandis qu'au sud-est et au sud, par le Chott Hodna. A l'ouest et au nord, il est limité par les cours de l'Isser, de Sebaou et de la Daass. [12].



**Figure 41:** Carte de situation du bassin versant de la Soummam. [12]

Le grand bassin versant de la Soummam est subdivisé en 10 sous bassins versants, dont fait partie le sous bassin versant N° 15 10 concerné par cette étude. Il draine une grande partie de la commune de Tifra est trouve son exutoire à l'Oued Soummam.

La carte de situation des sous bassins de la Soummam montre la situation géographique du sous bassin versant N° 15 10 et sa délimitation.



**Figure 42:** Carte des sous bassins versants de la Soummam [12]

#### 4.2.2 Les cours d'eaux

Le cours d'eau principal du sous bassin versant étudié est Ighzer Remila à son embouchure à l'Oued Soummam sur la rive gauche, sa longueur est de l'ordre de 11 Km, sa superficie est d'environ 100 km<sup>2</sup>, et un débit moyen de l'ordre de 28x10<sup>6</sup>m<sup>3</sup>/an.



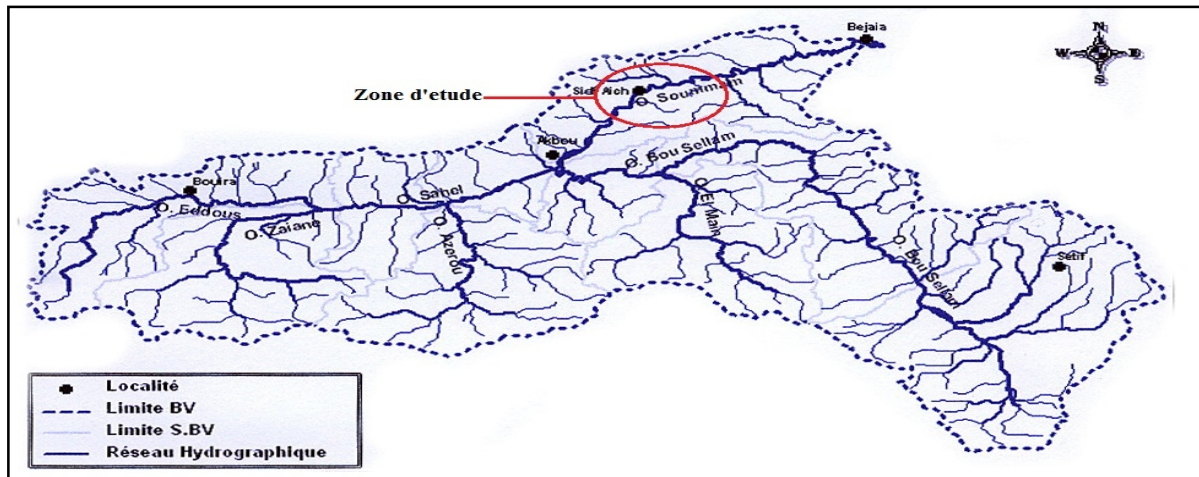


Figure 43: Carte des réseaux hydrographique du bassin versant de la Soummam [12]

En remontant vers Tifra il prend le nom d'Ighzer Nait Mansour. Ce dernier résulte de la confluence de deux grands Oueds : Ighzer Ouberouak et Ighzer Ivourayen qui forment deux sous bassins importants.

La carte suivante montre la subdivision du sous bassin versant Sillal-Tifra :

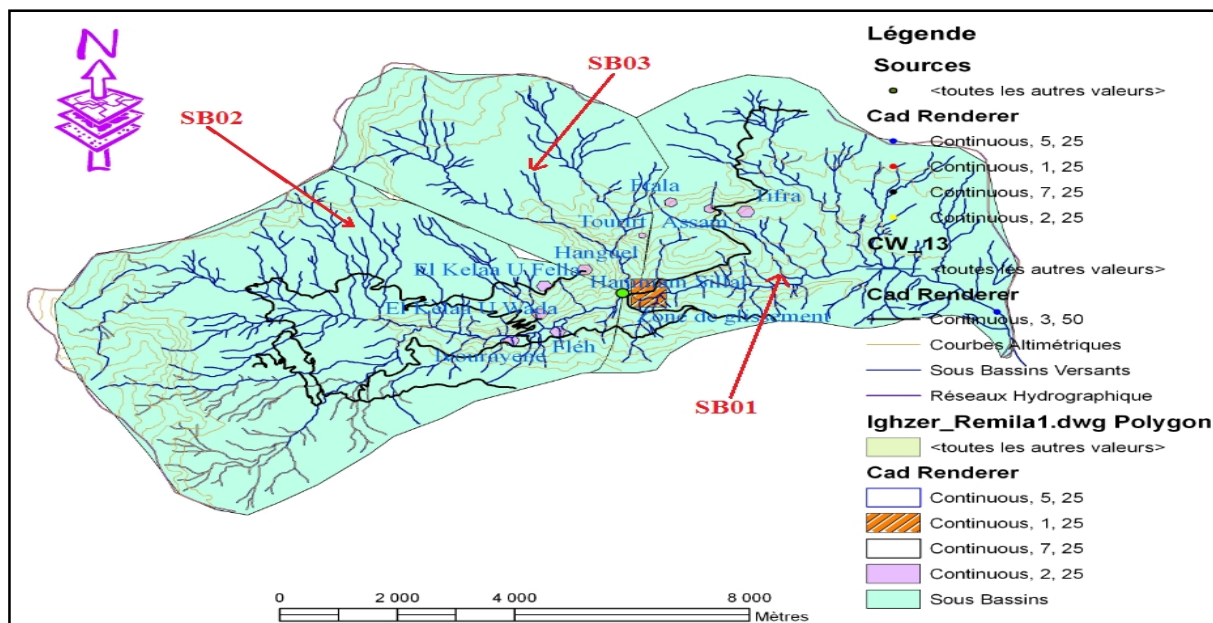


Figure 44: Carte des sous bassins versants et réseaux hydrographiques du sous bassin versant Sillal-Tifra

### 4.2.3 Caractéristiques morphométriques

Les caractéristiques morphométriques d'un bassin versant influent sur l'écoulement global des eaux provenant des précipitations. Elles sont représentées essentiellement par :

### a- La superficie (A) :

Après délimitation, le sous bassin versant étudié s'étend sur une superficie planimétrique de l'ordre de  $A=106 \text{ km}^2$ , Elle sert pour définir la forme géométrique du bassin étudié.

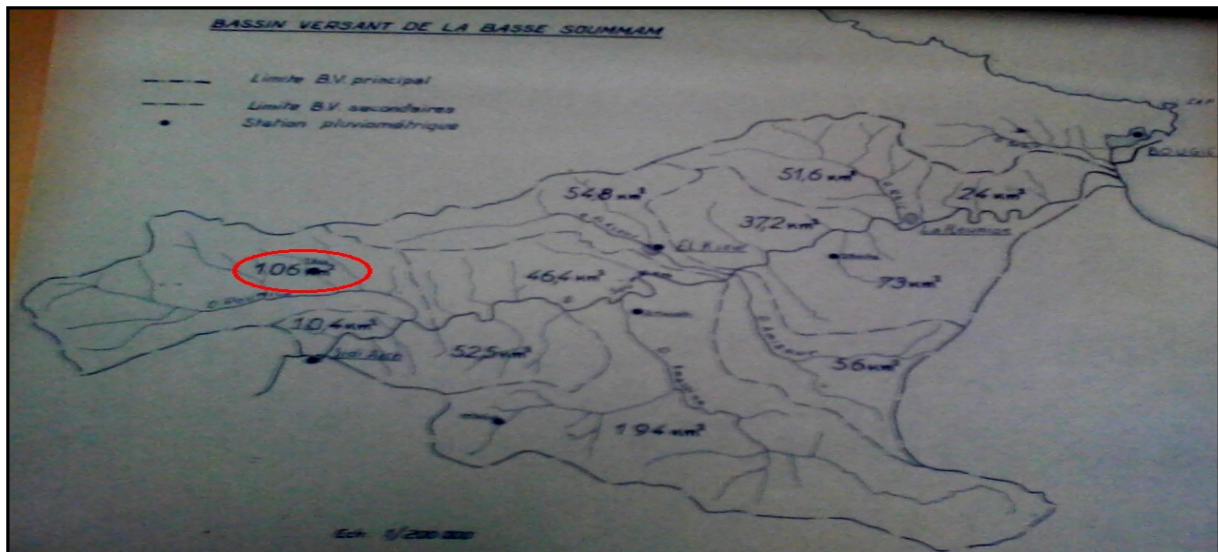


Figure 45: Carte des superficies des sous bassins versants de la Soummam. [13]

### b- Le périmètre (P)

Le périmètre du sous bassin étudié est de l'ordre de  $P= 42,4 \text{ km}$ .

### c- Les altitudes(H)

Selon le découpage géographique dressé et publié par l'institut national de cartographie (1987) sur une échelle de (1/25000), le sous bassin versant étudié est caractérisé par les altitudes suivantes :

Tableau 1 : les altitudes du sous bassin Sillal-Tifra

Altitude maximale ( $H_M$ )	1458 m
Altitude Minimale ( $H_m$ )	160 m
Altitude Moyenne ( $H$ )	843m

### d- Indice de forme ou de compacité (Indice de GRAVILLIUS)

Pour définir la forme géométrique du bassin étudié, Gravillius (1861-1938) a proposé en 1914 le coefficient de compacité défini comme le rapport du périmètre du bassin à celui d'un cercle de même surface. Si le périmètre du bassin est noté  $P$  et sa surface  $A$ , le coefficient de compacité s'exprime par:[14]

$$C = 0.28P / \sqrt{A}$$

Avec :  $C$  : Indice de compacité;  
 $P$  : Périmètre du bassin versant (km).  
 $A$  : Superficie du bassin versant (km<sup>2</sup>).

$$\text{Donc : } C = \frac{0,28 \cdot 42,4}{\sqrt{106}} = 1,15$$

$$C = 1.15$$

Le coefficient de Gravelius sera donc nécessairement supérieur à l'unité. Il vaut par exemple environ 1.12 pour un bassin carré, et est d'autant plus grand que le bassin est allongé.

$$C = 1,15 > 1,12$$

Alors on déduit que le bassin versant étudié prend la forme d'un rectangle.

#### e- Le rectangle équivalent

Le rectangle équivalent ou rectangle de Graviilius est une notion qui traduit une transformation géométrique dans laquelle on assimile le bassin à un rectangle ayant le même périmètre et la même superficie.

La longueur du rectangle équivalent est donnée par la formule suivante :

$$L = \frac{C \cdot \sqrt{A}}{1.128} \cdot \left[ 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{1.128}{C} \right)^2} \right]$$

Avec :  $C$  : indice de compacité  
 $A$  : Superficie du bassin versant (km<sup>2</sup>)  
 $L$  : longueur du rectangle équivalent en km

On obtient :

$$L = \frac{1.15 \cdot \sqrt{106}}{1.128} \cdot \left[ 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{1.128}{1.15} \right)^2} \right]$$

$$\Rightarrow L = 12,55 \text{ km.}$$

La largeur du rectangle (I) est déterminée en fonction de la surface du bassin versant (A) et la longueur du rectangle (L) :

$$A = L.I \Rightarrow I = A / L$$

$$\Rightarrow I = 106 / 12.55$$

$$\Rightarrow I = 8.45 \text{ km.}$$

Les caractéristiques morphométriques du sous bassin versant Sillal-Tifra peuvent être récapitulées dans le tableau suivant :

**Tableau 2** : Caractéristiques morphométriques du sous bassin Sillal-Tifra

Caractéristiques morphométriques du sous bassin versant	Valeur correspondante
Superficie (A) en km <sup>2</sup>	106
Périmètre (P) en km	42.4
Indice de Gravillius (C)	01.15
Altitude maximale (H <sub>M</sub> ) en m	1458
Altitude Minimale (H <sub>m</sub> ) en m	160
Altitude Moyenne (H) en m	843
Longueur du rectangle équivalent (L) en km	12.55
Largeur du rectangle équivalent (I) en km	8.45
Longueur du cours d'eau principale en Km	11
superficie du cours d'eau principale en Km <sup>2</sup>	100

### 4.3 Analyse des paramètres climatiques

#### 4.3.1 Climat du secteur étudié

Le secteur étudié, se situe dans la partie nord du bassin versant de la Soummam, il appartient au climat de l'atlas tellien d'ont il prend ses caractéristiques typique.

La zone est classée en étage bioclimatique Subhumide. Ce climat se démarque avec un degré de continentalité qui augmente au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la mer. Le climat Tellien constitue une véritable barrière fasse aux masses d'air chargées d'eau, ce qui rend la pluviométrie plus importante sur les montagnes que sur les hautes plaines.

Le secteur étudié se situe sur des hauteurs allant jusqu'à 1460 mètres, caractérisé par un climat tempéré, neigeux et humide en hivers, sec et chaud en été. Avec des précipitations annuelles variantes de 300 à 1100 millimètres.

Un écart de température assez important ; en été les températures avoisinent les 35C° et descendent généralement au-dessus de 0 C° en hivers sur les hauts reliefs.

### 4.3.2 Etude des précipitations

Pour évaluer le taux de ruissellement, d'infiltration et de l'alimentation des réserves aquifères, il est nécessaire de connaître la quantité d'eau précipitée sur la région.

La pluviométrie moyenne interannuelle de la région enregistrée sur la station de Tifra est entre 374,2 mm en 2001 et 1158mm en 2002.

La station la plus proche du site est celle de Tifra. On a tenue compte des données pluviométriques des stations d'El-kseur et Sidi Aich sur des périodes récentes (2000 à 2009), qui sont très représentatives, pour pouvoir estimer la différence des précipitations entre ces stations.

D'après les données récentes récoltées de la station de Tifra (Tableau 3) nous avons élaboré un graphique des précipitations moyennes mensuelles, sur une période de 10 ans (2000 à 2009). De ces données, il ressort que le mois le plus pluvieux est celui de décembre avec une moyenne de 52,54mm, tandis que le mois le moins pluvieux est celui de juillet avec une moyenne de précipitation de l'ordre de 0.78mm. En général, l'évolution des précipitations dans le temps est croissante d'août à décembre.

Par comparaison, on remarque que les données des deux stations de Sidi Aich et d'El-kseur donnent les résultats suivants :

Pour la station de Sidi Aich sur une même période (2000 à 2009) on remarque que le mois le plus pluvieux est le mois de mars avec une précipitation moyenne de l'ordre de 35,55mm, et le mois le plus sec est le mois de juillet avec 1,97mm (Tableau 5).

Les données de la station d'El-kseur montrent que le mois le plus pluvieux est le mois de décembre, avec des précipitations moyennes de l'ordre de 150,34 mm, et le mois le moins pluvieux est celui de juin avec une moyenne de précipitation égale à 5,50mm (tableau 4).

Afin d'illustrer la pluviométrie moyenne saisonnière au niveau du sous bassin versant de Sillal-Tifra, on a élaboré les graphiques de pluviométrie saisonnière. On remarque que presque la moitié de la lame reçue par le sous bassin versant se manifeste en hiver, avec 44,41% pour la station de Tifra, et 44,04 % pour la station d'El-kseur

Par contre, la station de Sidi Aich se manifeste en printemps avec 35,27%. Ces données de pluviométrie laissent apparaître que l'alimentation des cours d'eaux et des nappes aquifères par les précipitations se fait principalement en hiver et en printemps.

**Tableau 3 : Précipitations moyennes mensuelles en mm durant la période : 2000 - 2009 (Station de Tifra 151007) [13]**

Années	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU	Total	
2000	17,00	16,50	11,20	97,00	41,00	32,00	7,20	13,00	12,10	0,00	0,00	5,00	97,00	
2001	10,00	5,00	17,50	17,50	19,40	31,00	16,40	13,00	9,00	0,00	7,00	15,40	31,00	
2002	0,00	0,00	51,40	102,20	52,00	28,00	13,00	51,00	9,00	0,00	0,00	0,00	102,20	
2003	18,90	18,90	28,60	57,20	36,00	7,00	8,50	20,00	36,50	10,70	0,00	4,50	57,20	
2004	11,00	19,00	79,00	77,40	56,00	70,40	9,60	29,70	0,00	0,00	0,00	0,00	79,00	
2005	8,00	12,50	18,40	43,70	20,90	49,00	20,80	9,00	26,50	0,00	0,00	0,00	49,00	
2006	21,20	0,00	5,00	57,40	4,20	27,50	111,00	50,50	19,50	4,50		0,00	300,80	
2007	12,50	42,20	39,00	33,60	13,00	16,40	70,60	48,70	14,20	8,00	0,00	0,00	70,60	
2008	52,00	14,90	38,50	16,90	81,40	14,20	47,80	22,40	15,00	0,00	0,00	16,40	81,40	
2009	28,60	9,50	29,10	22,50	38,00	12,20	25,70	13,00	20,90	0,00	0,00	0,00	38,00	
<b>Total</b>	179,20	138,50	317,70	525,40	361,90	287,70	330,60	270,30	162,70	23,20	7,00	41,30	906,20	
<b>Moyenne mensuelle</b>	17,92	13,85	31,77	52,54	36,19	28,77	33,06	27,03	16,27	2,32	0,78	4,13	<b>264,63</b>	
<b>Moyenne saisonnière</b>	63,54			117,50				76,36			7,23			
<b>Moyenne saisonnière %</b>	<b>24,01</b>			<b>44,41</b>				<b>28,86</b>			<b>2,73</b>			

**Tableau 4 : Précipitations moyennes mensuelles en mm durant la période: 2000 - 2009 (Station d'El-kseur 151003) [13]**

Années	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU	Total	
2000	13,00	76,50	30,90	65,50	72,90	21,70	13,90	27,30	53,70	5,30	1,40	0,00	382,10	
2001	47,30	2,90	104,00	70,90	212,00	70,20	9,10	65,90	37,10	0,00	0,00	12,10	631,30	
2002	61,70	36,10	193,00	315,00	68,80	103,60	57,50	18,10	23,50	0,00	108,00	28,10	1013,10	
2003	114,00	75,50	45,60	205,50	310,00	69,00	30,70	220,60	26,50	1,00	2,20	1,60	1102,10	
2004	18,80	30,40	178,00	128,40	147,90	57,60	86,90	110,40	69,90	26,00	0,00	5,00	856,00	
2005	28,20	31,70	107,00	172,40	165,50	167,70	60,40	41,90	7,70	0,00	0,40	6,10	788,90	
2006	35,30	21,30	13,30	132,70	126,70	141,00	46,50	17,30	53,30	4,80	1,20	20,40	613,80	
2007	63,40	149,00	175,00	207,00	9,30	20,40	175,10	132,00	12,10	9,90	2,60	6,70	962,20	
2008	144,00	131,00	*	73,00	7,00	20,00	120,00	37,00	66,00	7,00	3,00	4,00	612,00	
2009	190,00	129,00	*	133,00	237,00	66,00	63,00	86,00	54,00	1,00	4,00	15,00	978,00	
<b>Total</b>	715,70	683,40	846,80	1503,40	1357,10	737,20	663,10	756,50	403,80	55,00	122,80	99,00	7939,50	
<b>Moyenne mensuelle</b>	71,57	68,34	105,85	150,34	135,71	73,72	66,31	75,65	40,38	5,50	13,51	9,90	<b>816,78</b>	
<b>Moyenne saisonnière</b>	245,76			359,77				182,34			28,91			
<b>Moyenne saisonnière %</b>	<b>30,08</b>			<b>44,04</b>				<b>22,32</b>			<b>3,53</b>			

**Tableau 5** : Précipitations moyennes mensuelles en mm durant la période: 2000 - 2009 (Station de Sidi Aich 151001) [13]

Années	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU	Total
2000													
2001													
2002													
2003									32,00	1,50	3,30	1,30	38,10
2004		19,20	34,60	32,40	22,90	18,50	10,10	27,70	1,20	1,30	3,30	0,10	171,30
2005	8,80	9,30	15,80	31,30	10,80	25,80	17,70	11,70	33,70	0,00	0,00	11,40	33,70
2006	12,00	4,80	4,80	36,80	7,90	38,80	52,90		8,80	2,90	2,50		
2007	20,90	57,30	46,30	15,20	12,50	12,30	55,90	29,20	14,20	13,40	0,00	0,00	57,30
2008	17,30	22,20	29,50	19,10	30,00	11,60	45,40	22,10	16,40	0,00	4,70	9,40	45,40
2009	11,50	13,70	22,80	16,60	26,80	10,90	31,30	10,60	16,00	7,30	0,00	5,00	31,30
<b>Total</b>	70,50	126,50	153,80	151,40	110,90	117,90	213,30	101,30	122,30	26,40	13,80	27,20	377,10
<b>Moyenne mensuelle</b>	14,10	21,08	25,63	25,23	18,48	19,65	35,55	20,26	17,47	3,77	1,97	4,53	<b>207,74</b>
<b>Moyenne saisonnière</b>	60,82			63,37			73,28			10,28			
<b>Moyenne saisonnière %</b>	<b>29,28</b>			<b>30,50</b>			<b>35,27</b>			<b>4,94</b>			



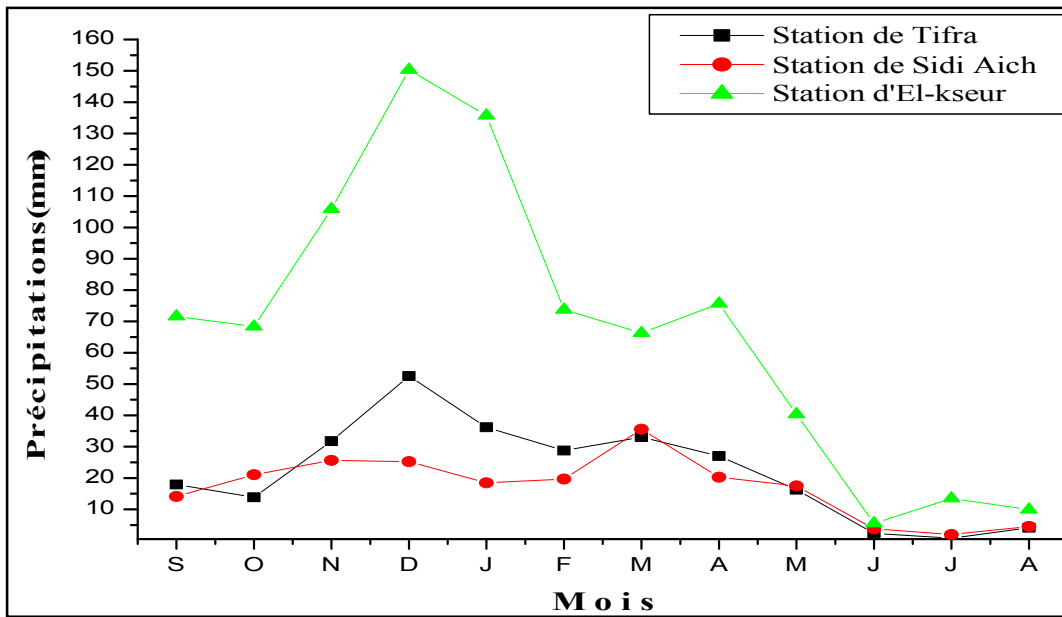


Figure 46: Distribution des précipitations moyennes mensuelles

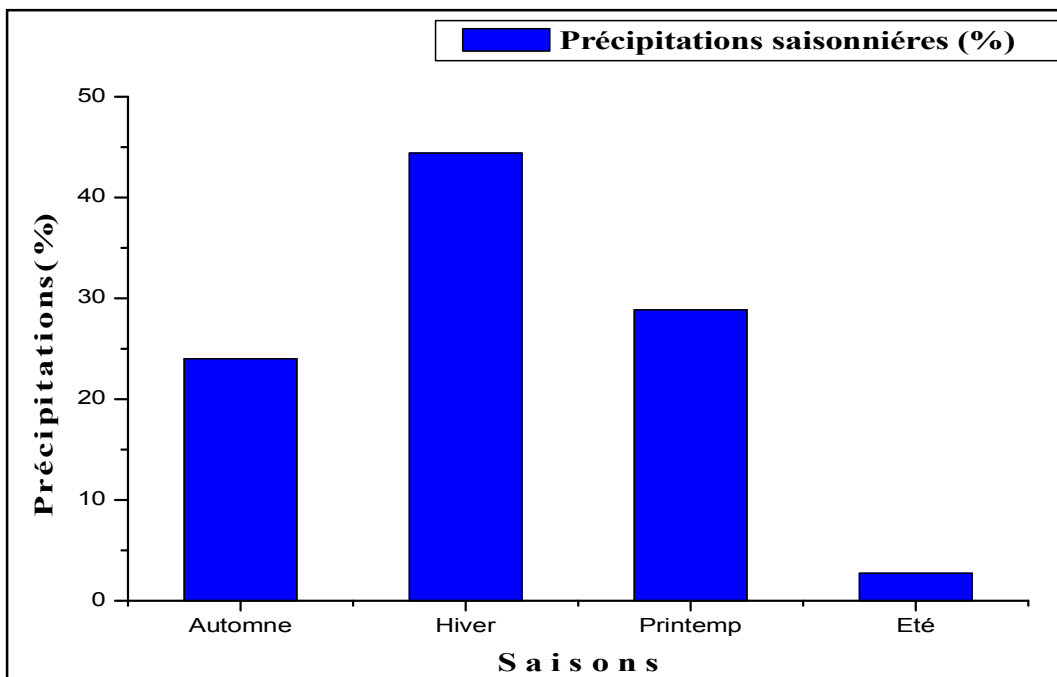
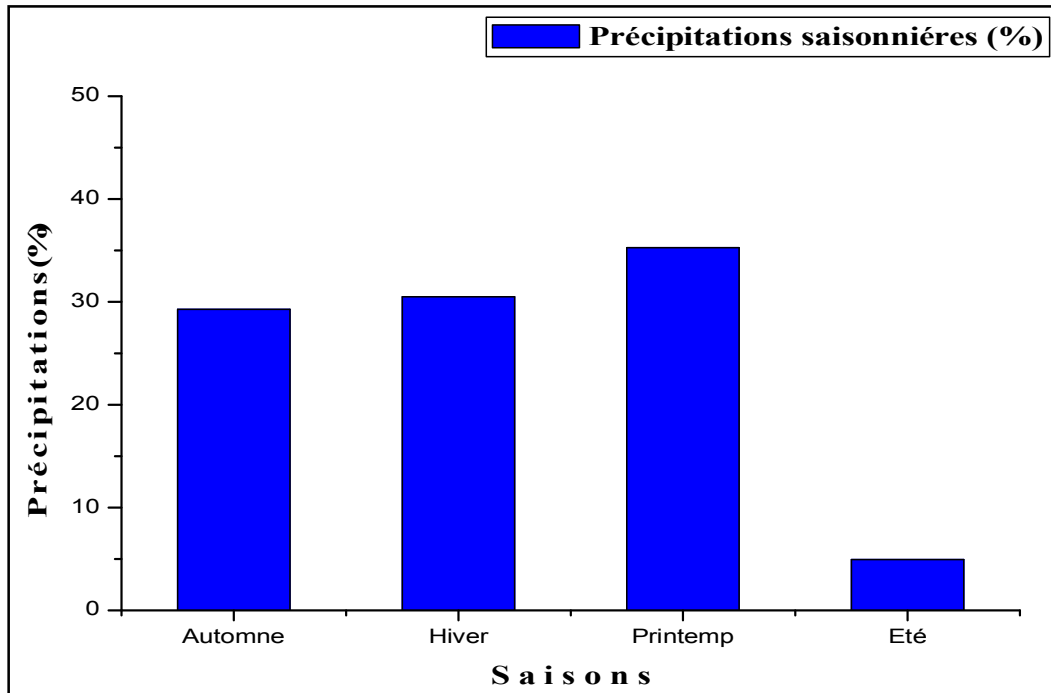
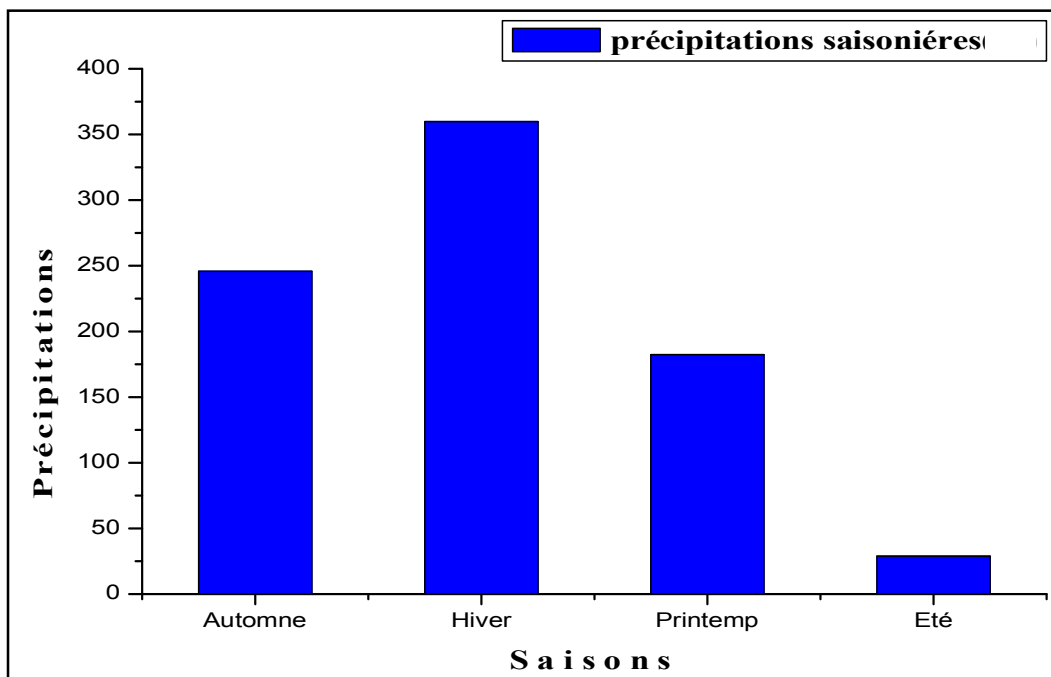


Figure 47: Répartition des précipitations moyennes saisonnières durant la période : 2000 – 2009 (Station de Tifra)



**Figure 48:** Répartition de précipitations moyennes saisonnières durant la période : 2000 – 2009 (Station de Sidi Aich).



**Figure 49:** Répartition de précipitations moyennes saisonnières durant la période : 2000 – 2009 (Station d’El-Kseur).

### 4.3.3 La température

La température constitue avec les précipitations les éléments majeurs qui régissent le climat d'une région. Elle constitue un facteur très important qui intervient dans le calcul de l'évapotranspiration.

Les données de températures mensuelles qu'on a pu obtenir au niveau de l'office national météorologique de bejaia (ONM), de la station d'El-Kseur sur une période de 10 ans (2000 à 2009), vont nous servir pour les différentes estimations et calculs et l'établissement d'un graphe ombro-thermique.

L'examen du Tableau n°6 montre bien que la température moyenne inter-annuelle est de l'ordre de 18,53°C, avec les mois de juin, juillet, août et septembre, comme mois les plus chauds, avec un maximum de température au mois d'aout d'ordre de 26,20°C.

**Tableau 6** : Températures moyennes mensuelles en °C durant la période : 2000 - 2009 (Station d'El-Kseur).

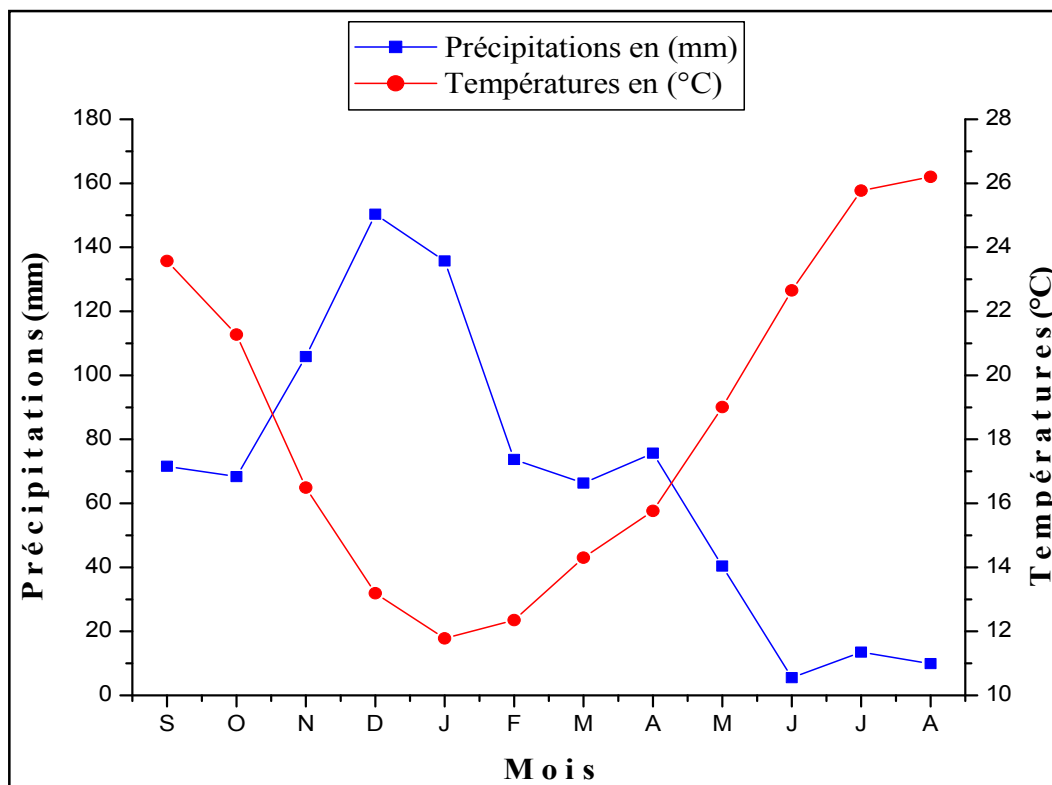
Année	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU	Moyenne
2000	23,70	19,75	17,45	14,74	10,15	12,60	14,05	16,90	19,40	21,75	25,80	26,70	18,58
2001	23,45	23,50	17,65	11,60	13,65	12,30	17,50	15,60	17,75	23,35	24,80	25,90	18,92
2002	23,15	20,41	16,90	14,70	11,75	12,40	14,40	15,65	18,40	21,70	24,25	24,80	18,21
2003	24,00	21,15	16,95	12,30	11,90	10,85	14,40	11,25	18,20	25,00	29,10	28,35	18,62
2004	24,25	22,85	14,95	12,95	12,25	13,60	13,85	15,20	17,30	21,35	25,10	26,90	18,38
2005	23,25	21,30	15,15	12,30	9,25	9,75	13,25	16,40	19,40	22,80	25,60	24,75	17,77
2006	23,65	22,50	17,65	13,70	11,00	11,75	14,80	18,00	20,80	22,80	25,40	25,40	18,95
2007	23,20	20,25	15,20	12,10	13,35	14,70	13,70	17,10	19,85	22,70	24,60	26,65	18,62
2008	23,50	21,00	15,50	12,50	12,50	14,00	14,00	16,50	19,00	22,00	26,00	26,00	18,54
2009	23,50	20,00	17,50	15,00	12,00	11,50	13,00	15,00	20,00	23,00	27,00	26,50	18,67
<b>Total</b>	235,65	212,71	164,90	131,89	117,80	123,45	142,95	157,60	190,10	226,45	257,65	261,95	185,26
<b>Moyenne mensuelle</b>	23,57	21,27	16,49	13,19	11,78	12,35	14,30	15,76	19,01	22,65	25,77	26,20	18,53
<b>Moyenne saisonnière</b>	20,44		12,44			16,36			24,87				

#### 4.3.4 Graphe ombro-thermique

D'après le graphe ombro-thermique établi selon la règle de Gausсен et Bernulet on constate que :

- La courbe de précipitation se situe au dessus de la courbe thermique du mois de novembre au moi d'avril, tandis que du début de mai jusqu'à la fin d'octobre la courbe thermique se trouve au dessus de celle de la pluviométrie.
- La période sèche s'étend du mois d'avril au mois d'octobre. Cette période s'étale sur plusieurs mois secs successifs.

Un mois sec est défini selon Gausсен et Bernulet comme celui ayant un total de précipitation égale ou inférieur au double de la température moyenne du même mois ( $P \leq 2T$ ).

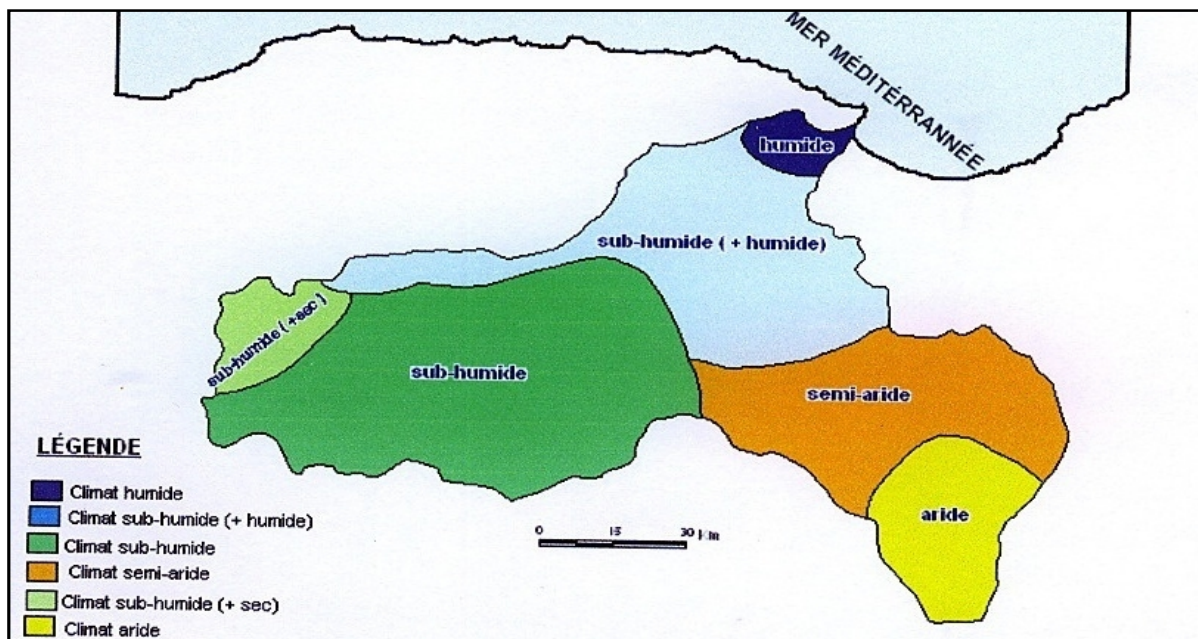


**Figure 50:** Graphe Ombro-Thermique durant la période : 2000 - 2009  
(Station d'El-Kseur)

### 4.3.5 L'aridité

Elle permet d'évaluer le phénomène de désagrégation, d'érosion et par conséquent de l'instabilité des sites dans la région.

Vue le manque de données de température sur la station de Tifra, on s'est basé sur les précipitations et températures moyennes de la station d'El-Kseur, puisque les deux régions appartiennent au même sous bassins et au même étage bioclimatique.



**Figure 51:** Carte des étages bioclimatiques du bassin versant de la Soummam

Le type du climat est exprimé par l'indice d'aridité (E. Mortonne), donné par la formule suivante :

$$I = \frac{P_{\text{moy}}}{T_{\text{moy}} + 10}$$

Avec : I : Indice d'aridité de E. Mortonne

$P_{\text{moy}}$  : Précipitation moyenne annuelle (mm)

$T_{\text{moy}}$  : Température moyenne annuelle (°C)

Aux différentes valeurs de I, correspondent des types de climats suivants :

$I < 5$  : le climat est hyper-aride;

$5 < I < 7.5$  : le climat est désertique;

$7.5 < I < 10$  : le climat est steppique;

$10 < I < 20$  : le climat est semi-aride;

$20 < I < 30$  : le climat est tempéré.

$$I = \frac{816.78}{18.53 + 10} = 28.62$$

$$I = 28.62$$

Donc la région étudiée est caractérisée par un climat tempéré.

#### 4.4 Évaluation du bilan hydrologique

L'établissement d'un bilan hydrologique est indispensable pour l'évaluation des réserves d'eau transmises ou emmagasinées dans une région. Il est donné par la formule suivante [18]:

$$P = ETR + R + I + Wa$$

Avec : **P** : Précipitation moyenne annuelle (mm)

**ETR** : Evapotranspiration réelle (mm)

**I** : Infiltration (mm)

**R** : Ruissellement (mm)

**Wa** : variation des réserves (souvent négligeable)

##### 4.4.1 Calcul de l'évapotranspiration potentielle (ETP)

L'évapotranspiration potentielle (ETP) correspond à l'évapotranspiration d'une surface qui serait suffisamment approvisionnée en eau pour évaporer la quantité d'eau maximale permise par les conditions climatiques. A cet effet, Thornthwaite a établi une corrélation entre la température moyenne mensuelle et l'évapotranspiration potentielle mensuelle.

La formule utilisée pour le calcul de l'ETP selon Thornthwaite est donnée comme suit :

$$ETP = 16 \left[ 10 \cdot T / I \right]^a$$

Avec : ETP : Evapotranspiration potentielle en mm.

T : Température moyenne mensuelle du mois considéré exprimé en °C.

I : Indice thermique annuel égal à la somme des indices mensuels (i) des 12 mois de l'année.

$$I = \sum_{i=1}^{12} i \quad \text{Avec : } i = \left[ \frac{T}{5} \right]^{1.514}$$

a : coefficient qui dépend de l'indice thermique annuel :  $a = 0.016 \cdot I + 0.5$

$$ETPC = ETP \cdot K$$

Avec : ETPC : Evapotranspiration potentielle mensuelle corrigée.

K : Coefficient d'ajustement mensuel.

A l'échelle annuelle et pour des valeurs de **I= 89,66**, **a= 1,93**, nous obtenant l'évapotranspiration potentielle donner dans le tableau N°7.

#### 4.4.2 Calcul de l'évapotranspiration réelle (ETR)

Cette méthode est basée sur la notion de réserve en eau facilement utilisable (notée RFU).

On admet que le sol est capable de stocker une certaine quantité d'eau (la RFU) ; cette eau peut être reprise pour l'évaporation par l'intermédiaire des plantes.

La quantité d'eau stockée dans la RFU est bornée par 0 (la RFU vide), et RFU max (capacité maximale de la RFU qui est de l'ordre de 0 à 200 mm suivant les sols et sous-sols considérés, avec une moyenne de l'ordre de 100 mm). [15]

On admet que la satisfaction de l'ETP a priorité sur l'écoulement, c'est-à-dire qu'avant qu'il n'y ait d'écoulement, il faut avoir satisfait le pouvoir évaporant (ETP = ETR). Par ailleurs, la complétion de la RFU est également prioritaire sur l'écoulement.



On établit ainsi un bilan à l'échelle mensuelle, à partir de la pluie du mois P, de l'ETP et de la RFU.

Si  $P > ETP$ , alors :

- $ETR = ETP$
- il reste un excédent ( $P - ETP$ ) qui est affecté en premier lieu à la RFU, et si la RFU est complète, à l'écoulement Q.

Si  $P < ETP$  :

- on évapore toute la pluie et on prend à la RFU (jusqu'à la vider) l'eau nécessaire pour satisfaire l'ETR soit :
  - ✓  $ETR = P + \min(RFU, P - ETP)$
  - ✓  $RFU = 0$  ou  $RFU + P - ETP$
- si  $RFU = 0$ , la quantité ( $Da = ETP - ETR$ ) représente le déficit agricole, c'est-à-dire sensiblement la quantité d'eau qu'il faudrait apporter aux plantes pour qu'elles ne souffrent pas de la sécheresse.

#### 4.4.3 Calcul du bilan hydrologique

Le calcul du bilan hydrologique de la région, nécessite l'estimation de la lame d'eau ruisselée et la lame d'eau infiltrée.

##### a- Estimation de la lame d'eau ruisselée

Le ruissellement est estimé généralement à partir des débits journaliers mesurés à une station de jaugeage installée à l'exutoire du bassin versant. En l'absence de cette station, nous calculerons ce terme par la formule de Tixeront – Berkaloff :

$$R = \frac{P^3}{3 \cdot [ETP]^2}$$

Avec :

**R** : Ruissellement (mm)

**P** : Précipitation moyenne annuelle (mm)

**ETP** : Evapotranspiration potentielle (mm)

Avec :

**P=816,78mm**

**ETP= 901,53mm**

$$R = \frac{(816,78)^3}{3 \cdot [901,53]^2}$$

$$\Rightarrow R = 223,47 \text{ mm}$$

$$R (\%) = \frac{R(\text{mm}) \times 100}{P(\text{mm})}$$

$$R = \frac{223,47 \times 100}{816,78}$$

$$\Rightarrow R = 27,36 \%$$

Donc le ruissellement représente **27,36 %** des précipitations.

#### b- Estimation de la lame d'eau infiltrée

$$P = ETR + R + I + W_a$$

Considérons:  $W_a = 0$

$$P = ETR + R + I \Rightarrow I = P - ETR - R = E_x - R$$

$$I = 393,07 - 223,47 = 169,6 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow I = 169,6 \text{ mm.}$$

$$I (\%) = \frac{I(\text{mm}) \times 100}{P(\text{mm})}$$

$$I = \frac{169,6 \times 100}{816,78}$$

$$I = 20,76 \%$$

Donc l'infiltration représente **20,76 %** des précipitations.

**Tableau 7** : Bilan hydrologique - Station d'El-Kseur (Période : 2000 - 2009).

Mois	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU	Total
<b>T (°C)</b>	23,57	21,27	16,49	13,19	11,78	12,35	14,30	15,76	19,01	22,65	25,77	26,20	
<b>i</b>	10,46	8,95	6,09	4,34	3,66	3,93	4,91	5,69	7,55	9,84	11,97	12,27	89,66
<b>ETP (mm)</b>	103,30	84,77	51,86	33,70	27,10	29,66	39,36	47,52	68,24	95,65	122,71	126,70	-
<b>K</b>	1,03	0,97	0,86	0,84	0,87	0,85	1,03	1,10	1,21	1,22	1,24	1,16	-
<b>ETPC (mm)</b>	106,39	82,23	44,60	28,31	23,57	25,21	40,55	52,27	82,57	116,70	152,16	146,97	901,53
<b>P (mm)</b>	71,57	68,34	105,85	150,34	135,71	73,72	66,31	75,65	40,38	5,50	13,51	9,90	816,78
<b>P - ETPC (mm)</b>	-34,82	-13,89	61,25	122,03	112,14	48,51	25,76	23,38	-42,19	-111,20	-138,65	-137,07	-
<b>RFU (mm)</b>	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	57,88	0,00	0,00	0,00	-
<b>ETR (mm)</b>	71,57	68,34	44,60	28,31	23,57	25,21	40,55	52,27	82,57	116,70	13,51	9,90	577,10
<b>DA = ETPC - ETR</b>	34,82	13,89	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	138,65	137,07	324,43
<b>Ex = P - ETR</b>	0,00	0,00	61,25	122,03	112,14	48,51	25,76	23,38	0,00	0,00	0,00	0,00	393,07

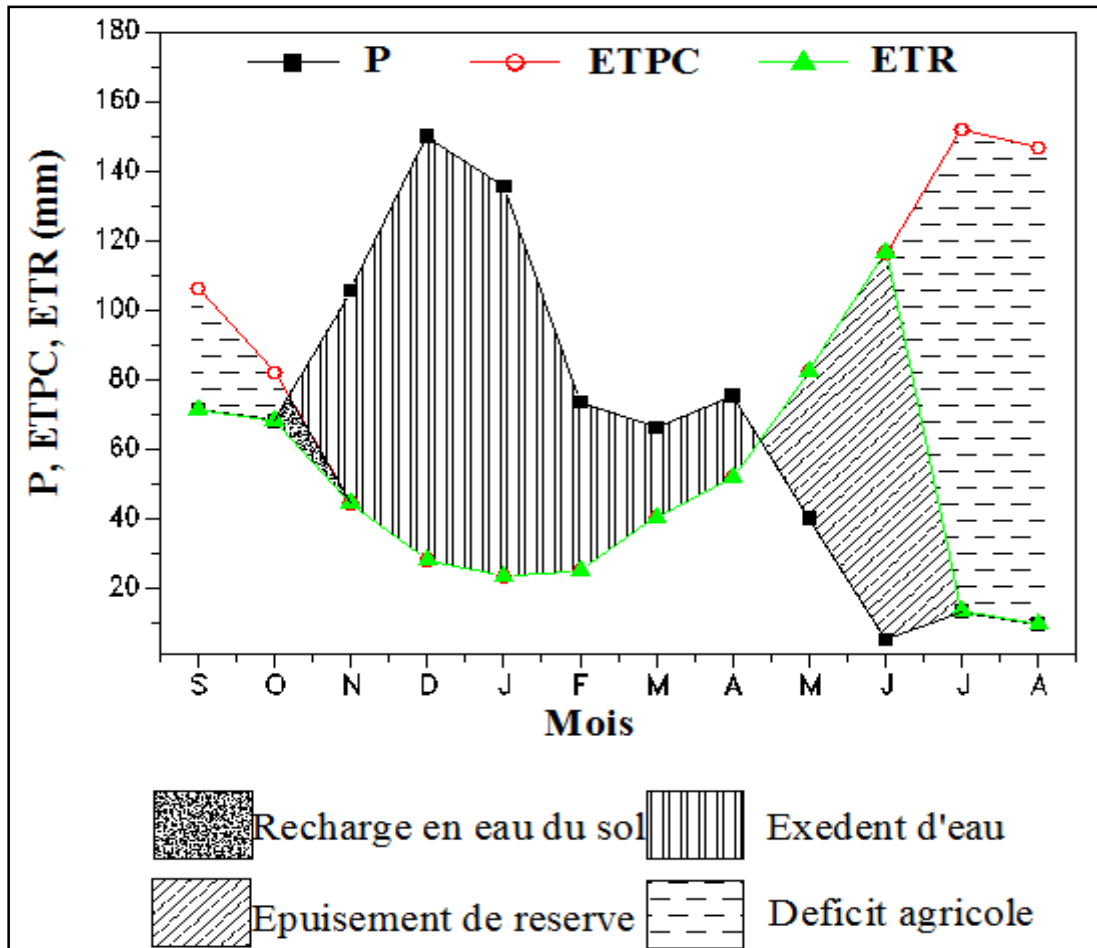


Figure 52: Représentation graphique du bilan hydrologique durant la période :  
2000 - 2009

### ➤ Interprétation du bilan hydrologique

L'examen des données récapitulées dans le tableau N°7 et les résultats donnés par le graphique du bilan hydrologique permet d'en déduire les résultats suivants :

Les précipitations atteignent leur maximum au mois de décembre (période durant laquelle l'évapotranspiration potentielle (ETPC) atteint ses valeurs minimal). Cette dernière atteint son maximum au cours de la période sèche plus précisément au mois de juillet.

L'allure de la courbe représentant l'ETPC donne une meilleure symétrie que celle des précipitations. Ceci peut être expliqué par l'homogénéité de ETP durant l'année, qui est due au fait qu'elle est en fonction de la température, par contre les précipitations sont hasardeuses et irrégulières d'un mois à un autre ou d'une année à l'autre.

L'excédent d'eau est enregistré du mois d'octobre au mois d'avril. L'augmentation du volume d'eau durant cette période (saturation du sol), dont le pourcentage de l'infiltration est de l'ordre de **20,76%** rend l'instabilité du versant plus grande.

Le déficit agricole s'étend sur la période sèche de l'année où un épuisement des réserves est observé.

Après une période de sécheresse, la recharge du sol en eau commence à partir d'octobre jusqu'au mois de novembre.

#### **4.5 Hydrogéologie du site**

Les eaux souterraines jouent un rôle important dans pratiquement tous les processus géologiques, en particulier dans les glissements de terrain, car elles participent à la diminution des caractéristiques mécaniques des sols, et par conséquent au déclenchement de leur instabilité. En effet, l'étude hydrogéologique a pour but essentiel de localiser les zones aquifères et de connaître l'organisation des écoulements souterrains.

Le secteur d'étude se situe à l'exutoire de deux importants torrents de montagnes, et la confluence de ces deux cours d'eau forment le cours principale d'Ighzer Remila, sa longueur est de 11km et draine un impluvium d'environ 100km<sup>2</sup>, son profil en long certifie sa dynamique et sa puissance érosive.

La source thermale de Hammam Sillal jaillit à la faveur de deux accidents profonds auxquels se superposent les tracés des affluents cités précédemment à l'endroit de leur confluence.

Les grés numidiens de l'Akfadou se présentent en bancs métriques à la base, mais deviennent très épais au sommet. Ils sont composés de sables fins de teinte blanchâtre, parfois jaunâtre, faiblement consolidés et fortement poreux. La structure monoclinale, avec un faible pendage vers le Nord, confère aux grés numidiens de l'Akfadou un rôle hydrogéologie très important. En effet ils constituent un aquifère mixte ; à porosité interstitielle mais également de fracture. La nappe des grés numidiens est drainée par de très nombreuses sources qui émergent, soit en faveur de contacts stratigraphiques et/ ou en faveur de contacts tectoniques.

La position nettement surélevée dans la topographie, de la nappe des grés numidiens a pour conséquence logique, son drainage permanent jusqu'à l'épuisement des réserves emmagasinées.

Elle est essentiellement réalimentée à partir de l'infiltration des précipitations et particulièrement par la neige.

Il est à signaler la présence de nombreuses sources naturelles dans tout le versant qui sont en écoulement permanent, et l'épuisement de certaines autres en saison sèche. Les sources en abondances localisées sur les hauts reliefs, s'infiltrer dans le sous sol qui le sature et accentue le risque de l'instabilité de ces régions.

#### 4.5.1 Mesures piézométriques effectuées au niveau du site étudié

L'implantation d'un piézomètre près du Sc N°4, dans la région instable située en face de l'APC, dans le but de surveiller et mesurer les variations des niveaux piézométriques de la nappe libre existante.



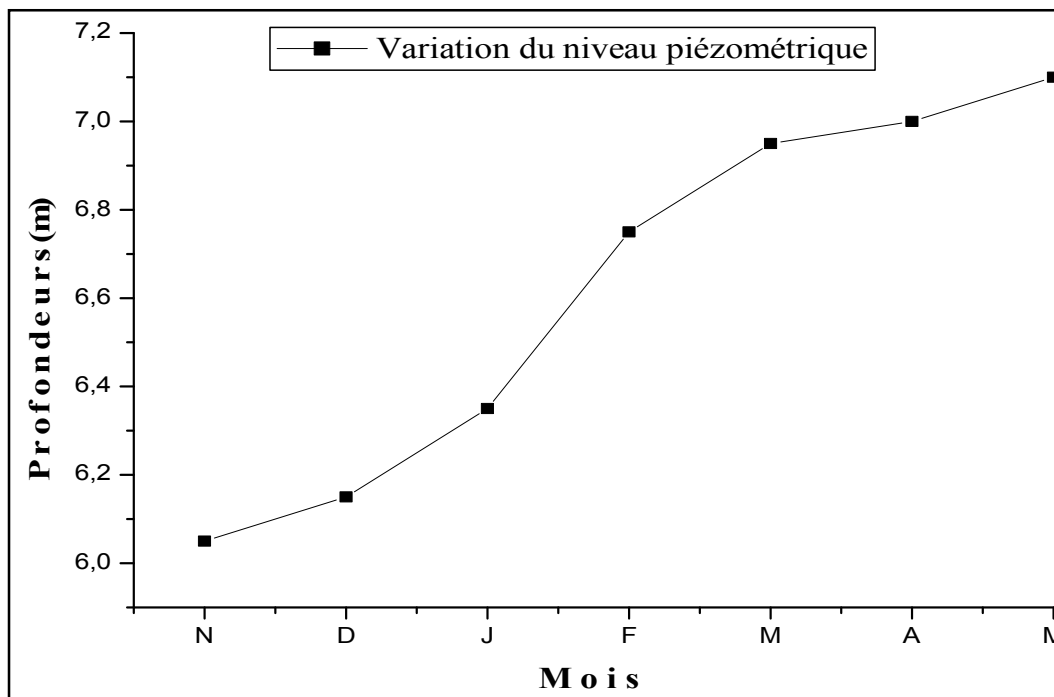
**Figure 53 : piézomètre**

Le suivi des niveaux piézométriques durant six mois, a révélé un écart de 1,05m. Cette variation est probablement due à l'alimentation par l'infiltration des eaux pluviales puisque les mesures ont été prises en hiver et en printemps.

Les mesures piézométriques son résumées dans le tableau suivant :

**Tableau 8 : Niveaux piézométriques [21]**

PIEZOMETRE	Coordonnée	Z(m)	Date
	Profondeurs		6.05
		6.15	07/12/2010
		6.35	07/01/2011
		6.75	07/02/2011
		6.95	07/03/2011
		7.00	07/04/2011
		7.10	07/05/2011
△	Ecart	<b>1.05</b>	////////////////



**Figure 54:** Variation piézométrique du niveau de la nappe du 07/11/2010 au 07/05/2011

Dans le but de déterminer la direction ou le sens d'écoulement de la nappe existante, une carte piézométrique ne peut être réalisée sur la base des résultats d'un seul piézomètre.

## 4.6 Conclusion

Les données hydroclimatiques sur le sous bassin versant Sillal-Tifra, laissent apparaître que la région est caractérisée par un climat tempéré, marqué par des précipitations importantes. Ces précipitations jouent un rôle primordial dans l'accélération des mouvements de terrains, surtout que **20,76%** des eaux de précipitations s'infiltrent dans le sous sol, et atteignent les argiles schisteuses et les marnes, et engendrent la diminution de leurs caractéristiques mécaniques ( $c$  et  $\phi$ ).

L'eau et le contraste thermique sont deux facteurs qui jouent un rôle important dans la désagrégation mécanique et chimique des roches de la région étudiée. Cette désagrégation modifie considérablement les caractéristiques mécaniques des roches. De plus, l'accumulation des eaux au niveau des surfaces de discontinuités (fissures, joints de stratification,...etc.), peuvent déclencher le ripage des bancs rocheux, ainsi que l'ouverture de discontinuités préexistantes.

A cela s'ajoute le rôle du ruissellement superficiel, surtout en cas de fortes crues ce qui attaque le pied du versant et par conséquent le déclenchement de leur instabilité.

L'infiltration est très importante, elle est de l'ordre de **169,6mm (20,76%)**. Elle constitue le facteur principale de l'apparition des problèmes de l'instabilités, car d'une part les eaux d'infiltration saturent les terrains de couverture et lubrifient la surface de contact entre les argiles quaternaires et les couches de marnes imperméables, ce qui favorise l'apparition de surface de glissement, d'autre part, la circulation des eaux d'infiltration le long des couloirs des grands accidents tectoniques fragilise les formations. En effet, la circulation des eaux le long des zones de faiblesse provoque un intense arrachement de particules solides très fines (argiles), accompagnés en surface par des déplacements en masse si la topographie est favorable.

La dégradation progressive du pied du versant par la vitesse et le débit importants de l'oued Remila, engendrent la suppression de la butée de pied de ce versant, et entraîne le déclenchement de glissements en amont.

L'impact du facteur hydrogéologique sur les mouvements de terrain de ce versant est considérable et doit donc faire l'objet d'une attention particulière.



## Chapitre V Etude géotechnique et classification des sols

### 5.1 Introduction

L'étude géotechnique se propose pour confirmer les résultats des études préliminaires, elle permet de mesurer et de déterminer les propriétés physiques et chimiques des sols et des roches, ainsi que leurs caractéristiques mécaniques d'après les résultats des essais in-situ et en laboratoire, et de déterminer les niveaux des nappes aquifères existantes et de permettre le choix de la meilleure solution adoptée au problème d'instabilité rencontré.

Toute étude géotechnique doit commencer par une reconnaissance sur terrain, permettant de vérifier en place la nature des sols, afin d'estimer la répartition des sols au sein de la surface d'étude, et la détermination des caractéristiques physiques et mécaniques et leurs distribution.

Le laboratoire technique des nouvelles constructions (LTNC) de Bejaia a été sollicité par l'APC de Tifra pour une étude de stabilisation du versant Sillal-Tifra. Cette étude porte sur la classification des zones instables et l'établissement d'une carte de vulnérabilité.

Le LTNC a engagé une campagne de prospection qui comporte l'ensemble des essais in-situ et en laboratoire, comme il a entrepris et exploité les études déjà réalisées par la DUC Bejaia, et celle réalisée par le LTPE.

Les données géologiques du site mettent en évidence une composition lithologique représentée essentiellement par un facies argileux, un facies gréseux, et des marnes schisteuses. Telles formations présentent des caractéristiques médiocres et constituent généralement le siège de nombreux problèmes d'instabilité notamment les glissements éventuels.

### 5.2 Les moyens de reconnaissance in-situ

Dans le site étudié, la campagne de reconnaissance in-situ a consisté à la réalisation de plusieurs sondages carottés, et essais pénétrométriques, leur implantation est illustrée sur la figure suivante :



SC : sondage carotté. PDL : pénétromètre dynamique lourd. ST : station topographique.

Figure 55 : Carte de repérage des essais in-situ

### 5.2.1 Les sondages mécaniques

Les zones d'implantations des sondages carottés réalisés, sont les plus représentatives sur les régions instables, vue la difficulté d'accessibilités du site. La campagne géotechnique s'est limitée à la réalisation de cinq sondages carottés dans le but de mettre en évidence les différents termes lithologiques de la zone concernée par les mouvements de terrains, et la précision de leur épaisseur et leur étendue latérale.

La profondeur d'investigation de ces sondages est de 15m, leur répartition spatiale a été faite de manière à couvrir des surfaces importantes des zones instables.

Les coupes établies à partir des données des sondages carottés N° 1 et 2, montrent que la partie Sud du secteur étudié est représentée par la lithologie suivante ;

Toute la plaine est dominée par des éboulis de pente argileux avec trace de gypse, allant d'une faible épaisseur du terrain naturel jusqu'à environ 8m de profondeur. Des marnes grises observées à partir de 10m jusqu'à 15m de profondeur. Ces deux formations sont séparées par une couche de marne beige avec trace de schiste altéré.

La partie Nord est caractérisé par une lithologie hétérogène donnée par les sondages carottés N°3, 4 et 5 ;

Le sondage carotté N°3 montre une dominance des argiles schisteuses allant de 1,5m jusqu'à 15m avec passage de marnes et galets. Cette formation est surmontée par une faible couche d'argiles grisâtres à paillettes de schistes friables.

Le sondage N°4 montre la disposition d'une couche de 3,5m d'épaisseur composée d'argiles grisâtres à paillettes de schistes friables avec quelques passages de marnes indurées. Cette formation repose sur un lit drainant allant de 3,5 à 15m de profondeur, composé de galets et graviers à sables fins.

Le sondage N°5 montre une dominance des éboulis de pentes argileux allant jusqu'à 6,25m de profondeur, reposant sur deux formations composées de ; marnes schisteuses avec passage d'argiles jaunes d'environ 2m d'épaisseur, et des marnes beiges avec passage de blocs gréseux jusqu'à 15m de profondeur.

La nature lithologique des différentes formations géologiques ainsi que leurs épaisseurs sont représentés sur les cinq coupes lithologiques suivantes :

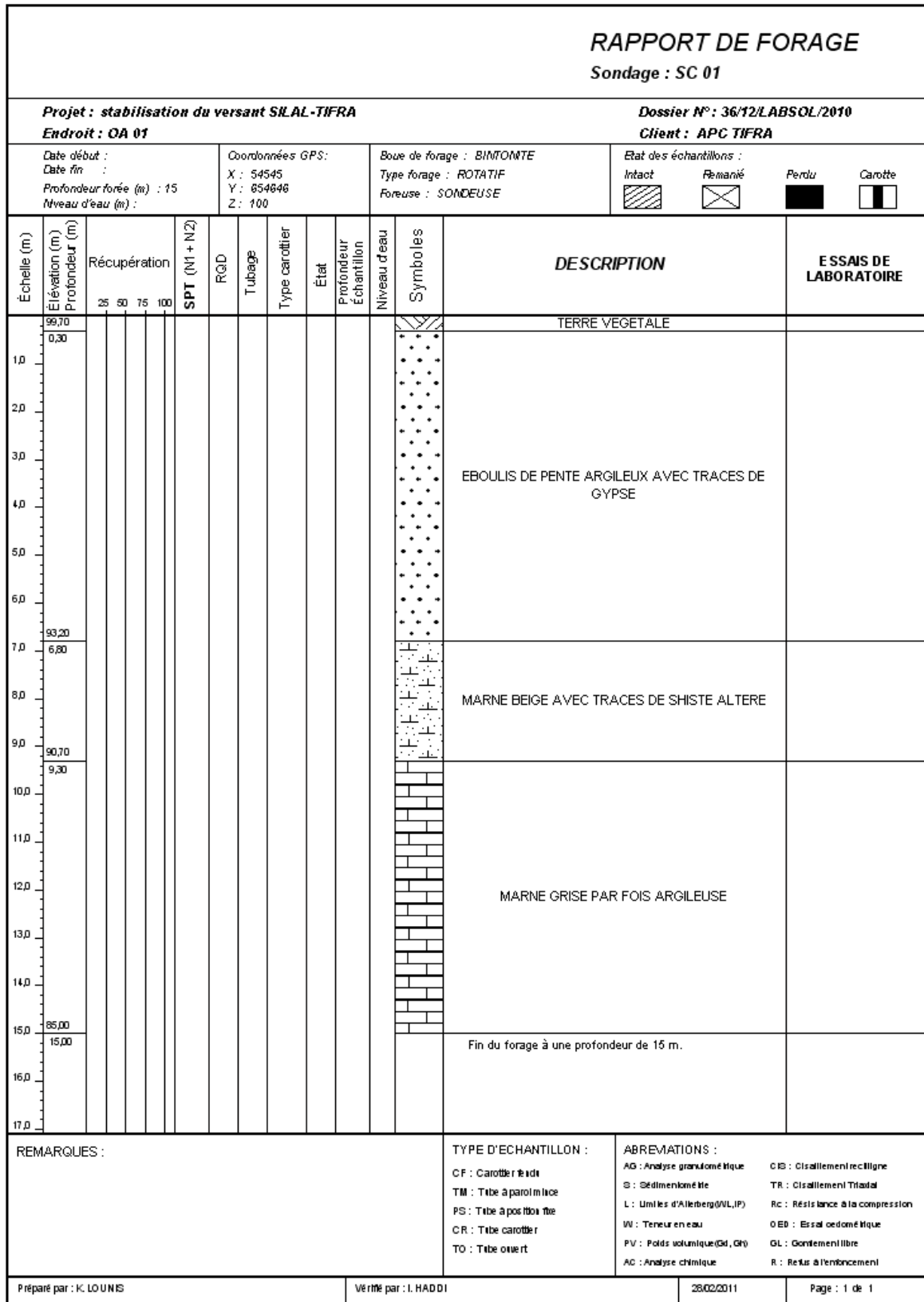


Figure 56 : Coupe lithologique 01. [21]

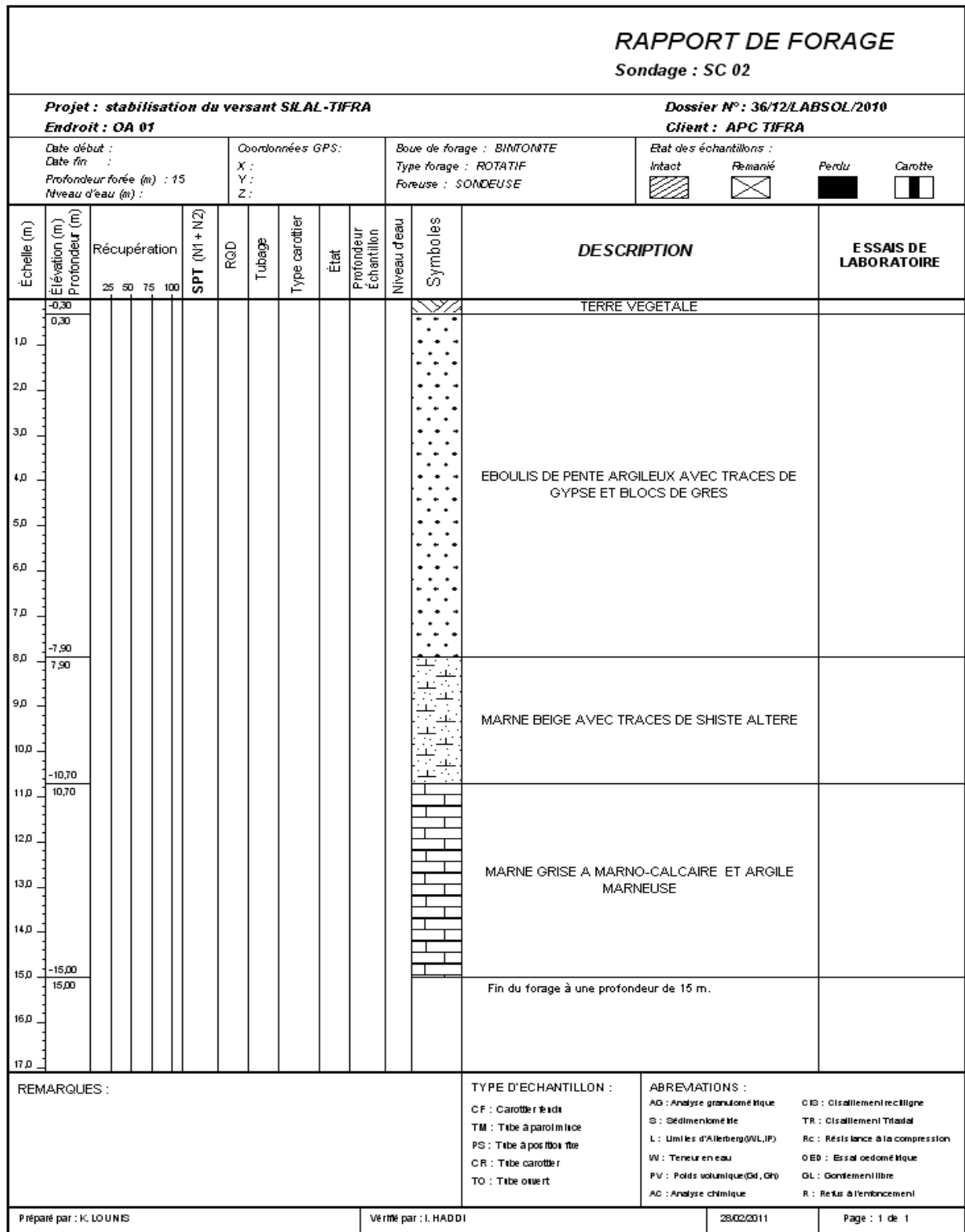


Figure 57 : Coupe lithologique 02. [21]

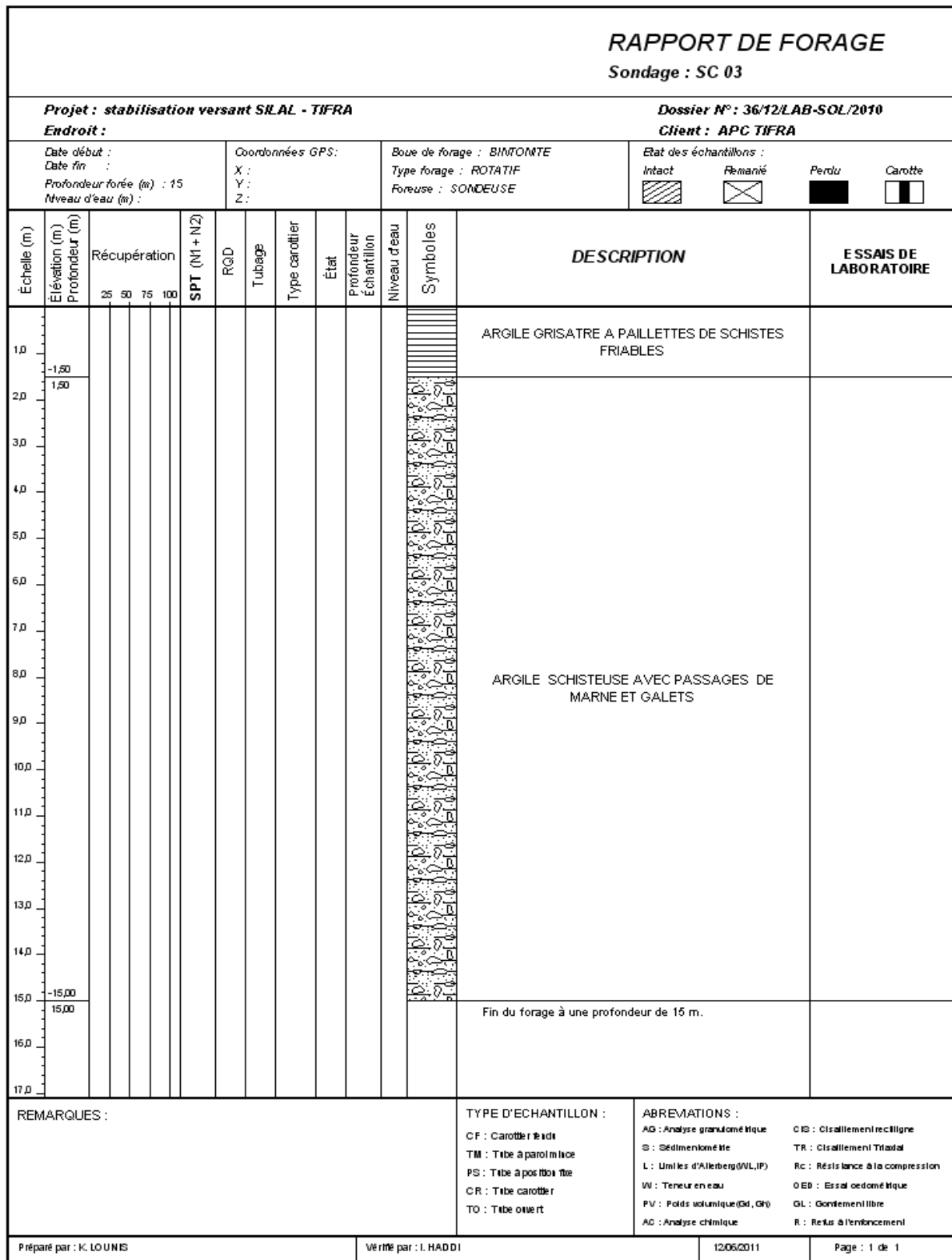


Figure 58 : Coupe lithologique 03. [21]

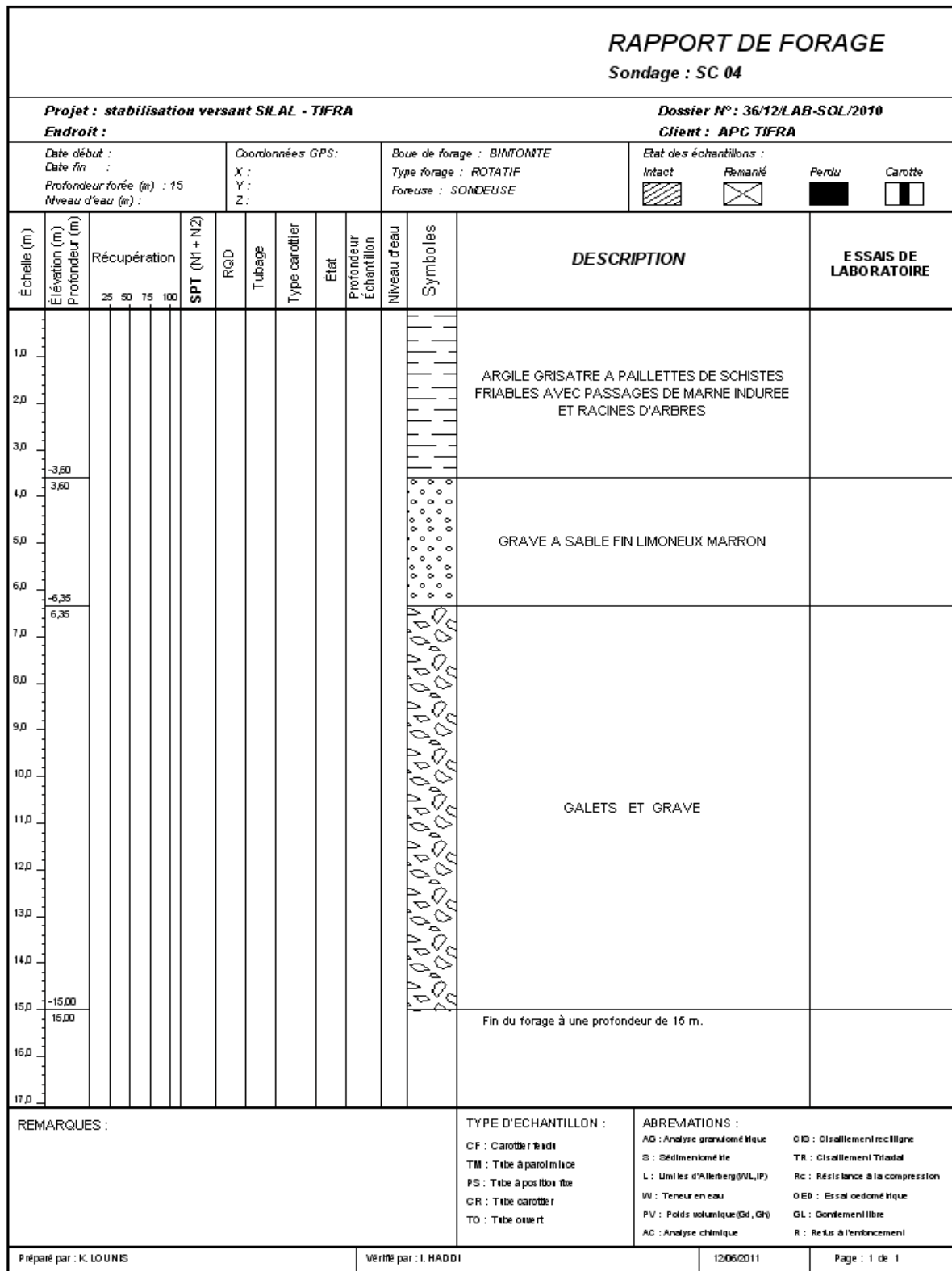


Figure 59 : Coupe lithologique 04. [21]

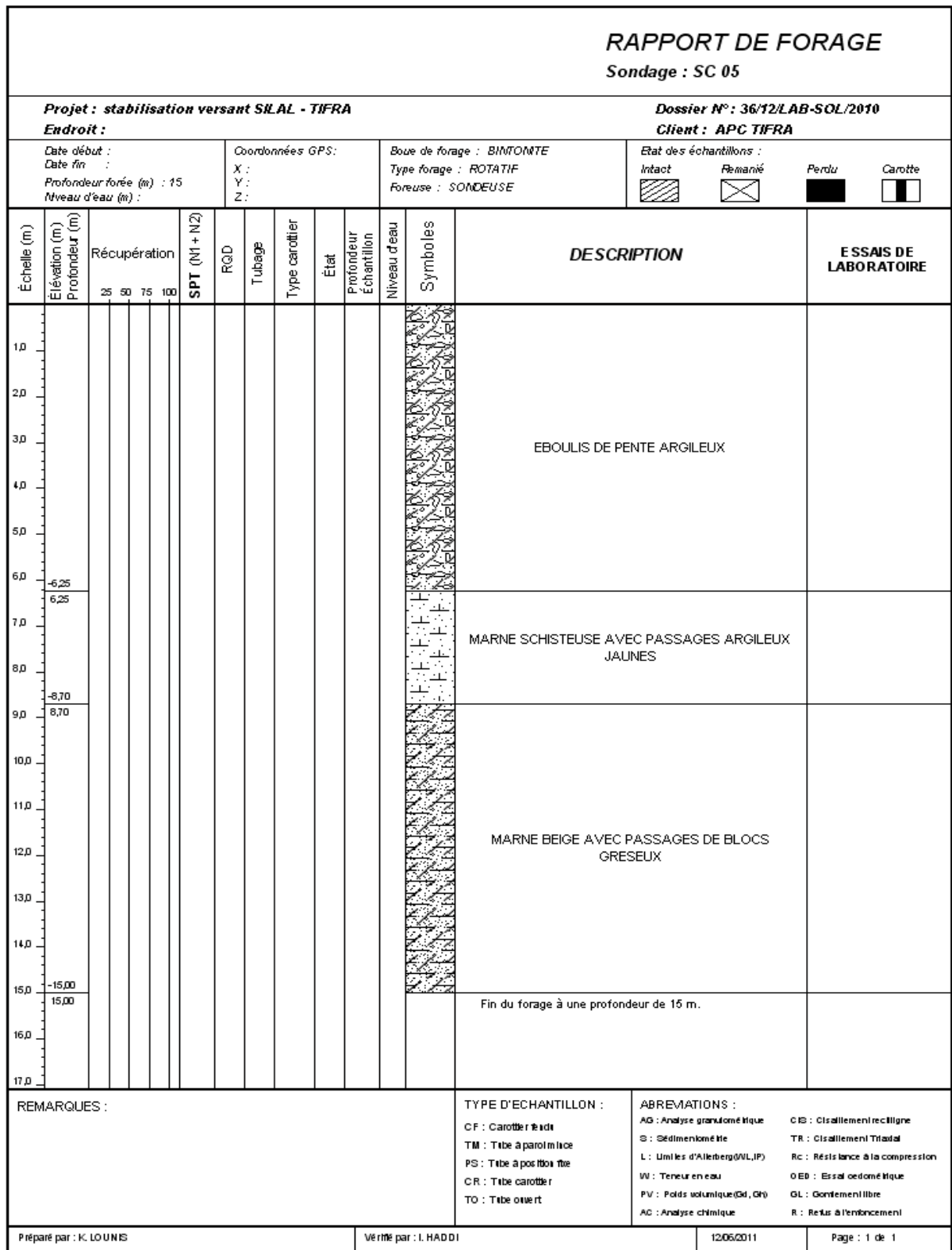


Figure 60 : Coupe lithologique 05. [21]



Les logs des 5 sondages carottés réalisés selon deux axes principaux nous a permis d'établir le profil géotechnique suivant :

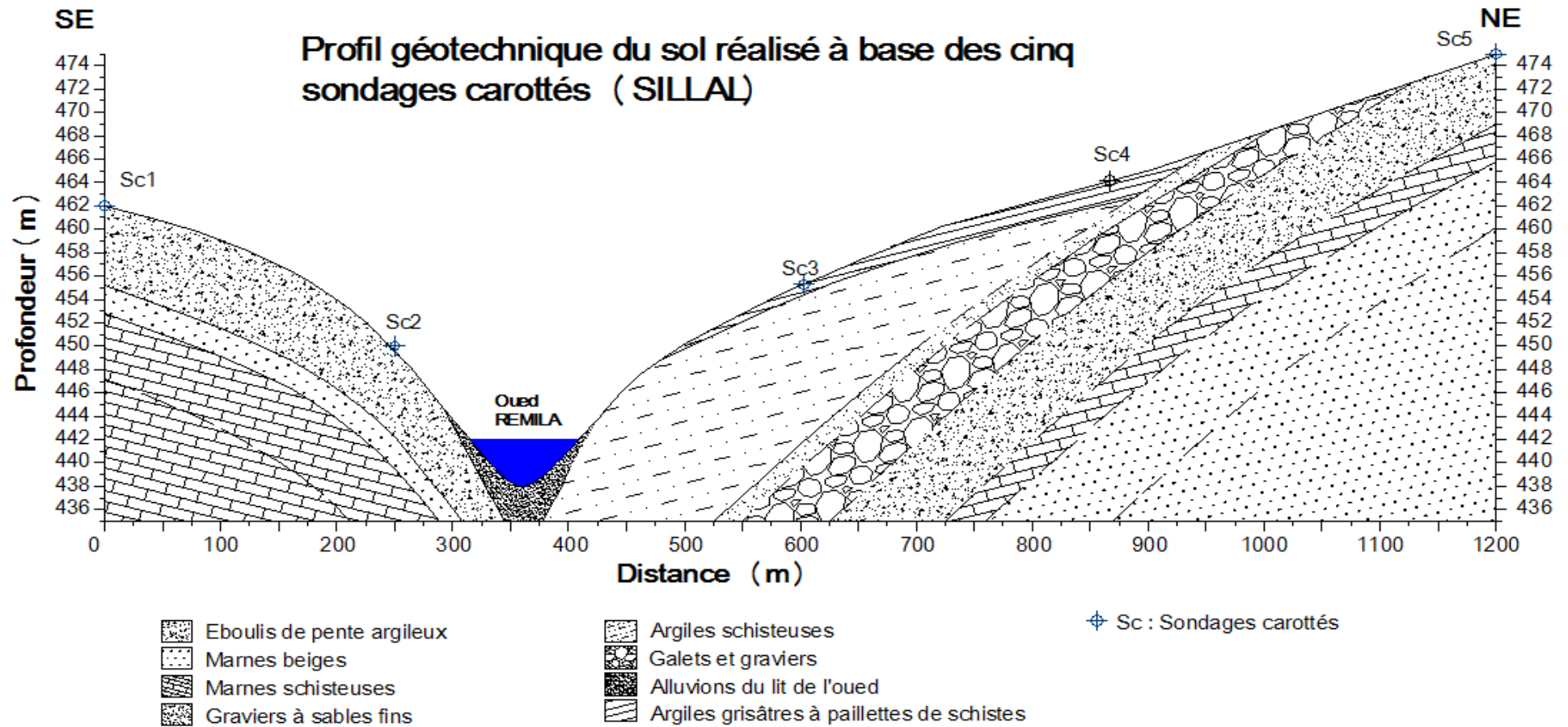


Figure 61 : profil géotechnique des sols

### 5.2.2 Essais au pénétromètre dynamique

Le sondage au pénétromètre dynamique est un moyen de reconnaissance géotechnique qui teste le terrain en place. Il consiste à déterminer le nombre de coups nécessaires pour enfoncer, selon une procédure définie, une pointe soumise, par l'intermédiaire d'un train de tiges, à une énergie de battage.

Le sondage au pénétromètre dynamique permet d'apprécier d'une façon qualitative la résistance des terrains traversés. Il est limité à des faibles profondeurs, car le frottement latéral se développe sur le train de tiges.

À partir de ce nombre de coups, le sondage au pénétromètre dynamique permet d'apprécier entre autres :

- la succession de différentes couches de terrain
- l'homogénéité d'une couche ou la présence d'anomalies
- la position d'une couche résistante dont l'existence est connue.

La résistance dynamique de pointe à la pénétration sous l'action du choc du mouton est donnée conventionnellement par l'expression suivante :

$$R_p = \frac{m \cdot g \cdot H}{A \cdot e} \cdot \frac{m}{m + m'}$$

Avec :

$R_p$  : Exprimé en pascals

$m$  : Masse du mouton en kilogrammes

$g$  : Accélération de la pesanteur en mètres par seconde carrée

$H$  : Hauteur de chute libre du mouton en mètres

$A$  : Aire de la section droite de la pointe en mètres carrés

$e$  : Enfoncement par coup en mètres

$m'$  : Masse cumulée, exprimée en kilogrammes de l'enclume et de la tige-guide, si celle-ci est solidaire de l'enclume, des tiges du porte pointe, de la pointe.

Trois sondages pénétrométriques (pénétrètres dynamique type B) ont été effectués conformément à la norme NF P 94 -115 dans le versant objet de notre étude, sont réalisés dans la zone de glissement situé sur la rive gauche de CW13 en face de l'APC de Tifra. Les trois pénétromètres dynamiques ont été réalisés près du sondage N°5, la profondeur maximale atteinte étant 5m. Les courbes pénétrométriques obtenues après la réalisation de ces essais sont données ci-après :

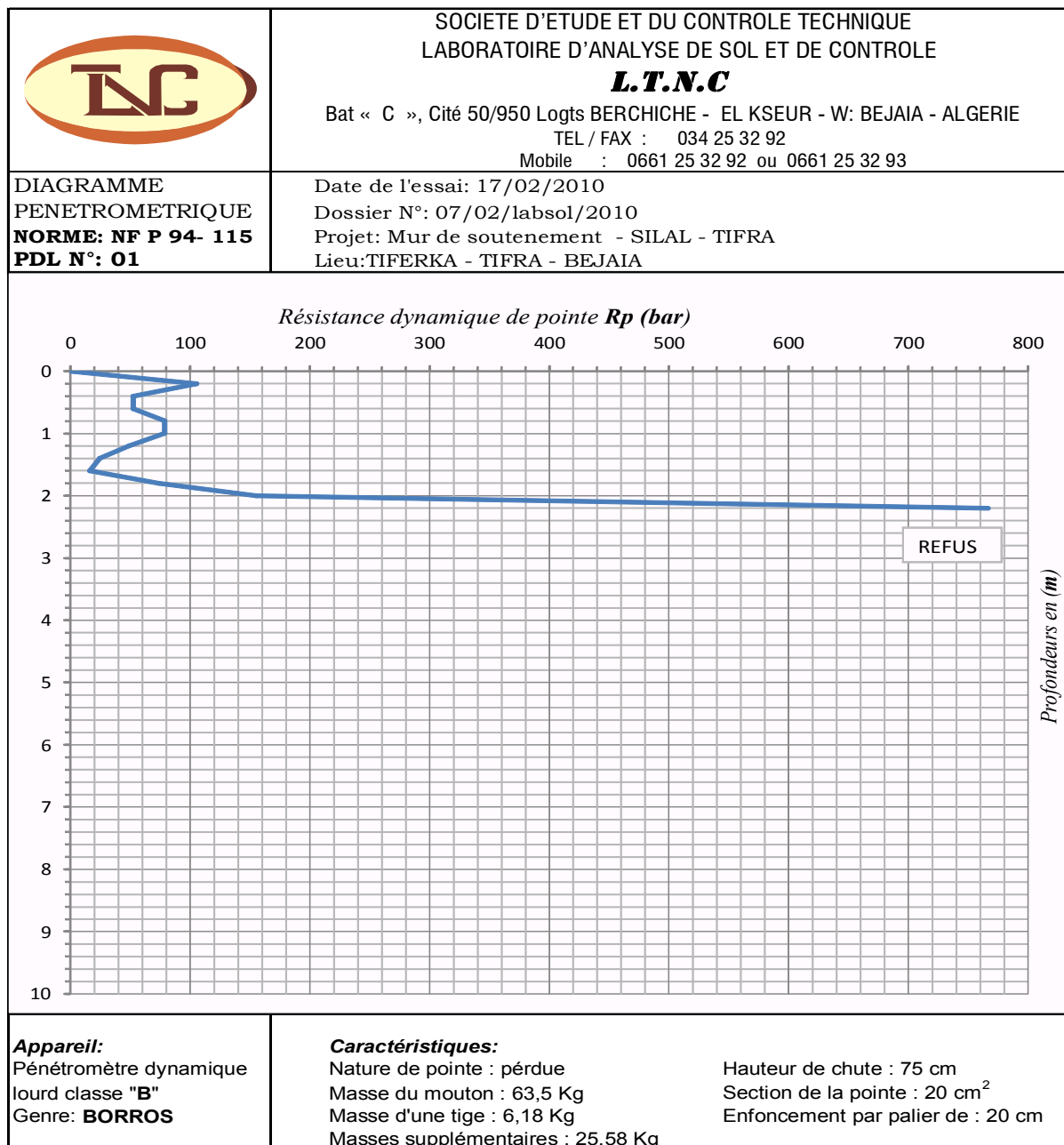


Figure 62 : Courbe pénétrométrique PDL N°1. [21]

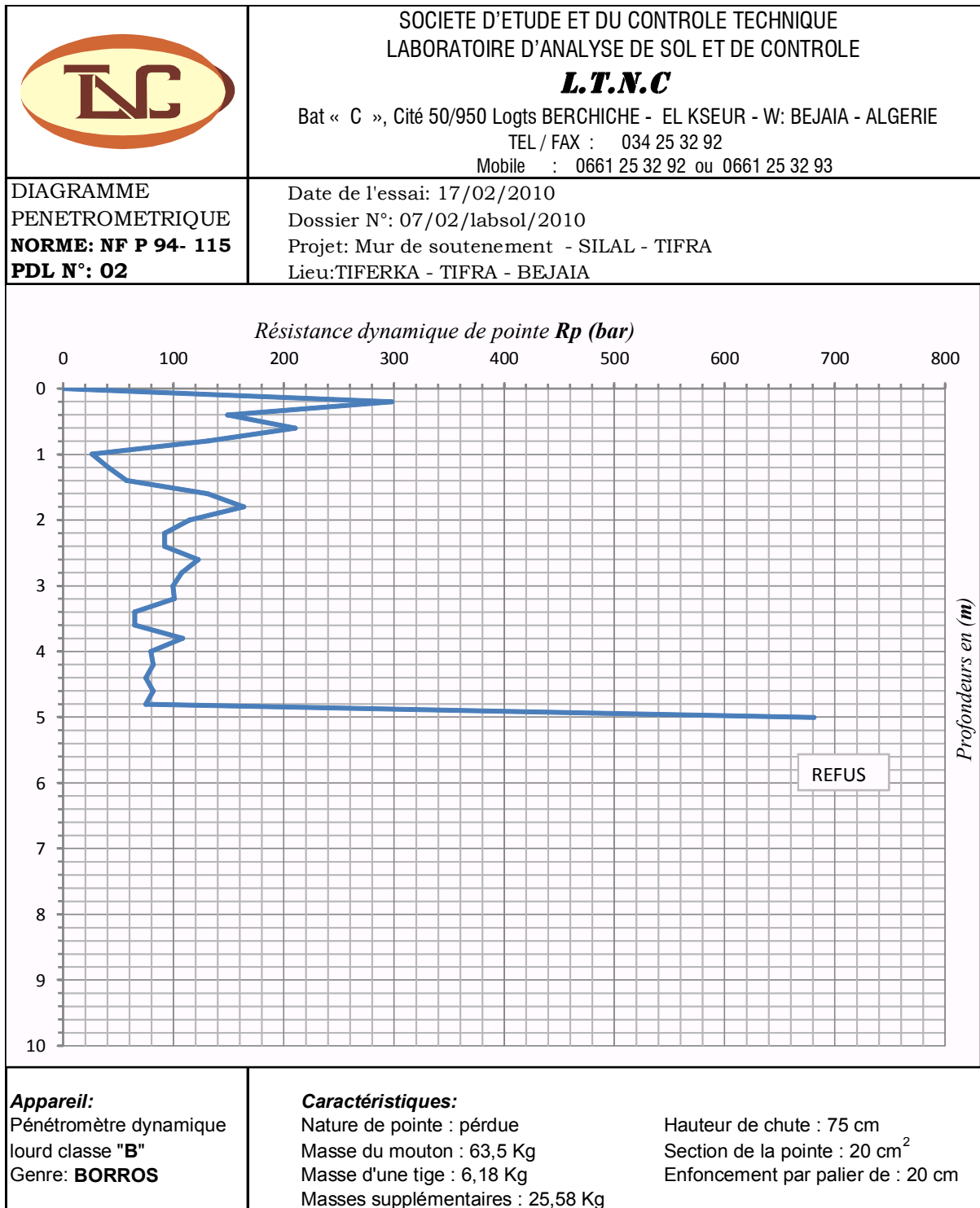


Figure 63 : Courbe pénétrométrique PDL N°2. [21]

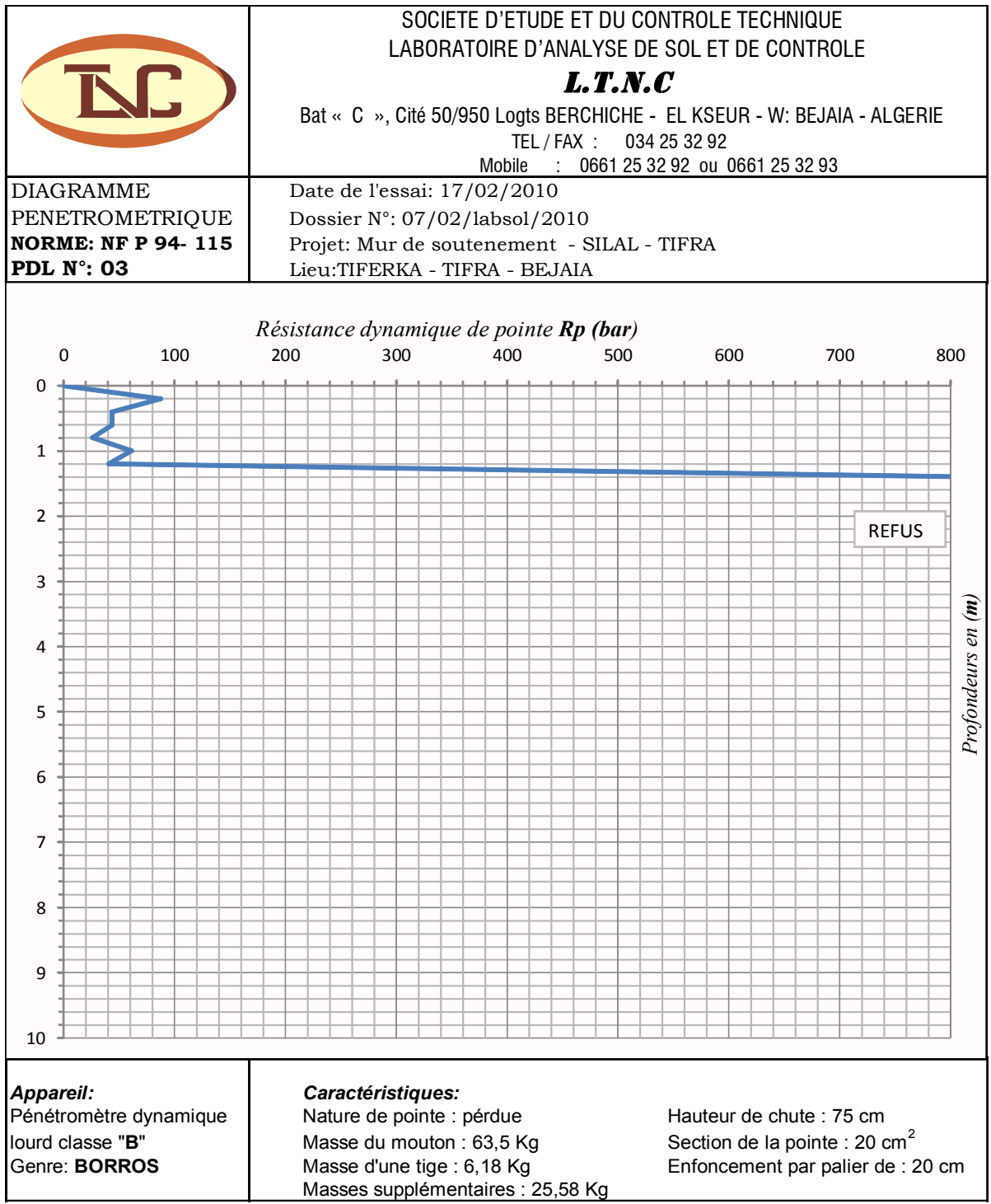


Figure 64 : Courbe pénétrométrique PDL N°3. [21]

### ➤ **Interprétation des résultats des essais pénétrométriques**

Les trois essais pénétrométriques sont réalisés à proximité du sondage carotté N°5, sur la rive gauche de CW13 en face de l'APC de Tifra.

Les PDL N°1 et PDL N°3 donnent une variation de résistance à la pointe de 20 à 80bars à une profondeur faible, et atteignent le refus à environ 2m de profondeur.

Par contre, le PDL N°2 atteint le refus à environ 5m de profondeur, et surmonté par des couches présentant des résistances à la pointe variant de 60 à 100bars. Il est à signaler que la courbe présente une allure dentelée à la surface liée vraisemblablement à la présence de galets ou de cailloux dans cette formation.

### **5.3 Les moyens d'étude au laboratoire**

Les essais au laboratoire ont pour but de déterminer les paramètres physiques, mécaniques et chimiques du sol, en vu d'estimer son état naturel. Ces essais se font sur des échantillons intacts ou remaniés, prélevés à partir des sondages carottés et/ou fouilles de reconnaissances. Pour qu'un essai donne des résultats précis. Il faut que l'échantillon soit représentatif, il faut donc tenir compte du mode de prélèvement.

Il est habituel de caractériser les sols à l'aide d'essais relativement simples. Ces essais sont appelés "essais d'identification", les principaux sont les suivants :

- L'analyse granulométrique.
- La teneur en eau.
- Les densités.
- Les limites d'Atterberg.
- L'équivalent de sable.
- La teneur en CaCO<sub>3</sub>, sulfate et en chlorure

Le laboratoire technique des nouvelles constructions (LTNC) a réalisé des prélèvements des échantillons à partir des sondages carottés N° 1, 3 et 5, et le puit de reconnaissance situé près du sondage N°5. Ces échantillons sont soit intacts ou remaniés.

Les essais au laboratoire comportent des essais d'indentifications réalisés en 2011, ils ont portés sur la granulométrie et sédimentométrie, la teneur en eau, les poids volumiques sèches et humides...

### 5.3.1 L'analyse granulométrique

L'analyse granulométrique a pour but de déterminer les proportions des grains de différentes tailles dans le sol. Elle s'effectue par :

- Tamisage pour les grains d'un diamètre supérieur à 80 $\mu$ m (NF P94-056).
- Sédimentométrie pour les grains les plus fins (NF P94-057).

Les résultats sont exprimés sous forme d'une courbe à savoir : "courbe granulométrique". Cette courbe contribue à l'identification du matériau et permet de prévoir certaines de ses propriétés. Elle est notamment utilisée pour la classification des sols grenus, qui nécessite le calcul de deux coefficients de forme :

Le coefficient d'uniformité (coefficient de Hazen) :

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Si :  $C_u > 5$  la granulométrie est dite étalée (continue).

$C_u < 2$  la granulométrie est dite étroite (uniforme).

Le coefficient de courbure :

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \cdot D_{60}}$$

Pour un sol bien gradué :  $C_u > 5$  et  $1 < C_c < 3$ .

$D_{10}$ ,  $D_{30}$  et  $D_{60}$  étant respectivement les diamètres correspondant à 10%, 30% et 60% d'éléments de dimension inférieure. [19]

**NB :** Dans notre cas, on ne va pas calculer les valeurs de  $C_u$  et  $C_c$  puisqu'on n'a pas la valeur de  $D_{10}$ .

Dans le site étudié, les courbes granulométriques obtenues par tamisage et sédimentométrie des échantillons prélevés dans le sondage N° 01, sont données ci-après :

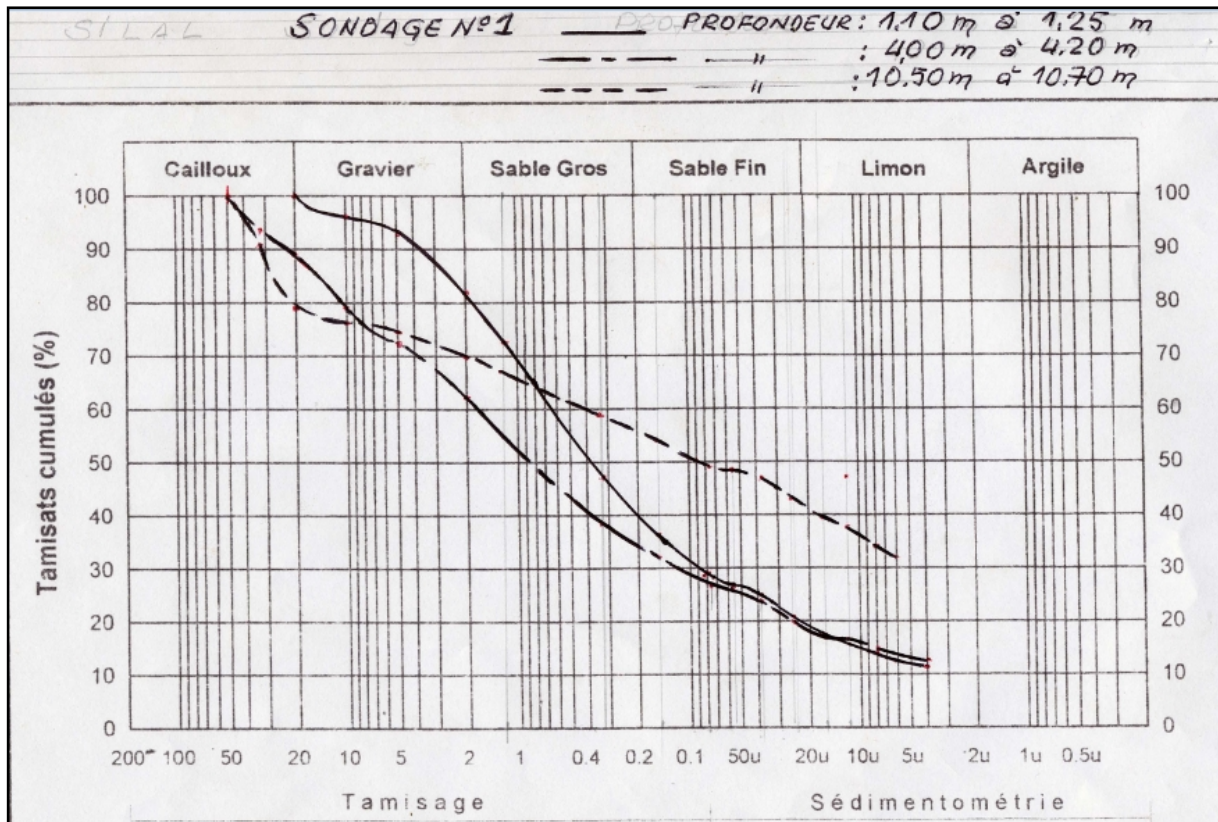


Figure 65 : Courbe granulométrique SC N°1. [21]

Les pourcentages des différentes fractions granulaires sont récapitulés dans le Tableau suivant :

Tableau 9 : Pourcentages des fractions granulaires des échantillons prélevés dans le sondage N°1.

	Profondeur (m)	Cailloux (%)	Gravier (%)	Sable Gros (%)	Sable Fin (%)	Limon (%)	Argile (%)
Sondage N°1	1.10 - 1.25	00	19	41	21	19	00
	4.00 - 4.20	10	28	28	16	18	00
	10.5 - 10.7	20	10	14	16	40	00

➤ **Interprétation des résultats granulométriques**

Les sols naturels sont toujours soumis aux différents facteurs d'altération et d'érosion donnant naissance aux matériaux qui se différencient par leur forme et leur volume. Le



volume de ces matériaux varie entre des cailloux (et même des blocs) et des grains plus fins tel que les silts et les argiles.

Les formes et les volumes des grains nous donnent une idée sur les facteurs d'altération et de transport affectant ces grains, ainsi que leurs dimensions jouent un rôle très important dans la stabilité des sols : les sédiments de gros sables et graviers sont plus stables lorsqu'ils sont secs, par contre les sables fins, les silts et les argiles sont généralement le siège de nombreux mouvements de terrains, et leur instabilité augmente encore plus en présence d'eau.

Après la représentation de ces courbes granulométriques, et la classification des sols selon LPC, on peut déduire que les sols constituant le terrain du site étudié sont des sols fins (sables argileux), donc très disposés aux problèmes d'instabilité notamment les glissements de terrains.

### 5.3.2 La teneur en eau

Elle définit le rapport en pourcentage (%) du poids d'eau  $W_W$  que le sol contient, au poids  $W_S$  de ses éléments secs. L'obtention des éléments secs s'obtient par dessiccation du sol pendant 24 heures dans une étuve à  $105^\circ$  [17].

$$W (\%) = W_W / W_S \cdot 100 \quad \text{avec : } W_W : \text{ poids de l'eau dans l'échantillon.}$$

$$W_S : \text{ poids de l'échantillon sec.}$$

La teneur en eau est le paramètre le plus important dont sa variation modifie toutes les propriétés physiques du sol. Connaissant la valeur de la teneur en eau on peut avoir l'état dans lequel le sol se trouve, à titre d'exemple le tableau ci-dessous donne une classification adoptée par FAER en fonction de ce paramètre : [18]

**Tableau 10** : Classification des sols selon W

W	Etat
01-25%	Légèrement humide
25-50%	Humide
50-75%	Mouillé
75-90%	Détrempé
$\leq 100\%$	Saturé

### 5.3.3 Les densités

L'essai de la densité permet d'obtenir les caractéristiques physiques du sol sous plusieurs formes (densité sèche, densité humide, et densité déjaugée).

#### a- La densité humide $\gamma_h$

C'est le poids volumique du sol à l'état humide :  $\gamma_h = W / V$

Avec :  $W$  : poids de l'échantillon humide.  
 $V$  : volume total.

#### b- La densité sèche $\gamma_d$

C'est le poids volumique du sol à l'état sec :  $\gamma_d = W_s / V$

Avec :  $W_s$  : poids des grains solides.  
 $V$  : volume total.

Le tableau ci-après donne une classification du sol selon ces deux paramètres [16].

**Tableau 11** : Classification des sols selon  $\gamma_h$  et  $\gamma_d$

Nature du sol	$\gamma_h$	$\gamma_d$
Sable	17 à 20 KN/M <sup>3</sup>	14 à 18 KN/M <sup>3</sup>
Argile	16 à 22 KN/M <sup>3</sup>	10 à 20 KN/M <sup>3</sup>
Tourbe	13 à 17 KN/M <sup>3</sup>	03 à 10 KN/M <sup>3</sup>

#### c- Le degré de saturation $S_r$

C'est le rapport entre le volume de l'eau et le volume des vides exprimé en pourcentage :

$$S_r = V_w / V_v$$

Dans le cas de site étudié, nous avons reportés aux tableaux suivants les teneurs en eau, ainsi les densités trouvées pour des échantillons prélevés à différentes profondeurs :

**Tableau 12** : Résultats des essais ( $W$ ,  $\gamma$ ,  $S_r$ ) à partir du sondage SC1

Sondage N°1					
Profondeur (m)	0,60 -0,75	2,50 – 2,65	6,25 – 6,40	8,40 – 9,00	11,7–11,85
Teneur en eau $W$ (%)	24,9	19,9	17,2	22,8	18,6
Densité sèche $\gamma_d$ (t/m <sup>3</sup> )	1,58	1,54	1,6	1,47	1,55
Densité humide $\gamma_h$ (t/m <sup>3</sup> )	2,1	1,93	1,93	1,88	1,91
Degré de saturation $S_r$ (%)	95	71	67	71	68

**Tableau 13** : Résultats des essais exécutés en 2011 à partir du Sondage N°3

<b>Sondage N°3</b>	
<b>Profondeur (m)</b>	<b>0.60 -0.75</b>
<b>Teneur en eau W (%)</b>	24,9
<b>Densité sèche <math>\gamma_d</math> (t/m<sup>3</sup>)</b>	1,58
<b>Densité humide <math>\gamma_h</math> (t/m<sup>3</sup>)</b>	2,1
<b>Degré de saturation Sr (%)</b>	100

**Tableau 14** : Résultats des essais exécutés en 2011 à partir du Puit N°1

<b>Puit N°1</b>		
<b>Profondeur (m)</b>	<b>0.70 -1.30</b>	<b>1,30 – 2,50</b>
<b>Teneur en eau W (%)</b>	38,5	19,8
<b>Densité sèche <math>\gamma_d</math> (t/m<sup>3</sup>)</b>	1,48	1,75
<b>Densité humide <math>\gamma_h</math> (t/m<sup>3</sup>)</b>	2,4	2,18
<b>Degré de saturation Sr (%)</b>	85	98

#### ➤ **Interprétation des résultats**

D'une manière générale, on observe qu'il existe à la fois une décroissance de l'humidité des formations en fonction de la profondeur ou accroissance de celle-ci d'autre fois, bien que les valeurs obtenues de la teneur en eau (W) comprises entre 17.2 % et 38.5 % ce qui donne des formations humides.

Le degré de saturation du sol (Sr), effectué sur les prélèvements des sondages N°1 et 3, et le puit N°1, ont indiqués des valeurs très élevés variant de 67% et 100%, ce qui nous permet de conclure que les matériaux en place sont fortement saturés en eau.

Les densités sont très importantes de l'ordre de 1.47 t/m<sup>3</sup> à 1.75 t/m<sup>3</sup> pour les poids volumiques secs et de l'ordre de 1.88 t/m<sup>3</sup> à 2.40 t/m<sup>3</sup> pour les poids volumiques humides. De telles valeurs indiquent la présence de sols fins ou plus précisément des formations argileuses.

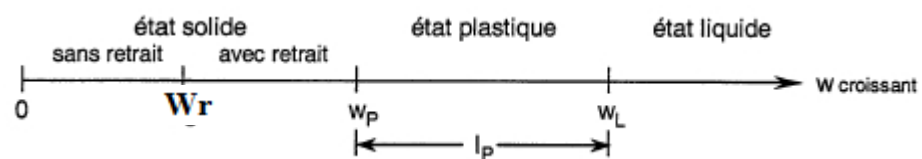
#### **5.3.4 Les limites d'Atterberg**

Les limites d'Atterberg sont des teneurs en eau conventionnelles qui décrivent l'état du sol. On les mesure sur la fraction du sol passant par le tamis 0.5mm [17].

Le sol fin pourra passer d'un état « solide » à un état « liquide », quand sa teneur en eau augmente ; le comportement intermédiaire est celui de l'état plastique.

La consistance d'un sol va donc varier en fonction de la teneur en eau. On définit des limites arbitraires pour qualifier ces différents états :

- La limite de liquidité  $W_L$  est la teneur en eau qui sépare l'état liquide de l'état plastique;
- La limite de plasticité  $W_p$  est la teneur en eau qui sépare l'état plastique de l'état solide;
- La limite de retrait  $W_r$  est la teneur en eau entre un état solide sans retrait et un état solide avec retrait.



Les limites d'Atterberg nous aident aussi à calculer d'autres paramètres très importants pour la classification des sols, l'essai est réalisé selon la norme NF P 94-051.

#### a- Indice de plasticité $I_p$

Il permet de mesurer l'étendue du domaine de plasticité d'un sol [16].

$$I_p = W_L - W_p$$

À titre d'exemple, le tableau ci-dessous indique les degrés de plasticité d'un sol [18].

**Tableau 15 :** Degré de plasticité des sols selon  $I_p$

Indice de plasticité	Degré de plasticité
0 – 5	Non plastique
5 – 15	Peu plastique
15 – 40	Plastique
> 40	Très plastique

#### b- Estimation du gonflement des sols

Selon les valeurs de l'indice de plasticité  $I_p$ , on peut évaluer le gonflement possible des sols. Généralement les sols gonflants ont un très grand indice de plasticité [5].

**Tableau 16 :** Gonflement potentiel des sols selon  $I_p$ 

Gonflement potentiel	$I_p$ (%)
Faible	0 - 15
Moyen	15 - 25
Elevé	25 - 55
Très élevé	> 55

**Tableau 17 :** Estimation du gonflement potentiel du sol étudié

Sondage	Profondeur (m)	$I_p$ (%)	Gonflement potentiel
SC N°1	01.35 - 01.50	23	Moyen
	08.40 - 09.00	17	Moyen
SCN°3	01.80 - 01.90	16	Moyen
Puit N°1	00.70 – 01.30	26	Elevé

On constate donc que le sol en place qui est représenté par des éboulis de pente argileux avec traces de gypse, et les argiles grisâtres sont caractérisés par un gonflement moyen à élevé.

#### c- Indice de consistance $I_c$

Pour apprécier le degré de consistance d'un sol, on a comme indication l'indice de consistance.

$$I_c = W_L - W / I_p \quad \text{avec : } W : \text{teneur en eau du sol naturel [19].}$$

#### d- Indice de liquidité $I_L$

Il est moins utilisé et il est défini par [19].

$$I_L = W - W_p / I_p$$

Les classifications du sol les plus utilisées et les plus récentes sont celles qui tiennent compte de plusieurs paramètres en même temps, comme la classification LPC des sols grenus et le diagramme de plasticité de Casagrande. Les résultats des essais des limites d'Atterberg effectués au niveau de Sillal-Tifra sont récapitulés dans le tableau suivant :

**Tableau 18 :** Résultats des essais de limites d'Atterberg

sondage	Profondeur	$W_L$ (%)	$W_P$ (%)	$I_p$ (%)	$I_c$
SCN°1	01.35 - 01.50	44	21	23	1,04
	08.40 - 09.00	37	20	17	0,83
SCN°3	01.80 - 01.90	34	18	16	0,56
Puit N°1	00.70 – 01.30	56	30	26	0,07

### ➤ Interprétation des résultats

La classification donnée par LPC indique que les formations en place sont plastiques dont les valeurs de  $I_p$  varient de 16 à 26 %.

Après l'exécution des essais de limites d'Atterberg, on a reporté les valeurs trouvées de chaque couple ( $W_L$  et  $I_p$ ) sur l'abaque de plasticité de Casagrande, on a trouvé que ces couples se situent au-dessus de la droite A, ce qui nous indique que les formations en place sont des argiles peu plastiques (AP) à très plastiques (AT).

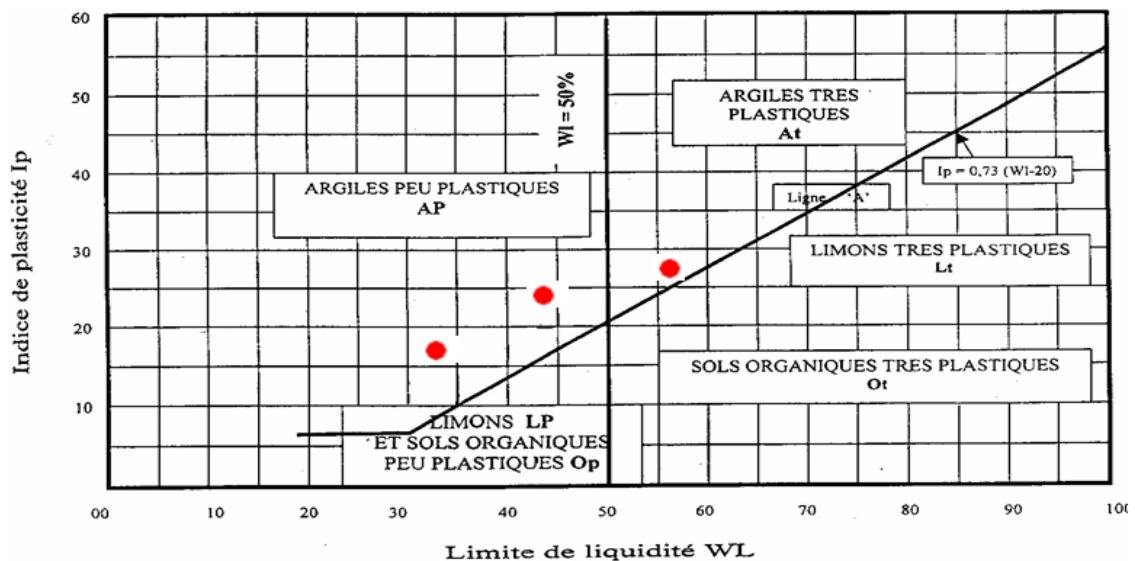


Figure 66 : Résultats des essais de limites d'Atterberg

### 5.3.5 Essais mécaniques

#### a- Essai oedométrique

L'essai de compressibilité à l'oedomètre a pour but d'étudier la consolidation d'échantillon de sols intacts ou remaniés, soumis à des charges verticales, drainés suivant cette direction et maintenus latéralement par une paroi rigide.

Il permet de suivre la consolidation au cours du temps et de déterminer les relations entre les charges et les déformations obtenues sous ces charges après consolidation

Cet essai permet d'établir, pour un échantillon donné, deux types de courbes :

- la courbe de compressibilité, qui indique le tassement total en fonction du logarithme de la contrainte appliquée.
- La courbe de consolidation, qui donne le tassement de l'échantillon en fonction du temps sous l'application d'une contrainte constante au début.

A partir de la courbe oedométrique (indice des vides en fonction du logarithme décimale de la contrainte verticale appliquée), on peut déduire plusieurs paramètres nécessaires pour le calcul du tassement ou pour la classification des sols selon leur compressibilité, l'indice de compressibilité  $C_c$  et l'indice de gonflement  $C_g$  et la contrainte de préconsolidation  $\sigma'_p$  [19].

On représente ci-après une classification du sol donnée selon leur indice de compressibilité  $C_c$  [1].

**Tableau 19** : Classification du sol selon  $C_c$ .

$C_c < 0.020$	Sol incompressible
$0.020 < C_c < 0.050$	Sol très peu compressible
$0.050 < C_c < 0.100$	Sol peu compressible
$0.100 < C_c < 0.200$	Sol moyennement compressible
$0.200 < C_c < 0.300$	Sol assez fortement compressible
$0.300 < C_c < 0.500$	Sol très compressible
$C_c > 0.500$	Sol extrêmement compressible

Le tableau suivant représente la classification des sols selon leurs coefficients de gonflements : [20]

**Tableau 20** : Classification du sol selon  $C_g$

Coefficient de gonflement	Susceptibilité
$C_g < 0,025$	Faible
$0,025 < C_g < 0,035$	Moyenne
$0,035 < C_g < 0,055$	Forte
$C_g > 0,055$	Très forte

Un essai de compressibilité à l'oedomètre a été effectué en 2011 sur des échantillons prélevés du site étudié. Les résultats obtenus sont récapitulés dans le Tableau.:

**Tableau 21** : Résultats des essais oedométriques

<b>Sondage N°3</b>		
<b>Profondeur (m)</b>		<b>2.00 - 2.20</b>
<b>Caractéristiques oedométriques</b>	$\sigma'_p$ (bars)	3.35
	$C_c$	0.364
	$C_g$	0.027

$\sigma'_p$  : contrainte de préconsolidation.

### ➤ Interprétation des résultats

Pour ce qui concerne les résultats de l'essai oedométrique effectué sur l'échantillon prélevé à 2.50m de profondeur dans le sondage N°5, l'indice de compressibilité  $C_c$  est de l'ordre de 0,364 ce qui nous indique que le sol en place est très compressible.

Le coefficient de gonflement  $C_g$  mesuré sur les échantillons prélevés est de 0,027 ce qui montre que le sol en place peut gonfler en présence d'eau.

#### **b- Essai de cisaillement**

Pour mesurer la résistance au cisaillement du sol on utilise l'essai de cisaillement direct (NF P 94-071-1). Pour le cisaillement direct ou rectiligne ; l'appareil le plus souvent utilisé est celui de Casagrande. L'échantillon de sol est placé entre deux demi-boîtes pouvant glisser l'une sur l'autre, un effort normal au plan de glissement est appliqué par un piston et maintenue constant, et on mesure l'effort maximal de cisaillement en enregistrant une courbe effort-déformation. [17]

Le cisaillement rectiligne donne donc à la rupture un couple de valeur  $(\sigma_N, \sigma_T)$  qui définit un point dans la courbe intrinsèque déterminée par Coulomb.

L'angle de frottement interne  $\varphi$  du sol est l'angle que fait cette droite avec l'axe des abscisses tandis que la cohésion  $C$  est l'ordonnée à l'origine. [17]

Dans le but de déterminer les caractéristiques mécaniques des sols rencontrés dans le site étudié, un essai de cisaillement à la boîte de Casagrande a été réalisé sur un échantillon d'argile prélevé du sondage N°3 à une profondeur de 2,00 à 2,20m. Les résultats ont donné une valeur de la cohésion de 0,50bars et un angle de frottement interne de  $19^\circ$ .

La cohésion trouvée à la boîte de Casagrande est faible (0.50bar) ce qui nous donne un sol faiblement cohérent.

La détermination de l'angle de frottement interne par l'essai de cisaillement à la boîte de Casagrande indique que le sol en place est faiblement résistant au cisaillement ( $\varphi < 20^\circ$ ), connaissant que la pente du versant instable est variée de 30 à 60%, cette pente suppose un angle de frottement interne au minimum supérieur à  $19^\circ$  pour garder leur stabilité.



### c- Caractéristiques chimiques des sols

Le carbonate de calcium, le sulfate et le chlorure sont des sels solubles, ils se dissolvent en contact de l'eau. L'infiltration de l'eau dans les discontinuités à formations calcaires peut les dissoudre et causer le décrochage de pan et provoquer un glissement, d'autre part, ils peuvent dissoudre les formations en profondeur et former des cavités karstiques qui peuvent causer des effondrements.

D'après la teneur en  $\text{CaCO}_3$  on peut avoir les formations suivantes [1]:

**Tableau 22** : Classification du sol selon  $\text{CaCO}_3$

les argiles franches	$\text{CaCO}_3 < 10\%$
les argiles marneuses	$10\% < \text{CaCO}_3 < 30\%$
les marnes	$30\% < \text{CaCO}_3 < 70\%$
les calcaires marneux	$70\% < \text{CaCO}_3 < 90\%$
les calcaires francs	$\text{CaCO}_3 > 90\%$

#### ➤ Interprétation des résultats

Dans le site étudié, un certain nombre d'échantillons de sol prélevés à 2,5m de profondeurs du sondage N°5 ont été soumis à des analyses chimiques. Ces analyses montrent que la teneur en carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ) est assez moyenne permettant de classer ces sols dans leur majorité comme étant des marnes dont la valeur en  $\text{CaCO}_3$  est de l'ordre de 64,03%. La teneur en chlorures est de 46,80%, comme il est constaté sur les échantillons des traces de sulfates, ce qui indique la présence de gypse, qui peut subir des dissolutions par la circulation des eaux et conduire à la formation des cavités souterraines.

Le pourcentage élevé en carbonate de calcium et en sulfates est due à la dominance des grès numidien riches en calcaire dans la région d'étude. D'après les essais en laboratoire cités précédemment qui ont montrés la présence d'eau en quantité importante laisse la région en une sensibilité permanente.

Les caractéristiques physiques et mécaniques des sols obtenues à partir des essais au laboratoire sont récapitulés dans le tableau suivant ;

**Tableau 23** : Caractéristiques physico-mécaniques et chimiques des sols

Sondage	Profondeur (m)	Essais	Résultats	Classification
SC N°1	01.10 - 01.25	Analyse granulométrique	Sable : plus de 12% d'éléments <0,08mm	Argile peu plastique à très plastique
	04.00 - 04.20			
	10.50 - 10.70	W	$17.2 \leq W \leq 24.9\%$	Légèrement humide
	00.60 - 00.75			
	02.50 - 02.65	$\gamma$	$1.88 \leq \gamma_h \leq 2.1 \text{ t/m}^3$ $1.47 \leq \gamma_d \leq 1.6 \text{ t/m}^3$	Argile
	06.25 - 06.40			
	08.40 - 09.00	Sr	$67 \leq Sr \leq 95 \text{ t/m}^3$	Saturé
	11.7 - 11.85			
	01.35 - 01.50	Limite d'Atterberg	$17 \leq Ip \leq 23\%$	Sol plastique à gonflement moyen
	08.40 - 09.00			
SC N°3	0.60 - 0.75	W	W = 24,9%	Humide
		$\gamma$	$\gamma_d = 1,58 \text{ t/m}^3$ $\gamma_h = 2,1 \text{ t/m}^3$	Argile
		Sr	Sr = 100%	Saturé
	1.8 - 1.9	Limite d'Atterberg	Ip = 16%	Sol plastique moyennement gonflant
	2.00 - 2.20	Oedomètre	Cc= 0,364 Cg= 0,027	Très compressible Moyennement gonflant
Cisaillement		C=0,5 bars $\Phi = 19^\circ$	Faible caractéristiques mécaniques	
Puit 1	0.70 - 1.30	W	$19.8 \leq W \leq 38.5\%$	Humide
	1.30 - 2.50		$2.18 \leq \gamma_h \leq 2,40 \text{ t/m}^3$	Argile
		$\gamma$	$1.41 \leq \gamma_d \leq 1.75 \text{ t/m}^3$	Saturé
		Sr	$85 \leq Sr \leq 98 \text{ t/m}^3$	
0.70 - 1.30	Limite d'Atterberg	Ip = 26 %	Sol plastique à gonflement élevé	
SC N°5	2.50	Caco3	64,03%	Marnes
		Chlorure	46,8%	Présence de gypse
		Sulfate	traces	

## 5.4 Mesure des déplacements

Les inclinomètres implantées sur le secteur d'étude ont été endommagés, ce qui a poussé le laboratoire LTNC de procéder à une campagne de surveillance topographique des mouvements de terrains sur le coté aval de CW13. La première station de surveillance a été installée en face de l'APC de Tifra, et la deuxième est installée près du sondage carotté N°4 (figure 55).

Le suivie mensuelle des déplacements sur les deux stations durant une période de six mois réguliers, du 07/11/2010 jusqu'au 07/05/2011, ont révélés les déplacements selon trois axes et ont montrés les déplacements résumés dans les tableaux suivant:

**Tableau 24 :** Déplacements donnés par la station topographique N°01. [21]

	Coordonnées cartésiennes	X (m)	Y (m)	Z (m)	Date
	<b>SITE 1</b>	Valeurs de référence	100.000	100.000	500.000
Mesure des déplacements		100.000	100.004	500.002	07/12/2010
		100.002	100.005	500.004	07/01/2011
		100.004	100.008	500.007	07/02/2011
		100.005	100.015	500.013	07/03/2011
		100.006	100.016	500.016	07/04/2011
		100.008	100.023	500.019	07/05/2011
△	Déplacements relatifs	<b>0.008</b>	<b>0.023</b>	<b>0.019</b>	////////////////

**Tableau 25 :** Déplacements donnés par la station topographique N°02. [21]

	Coordonnées cartésiennes	X (m)	Y (m)	Z (m)	Date
	<b>SITE 2</b>	Valeurs de référence	100.000	100.000	500.000
Mesures de déplacements		100.001	100.006	500.004	07/12/2010
		100.003	100.009	500.006	07/01/2011
		100.004	100.009	500.008	07/02/2011
		100.004	100.014	500.008	07/03/2011
		100.005	100.016	500.008	07/04/2011
		100.005	100.018	500.009	07/05/2011
△	Déplacements relatifs	0.005	0.018	0.009	////////////////

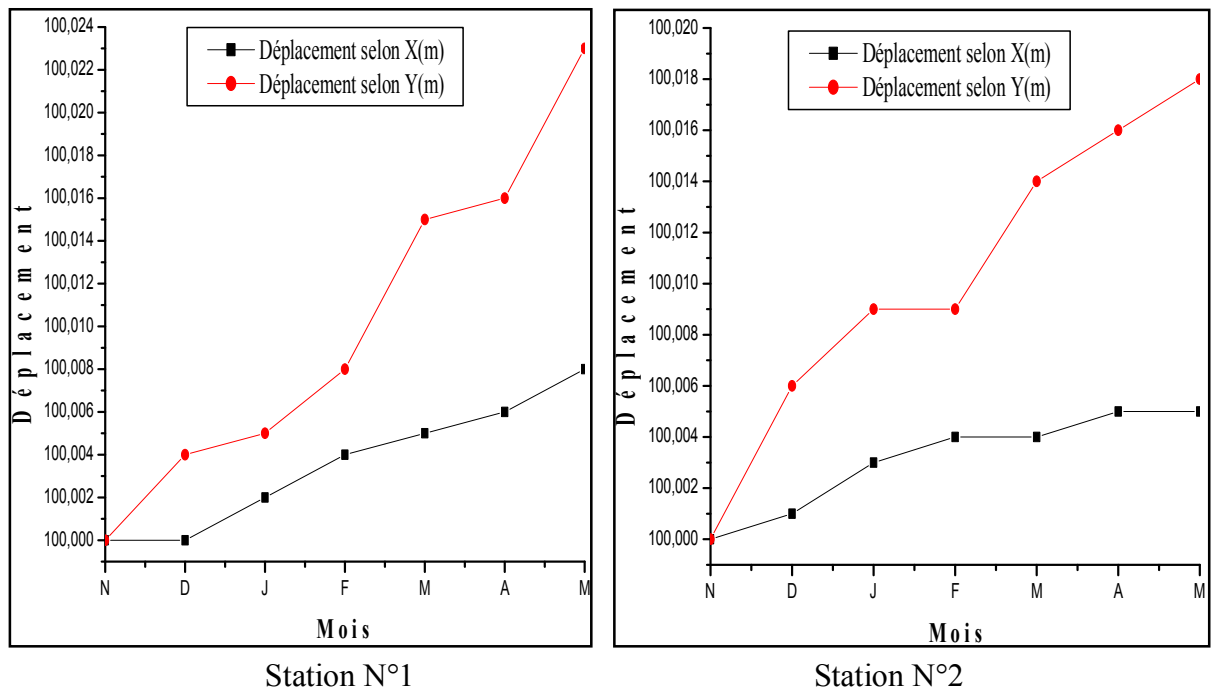


Figure 67 : Représentation graphique des déplacements relatifs selon X, Y

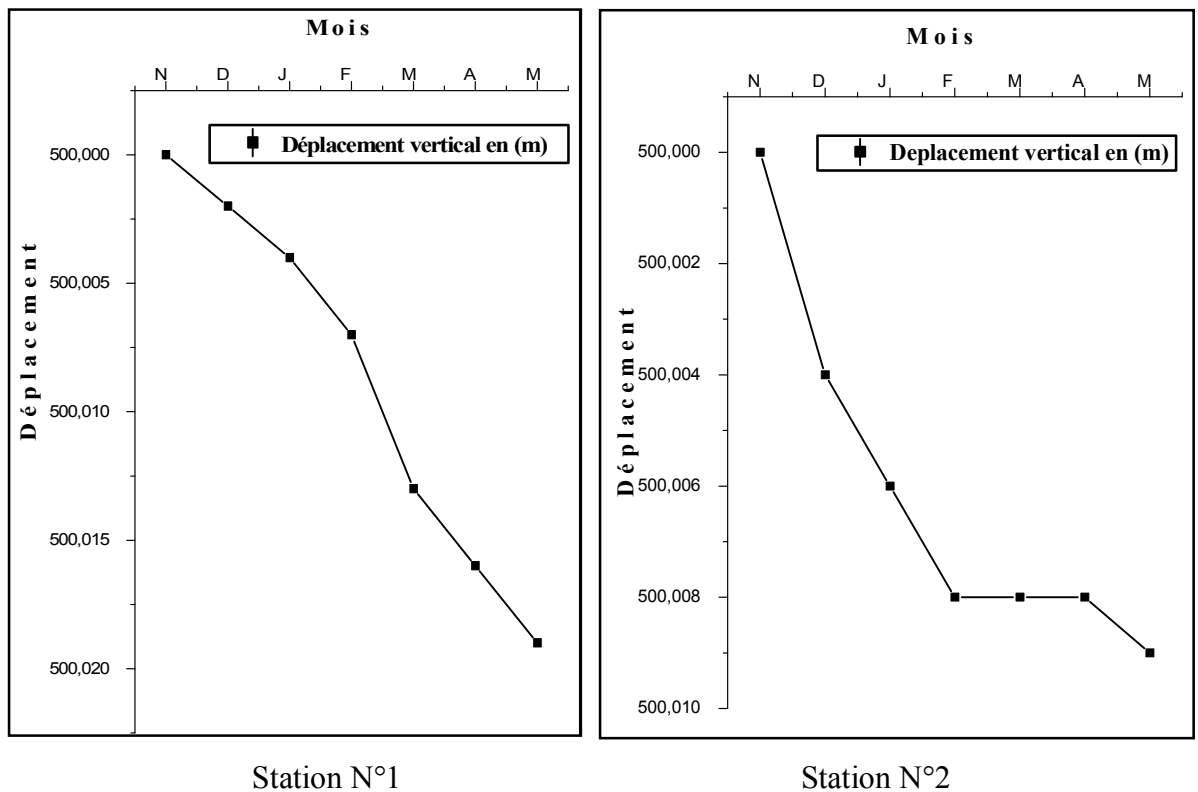


Figure 68 : Représentations graphique des déplacements relatifs selon l'axe Z

### 5.4.1 Interprétation des mesures topographiques

Les deux stations topographiques ont été implantées d'une manière à couvrir les zones les plus instables signalées dans ce versant. L'objectif de ces mesures est de pouvoir évaluer l'ampleur des mouvements de terrains, leur directions et d'estimer la vitesse d'évolution dans le temps.

Les représentations graphiques des déplacements selon X et Y des deux stations, montrent une évolution continue et atteignent des seuils ; dans la station N°1 de 0,8cm selon l'axe X et une vitesse de 0,14cm/mois, et de 2,3cm mesuré selon l'axe Y qui représente les déplacements vers l'Oued Remila et présente une vitesse de déplacement importante selon cette axe qui est de l'ordre de 0,38cm/mois.

Les mesures données par la station N°2 sont moins importante que la première station et donne une vitesse de déplacement de 0,084 cm/mois, qui représente un déplacement de 0,5cm selon X, et un déplacement de 1,8cm selon Y, avec une vitesse importante de l'ordre de 0,3cm/mois.

Le déplacement vertical selon l'axe Z montre une évolution importante, il atteint environ deux centimètres dans la première station avec une vitesse de progression de l'ordre de 0,32cm/mois, et environ un centimètre dans la deuxième station avec une vitesse de 0,15cm/mois.

## 5.5 Conclusion

Après l'analyse et l'interprétation des résultats des essais effectués au laboratoire et in-situ, et vu l'importance du problème d'instabilité rencontré dans la région Sillal ainsi l'hétérogénéité du sol, il ressort qu'un programme géotechnique bien approfondie est recommandé.

L'étude géotechnique du site étudié nous permet de conclure que les formations constituant le site, sont en général des marnes et argiles surmontées par une couverture d'éboulis de pente, peu plastiques à très plastiques, très compressibles et faiblement résistantes au cisaillement. Telles formations nécessitent une étude précise, bien détaillée et un traitement sérieux grâce à leur sensibilité à l'eau et leur susceptibilité de tasser ou de gonfler, ces formations constituent en général le siège de plans de glissement surtout en présence d'eau.

Ces glissement sont confirmés par le suivie des déplacements par station topographique qui a montré une évolution progressive et continue sur une courte durée des sols vers l'aval de CW13.

# Carte d'aptitude des sols à la construction

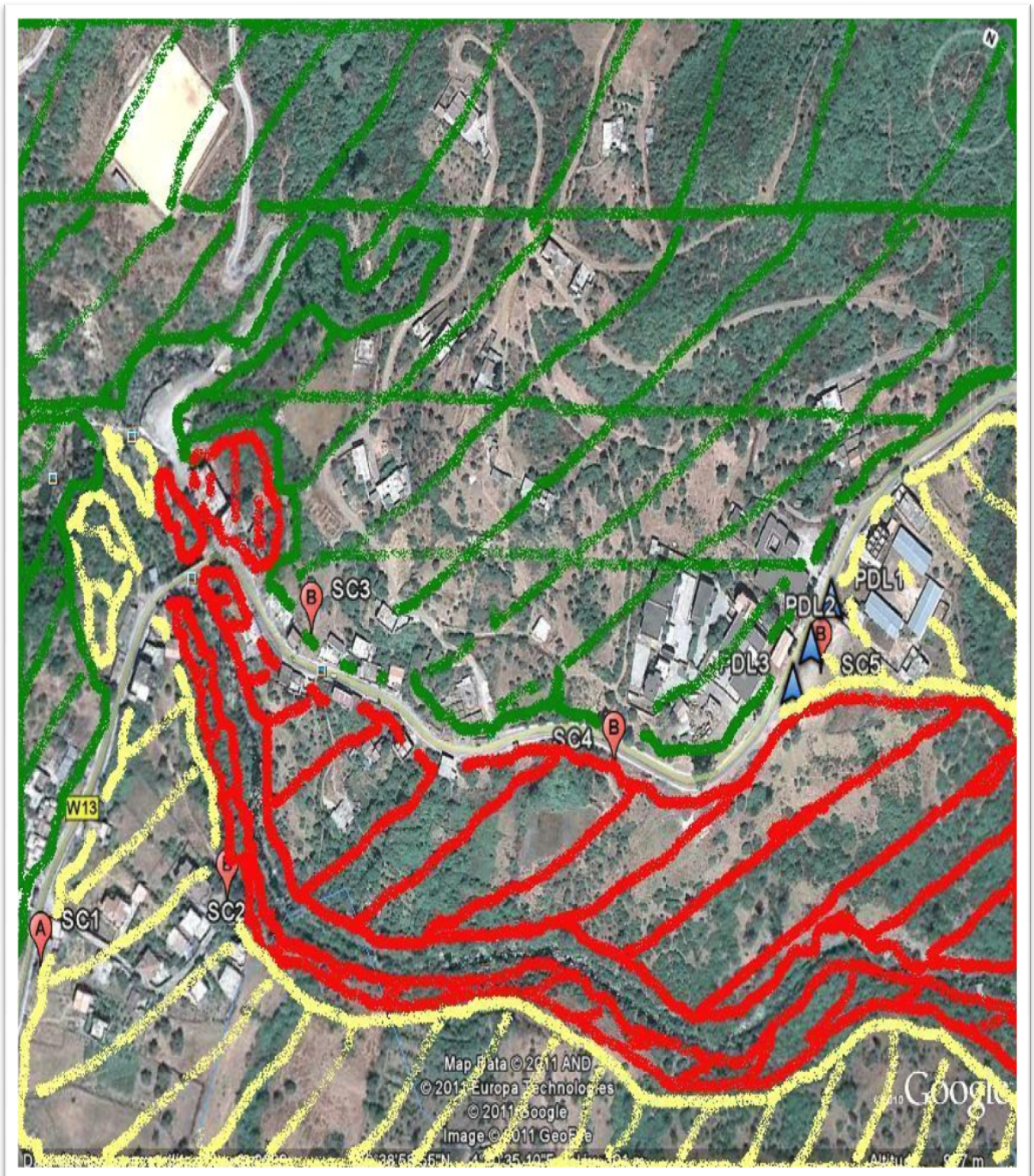


Figure 69 : Carte d'aptitude des sols à la construction

# Carte d'aptitude des sols à la construction

---

## ➤ **Interprétation**

Zone rouge : sols non constructible pour les raisons suivantes ;

- Le débit important de l'Oued Remila qui engendre le sapement et l'affouillement de ces berges.
- Les eaux d'infiltrations et la présence des sources en abondance causent la saturation des sols.
- Erosion de surface et apparition des fissures de traction et les différents glissements rencontrés dans cette zone.
- Les formations d'éboulis de pente superposées sur des marnes schisteuses qui présentent un plan de glissement.
- Des pentes importantes vers l'Oued Remila
- Présence de failles dans cette zone

Zone orange : sols à risque moyen

- Cette zone dépend directement de la zone rouge
- Pentes moins importantes
- Présence du risque de chute de pierres
- Situation près d'une zone de faille
- Couche superficielle constituée d'éboulis de pentes de caractéristiques médiocres

Zone verte : sol apte pour la construction

- Terrain stable
- Aucun indice de l'instabilité
- Formation rocheuses, géologiquement stable



# Recommandations

---

- Vu l'ampleur de l'instabilité qui règne dans la région, une étude poussée dans le but de mieux cerner le problème sera bénéfique
- Aménagement de l'oued Remila par stabilisation de ces berges contre l'érosion et l'affouillement, au moyen de gabionnage, ou enrochement ou murs de soutènements en béton armé.
- Les eaux souterraines doivent être captées par la réalisation de drains subhorizontaux afin de diminuer la pression interstitielle (coté aval du versant).
- Toutes les sources en abondance dans la région doivent être captées et orientées vers des exutoires.
- Les eaux pluviales doivent être collectés par des réseaux d'assainissements et collecteurs appropriés, et de les évacuer vers l'Oued Remila, et de veiller à leur entretien.
- Les rejets et les infiltrations de toutes origines (réseaux d'assainissements, AEP...) dans les sols, doivent être organisés et maîtrisés afin de ne pas aggraver le risque de l'instabilité des terrains.
- Les sols particulièrement soumis au risque d'érosion doivent être plantés d'espèces végétales stabilisatrices et anti-érosives.
- Eviter tous travaux de terrassements qui causent la suppression de buté de pied du versant (cote aval) et les surcharges en amont.
- Les terrassements ou talutages doivent être réalisés avec des soutènements dimensionnés et adaptés aux contextes géotechnique et géologique avec prise en compte du drainage.
- Pour les zones d'instabilité de grandes ampleurs présentant des formations médiocres en surface, doivent être soutenues par tirants d'ancrages et micropieux ancrés dans le substratum.
- Soutènement des masses rocheuses présentant un risque de chute par clouage ou boulonnage, et protection des constructions exposées directement à ce phénomène par des systèmes de gréages.

# Recommandations

---

- La région est classée en zone IIa (moyenne sismicité), d'où il ya lieu de prendre en considération la sismicité de la région pour le dimensionnement des ouvrage d'habitations ou de confortement.
- La présence de failles dans la région nécessite de prendre en compte les règlements de construction, qui exigent de construire en dehors d'une bande de 100m pour les ouvrages de moyenne importance, et 50m pour les ouvrages de faibles importances (RPA99).
- Installation des systèmes de surveillances des mouvements de terrains (inclinomètres), et des niveaux des nappes (piézomètres), et de prendre en compte la remise en service de la station pluviométrique de Tifra.

# Conclusion générale

---

L'étude des facteurs déstabilisants le versant Sillal a montrée de divers facteurs ; soit naturels et/ou dus à l'activité humaine qui sont à l'origine des instabilités rencontrées dans la région d'étude.

D'après les rapports d'étude qui nous ont été confiés, l'étude a été menée d'une manière à donner un aperçu globale sur le phénomène de l'instabilité qui règne dans la région. On a orienté notre travail selon des études géologiques, hydrologiques et hydrogéologiques, et étude géotechnique.

L'étude géologique a montrée une dominance des grés numidien sur tous le secteur étudié, il est représenté par des marnes schisteuses surmontées généralement par des argiles, et la disposition des formations quaternaires constituées d'alluvions et des cônes de déjections qui s'interstratifient dans les formations oligocène le long du cours d'eau principale de la région Sillal.

L'examen des données hydroclimatiques a révélé que la région est caractérisée par un climat tempéré, qui se distingue par un ruissellement qui représente **27,36** % des précipitations, et qui jouent un rôle important dans la désagrégation mécanique et chimique des roches, et peut déclencher le ripage des bancs rocheux, ainsi que l'ouverture de discontinuités préexistantes. A cela s'ajoute l'effet des fortes crues, ce qui attaque le pied du versant et par conséquent le déclenchement de leur instabilité.

Les précipitations jouent un rôle primordial dans l'accélération des mouvements de terrains, surtout que **20,76%** des eaux de précipitations s'infiltrent dans le sous sol, et atteignent les argiles schisteuses et les marnes, et engendrent la diminution de leurs caractéristiques mécaniques ( $c$  et  $\phi$ ). D'autre part, la circulation des eaux d'infiltration le long des couloirs des grands accidents tectoniques fragilise les formations. En effet, la circulation des eaux le long des zones de faiblesse provoque un intense arrachement de particules solides très fines, accompagnés en surface par des déplacements en masse.

# Conclusion générale

---

D'après les résultats géotechniques, on conclue que les formations en place présentent des caractéristiques médiocres, qui qualifient les sols en place de très plastiques, très compressibles et à faible résistance au cisaillement, La sensibilité à l'eau des sols et leur susceptibilité de tasser ou de gonfler. Ces formations constituent en général le siège de plans de glissement surtout que les sols en place prestent un degré de saturation très élevé dans la région. Ces glissement sont confirmés par le suivie des déplacements qui ont montrés une évolution progressive et continue des sols vers l'aval du versant.

L'étude de stabilisation du versant Sillal-Tifra nous a mené à établir une carte qui synthétise l'aptitude des sols à la construction, et la recommandation de certaines techniques de confortements et mesures de précautions.

## *Référence bibliographique*

---

- [1] Gérard Philipponnat et Bertrand Hubert, (1997). Fondations et ouvrages en terre. Ed Eyrolles. Paris.
- [2] Filliat, G, (1981). La pratique des sols et des fondations. Ed. Moniteur. Paris, pp. 555-626.
- [3] Gomet, S, (2005). Définitions et typologie des mouvements de terrain. Bull. Liais.
- [4] Desvarreux, P, (1987). Conférences sur les glissements de terrain. Doc. LTPE. Univ. Constantine.
- [5] Aoun, M, (2002). Problèmes géologiques et géotechniques dans le bassin de Mila : leur impact sur les ouvrages d'art. Thèse magi. Univ. Tébessa.
- [6] Benaissa, A, (2003). Glissement de terrain, calcul de stabilité. Ed. O.P.U. (Alger).
- [7] APC de Tifra. Statistiques 2012
- [8] direction générale des forêts, conservation de bejaia, circonscription des forêts d'Adekar
- [9] Technique de l'ingénieur. Stabilité des pentes. C 254.
- [10] <http://www.lb.refer.org/kourdey/Surveillance.htm>. (janvier 2012).
- [11] RPA93/version 2003
- [12] Centre nationale de cartographie et télédétection (CNCT)
- [13] Agence nationale des ressources hydrauliques (ANRH) d'Alger
- [14] Wisler & Brater, 1959; Roche, 1963; Ward, 1975; OMM, 1996.
- [15] J.P. LABORDE(2000). Eléments d'hydrologie de surface. Université de Nice
- [16] Costet, J, et Sanglerat, G, (1981). Cours pratique de mécanique des sols Tome 1 - Plasticité et calcul des tassements. Ed. Dunod. Paris. 285 p.
- [17] Habib, P., (1997). Génie Géotechnique - Applications de la mécanique des sols et des roches. Ed. Ellipses AUPELF/UREF. Paris, 222 p.
- [18] FAER. Sites expérimentaux de remblais sur sols mous et suivi d'ouvrages réels. Fiche d'Action Élémentaire de Recherche n° 06.16.
- [19] Hubert, B, et Philipponnat, G, (2003). Fondations et ouvrages en terre. Ed. Eyrolles. Paris.
- [20] BRGM/RP-57338-FR Septembre 2009. Cartographie de l'alea retrait-gonflement des sols argileux dans le département de Doubs

[21] laboratoire technique des nouvelles constructions LTNC de Bejaïa 2012

[22] Soulimani, A-Rahmane. Initiation aux cartes et aux coupes géologique. Laboratoire de géologie structurale. Département géologie.