

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université Colonel Hadj Lakhdar Batna
Faculté des Sciences
Département des Sciences de la Terre



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de MAGISTER en Aménagement du territoire
Option : Dynamique des milieux physiques et risques naturels

Risques liés aux mouvements de terrain dans le Tell Constantinois :
Cas du glissement de Douar Souadek (Zighoud Youcef).

Présenté par Mr : Hamadou Noureddine

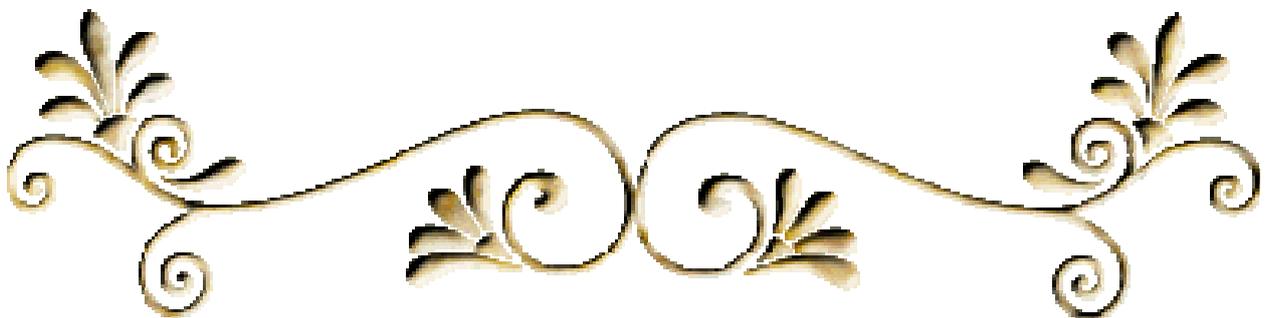
Devant les membres des Jury/

Président	: Professeur	Mehdi Kalla	Univ. Hadj Lakhdar Batna
Rapporteur	: Professeur	Amireche Hamza	Univ. Mentouri Constantine
Examineurs:	M.C/A	Behadi Mouhamed	Univ. Hadj Lakhdar Batna
	M.C/B	Yahiaoui Abdelouahab	Univ. Hadj Lakhdar Batna

Année 2011



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دعاء

اللهم إذا أعطيتني نجاحاً فلا تأخذ تواضعي
وإذا أعطيتني تواضعاً فلا تأخذ اعتزازي بكرامتي
وإذا أسأت إلي الناس فامنحني شجاعة الاعتذار
وإن أساء الناس إلي فامنحني شجاعة العفو
يارب أنفعنا وارفعنا بالقرآن العظيم
وبارك لنا بالآيات والذكر الحكيم
وتقبل منا إنك أنت السميع العليم
وتب علينا إنك أنت التواب الرحيم
وصلي وسلم على سيدنا محمد وعلى آله وصحبه
الطاهرين أجمعين
أمين

Remerciement

Je remercie avant tous Dieu qui ma éclairé le chemin de la réussite et du savoir .

Je tiens à formuler mon gratitude et mon profonde reconnaissance à l'égard de mon promoteur ,Monsieur Amireche Hamza qui a dirigé mon travail avec patience et beaucoup d'intérêt.

Je remercie également :

- *Les membres de jury qui ont accepté de juger mon travail.*
- *Monsieur Mehdi Kalla enseignant au département des Sciences de la Terre à l'Université de Batna, pour leur aide et leur compréhension.*
- *Tous les enseignants du département des Sciences de la Terre de l'Université de Batna .*
- *Tous les enseignants du département des Sciences de la Terre et de l'Univers de l'Université de Jijel .*
- *Monsieur Y. Boufetouha, chef du département des Sciences de la Terre et de l'Univers de l'université de Jijel .*
- *Messieurs Tekkouk Mustapha et Zennir Abdelmalek tous deux enseignants au département des Sciences de la Terre et de l'Univers à l'Université de Jijel , pour leur aide et leur compréhension.*
- *Tous les membres des laboratoires des Sciences de la Terre et de l'Univers de l'Université de Jijel .*
- *Toute personne ayant aidé de près ou de loin à l'a réalisation de ce travail*

Dédicaces,

Je dédie ce modeste travail.

A toute ma famille , surtout a mes parents pour leur sacrifices, leurs aides durant mes années d'études.

A tous mes chère frère et, sœurs.....

A tous mes collègues de post du graduation (promotion 2008-2009)

A tous mes amis.

A tous ce qu'est m'aime.

Noureddine

ملخص :

إن دراسة الانزلاق الأرضي للسفح الجنوبي لجبل القنطور بمنطقة دوار صوادي و الذي ينتمي بدوره إلى سلسلة التل القسنطيني، لأجل الوقوف عند الأسباب التي أدت إلى هذا الانزلاق، وكذلك التقليل من آثاره السلبية السوسيواقتصادية . وقد تم ذلك من خلال دراسة عوامل اللااستقرار المسببة لهذا الانزلاق ، التضاريس، الطبيعة الجيولوجية والتكتونية ، نوعية التربة و خصائصها الفيزيائية و الجيوتقنية ، كمية الأمطار المتساقطة و توزيعها الزمني كل عنصر على حدا ، مكننا ذلك من الوصول إلى تحديد أهم العوامل المباشرة المسببة لهذا الانزلاق.

- إن المعطيات المختلفة المستنتجة , و الخرجات الميدانية إلى جانب الأعمال المخبرية و كذلك تحليل المعطيات بتطبيق المناهج الرياضية والبرمجة , مكننا ذلك من تفسير و معرفة حركة الانزلاق .

- في الأخير تبين مدى أهمية الدراسة المعمقة في اقتراح الحلول المناسبة لهذا الانزلاق. فالمعرفة الحقيقية لآليات و ديناميكية عناصر الوسط الفيزيائي ، بالإضافة إلى الدور البشري داخل هذا النظام الفيزيائي للسفح الجنوبي لجبل القنطور، كل ذلك ساهم في إبراز هذه الإخطار المترتبة على ذلك ووضع حلول مناسبة.

الكلمات الدلالية : السفح الجنوبي، جبل القنطور ، المنحدر، انزلاق ارضي ، الأخطار الطبيعية، التهيئة

Résumé :

L'étude du glissement de terrain du versant Sud du Dj-El kantour (Douar Souadek) dans le Tell Constantinois a été effectuée dans le but de réduire les effets négatifs (socio-économiques, environnemental) sentis dans la région.

La mise en relief des facteurs ou causes ayant engendré cette instabilité a été réalisée par une étude très poussée de la morphologie des reliefs, de l'hydroclimatologie, de la géologie et, de la géotechnique de la zone étudiée.

L'analyse des différentes données sur terrain comme au laboratoire a été soutenue et enrichie par l'application de nouvelles méthodes de traitement(analyses mathématiques, logiciel....).

En plus du rôle joué par l'action anthropique dans l'instabilité du terrain étudié , la connaissance des mécanismes de chacun des éléments du milieu physique qui entrent en jeu et leur conséquence ont permis d'apporter des propositions quant à la résolution de ce problème.

Mots clés : versant sud d'El Kantour , Douar Souadek, vulnérabilité, risque naturels, glissement de terrain , confortement .

Abstract :

The Survey of the landslide of the pouring south side of mountain Kantour (Douar Souadek) in the tell Constantinois has been carried out in the goal to reduce the negative effects (socioeconomic, environmental) felt in the region .

The setting in relief of the factors or reasons having generated this instability was realized by a very advanced survey of the relief morphology, the hydroclimatology , the geology , and the geotechnique of the studied zone .

The different data analysis on land as in the laboraty has been sustained and enriched by the application of new treatment methods (mathematical analysis , programmers).

In addition to the role plied by the anthropic action in the instability of the studied land , the knowledge of the mechanism of all elements of the physical medium , that enter in game and their consequences have permitted to bring some proposals concerning the resolution of the problem .

Key words : Pouring south , mountain El kantour , movements of grounds, tectonic accidents, natural risk, landslide, confortement,

Table des matières

Première partie

Introduction	22
--------------------	----

CHAPITRE I : GENERALITES

I.1. Site et situation géographique d'aire d'étude	25
I.2. La végétation	26
I.3. Le contexte oro-hydrographique	27
I.4. Problématique et objet de l'étude	28
I.5. Analyse morphologique de l'aire d'étude	29
I.5.1 . Les reliefs	29
I.5.2 . Les pentes	30
Conclusion	31

Deuxième partie

CHAPITRE II : CONTEXTE GEOLOGIQUE

Introduction	34
II.1. Les grands ensembles structuraux	34
II.1.1 Le domaine interne	34
II.1.1.1 . Le Socle kabyle	34
II.1.1.2 La couverture sédimentaire du socle kabyle	35
a . La dorsale kabyle ou chaîne calcaire	35
b . Les formations de l'Oglio-Miocène Kabyle (OMK)	35
c . Les Olistostromes	35
II.1.2. Le domaine des flysch	35
a- Flysch Mauretaniien	35
b .Flysch Massylien.....	36
c .Flysch Numidien d'âge Burdigalien.....	36
II.1.3 . Le domaine externe	36
a . Les formations telliennes	36
b .Les formations de l'avant pays	36
II.1.4 . Les formations post-nappes	37
II.2. Aspect structural régional	37
II.2.1. Tectonique Mésozoïque (secondaire).....	37

II.2.2.Tectonique Cénozoïque(tertiaire)	37
II.2.3..La néotectonique	37
II.3 .Caractéristiques géologiques du bassin de Constantine	39
II.3.1. Caractéristiques litho- stratigraphiques	39
a. le trias	39
b .Le Jurassique	40
c. Le Crétacé	40
d. Le Paléogène	40
e. Le Néogène	40
f. les Formations quaternaires	41
II.3.2. Le néogène de la région de zighoud youcef	42
II.3.2.1.Linéaments tectonique de la région de Zighoud Yousef	43
II.4. Géologie de l'aire d'étude (versant sud d'el kantour)	46
Conclusion	48

CHAPITRE III : HYDROCLIMATOLOGIE

Introduction	50
III.1. Les caractéristiques climatiques.....	50
III.1.1.La pluviométrie	50
III.1.2. La température : Station des Zerdazas (1968-94)	57
III.1.3. Combinaison des facteurs thermiques et pluviométriques (les zones bioclimatiques (1968-94) station des Zerdazas).....	58
III.1.4. L'aridité : station des Zerdazas (1968-94)	58
III.1.5. L'indice d'Emberger des zones bioclimatique, station des Zerdazas(1968-94).....	59
III.1.6. Appréciation du bilan hydrologique pour la station des Zerdazas (1968-94).....	60
III.1.6.1 .Cartographie de l'évapotranspiration potentielle (ETP).....	60
III.1.6.2.Calcul de l'évapotranspiration potentielle (ETP) station des Zerdazas (1968-94).....	63
III.1.6.3 .Calcul de l'évapotranspiration réelle (ETR) station des Zerdazas(1968-1994).....	64
III.1.6.4. Cartographie de l'écoulement.....	64
III.1.6.5.Estimation du ruissellement (R) station des Zerdazas(1968-1994)	65
III.1.6.6.Calcul de l'infiltration (I)	66
III.2. Caractéristiques hydrologiques	69
III.2.1.Le bassin des Côtiers Constantinois.....	69
III.2.2. Analyse morphométrique du bassin versant du barrage des Zerdazas	70
III.2.2.1.Caractéristiques morphométriques de sous bassin de Oued Beni Brahim.....	71
III.3. Hydrogéologie.....	74

III.3. 1. Caractéristique hydrogéologique de la région de Zighoud Youcef.....	74
III.3. 2. Divers formations de rétention souterraines	74
Conclusion	75

Troisième partie

CHAPITRE IV : DESCRIPTION DU GLISSEMENT DE TERRAIN

Introduction	78
IV.1. Les indices d'instabilité du glissement de terrain du versant	79
IV.1.1. Le témoignage des formes de terrain : les indices géomorphologiques.....	79
IV.1.2. La géomorphologie, un critère de repérage et du degré d'activité	80
IV.1.3. les témoignages de la végétation.....	80
IV.1.4. Autres indices	81
IV.2. Topographie du glissement de terrain	81
IV.2.1. Technique de travail	81
IV.2.2. Réalisation du Levés topographique.....	83
IV.2.3. Exploitation des mesures topographiques.....	88
IV.3 .Méthode de Crozier	91
IV.3.2. Application de la méthode sur le glissement du terrain.....	91
IV.3.2.1. Les paramètres morphométrique du glissement de terrain	92
IV.3.2.2. Détermination des indices morphométriques	92
a. La dilatation : (D)	92
b. La ténuité ou allongement: (T).....	92
c. L'écoulement : (Q).....	93
d. Le déplacement : (P)	93
Conclusion	94

CHAPITRE V : L'ANALYSE PAR DIFFRACTOMETRIE AUX RAYON X

Introduction	96
V.1. La diffractométrie aux rayon X	96
V.1.1. Mode opératoire	96
V.1.2. Méthode d'étude.....	97
V.1.3. Traitement des spectres et identifications des minéraux	97
V.1.4. Interprétation des spectres DRX	113
Conclusion	114

CHAPITRE VI : CARACTERISTIQUES DES ARGILES

Introduction	116
--------------------	-----

VI.1. Minéralogie des argiles	116
a. Le tétraèdre de silice SiO_4 (Te)	117
b. L'octaèdre d'alumine $\text{Al}_2(\text{OH})_6$ et éventuellement de magnésium $\text{Mg}_3(\text{OH})_6$ (Oc).....	117
c. Types d'argiles	118
• La montmorillonite $(\text{OH})_4 \text{Si}_8 (\text{Al}_{10/3}, \text{Mg}_{2/3}) \text{O}_{20}, n\text{H}_2\text{O}$	118
• L'illite $(\text{K}, \text{H}_2\text{O})_2 \text{Si}_8 (\text{Al}, \text{Fe}, \text{Mg})_{4,6} \text{O}_{20} (\text{OH})_4$	118
• La kaolinite $(\text{Si}_4\text{O}_{10}) \text{Al}_4 (\text{OH})_8$	119
• Les chlorites $(\text{OH})_4 (\text{Si Al})_8 (\text{Mg}, \text{Fe})_6 \text{O}_{20}$	120
• Les interstratifiés.....	121
VI.2. Gonflement interfoliaire et interparticulaire	121
VI.2.1. Evolution de la texture au cours du gonflement	121
VI.2.2. Influence des sels(Gypse) sur le comportement physique des argiles	122
Conclusion	123

Quatrième partie

CHAPITRE VII :CARACTERISTIQUES GEOTECHNIQUE

Introduction	126
VII.1. Les essais de laboratoire	126
VII.1.1. Résultats des essais d'identification	126
VII.1.1.1. Analyse granulométrique	126
VII.1.1.1.1. Notions dérivées des résultats des analyses granulométriques.....	127
VII.1.1.1.2. Paramètres de l'analyse granulométrique	135
VII.1.1.2. Description et mesure des propriétés physiques des sols.....	137
a- La teneur en eau	137
VII.1.1.3. Les limites d'Atterberg	138
a- La limite de liquidité w_L	139
b-La limite de plasticité w_P	139
c-La limite de retrait w_R	140
d-Indice de plasticité I_p	140
e-Indice de consistance I_c	140
f-Indice de liquidité I_L	141
g-Estimation du gonflement des sols.....	143
VII.1.1.4. La sédimentométrie : (norme NF.P94-093).....	144
VII.1.1.5. Essai au bleu de méthylène (NFP94-068)	154
Conclusion	159

CHAPITRE VIII :CALCUL DE STABILITE ET CONFORTEMENT

VIII 1. Calcul de stabilité	161
-----------------------------------	-----

VIII.1.1. Méthodes de calcul.....	161
VIII.1.1.1. Méthode des tranches	161
VIII.1.1.1.1. Méthode des tranches de Fellenius : (suédoise).....	162
VIII.1.1.1.2. Méthode des tranches de Bishop simplifiée	165
VIII.1.2. Etude de la stabilité du talus.....	166
VIII.1.2.1. Calcul manuel	166
VIII.1.2.2. Calcul par le logiciel -GEO-SLOPE-	184
Conclusion	189
VIII.2. Confortement et remèdes.....	190
VIII.2.1. Les différents travaux de confortement	191
VIII.2.1.1. Les techniques de drainage	191
a- Les ouvrages de captage, collecte et évocation	191
b- Elimination des infiltrations superficielles issues de la pluie	191
c- Captage des filtrations profondes – drainage profond	192
VIII.2.1.2. Reprofilage (Talutage)	193
IX.2.1.3. Butée du pied	193
IX.2.1.4. Le reboisement	193
IX.2.1.5. Elimination de surcharge	193
Conclusion	194
Conclusion et perspectives	195
Bibliographiques	196
Annexe	198

NOTATIONS ET DEFINITIONS

Notation	Définition	Unité
A_c	Activité	/
C_u	Coefficient d'uniformité	/
C_c	Coefficient de compression	(%)
C_c	Coefficient de courbure	/
S_r	Degrés de saturation	(%)
d_h	Densité humide	/
d_d	Densité sèche	/
D_{10}	Diamètre des grains passants de 10 %	(mm)
D_{30}	Diamètre des grains passants de 30 %	(mm)
D_6	Diamètre des grains passants de 60 %	(mm)
D	Diamètre des particules	(mm)
H_2	Hauteur de la partie sédimentée en utilisant du piston	(Cm)
H'_2	Hauteur de la partie sédimentée sans utilisant du piston par rapport a la base	(Cm)
H_1	Hauteur du niveau supérieur de flocculant	(Cm)
H_f	Hauteur final après stabilisation	(Cm)
H_i	Hauteur initial	(Cm)
I_c	Indice de consistance	/
C_s	Indice de gonflement	/
I_L	Indice de liquidité	/
I_p	Indice de plasticité	(%)
e	Indice des vides	/
W_L	Limite de liquidité	(%)
W_p	Limite de plasticité	(%)
N	Nombre de chocs a la teneur en eau	/
γ_s	Poids volumique de grains solide	(KN/m ³)
γ_w	Poids volumique de l'eau	(KN/m ³)
γ'	Poids volumique déjaugé	(KN/m ³)
γ_h	Poids volumique humide	(KN/m ³)
γ_{sat}	Poids volumique saturé	(KN/m ³)

γ_d	Poids volumique sec	(KN/m ³)
n	Porosité	/
$S.S.T$	Surface spécifique total	cm ² /g
ω	Teneur en eau naturelle	(%)
V_{bs}	Valeur de bleu de méthylène	Cm ³ /g
V	Vitesse de décantation	Cm/s
V_i	Volume d'échantillon du sol	cm ³
Cl	Chlorite	/
Mt	Montmorillonite	/
Il	Illite	/
Ve	Vermiculite	/
Ka	Kaolinite	/
Q	Quartz	/
Ca	Calcite	/
L	Longueur de glissement de terrain	m
I_p	Pente moyenne	%
mLm	Longueur de la masse déplacée	m
(Wx)	Largeur de la masse déplacée:	m
Lc	Longueur de la surface de rupture	m
Wc	Largeur de la surface de rupture	m
Lr	Longueur de la surface apparente situé dans la surface concave	m
D	La dilatation	/
T	La ténuité ou allongement	/
Q	L'écoulement	/
P	Le déplacement	
T°	Température moyenne mensuelle du mois considéré exprimé	°C
I	Indice thermique annuel égal à la somme des indices mensuels des 12 mois de l'année.	/
ETP	Evapotranspiration potentielle	mm
K	Coefficient de correction.	/
$ETPC$	Evapotranspiration potentielle mensuelle corrigée.	/
P	Précipitations moyennes mensuelles	mm
RFU	Réserves facilement utilisable	mm
ETR	Evapotranspiration réelle	mm

<i>DA</i>	<i>Déficit agricole.</i>	/
<i>Ex</i>	<i>Excédent d'eau.</i>	/
<i>A</i>	<i>Superficie</i>	<i>Km²</i>
<i>Kc</i>	<i>Indice de Gravelius</i>	/
<i>Hmax</i>	<i>Hauteur maximale</i>	<i>m</i>
<i>Hmin</i>	<i>Hauteur minimale</i>	<i>m</i>
<i>Hmoy</i>	<i>Hauteur moyenne</i>	<i>m</i>
<i>Ct</i>	<i>Coefficient de torrentialité</i>	/
<i>Tc</i>	<i>Temps de concentration</i>	<i>h</i>
<i>Dd</i>	<i>Densité de drainage</i>	<i>Km/Km²</i>
<i>B</i>	<i>Valeur de Blue méthylène</i>	/
<i>v</i>	<i>Volume de solution de Blue utilisé jusqu'à obtention du test positif</i>	<i>ml</i>
<i>m^o</i>	<i>Masse sèche</i>	<i>g</i>
<i>ú</i>	<i>Viscosité de liquide</i>	<i>Pa/s</i>
<i>u</i>	<i>Pression interstitielle</i>	/
<i>Fs</i>	<i>Coefficient de sécurité</i>	/
<i>C</i>	<i>La cohésion</i>	<i>Kpa</i>
<i>Ø</i>	<i>Angle de frottement</i>	<i>(°)</i>
<i>X₁Y₁</i>	<i>Coordonnée du centre de cercle proposé</i>	<i>m</i>
<i>R₁</i>	<i>Langueur développé de la surface de rupture</i>	<i>m</i>
<i>b₁</i>	<i>La largeur des tranches</i>	<i>m</i>
<i>Ru</i>	<i>Coefficient de pression interstitielle</i>	/

Liste des figures :

Fig. I.1. Situation géographique et Grille du M.N.T (Nord- Est de l'Algérie)	25
Fig .I.2. Situation géographique de la zone de glissement de terrain, carte topographique Z.Youcef 1/50000.....	26
Fig. I.3. Carte hypsométrique de la zone d'étude	30
Fig.I.4. Carte des pentes de la zone d'étude	31
Fig.II.1. Schéma géologique de la cote Algérienne à l'Est du Cap de Ténès, (Wildi ,1980).....	34
Fig. II.2. Carte sismique de l'Algérie selon le RPA version 2003.....	38
Fig. II.3. Micoséismicité dans le nord-est algérien (2004-2008) (CGS Alger).....	39
Fig. II.4. Carte géologique du Bassins constantinois (J.M.Vila,1980)	41
Fig. II.5 . Le Valléso-turolien (miocène sup) au pied du Col d'El Kantour).....	42
Fig.II.6 . Log litho-stratigraphie des environs de Zighoud Yousef (P.E.Coiffait).....	43
Fig. II.7. Linéaments dans la région d'étude.....	45
Fig II.8. Coupe géologique de la région de Dj.El Kantour(NW-SE).....	47
Fig.III.1. Carte simplifiée des zones bioclimatiques de l'Est algérien (Côte M.,1998).....	51
Fig.III.2. Précipitations annuelles moyennes de l'Est Algérien (A.N.R.H 1960-89).....	52
Fig.III.3. Distribution des Précipitations moyennes annuelles en mm durant la période 1968- 94 Station des Zerdazas	54
Fig.III.4. Distribution des Précipitations moyennes annuelles en mm (1968- 94) Station de Ouled Habeba	54
Fig.III.5. Distribution des Précipitation moyennes mensuelles en mm (1968-94)station des Zerdazas.....	55
Fig.III.6. Distribution des Précipitation moyennes mensuelles en mm (1968-94) station de Ouled Habeba	55
Fig.III.7. Répartition(pourcentage)des précipitations moyennes saisonnières (1968-94) station des Zerdazas.....	55
Fig.III.8. Répartition(pourcentage)des précipitations moyennes saisonnières (1968-94) station de Ouled Habeba	56
Fig.III.9. Courbe des températures maximale et minimale (1968-94) station des Zerdaza).....	57
Fig.III.10. Graphe Ombro-Thermique 1968-94 (station des Zerdazas).....	58
Fig.III.11. Climat de l'Aire d'étude (1968-94) ;(station des Zerdazas).....	59
Fig. III.12 . Evapotranspiration potentiels mensuelles moyenne de l'Est algérien (Septembre à février)ANRH 2003 (1965 à Aout 1994).....	61
Fig.III.13. Evapotranspiration potentiels mensuelles moyenne de l'Est algérien (Mars à Août)ANRH 2003 (1965 - 1994).....	62
Fig. III.14. Zones d'évapotranspiration potentielle annuelle moyenne de l'Est Algérien (ANRH,2003) 1965 - 1994	63
Fig. III. 15. Ecoulements moyens annuels du Nord-est de l'Algérie-ANRH 2003 1965 à Aout 1994	65
Fig. III. 16. Représentation graphique du bilan hydrologique pour la période 1968- 94 station des Zerdazas	68
Fig.III.17. Bassins hydrographiques de l'Algérie du Nord et position de la zone d'étude.....	69
Fig.III. 18. Limite du bassin versant du barrage des Zerdazas.....	70

Fig.III.19. Carte du réseaux hydrographique de Oued Béni Brahim.....	71
Fig.IV.1. Coupe schématique d'un glissement rotationnel et distribution des forces.....	78
Fig. IV.2. Levé topographique de la zone du glissement de terrain réalisé le 31-12-2009.....	84
Fig.IV.3 . Levé topographique de la zone active du glissement de terrain réalisé le 31-12-2009.....	85
Fig.IV.4 Levé topographique de la zone active du glissement de terrain réalisé le 16-04-2010.....	86
Fig.IV.5. Ecart de déplacement.....	87
Fig. IV.6. Profil on long du glissement de terrain du versant sud du Djebel El Kantour.....	88
Fig.IV.7. Représentation en trois démentions des données topographique de la zone active du glissement de terrain(31-12-2009).....	90
Fig.IV.8. Représentation en trois démentions des données topographique de la zone active du glissement de terrain(31-12-2009).....	90
Fig.V.1. Schéma d'un diffractomètre (vue de plan).....	97
Fig .V.2. Fiches de référence. (ASTM)	99
Fig. V.3. Spectre DRX de l'échantillon n° 01.....	100
Fig.V .4. Spectre DRX de l'échantillon n° 02.....	101
Fig.V.5. Spectre DRX de l'échantillon n° 03.....	102
Fig.V.6. Spectre DRX de l'échantillon n° 04.....	103
Fig. V.7. Spectre DRX des quartes échantillons prélevés.....	104
Fig.V .8. Spectre DRX du quartz.....	105
Fig. VI.1. Couche tétraédrique.....	117
Fig.VI.2 . Couche octaédrique et notation.....	117
Fig .VI.3. Schéma de la particule de montmorillonite.....	118
Fig .VI.4 .Schéma de la particule d'illite.....	119
Fig.VI.5. Schéma de la particule de kaolinite.....	119
Fig .VI.6. Schéma de la particule de chlorite.....	120
Fig .VI.7. Evolution de texture des sols au cours du gonflement- microscopie électrique balayage (M.E.B)	122
Fig.VII.1. Localisation des échantillons prélevés (31-12-2009) Glissement de terrain du versant sud du Djebel El Kantour.....	128
Fig .VII.2. Schéma simplifié les phases constitutives des sols.....	137
Fig. VII.3. Limites du retrait, de plasticité et de liquidité sur une échelle de teneur en eau.....	138
Fig.VII.4. Diagramme de Casagrand.....	142
Fig. VII.5. Diagramme de casagrande de classification des sols fin.....	142
Fig.VII.6. Position des minéraux argileux les plus connus sur l'abaque de plasticité de casagrande.....	143
Fig. VII.7. Abaque sédimentométrique pour l'échantillon :N°01.....	146
Fig.VII.8. Abaque sédimentométrique pour l'échantillon :N°02.....	147
Fig .VII.9. Abaque sédimentométrique pour l'échantillons : N°03 et N° 04.....	148
Fig. VII.10. Activité des argiles du site étudié selon le diagramme de (Seed et al, 1962).....	153

Fig. VII.11. Activité des argiles du site étudié selon l'abaque de Williams et Donaldson.....	154
Fig. VII.12. Valeur de bleu des sols	155

Fig. VIII.1. Différentes forces agissant sur une masse en mouvement- (J. Costet et al, 1983).....	161
Fig. VIII.2. Découpage en tranches d'un talus.(B. Hubert et al, 2003).....	163
Fig. VIII.3. Forces agissant sur la tranche n. (B. Hubert et al, 2003).....	163
Fig. VIII.4 . Cercle critique (1) obtenu selon le profil 01 ($R_u = 0$).....	187
Fig. VIII.5. Cercle critique(1) obtenu selon le profil 01 ($R_u = 0.35$).....	188
Fig. VIII.6. Cercle critique(2) obtenu selon le profil 01 ($R_u = 0$).....	188
Fig. VIII.7. Cercle critique(2) obtenu selon le profil 01 ($R_u = 0.35$).....	188
Fig. VIII.8 . Exemple d'un drain subhorizontal.....	192

Liste des photos :

Image. I.1. Site et situation de l'aire d'étude .(Image satellitaire ,Google Earth).....	26
Photo.I.2. Vue panoramique du Glissement de terrain (31-12-2009).....	28
Photo. I.3. Vue photographique des niches d'arrachements du Glissement de terrain(31-12-2009).....	28
Image .I.4. Image satellitaire ,de la zone d'étude (Google Earth)	29
Photo .IV.1. Niches d'arrachements du glissement de terrain (14/10/2009 – 15 ^h :34).....	80
Photo.IV.2. Inclinaison de poteau électrique de haute tension suite à l'activation de glissement de terrain. (14/10/2009-15 ^h :34).....	81
Photo.IV.3. Appareillage pour Levés topographique .(<u>théodolite</u>). (31-12-2009 -Versant sud d'El Kantour).....	82
Photo. IV .4. Implantation des piquets en acier dans la zone du glissement (31-12-2009).....	83
Photo. IV.5. Application de la méthode de Crozier sur le glissement d'El Kantour . 19/05/2010- 11 ^h :14.....	91
Photo .VI.1. Microscope Electronique à Balayage des argiles (Mitchell, 1976).....	121
Photo. VI.2. Observation au MEB d'une texture argileuse (Troalen et al., 1984).....	122
Photo. VII.1. Appareillage pour essai de l'Analyse granulométrique.....	127
Photo. VII.2 . photo représentant la limite de liquidité à la boîte de casagrande.....	139
Photo.VII.3. Essai de la limite de plasticité.....	140
Photo. VII.4. Appareillage pour essai de l'Analyse sédimentométrique.....	144
Photo. VII.5. Appareillage pour essai au bleu de méthylène	156
Photo. VII.6 . Illustration des résultats de l'essai de la tache. échantillon N°01.....	156
Photo. VII.7. Illustration des résultats de l'essai de la tache. échantillon N°02.....	157
Photo. VII.8. Illustration des résultats de l'essai de la tache. échantillon N°03.....	157
Photo. VII.9. Illustration des résultats de l'essai de la tache. échantillon N°04.....	158
Photo.VIII.1 . Gabionnage au sommet du glissement de terrain(31/12/2009).....	185
Photo. VIII.2 . Concentration des eaux de ruissellement vers le glissement(31/12/2009).....	185

Liste des planches :

Planche.VII.1. Courbe granulométrique obtenue à partir d'échantillon(01).....	131
Planche.VII.2. Courbe granulométrique obtenue à partir d'échantillon(02).....	132
Planche.VII.3. Courbe granulométrique obtenue à partir d'échantillon(03).....	133
Planche.VII.4. Courbe granulométrique obtenue à partir d'échantillon (04).....	134
Planche VIII. 1. Implantation de Profil choisi pour le calcul de stabilité.....	167
Planche. VIII.2. Présentation des cercles du glissement de terrain.....	169
Planche. VIII.3 . Cercle n° 01.....	170
Planche. VIII.4 . Cercle n° 02.....	172
Planche. VIII.5 . Cercle n° 03.....	174
Planche. VIII.6 . Cercle n° 04	176
Planche. VIII.7. Cercle n° 05.....	178
Planche. VIII.8. Cercle n° 06.....	180
Planche. VIII.9. Cercle n° 07.....	182

Liste des tableaux :

Tableau.III.1. Précipitations moyennes annuelles en mm durant la période 1968- 94 Station des Zerdazas et de Ouled Habeba	53
Tableau.III.2. Précipitations moyennes mensuelles en mm (1968 /94) station des Zerdazas et de Ouled Habeba	54
Tableau.III.3. Nombre de jours de pluies torrentielles (≥ 30 mm /24 ^h) observés dans le bassin des Zerdazas et de Ouled Habeba.....	56
Tableau. III.4 . Température maximale et minimale (en C°) (1968-98) station de Z.Youcef.....	57
Tableau. III. 5. Bilan hydrologique - Station des Zerdazas(1968-94).....	67
Tableau. III. 6. Découpage des sous bassins du barrage des Zerdazas	71
Tableau. III. 7. Caractéristique morphométriques du sous bassin de béni Brahim.....	73
Tableau. IV .1. Surface du glissement de terrain	83
Tableau. IV.2. Les données du levé topographique de 31/12/2009.....	88
Tableau . IV .3. Les données du levé topographique de 16/04/2010.....	89
Tableau . IV .4. Ecart de déplacement en (cm).....	89
Tableau. IV.5. Les paramètres de Crozier.....	91
Tableau. IV.6. Résultat de l'indice de dilatation.....	92
Tableau. IV.7. Résultat de l'indice de la Ténuité	93
Tableau. IV.8. Résultat de l'indice de l'écoulement.....	93
Tableau. IV.9. Résultat de l'indice de déplacement	94
Tableau. V.1. Différents propriétés des minéraux constituant l'échantillon N°01.....	106
Tableau. V.2. Différents propriétés des minéraux constituant l'échantillon N°02.....	108
Tableau. V.3. Différents propriétés des minéraux constituant l'échantillon N°03.....	110
Tableau. V.4. Différents propriétés des minéraux constituant l'échantillon N°04.....	112
Tableau.VI.1. Caractéristiques des argiles Kaolinite Illite Montmorillonite.....	120
Tableau.VII.1. Pourcentages des passants à différents diamètres des échantillons prélevés	129
Tableau. VII.2. Analyse granulométrique pour l'échantillon n° 01.....	129
Tableau. VII.3. Analyse granulométrique pour l'échantillon n° 02.....	129
Tableau.VII.4. Analyse granulométrique pour l'échantillon n°03.....	130
Tableau.VII.5. Analyse granulométrique pour l'échantillon n°04.....	130

Tableau. VII.6 .Coefficients de courbure et d'uniformité des échantillons prélevés.....	136
Tableau VII.7 .Paramètres d'identification de La teneur en eau.....	137
Tableau .VII.8 .Résultats des essais de la teneur en eau des échantillons prélevés.....	137
Tableau. VII.9 .Nature lithologique du sol en fonction de la teneur en eau.....	138
Tableau. VII.10 . Limite de liquidité w_L des échantillons prélevés.....	139
Tableau .VII.11 .Limite de plasticité w_P des échantillons prélevés	139
Tableau.VII.12 . Paramètres d'indice de plasticité I_p : des échantillons prélevés.....	140
Tableau .VII.13 . Indice de plasticité I_p : des échantillons prélevés	140
Tableau.VII.14 . Indice de consistance I_c : des échantillons prélevés.....	141
Tableau.VII.15 .Résultats des essais de limites d'Atterberg	141
Tableau. VII.16 .Paramètres d'indice de gonflement (Aoun, 2002).....	143
Tableau.VII.17 . Estimation du gonflement potentielle, et de degré de plasticité des échantillons prélevés.....	144
Tableau.VII.18 . Résultats d'analyse sédimentométrique effectuer (échantillon :01).....	149
Tableau.VII.19 . Résultats d'analyse sédimentométrique effectuée (échantillon :02)	150
Tableau.VII.20 . Résultats d'analyse sédimentométrique effectuer (échantillon :03).....	151
Tableau.VII.21 .Résultats d'analyse sédimentométrique effectuer (échantillon :04).....	152
Tableau. VII.22 . Type d'argile selon la surface spécifique.....	155
Tableau .VII.23 . La sensibilité d'un matériau argileux en fonction de la valeur de bleu....	156
Tableau. VII.24 . Résultats de l'essai au bleu de méthylène(échantillon N°01).....	157
Tableau .VII.25 . Résultats de l'essai au bleu de méthylène (échantillon N°02).....	157
Tableau.VII.26 . Résultats de l'essai au bleu de méthylène (échantillon N°03).....	158
Tableau .VII.27 .Résultats de l'essai au bleu de méthylène(échantillon N°04).....	158
Tableau.VII.28 . Résultats des essais au bleu de méthylène des échantillons prélevés	158
Tableau. VIII.1 . Valeurs de coefficient de sécurité F_s données en fonction - de l'importance de l'ouvrage.....	166
Tableau. VIII.2 . Cercle n° 01.....	138
Tableau. VIII.3 . Cercle n° 02.....	173
Tableau. VIII.4 . Cercle n° 03.....	175
Tableau. VIII.5 . Cercle n° 04	177
Tableau. VIII.6 .Cercle n° 05	179
Tableau. VIII.7 . Cercle n° 06	181
Tableau. VIII.8 . Cercle n° 07	183
Tableau. VIII.9 . Caractéristiques géotechniques des argiles	185
Tableau. VIII.10 .Coefficients de sécurité obtenus par le logiciel -Geo-Slope- selon le Profil 01 (cercle :01) $R_u = 0$	186
Tableau. VIII.11 . Coefficients de sécurité obtenus par le logiciel -Geo-Slope- selon le Profil 01 (cercle :01) $R_u = 0.35$	186
Tableau. VIII.12 . Coefficients de sécurité obtenus par le logiciel -Geo-Slope- selon le Profil 01 (cercle :2) $R_u = 0$	186
Tableau. VIII.13 . Coefficients de sécurité obtenus par le logiciel -Geo-Slope- selon le Profil 01 (cercle :2) $R_u = 0.35$	187

Introduction générale

Les glissements de terrain font partie de l'évolution permanente de la terre depuis les millénaires. La vie des hommes est particulièrement liée aux phénomènes naturels, et les mouvements de terrain se trouvent liés à leur histoire.

Le tell Constantinois localise de nombreuses zones dont l'instabilité est potentielle ou déclarée. La zone du Douar Souadek, dans la commune de Zighoud Youczf, présente plusieurs indices d'instabilité des versants pour lesquels les mouvements de masse et leurs étendues sont inquiétantes. Par ailleurs la localisation d'enjeux socio-économique importants rend cet espace vulnérable.

Les problèmes posés par les glissements de terrain sont parmi les plus difficiles à résoudre. Leur étude fait intervenir simultanément la géomorphologie, la géologie, l'hydrologie et la mécanique des sols.

D'une façon générale, l'instabilité des pentes se pose aux chercheurs suivant deux optiques différentes : selon qu'il s'agit de prévenir l'apparition de glissement sur un versant réputé stable ou bien de stabiliser une pente où les glissements sont apparus, c'est le cas de notre aire d'étude, c'est-à-dire le glissement de terrain du versant sud de Djebel El Kantour, au Douar Souadek.

Ainsi une ample investigation géologique, géomorphologique et géotechnique a été établie afin de diminuer et mettre en relief la vulnérabilité du site. Des mesures in situ et au laboratoire ont été réalisées.

Finalement, cette tentative a permis de dresser un bilan du fonctionnement d'un certain nombre d'opérations et des actions de préventions soit passives, c'est-à-dire les effets qui limitent l'ampleur (modification des enjeux, surveillance et alerte ..., ou bien des actions dites actives : qui permettent de stabiliser la zone de glissement (soutènement, végétalisation, drainage...).

Première Partie

Chapitre : I

Généralités

I.1. Site et situation géographique d'aire d'étude :

L'aire d'étude est située dans le Nord-est de la commune de Zighou youcef (Douar Souadek) sur le versant sud du Dj-El Kantour wilaya du Constantine, au niveau de l'entrée sud du tunnel de l'autoroute, qui fait partie du Lot Est de l'autoroute Est - Ouest (au PK 220-230) voir (Fig. I.1), (Fig. I.2)et (Image. I.1).

- L'attitude : $6^{\circ} 45' 43''$ et $6^{\circ} 45' 51''$ Est .
- Longitude : $36^{\circ} 33' 22''$ et $36^{\circ} 33' 26''$ Nord .

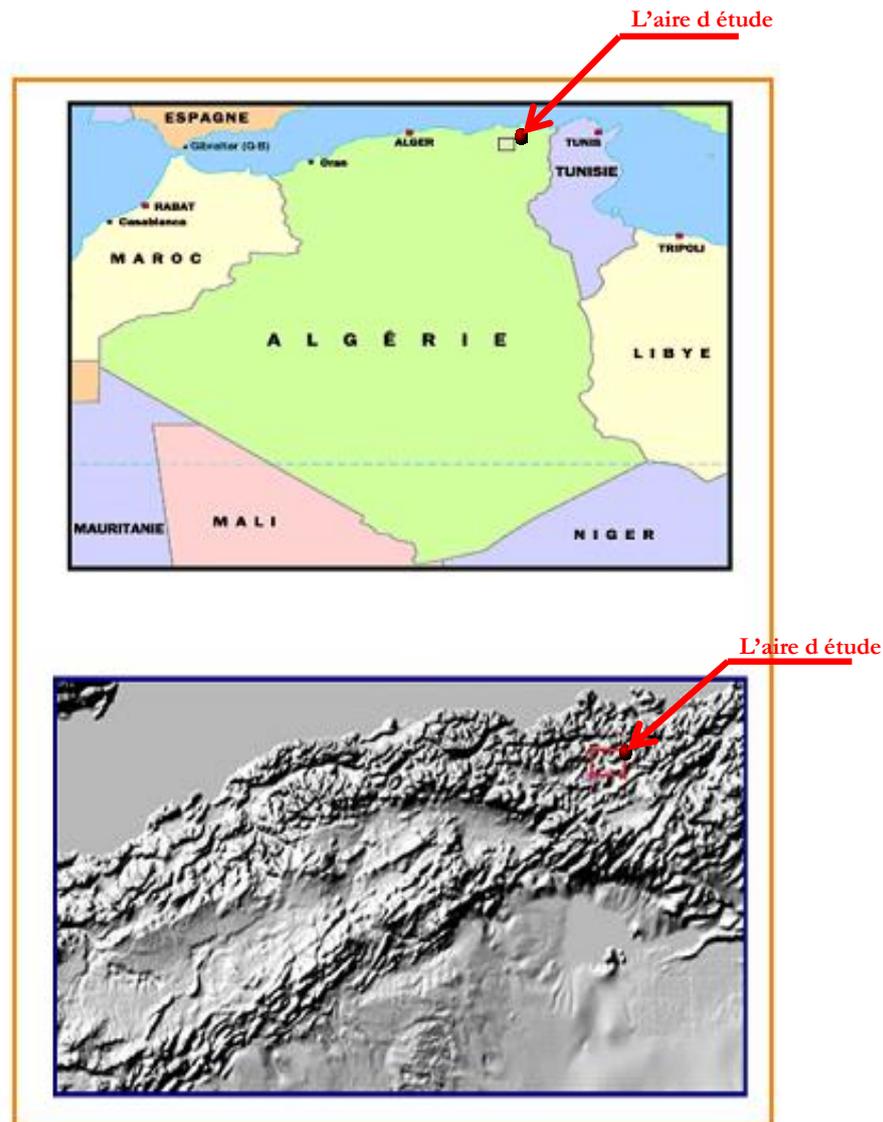


Fig. I.1. Situation géographique et Grille du M.N.T(modèle numérique de la terre).
(2 x 2 km) couvrant la région Est de l'Algérie du Nord

Cette zone d'étude est limité au Nord par Djebel d'El Kantour ,au Nord-est par les Djebels Toumiette, à l'Ouest par Djebel Rock et Fedj El Kantour , et au Sud par l'Oued de Béni-Brahim .



Fig. I.2. Situation géographique de la zone du glissement de terrain.
(Carte tonométrique Z. Yousef. 1-50000).



Image. I.1. Site et situation de l'aire d'étude. (Image satellitaire, Google Earth)

I.2. La végétation

Dans une optique géomorphologique, le couvert végétale d'une zone agit sur trois processus : le ruissellement, l'infiltration et l'érosion.

L'aire d'étude est caractérisé par un domaine bioclimatique Subhumide à Hiver doux a frais, une pluviométrie de plus de 600 mm par an et des températures atteignant 17° C au moyenne.

Ainsi le couvert végétal de la région étudiée est très réduit .Il se résume à des végétations herbacées et quelques arbres d'eucalyptus. Ce faible couvert végétal favorise considérablement l'érosion de sol.

I.3. Le contexte oro-hydrographique

Le réseau hydrographique de la région d'étude a subi une perturbation importante liée a des mouvements tectonique récents voir (*Fig. I.4*).

Des grands cours d'eaux descendent des hautes plaines et traversent la chaine montagneuse tellienne en taillant d'étroites gorges , véritables « Goulots d'étranglement» les Gorges du rocher de Constantine creusées , à plus de 200 m de profondeur par le rhumel , le cluse de Nador par lequel la Seybouse franchit l'écran topographique séparant le bassin de Guelma et la basse Seybouse , gorges du guergour percées par l'oued boussellem à travers Djebel Tafrat.

Et enfin l'oued Saf-Saf s'est creusé , après l'ensellement (surbaissement) des massifs qui le dominant , sur le surface de remblaiement ondulé des conglomérats et des grès micacés du nummulitique II. Il apparait donc, que c'était un des exutoires du lac miocène du bassin de Constantine .Après la dernière phase tectonique, il s'est enfoncé davantage.

I.4. Problématique et objet de l'étude

La région de Douar Souadek(commune de Zighoud Yousef) montre de nombreux signes d'instabilité des versants qui prennent la forme de mouvement de masse de types différents.

Le problème rencontre dans l'aire d'étude aux environs du PK229-230 de l'autoroute EW-Lot-Est concerne un glissement de terrain d'importante ampleur qui s'étend sur une zone de 70 m de largeur avec 120 m de longueur (*Photo. I.2*) au niveau de l'entrée du tunnel, versant sud de Djebel El Kantour .Ce glissement est caractérisé par plusieurs indices d'instabilité, représentés par d'importantes niches d'arrachements voir (*Photo. I.3*).

L'enjeu de cette étude est important du fait que le tunnel de l'autoroute Est-Ouest traverse la zone d'étude, l'ancienne route national n°3, ainsi qu'un réseau électricité de haute tension . (*Image. I.4*). Le sommet du glissement commence au dessous de la route nationale N°03.

Cette étude a pour objet la détermination des éléments indiquant la vulnérabilité du milieu, en identifiant les facteurs qui les contrôlent et leurs importances. L'étude consistera à réalisé les objectifs suivants en adoptant une méthodologie de travail basée sur des approches multiples :géomorphologiques, géologique, géotechnique et statique en adoptant une analyse multiscalaire :

- **L' approche morphologique et statistique :**
 - Réalisation d'un levé détaillé du glissement de terrain .
 - Application de modèle de Crozier afin de déterminer le type du glissement.

- **L'approche géologique** : à partir de laquelle les caractéristiques lithologiques, structurales, sont déterminées.
- **L'approche géotechnique** : selon laquelle une caractérisation géotechnique des zones instables du versant a été réalisée à partir de la réalisation, de traitement et d'interprétation des données géotechniques relatives au site, accompagnée d'un calcul de la stabilité du versant. Ce dernier se fait à l'aide d'un traitement informatique par logiciel (Géoslop ,...) afin d'apprécier la marge de sécurité du ce versant.



*Photo.I.2. Vue panoramique du Glissement de terrain .
(31 /12/2009)*



*Photo. I .3. Vue photographique des niches d'arrachements
du Glissement de terrain d'El kantour : (31/12/2009)*

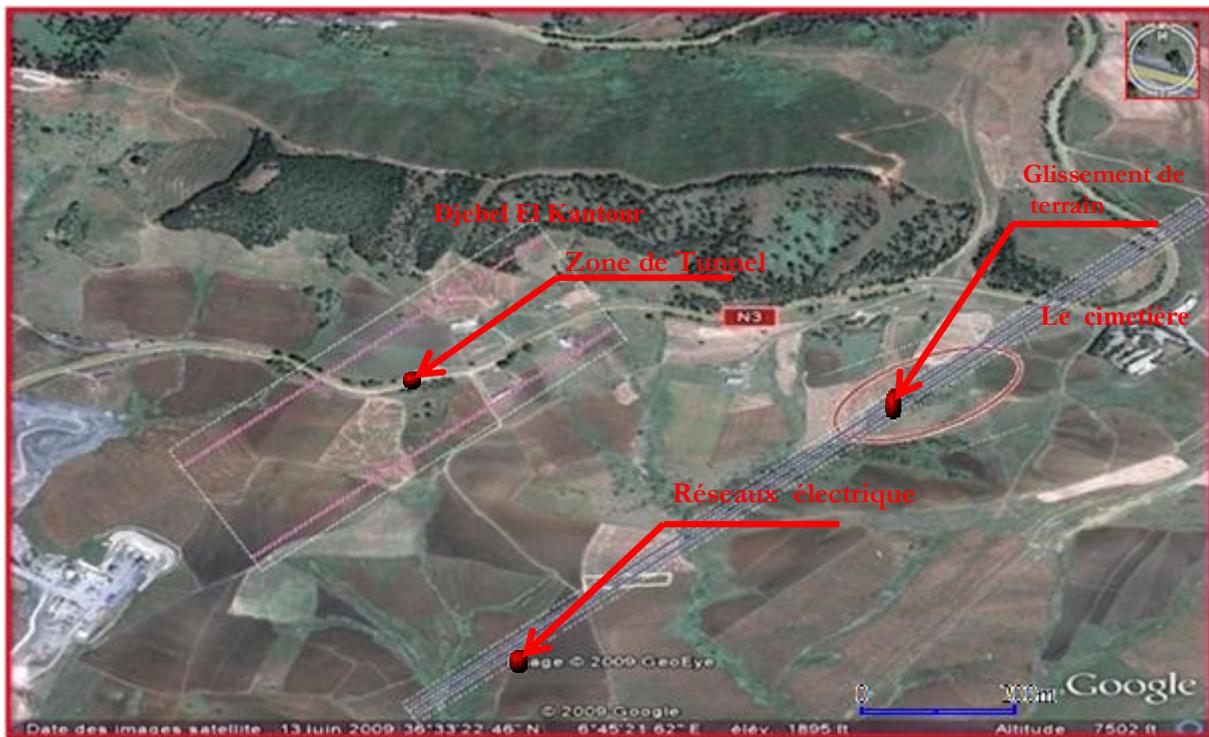


Image. I.4. Image satellitaire ,de la zone d'étude (Google earth)

I.5.Analyse morphologique de l'aire d'étude

I.5.1. Les reliefs

L'aire d'étude fait partie intégrante du massifs montagneux de la chaîne numidique au nord du tel constantinois. Les djebels Bit El Djazia (830m), Drâa Yehudi (700m), Cherraga (870m), Sesnou (609m) et Mekla (690m), et finalement le Djebel d'El Kantour qui culmine à (729m) d'altitude, forment une transversale où l'altitude s'affaiblit tout en allant vers l'Est. Cette dernière constitue l'épine dorsale de la dite chaîne.

C'est une zone où la chaîne numidique perd de l'altitude ,ne culminant plus que de 600 à 800 m..

Les sommets les plus élevés sont formés de grés, de calcaires ou de marne. La chaîne numidique dans cet endroit s'élargit et prend beaucoup plus un aspect collinaire. Seulement, l'aspect montagnard s'impose puisque les sommets sont très escarpés.

La zone d'étude est cernées dans leurs bordure nord par la courbe de niveau 700 m et au sud par la courbe de niveau 600 m voir (Fig. I.3).

L'unité morphologique du Djebel d'El Kantour (versant sud) où le mouvement de terrain a été observé est caractérisée par deux types morphoséquences:

- Une morphologie argileuse où affleurent les argiles.
- Une morphologie caractérisée par des crêtes étroites, des pentes ravines, un relief accidenté, ciselé par des vallées en V.

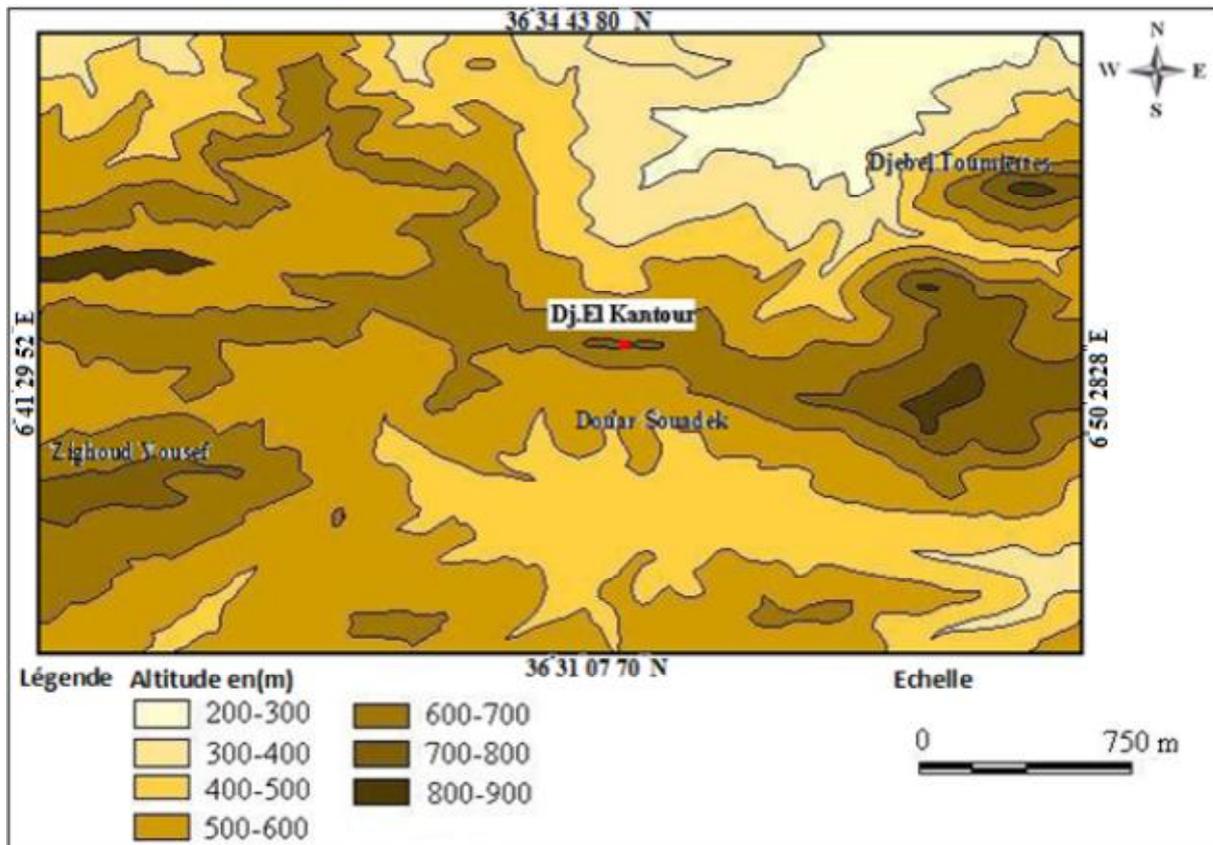


Fig. I.3. Carte hypsométrique de la zone d'étude (source carte topographique d'El Harroche 1/50000).

I.5.2 .Les pentes

Les pentes représentent un élément important pour caractériser les aspects du relief. Elles sont aussi liées à la dynamique du milieu car, elle entrent en action comme facteurs jouant un rôle fondamental dans l'analyse morphodynamique et l'explication de certaines formes de l'érosion et les mouvement de masse.

La carte des pentes a permis d'associer aux différents milieux les systèmes de pentes qui les caractérisent. A titre d'exemple, les argiles commencent à connaître des glissements à partir de 18 % de pente et des ravinements à partir de 25 %.

Selon la carte des pentes *Fig. (I.4)*, l'aire d'étude est caractérisés par une classe des pente forte (12.5-25 %), elles se localise surtout sur les versants marneux et argileux.

La valeur de la pente (l'angle de pente) est de toute évidence un des facteurs essentiels de l'instabilité ; c'est un des paramètres de calcul du coefficient de sécurité. C'est pourquoi beaucoup de travaux traitant de la dynamique de versants comportent une carte des pentes .

La détermination des classes de pente varie d'un auteur à un autre. Le choix dépend d'abord des types de mouvements de masse.

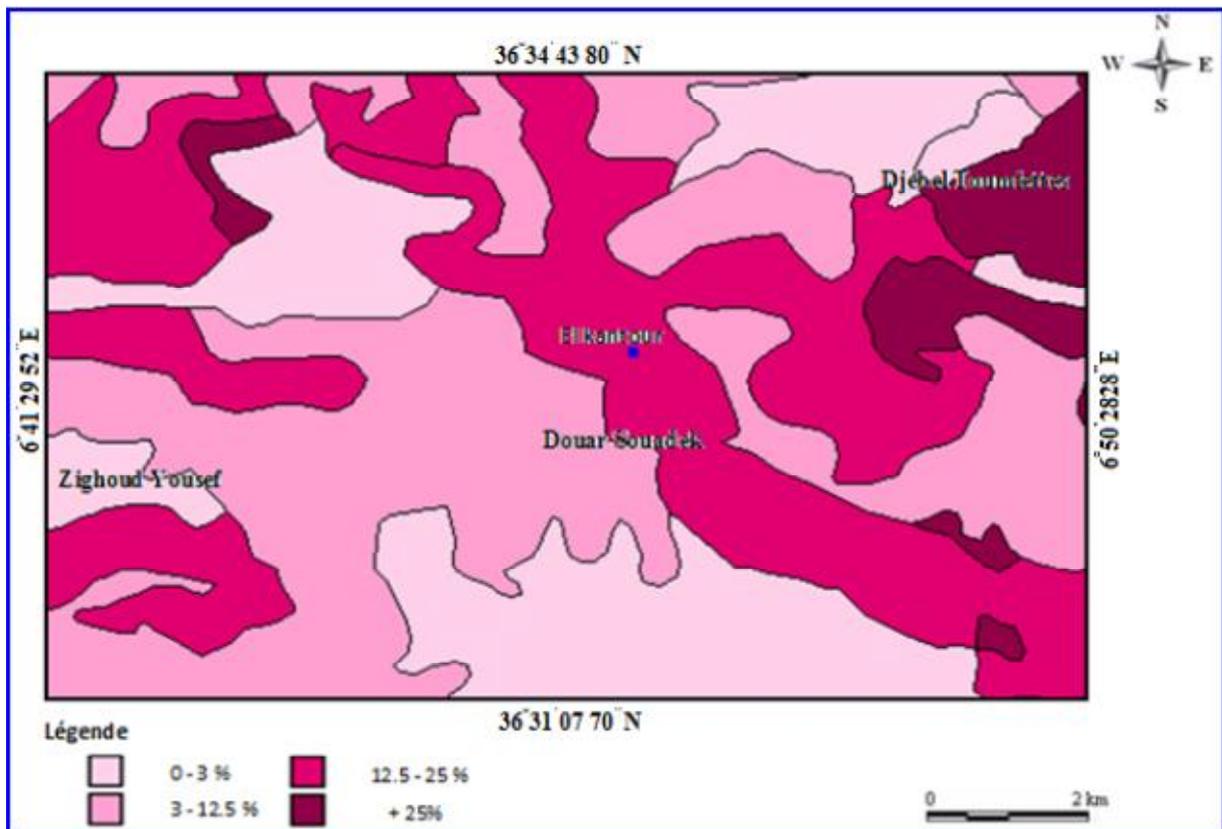


Fig. I.4. Carte des pentes de la zone d'étude
(source carte topographique d'El Harrouch 1/50000).

Conclusion

Le secteur étudié se caractérise par un aspect orographique important. En effet, il est marqué par un relief accidenté, présentant des contrastes topographiques remarquables, avec notamment des massifs culminants à des hauteurs élevées et de profonds ravins et talwegs. Par ailleurs, il montre des pentes très variées.

L'unité morphologique du Djebel d'El Kantour (versant sud) ou le mouvement de terrain a été observé est caractérisée par une morphologie argileuse, des crêtes étroites, des pentes ravines et un relief accidenté ciselé par des vallées encaissées.

Deuxième Partie

Chapitre II

Contexte géologique

Introduction

L'aire d'étude appartient au bassin néogène du Constantinois, au Nord - Est de l'Algérie et fait partie de la branche Sud de la chaîne alpine (Maghrébides).

La structure géologique en nappes de cette chaîne est issue de trois domaines paléogéographiques différents qui sont du Nord au Sud : Le domaine interne, le domaine des flysch et le domaine externe.

II.1 .Les grands ensembles structuraux

II.1.1.Le domaine interne

Il est situé au Nord, est composé des formations cristallophylliennes du socle Kabyle et sa couverture sédimentaire. Cet ensemble est largement charrié vers le sud (J.P. Bouillin, 1977 et W. Wildi, 1983) voir (Fig .II.1).

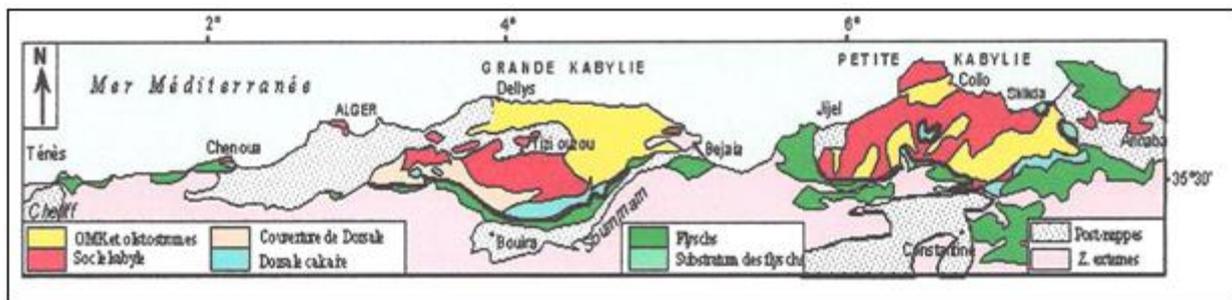


Fig. II.1. Schéma géologique de la côte Algérienne à l'Est du Cap de Ténès, d'après Wildi, 1983.

II.1.1.1.Le Socle kabyle

Il est représenté par des formations cristallophylliennes situées au Nord de l'Algérie : Le massif de Chenoua à l'Ouest d'Alger, le massif de la grande Kabylie au centre, et le massif de la petite Kabylie à l'Est. (M.Durand Delga, 1955).

- Dans le massif de la petite Kabylie, le socle kabyle comporte deux grands ensembles :
 - **Un ensemble supérieur** : formé essentiellement des Schistes, des Micaschistes et des Phyllades. Il est surmonté en discordance par des formations siluriennes (paléozoïque) .
 - **Un ensemble inférieur** : Gneissique, constitué de para-gneiss, d'ortho-gneiss et de gneiss granulitique à intercalation de marbres et d'amphibolites.
- En petite Kabylie, les formations cristallophylliennes du socle Kabyle sont largement charriées vers le Sud sur les formations de type flysch et les formations telliennes (M. Durand Delga, 1955 et J.P. Bouillin, 1977).

II.1.1.2. La couverture sédimentaire du socle kabyle

a- La dorsale kabyle ou chaîne calcaire

C'est la couverture sédimentaire du socle Kabyle qui marque la limite entre ce dernier au nord et les zones telliennes au Sud. Elle montre des termes allant du Permo-Trias, discordant sur le socle kabyle, à l'Oligocène. A l'Est de la petite Kabylie, la dorsale Kabyle forme les reliefs de Sidi Driss, d'El Kantour et des Toumiets. Les séries qu'elle présente permettent de la subdiviser en trois domaines, qui sont du Nord au Sud (J.F. Raoult, 1969 - 1974) :

- **La dorsale interne :** Elle montre sur un soubassement paléozoïque, une série complète du Permo-Trias au Néocomien. Ce dernier est directement surmonté par des calcaires biogènes à caractères littoraux de l'Eocène inférieur à moyen.
- **La dorsale médiane :** Elle est caractérisée par des dépôts marno-calcaires à microfaunes pélagiques du Turonien au Lutétien inférieur et par une lacune stratigraphique au Crétacé moyen.
- **La dorsale externe :** Elle est caractérisée par des séries détritiques peu épaisses et lacuneuses. Elle comporte des calcaires silicifiés, surmontés en discordance par des conglomérats du Campanien. Ces derniers sont marqués par une intense érosion au Sénonien.
 - La dorsale externe : Elle repose en discordance sur les flyschs.

b- Les formations de l'Oligo-Miocène Kabyle (OMK)

Ces formations forment la couverture sédimentaire transgressive et discordante du socle kabyle. Les formations de l'Oligo-Miocène kabyle sont constituées de trois principaux termes :

- **Un terme de base :** il comporte des conglomérats reposant en discordance sur le socle kabyle.
- **Un terme médian :** formé de grès micacés à débris provenant du socle kabyle associés à des pélites micacées.
- **Un terme supérieur :** pélitique et siliceux à radiolaires et diatomées.

c- Les Olistostromes :

D'après (J.P. Bouillin et al, 1971 ; J.P. Bouillin et al, 1973 et J.P. Bouillin, 1977). Les Olistostromes sont des formations tectono-sédimentaires à débris de flysch intercalés dans des passées grés-micacés (Burdigalien).

II.1.2. Le domaine des flyschs

Les flyschs sont des séries d'âge Crétacé à Paléocène. En Algérie, ces séries occupent une position allochtone. Elles sont classiquement subdivisées en deux principaux types : Le Flysch Mauretaniaien et Flysch Massylien et aux quels s'ajoute le Flysch Numidien d'âge Burdigalien.

- a- **Le Flysch Mauretaniaien:** Il comporte de bas en haut (J.P. Gelard, 1969 ; H. Djellit, 1987) :
 - Un préflysch calcaire du Tithonique - Néocomien, constitué d'une alternance de marnes

- grises et de turbidités calcaires.
- Un ensemble épais (300 m) de grés homométriques à cassure verte (flysch de Guerrouch) attribué à l'Albo-Aptien.
- Des phtanites rouges et blanches du Cénomanién supérieur.
- Des microbrèches à ciment spathique riches en quartz détritique et parfois des micro-conglomérats du Sénonien.
- Au sommet, des conglomérats puis des grés micacés tertiaires (Eocène à Oligocène).

b- Le flysch massylien : Les caractéristiques majeures de la série massyenne sont :(J.P. Bouillin, 1977) :

- Un Albo-Aptien périto-quartzitique.
- Un Cénomanién microbréchique à orbitolines et niveaux de phtanites noires et blanches.
- Un Turono-Sénonien sous forme de pélites et de petits bancs de microbrèches à éléments calcaires et ciment pélitique.

c- Le flysch numidien : Le flysch numidien forme une entité géologique à part. Il occupe toujours la position structurale la plus haute de l'édifice alpin et repose en contact anormal sur toutes les formations précédentes. Ce flysch est attribué en partie à l'Aquitano-Burdigalien, comporte de bas en haut (J.P. Bouillin, 1977 ; J.C. Lahonder et al, 1979) :

- **A la base :** des argiles sous numidiennes, vari-colores de teinte rouge verte ou violacée à tubotomaculum d'âge Oligocène supérieur. Des grés numidiens de couleur jaunâtre à blanchâtre en bancs épais à quartz roulés très hétérogènes d'âge Aquitanien à Burdigalien inférieur (J.C. Lahonder et al, 1979).
- **Au sommet :** des formations supra-numidiennes comportant des argiles et des marnes à intercalation de silexites du Burdigalien basal.

II.1.3.Le domaine externe

Le domaine externe est situé plus au Sud, il comporte les formations telliennes et les formations de l'avant pays. Les formations telliennes reposent partiellement sur l'autochtone Saharien (J.P. Bouillin, 1977).

a- Les formations telliennes

Le domaine tellien correspond aux zones situées sur la paléo-marge africaine. Il est caractérisé par la prédominance de faciès marno-calcaires, qui s'étalent du Néocomien au Lutétien (J.P. Bouillin, 1977). Les séries telliennes sont constituées par un empilement de trois grandes nappes, sont du nord vers le sud : Une série ultra-tellienne , une série méso- tellienne et une série peni-tellienne.

b- Les formations de l'avant pays

Les formations de l'avant pays sont représentées par des calcaires et des marnes de la plate forme constantinoise et du domaine atlasique. Ce domaine comporte l'avant pays allochtone et l'avant pays autochtone (J.M. Vila, 1980).

II.1.4 .Les formations post-nappes

L'âge Burdigalien établi pour la mise en place des nappes dans le constantinois, permet de considérer que les formations post-nappes regroupent l'ensemble de dépôts postérieurs au Burdigalien. Il s'agit de formations continentales et marines transgressives et discordantes sur les formations et les structures anté-burdigaliennes.

Selon les données géologiques, notamment les travaux de P.E. Coiffait (1992), les formations lithologiques du bassin néogène constantinois sont dominées par des dépôts continentaux comportant essentiellement de dépôts détritiques (sables, argiles, graviers et conglomérats) et évaporitiques (sel gemme, gypse et anhydrite) et auxquels s'ajoutent des formations carbonatées représentées par des calcaires lacustres.

II.2 Aspect structural régional

II.2.1.Tectonique Mésozoïque (secondaire)

Au Jurassique inférieur, la distension provoque une subsidence qui se poursuit au Crétacé inférieur lors de la structuration générale E-W caractéristique des bassins maghrébins (P.Deleau ; 1939, G.Durozy .La plate-forme Constantinoise se distingue dès la fin de Trias comme un haut-fond à sédimentation. Au Jurassique moyen et supérieure et au Crétacé, la tectonique est mise en évidence par des variations de faciès, des lacunes de dépôts et des discordances angulaires.

II.2.2.Tectonique Cénozoïque(tertiaire)

- **La phase fini Lutétienne :** Cette phase intervient à la fin d'un grand cycle sédimentaire qui débute dès le Trias. La déformation rattachée à cette phase est représentée par des structures d'origine compressive.(J.F.Raoult ; 1974).
- **La phase tectonique Miocène :** La phase Miocène est une phase de compression caractérisée dans toute l'Algérie Nord Orientale par un raccourcissement N-S, (J.P.Bouillin ; 1977et 1979, J.M.Vila ; 1980et N.Kazi-Tani ; 1986).

II.2.3.La néotectonique

Les déformations liées à la tectonique récente, dans le constantinois sont représentées par des failles normales, de directions variables, en bordures des massifs calcaires Jurassico-Crétacé.

- **Condition sismique et microsismicité**

Les zones d'activité sismiques sont concentrées au Nord et au Nord-Est de l'Algérie voir . Le long de la chaîne côtière , qui s'étend d'Oran à Annaba , et dans les régions du Hodna et des Aurès .Une troisième zone d'activité se trouve dans Atlas saharien s'étend d'Agadir au Maroc à Gabes en Tunisie en passant par , Biskra et Laghouat en Algérie . (Belkhiri -2006) .

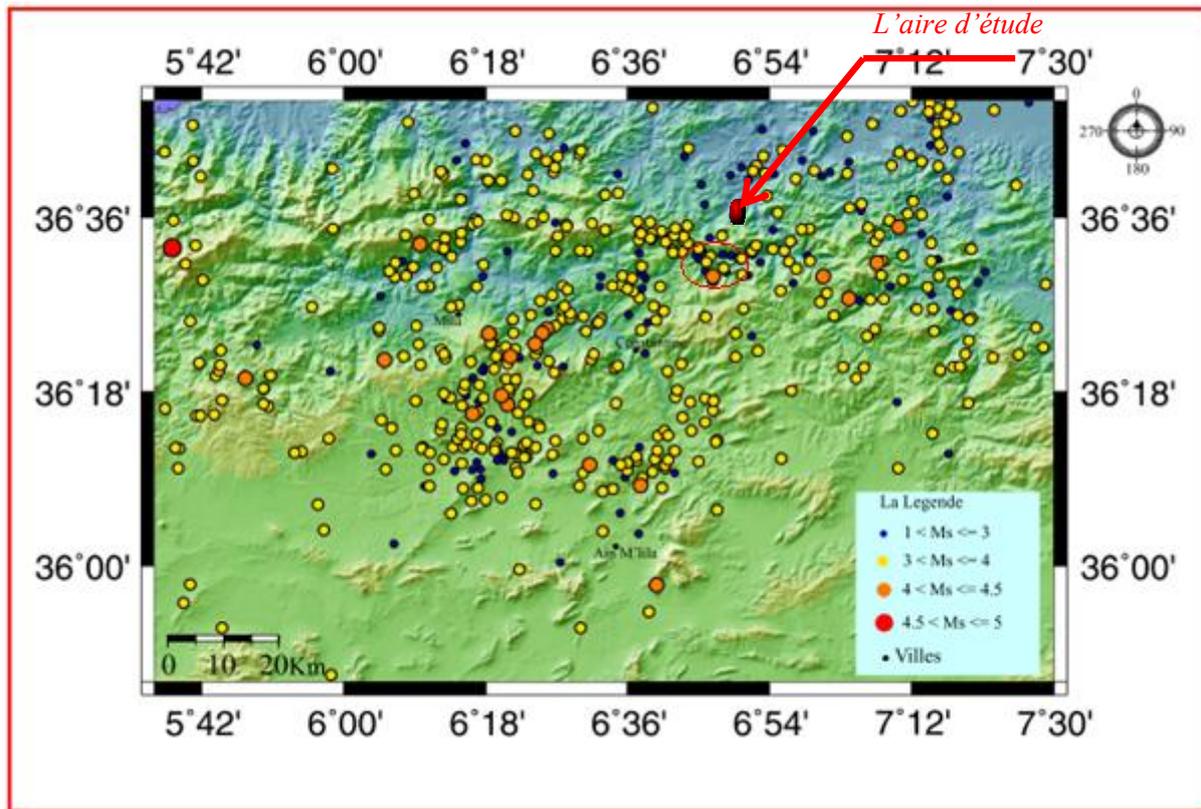


Fig.II.3. Micoséismicité dans le nord-est algérien (2004-2008)
Source CGS Alger.

II.3. Caractéristiques géologiques du bassin de Constantine

D'après Philippe Emmanuel Coiffait 1992 : Le Bassin Sédimentaire de Constantine, sur le plan orographique, correspond pour sa partie nord, à une dépression située entre les massifs du tell des géographes et les hautes plaines Constantinoise (fig.II.4). Tous du long des meghrèbides on observe à l'Ouest des zones internes et le plus souvent à cheval entre zone externe et avant pays des bassins sédimentaires dont le comblement, le plus souvent à matériels continental, est postérieur à la mise en place des nappes.

- Notre travail a porté sur le site (versant sud Dj-El Kantour, Douar Souadek, Zighoud Youcef) localisé sur un de ces bassin de l'est Algérien " Le Bassin de constantinois "

II.3.1. Caractéristiques litho- stratigraphiques:

Les différents unités lithostratigraphiques représentés dans le bassin de Constantine (Fig.II.4) peuvent être résumés comme suit :

a - le trias : Les terrains les plus anciens connus à l'affleurement dans la région d'étude se rapportent au trias. Ils n'affleurent jamais en position stratigraphique normale, mais soit sous forme de diapirs, soit injecté le long d'accidents tectoniques. Les affleurements de trias s'observent dans la région de Constantine : Ain kerma, djebel akhal et sur toute la limite méridionale du chettaba (Ain Goulia). Dans la région de oued athmania : Ain El Alleg, djebel

toukouia (Est de Chelghoum al aïd)et au sud de Ain M'lila (la région des lacs),(P.E Coiffait ;1992).

b- Le Jurassique : Selon P.E. coiffait (1992), les formations du jurassique affleurent au Djebel Akhal entre Constantine et Mila, le massif au Chettaba à l'Ouest de Constantine et le massif du kheneg au Nord –Ouest de Constantine.

Le Lias : Il est représenté par des calcaires et dolomies massifs, du lias inférieur et moyen et des calcaires à silex du lias supérieur.

Le Dogger : Il est caractérisé par des calcaires gris, des marno- calcaires siliceux et des dolomies.

Le Malm :Il est représenté par des calcaires fins, parfois siliceux au biodétritiques. Ces calcaires sont affectés par un phénomène de dolomitisation secondaire important (surtout Djebel kheneg).

c-Le Crétacé

- **Le Crétacé Inférieur :** Les formations de Crétacé inférieur sont caractérisées par des marnes, des marno-calcaires et des calcaires néritiques. Elles affleurent au Djebel Oukissane sous forme d'un faciès marneux au Nord Ouest et calcaires néritiques au Sud-Est. Elles affleurent également au Djebel Akhal et dans la région de Sidi Merouane (M. Durand Delga, 1955).

- **Le Crétacé Supérieure :** Le Crétacé moyen à supérieur comporte des marno-calcaires peu épais de l'Albien, des marno-calcaires noduleux de couleur grise, des marnes grises bleutées parfois gypsifères marquées dans sa partie supérieure par une surface durcie du Sénonien.

d-Le Paléogène : Dans les monts de Constantine, le paléogène est représenté par une épaisse série de marnes, de calcaires phosphatés et de calcaires à silex. Ces formations n'atteignent l'Oligocène que rarement.

* **Le Paléocène :**Le paléocène est représenté par des formations marneuses faisant suite aux séries du maestrichtien. (P.E. coiffait ; 1992).

* **l'Eocène :**Aux environs de Constantine, l'Eocène est représenté par une épaisse série à dominante calcaire. Cette série débute par des marno-calcaires.

e- Le Néogène : Les formations du Moi-Pliocène sont représentées essentiellement par des dépôts détritiques (conglomérats, graviers, sables et argile), et des dépôts évaporitiques (gypses), et des calcaires lacustres. Les sédimentations au cours du Néogène sont marquées par des périodes marines et des périodes continentales, (P.E. Coiffait ;1992).

***Le Cycle Langhien-Serravalien Inférieur :(miocène moy)** il s'agit de marnes sableuses à intercalations de quelques bancs de grés argileux.

***Le Cycle Mellalien Supérieure (Serravalien Supérieur) :** il est caractérisé par des assises conglomératiques ; surmontées par des argiles sableuses rougeâtres.

* **Le Cycle Turolien Inférieur :** Il est caractérisé par une assise conglomératique suivie par une formation argilo marneuse. Les formations du Pliocène inférieur sont représentées par des calcaires lacustres au djebel el Hadj-baba, Ain EL Bey, région de Mila et Grarem.

f-les Formations quaternaires : Du fait de leur origine continentale, il est difficile de tracer une limite exacte entre ces formations et les dépôts néogène détritiques qui sont les plus souvent altérés en surface.

***Les Terrasses Alluviales Anciennes :** Elles sont représentées par des blocs calcaires et gréseux plus au moins roulés enrobé(recouvrir) dans une matrice limoneuse de couleur rougeâtre à brunâtre, provenant des démantèlements des formations anciennes, ces dépôts s’observent essentiellement sur les rives de l’Oued Rhumel et Oued Boumerzoug, formant des terrasses qui s’étendent sur plusieurs de mètre (région Chaabat Rasas au Nord- est.

***Les Terrasses Alluviales Récentes :** Elles s’observent essentiellement le long de l’Oued Rhumel et d’Oued Boumerzoug de leurs principaux affleurant .

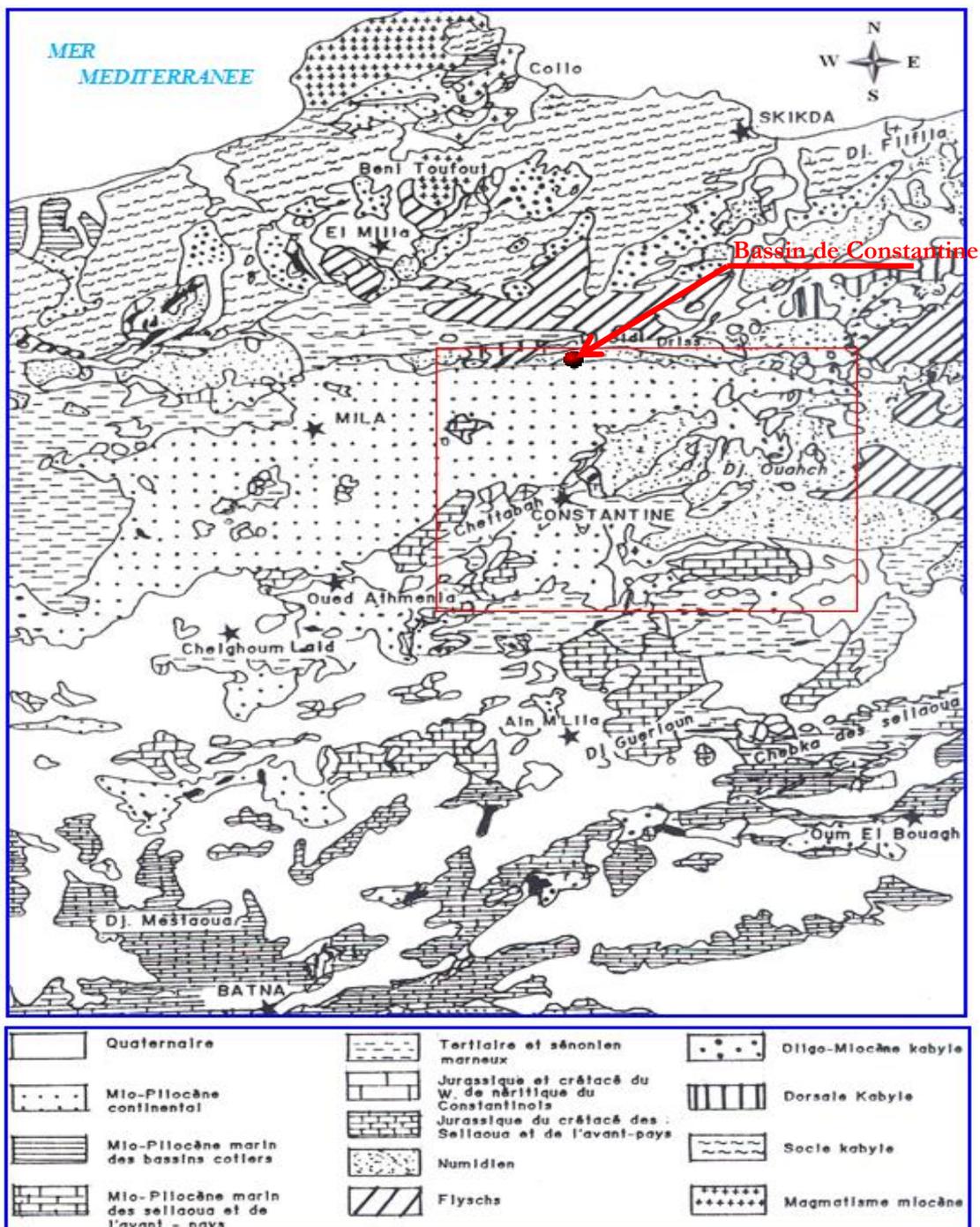


Fig. II.4. Carte géologique du Bassins constantinois, d’après(J.M.Vila,1980) .

II.3.2. Le néogène de la région de Zighoud youcef

Dans son étude (Un bassin post-nappe dans son cadre structure : l'exemple du bassin de Constantine ,1992) J.P.E.Coiffait note : «Dans le secteur de Zighoud youcef : (ex condé Smendou) il est possible de reconstituer la coupe synthétique suivante » que nous donnons en figures(II.5), la figure (II.6) présente le log stratigraphique de cette même région établi par cet auteur.

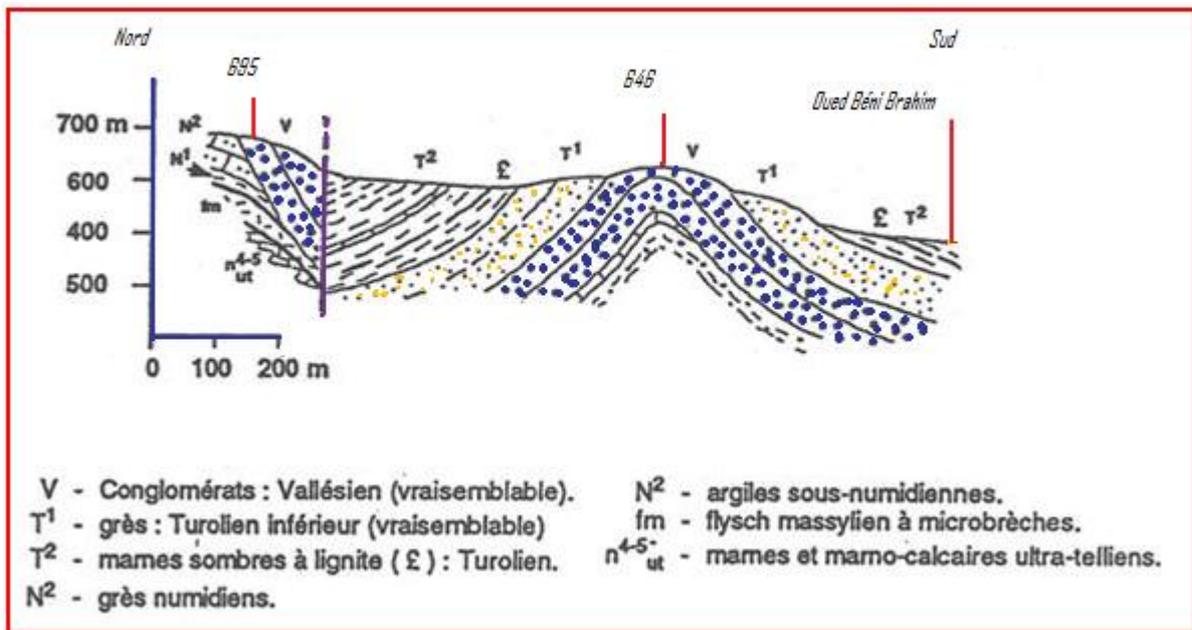


Fig. II.5. Le Vallésio-turolien (miocène sup) au pied du Col d'El Kantour

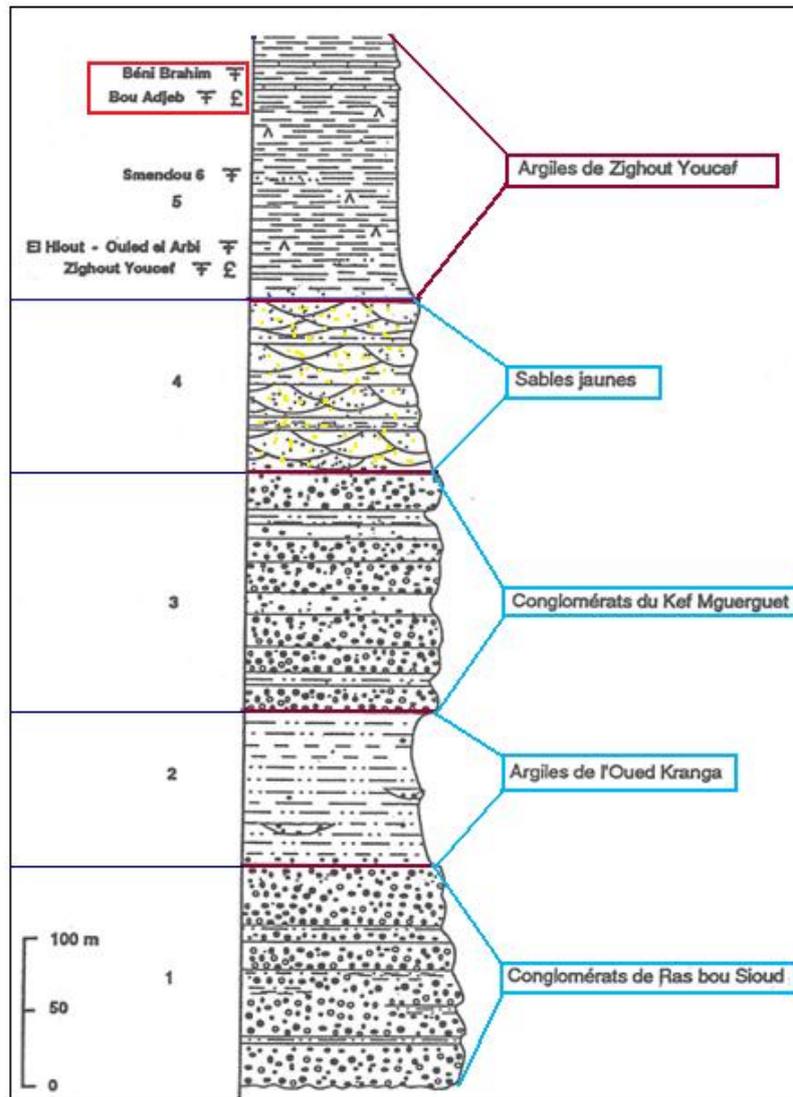


Fig. II.6. Log litho-stratigraphique de Zighoud Youcef.
(d'après Philippe .Emmanuel Coiffait)

* Le log lithostratigraphique met bien en évidence le caractère meuble des formations superficielles de notre région étudiée:

II.3.2.1. Linéaments tectoniques de la région de Zighoud Youcef

Les linéaments correspondent selon Hobbs .W.H (1904) à des crêtes , rides ou limites de reliefs , lignes de partage des eaux, limites linéaires des formations géologiques ou d'ensembles pétrographiques ou lignes d'affleurements. Ils peuvent aussi correspondre à des éléments structuraux clairs : vallées et ravins , failles et flexures , plis.

Les traits caractéristiques des différentes définitions relevées dans la bibliographie permettent d'affiner que ces linéaments sont des alignements rectilignes plus ou moins incurvés qui apparaissent dans le relief. Ils sont assimilés soit à des traits physiographiques liés à la végétation, l'hydrographie ou à la morphologie des terrains : limites de reliefs, crêtes ou autres densité de diaclases, rebroussement des couches, failles. Ces linéaments peuvent aussi être la trace de structures profondes telles que les plis profonds, les failles de socle et flexures.

L'effet de ces linéaments est fonction de leur extension dans l'espace, leur répétitivité dans une direction donnée d'où il apparait nécessaire de déterminer leurs directions et leurs étendues et le type de structures géologique qu'ils affectent.

L'étude statistique des linéaments (*Fig.II.7*) a permis de classer ces derniers d'après leurs directions en cinq principales familles .(Amireche .H).

- **La famille Est -ouest**

C'est la famille la plus répandue. Les linéaments s'étendent surtout sur les versants nord de la chaîne numidique: Djebel Kantour, Draâ Yehudi, Kefs Toumiets, la rive droite des oueds Béni Brahim, Khorfan et Khemakhhem. Elle est cependant moins répandue au NW et au NE. L'étendue moyenne des éléments est de 400 m. Néanmoins, on relève un linéament caractéristique par son étendue atteignant environ 2,4 km. Il s'étend de Bled Bou Zitoun (à l'Est de Draâ Yehudi) jusqu'à Mechta Sidi Bouzitoun à l'Ouest. Dans le col d'El Kantour, c'est-à-dire tout de suite à l'amont du bassin supérieur de cet oued, la faille qui part de M'cid Aicha, en passant par le Col et Kef Aouaner dans les Zardézas pour s'infléchir dans le djebel Debbar dans le bassin de Guelma, a opéré en décrochement dextre. C'est là manifestement un indice direct de la néotectonique.

- **La famille NNE-SSW**

Son extension est également visible sur le versant nord du Djebel Kantour et à Draâ Yehudi. L'étendue moyenne des linéaments est de 660 m alors que l'équidistance moyenne est de 240 m. Les éléments les plus représentatifs sont localisés au djebel Abd El hadj sur le versant nord de Draâ Yehudi.

- **La famille SW-NE**

Elle a une grande extension au nord du djebel Kantour, Draâ Yehudi Djebel Bou Aded et au NE du Kef Sebaâ Ergoud. L'étendue moyenne des linéaments atteint presque 700 m. Trois éléments se caractérisent néanmoins par leur étendue. Le premier dépasse 3,70 km passant au Sud de Draâ Sbikhra. Le second avec 2.55 km, s'étend de Kef Toumiet Nord à Chaâbat Dardara au Sud et enfin le troisième avec 2,90 km, s'étendant de Kef M'souna jusqu'au Kef Sebaâ Ergoud.

- **La famille NW- SE :**

Elle est surtout composée d'éléments dispersés. Leur étendue moyenne atteint 700 m. Les structures particulières inhérentes sont des éléments en relais ayant une extension importante sur le versant Nord de Koudiat Tabet. Les Couloirs tectoniques les plus significatifs sont situés sur le versant Nord du Djebel Bou Aded et dans la région de Béni Médjalel au S-E.

- **La famille Nord –sud :**

Elle se concentre surtout au centre de la zone, s'étendant entre Kefs Toumienne et le barrage des Zardézas, entre douar Ouled Attia et Ouled Habeba. L'étendue moyenne des éléments atteint

875 m. Reconnue comme une direction tectonique cassante, récente et active, elle a participé au morcellement du relief et par conséquent à la création de zones de faiblesse exploitées essentiellement par les oueds ainsi que par les bassins d'effondrement de forme longitudinale dont celui de Zighout Youcef et des Zardézas.

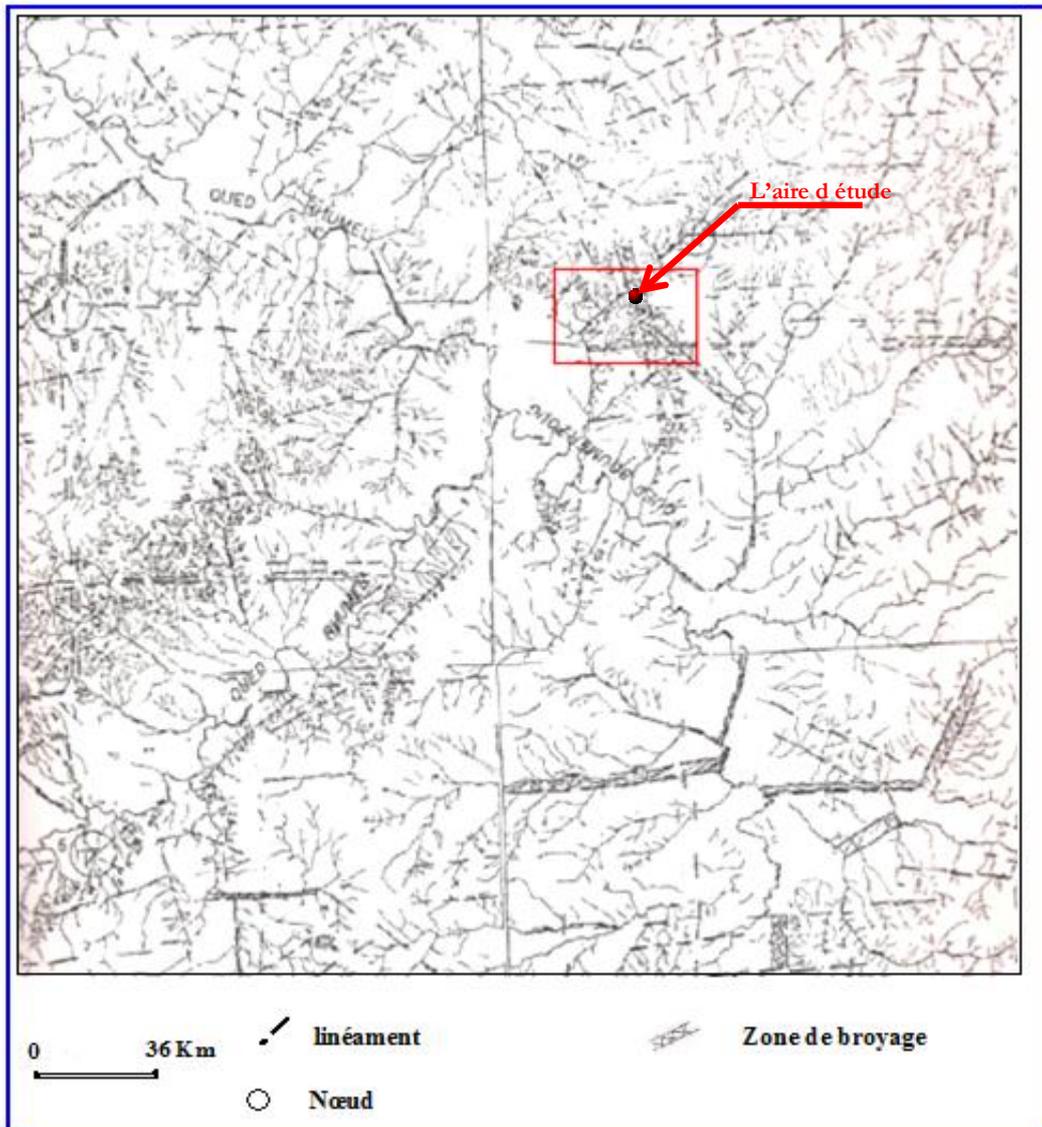


Fig. II.7. Linéaments dans la région d'étude.

< L'accident d'EL Kantour :

L'accident d'El Kantour est un décrochement dextre ayant joué en partie après la mise en place supra-Kabyle des flysch et après le dépôt du numidiens mais ayant déjà fonctionné en décrochement (dextre ou senestre) de la phase fin-lutétienne (Eocène - 48,6 m/a).

La zone d'El Kantour Col des Oliviers correspond ainsi à un nœud tectoniques où interfèrent les charriages et décrochement fini-lutétiens liés au décrochement NE-SW d'El Kantour jouant tardivement, les failles post miocène supérieur dont certaines sont décrochantes avec des contraintes E-W, visibles dans le kabyliens du Kef ben Chirck bou Rouhou et de la Koudiat bouferKa, ainsi que dans le miocène supérieur (Raoult. J.F /1974).

Cet accident orienté NE-SW passé par la zone d'El kantour et serait vertical ou à un pendage fort. Il semble avoir joué un rôle notable comme limite (paléogéographique et paléotectonique) entre deux zones ayant subi des évolutions assez différentes. Il paraît se poursuivre loin vers le SSW, et passerait entre les monts de Hodna et le Blazma, à 120 km d'EL kantour.

II.4.Géologie de l'aire d'étude (versant sud du Djebel El Kantour)

Nos visites et observations sur site, appuyées par les données de l'étude géologique effectuée par P.E.Coiffait *Fig. (II.5) et (II.6)* ainsi que la carte géologique (Zigoud yousef) effectuée par Raoult.J.F 1969, nous ont permis de considérer que le versant sud du Djebel El Kantour présente les formations lithologiques suivantes :

1 - Les grés numidiens.

2- Conglomérat rouge vif à passées de lits argileux sableux, le galet des conglomérats, sont essentiellement empruntés aux grés du numidien (plus de 90%) .

3-Argile sableuse, brun rougeâtre, avec quelque passées d'argiles à galet et quelque lentilles conglomératique.

4- Conglomérat en venue brutale, et grés, alternant avec des argiles sableuse.

5-Grés jaunâtres (sable légèrement consolidé) : à ciment carbonaté et à matrice pélitique, entrecoupé, de bancs d'argiles grises à vertes.

6- Argiles gypsifères à passées calcareuses : le gypse se présente le plus souvent en cristaux maclés ou en petits inter-lits centimétriques.

- Selon la coupe géologique (*Fig. II.8*) effectuée dans la zone d'étude la tectonique récente, représentée par des failles normales, de direction NNE - SSW.

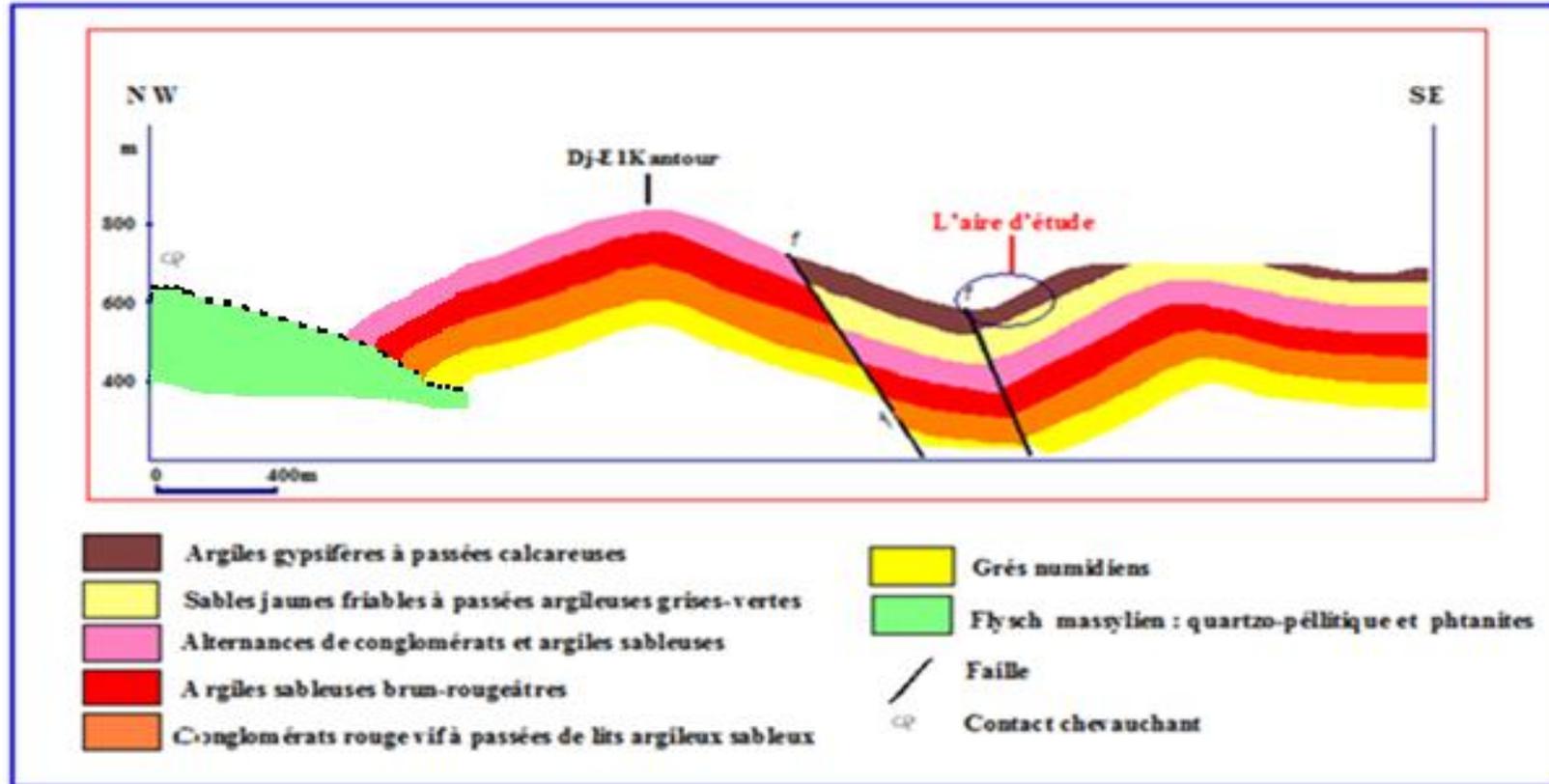


Fig. II.8. Coupe géologique de la région de Dj. El Kantour

Conclusion

A travers l'étude géologique que nous avons menée , et de part ses caractéristiques lithologiques-essentiellement les formations néogènes- et tectoniques (caractère meuble), notre zone d'étude peut être considéré comme une zone à risques où les eaux de pluie (ruissellement et souterrains)et d'autre action (anthropiques) ne peuvent avoir qu'un effet déstabilisateur qui se manifesterait par des mouvements de masse ou autres glissements.

Chapitre :III

Hydroclimatologie

Introduction

L'expérience a montré que la plupart des risques liés aux phénomènes de glissements de terrain ont eu lieu durant les saisons de pluies (pluies torrentielles) et/ou, de la fonte des neiges et de glace selon le régime d'écoulement et que des facteurs plus subtils entrent en jeu.

Ainsi, une période de sécheresse provoque des fissuration par retrait des sols argileux superficiels, ce qui facilite l'infiltration de l'eau dans ces fissures lors d'épisodes pluvieux et déstabilisants.

Sur les pentes, l'action déstabilisatrice de l'eau infiltrée dans le sol est multiple (C. Chapeau , 2005), et l'on assiste à :

- L'accroissement du poids volumique des sols par augmentation de la teneur en eau et par conséquent une diminution du coefficient de sécurité.
- Un Changement de comportement rhéologique : le sol passe de l'état solide à l'état de fluide visqueux ; certaines coulées de boue sont ainsi engendrées par l'imbibition d'une masse de sol.

A long terme, les circulations d'eau souterraine peuvent engendrer une altération progressive des terrains encaissants, avec dégradation de leurs caractéristiques mécaniques (C et ϕ), ou un entraînement de fines particules du sol.

- Cette étude sera nécessairement réservée à tout ce qui a attiré à :
 - L'analyse de toutes les données pluviométriques.
 - L'étude du facteur température et de sa combinaison aux données pluviométriques .
 La connaissance de tous ces facteurs sera en fin de compte résumée par un bilan hydrographique.

III.1. Les caractéristiques climatiques

L'étude des valeurs de précipitations et de températures des années 1968-1994 (ANRH) des stations des Zardzas et d' Ouled Habeba et La cartographie des données climatiques dans le Nord-est Algérien (ANRH,2003) permettra de connaître et apprécier les caractéristiques hydroclimatologiques du site étudié et de déceler leurs variations ayant affecté le climat de cette région.

III.1.1.La pluviométrie

L'aire d'étude qui fait partie du versant sud du Djebel El Kantour, se trouve à la jonction de deux domaines climatiques différents : un climat tempéré et humide au Nord caractérisé par un été sec et chaud et un hiver doux et humide avec des précipitations annuelles variant entre 900 et 1200 mm et un climat semi aride au Sud, marqué par un écart de température assez important

avec des températures qui avoisinent 40°C en été et qui peuvent descendre au dessous de 0°C en hiver et des précipitations de l'ordre de 400 mm/an .

- D'après la carte simplifiée des zones bioclimatiques de l'Est algérien (*Fig.III.1*), établie par M.Côte - 1998 , le Nord de Constantine ou Sud d'El Harrouch (région d'El Kantour) appartient à l'étage bioclimatique sub-humide.

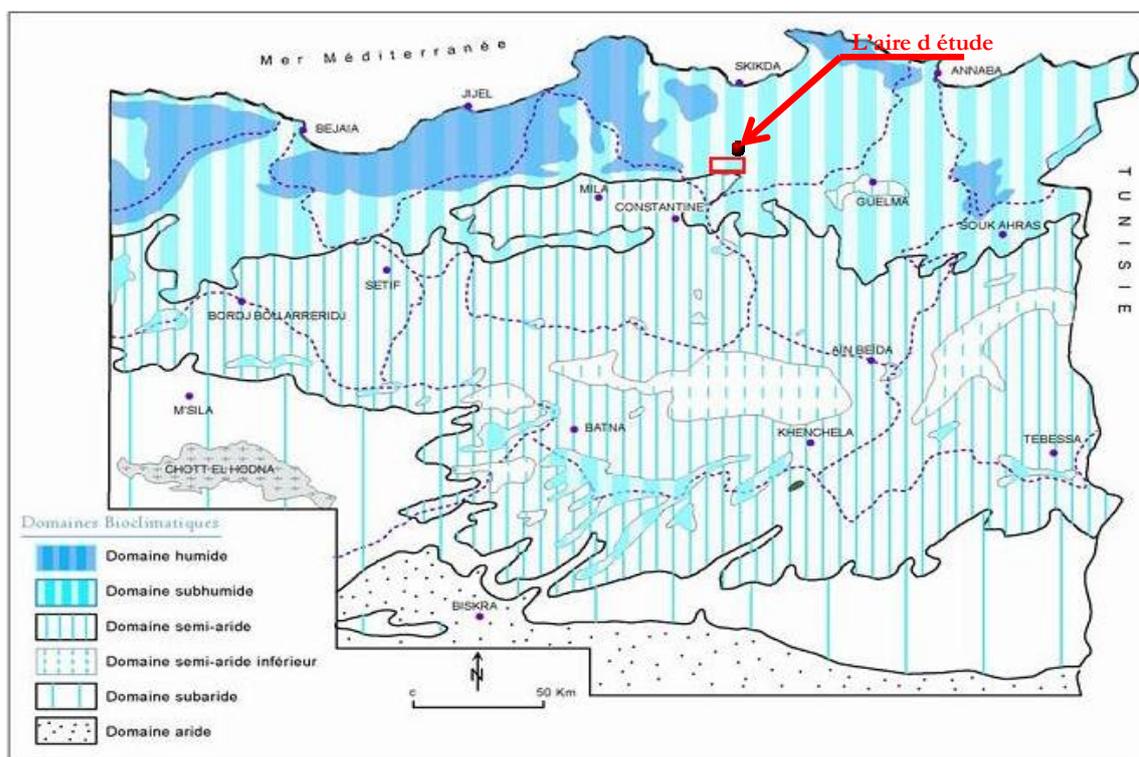


Fig.III.1. Carte simplifiée des zones bioclimatiques de l'Est algérien (Côte M., 1998).

Deux groupes de facteurs, géographiques (éloignement par rapport à la mer, altitude, exposition des versants par rapport aux vents pluvieux du Nord-Ouest) et météorologiques (déplacement des masses d'air polaire océanique, froid et humide, des masses d'air tropical chaud et humide de l'Atlantique Sud et enfin des masses d'air tropical continental ou anticyclone saharien) influencent la répartition spatiale des précipitations mais aussi les structures des régimes pluviométriques (Chaumont M. et Paquin C., 1971).

La cartes pluviométrique (données moyennes de 60 ans, périodes de 1 septembre 1921 au 31 Aout 1960 , et de 1 septembre 1968 au 31 Aout 1989), montrent que les précipitations dans le nord-est Algérien décroissent du littoral vers l'intérieur suivant un fort gradient latitudinal, altéré néanmoins par l'effet orographique de l'Atlas saharien, avant de s'accroître à nouveau dans le Piémont saharien où les pluies se raréfient.

- La zone d'étude est cernées dans leurs bordure Nord par l'isohyète 700 mm et au Sud par l'isohyète 600mm voir (*Fig.III.2*).

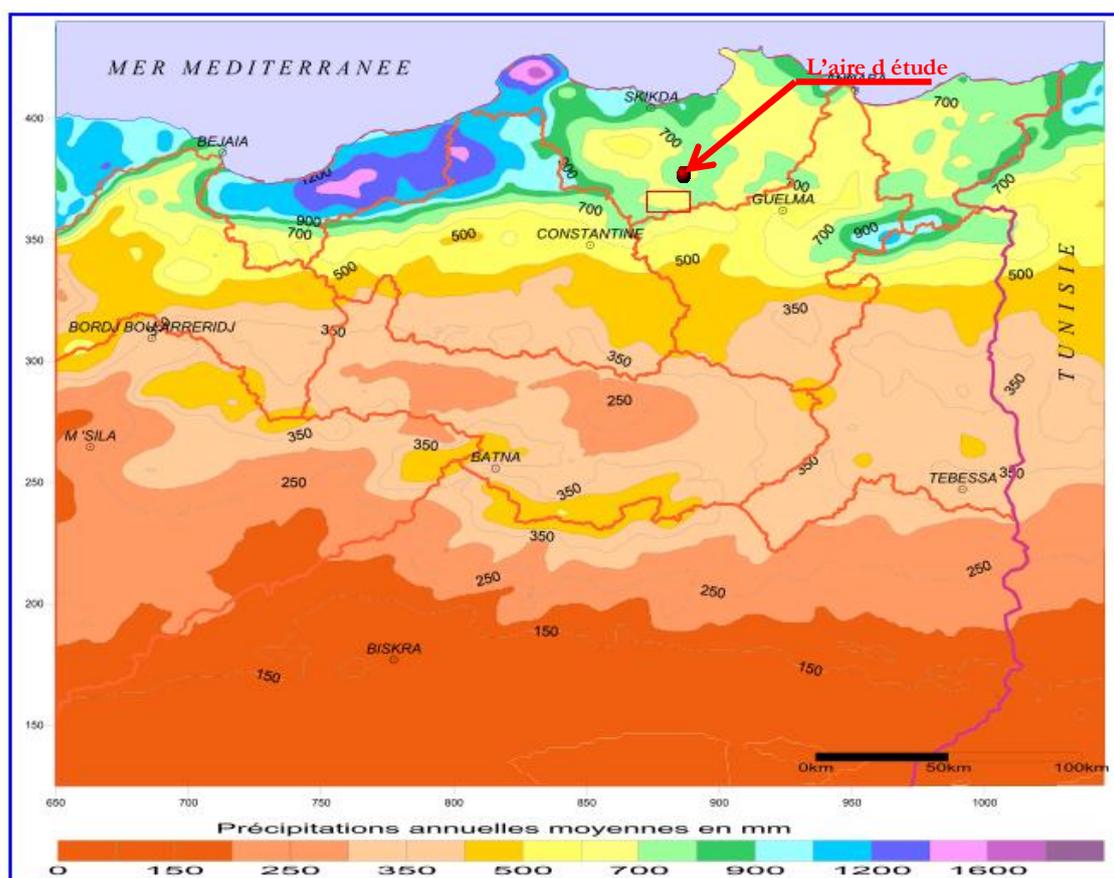


Fig.III.2. Précipitations annuelles moyennes de l'Est Algérien
A.N.R.H (1960 -89).

L'étude a caractérisé la station pluviométrique des zerdazas ainsi que celle de Ouled Habéba à l'amont du bassin . Une série assez longue ,du 1/09/1968 au 31/08/1994, a permis de dégager un certain nombre de remarque:

Le choix de cette longue série s'étalent sur 26 ans vise à définir le régime pluviométrique des milieux en question et d'identifier la nature de la manifestation des années sèches de celles des humides .

Des précipitations extrêmes ont été enregistrées et des lames d'eau écoulées ont parfois dépassées le mètre , pour l'année 1984-85 ou la pluviosité a atteint 1039 mm voir (Tab. III.1).

Les zerdazas connaissent une période de sécheresse de 5 cinq années consécutives (1974-1978) (Fig.III.3).

D'après le tableau ci-dessous (III.2), dans les deux stations le mois de décembre reste le plus pluvieux.

La répartition des pluies violentes dans les deux (2) station est significative dans les saisons d'hiver et de printemps Fig.(III.7)et (III.8).

Tableau.III.1. Précipitations moyennes annuelles .Station des Zerdazas et de Ouled Habeba .(1968-94)

Années	Station des Zerdazas	Station de Ouled Habeba
	P/ en mm	P/ en mm
1968/69	490,60	449,60
1969/70	754,30	901,30
1970/71	574,20	440,10
1971/72	854,00	913,30
1972/73	844,20	777,80
1973/74	495,70	492,00
1974/75	560,60	709,00
1975/76	603,00	828,60
1976/77	629,70	837,30
1977/78	495,00	574,00
1978/79	710,50	665,10
1979/80	533,10	648,20
1980/81	697,30	630,10
1981/82	645,00	724,00
1982/83	619,40	598,00
1983/84	800,00	639,40
1984/85	1039,40	783,60
1985/86	468,50	331,20
1986/87	799,00	662,00
1987/88	421,70	516,00
1988/89	557,00	526,30
1989/90	576,90	508,70
1990/91	725,00	501,30
1991/92	754,00	837,40
1992/93	695,00	736,10
1993/94	527,00	504,30
Moyenne	648 ,90	651,30

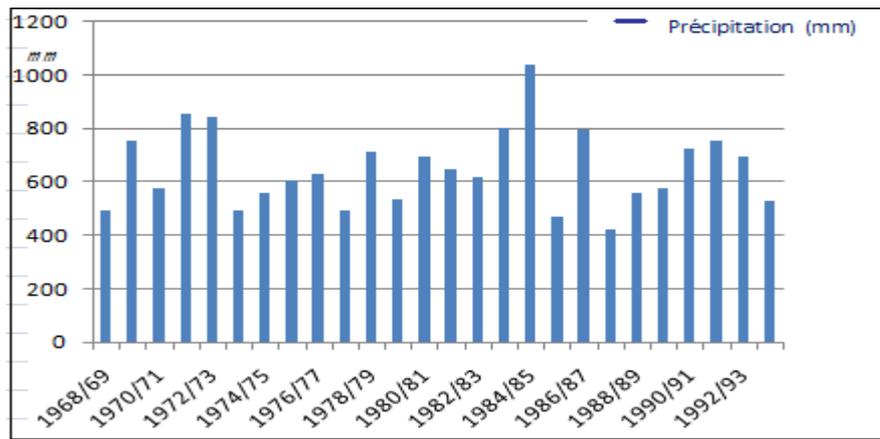


Fig.III.3. Distribution des Précipitations moyennes annuelles en mm (1968- 94) Station des Zerdazas .

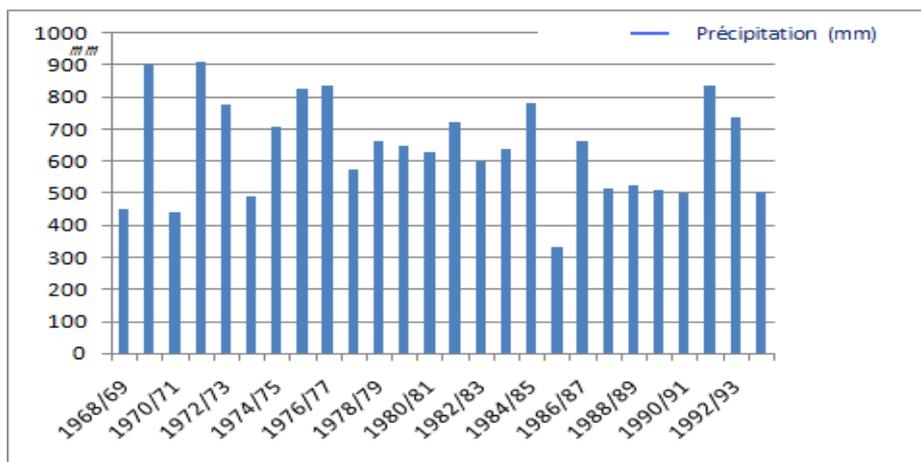


Fig.III.4. Distribution des Précipitations moyennes annuelles en mm (1968-94) Station de Ouled Habeba .

Tableau .III.2. Précipitations moyennes mensuelles, station des Zerdazas et de Ouled Habeba (1968 /94).

Mois	Station des Zerdazas	Station d'Ouled Habeba
	P/en mm	P /en mm
Septembre	32,13	35,41
Octobre	60,91	67,08
Novembre	64,90	07,63
Décembre	108,50	97,30
Janvier	91,50	84,80
Février	78,70	70,80
Mars	80,90	77,62
Avril	64,20	69,00
Mai	40,90	42,40
Juin	13,10	13,98
Juillet	05,40	04,40
Aout	08,40	10,30
Année	649	651

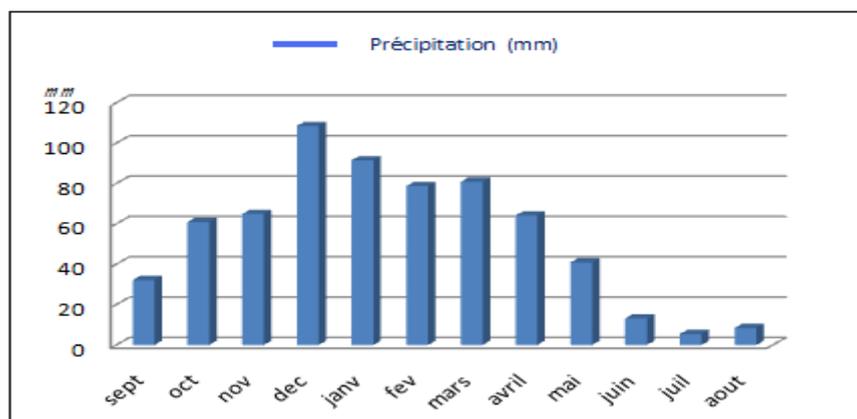


Fig.III.5. Distribution des Précipitation moyennes mensuelles en mm (1968-94) station des Zerdazas

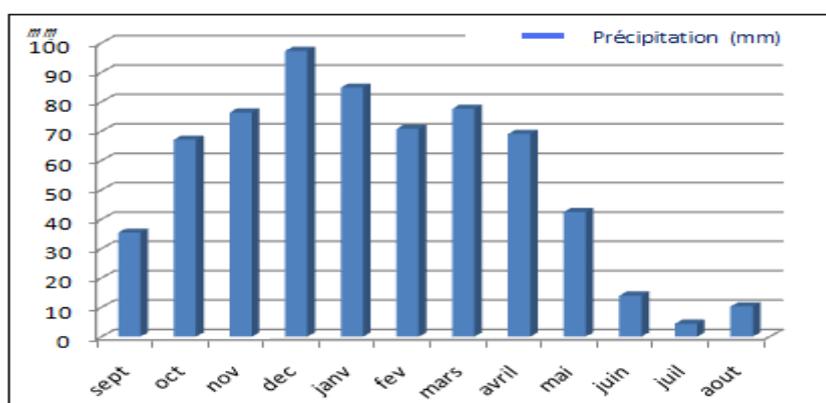


Fig.III.6. Distribution des Précipitation moyennes mensuelles en mm (1968-94) Station de Ouled Habeb.

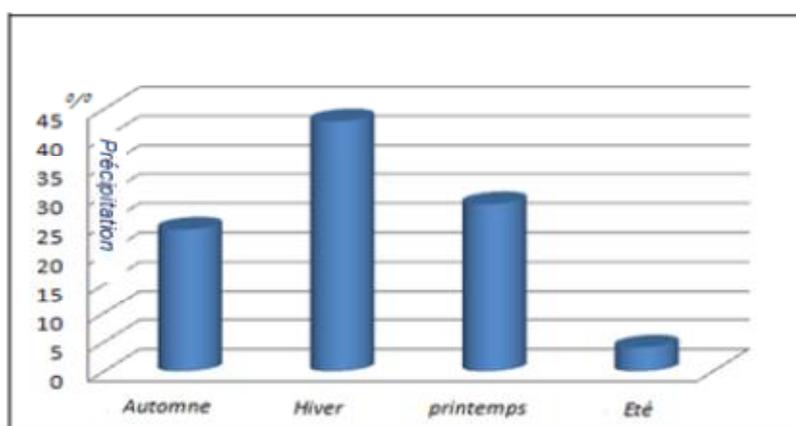


Fig.III.7. Répartition (pourcentage) des précipitations moyennes saisonnières (1968-94) station des Zerdazas.

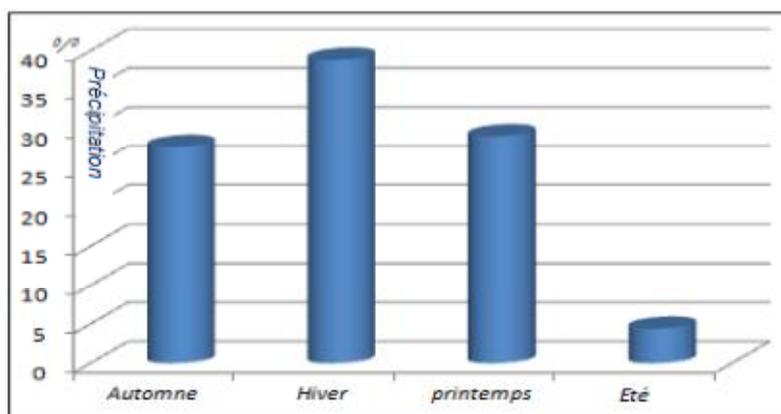


Fig.III.8. Répartition(pourcentage)des précipitations moyennes saisonnières (1968-94) station de Ouled Habeba .

- Les pluies torrentielles ou celles qui ont atteint de plus de 30 mm /24^h sont fréquentes. Elles ont atteint aux Zerdazas et à Olued Habéba respectivement 51 et 42 mm voir (Tab.III.3).

Tableau .III.3. Nombre de jours de pluies torrentielles (≥ 30 mm /24^h) observés dans le bassin des Zerdazas et de Ouled Habeba (1968-94)

Mois	N /de jours de pluies torrentielles	
	St des Zerdazas	St de Ouled Habeba
Septembre	2	3
Octobre	6	4
Novembre	8	4
Décembre	11	5
Janvier	6	9
Février	5	5
Mars	6	5
Avril	6	5
Mai	1	2
Juin	/	/
Juillet	/	/
Aout	/	/
Total	51	42
H .max .(mm/24 ^h)	137	103
H.max /moy an (°/°)	21,11	15,82

III.1.2. La température : Station des Zerdazas (1968-94)

La température constitue avec les précipitations l'élément majeur qui régit le climat d'une région. Elle constitue un facteur très important qui intervient dans le calcul de l'évapotranspiration. C'est bien évident que les contrastes importants de température (écart considérable de température) entre le jour et la nuit a un effet négatif sur le comportement des sols et des roches. En effet, les contrastes importants de température entraînent la désagrégation mécanique des roches.

L'examen de Tableau ci-dessous (III.4) et la Fig.(III.9), montrent que la température moyenne interannuelle est de l'ordre de 17,48°C avec les mois les plus chauds sont : juin, juillet, août et septembre avec un maximum de température enregistré au mois d'août (28,35°C).

Tableau. III.4. Température maximale et minimale (en C°)(1968-94) station de Z. Youcef

Mois	$m(C^{\circ})$	$M(C^{\circ})$	$(M+m)/2(C^{\circ})$
Septembre	19,12	26,68	22,90
Octobre	15,60	24,00	19,80
Novembre	11,79	19,44	15,62
Décembre	08,23	16,77	12,50
Janvier	08,37	15,69	12,03
Février	08,77	15,93	12,35
Mars	09,25	16,91	13,08
Avril	10,95	18,33	14,64
Mai	13,88	21,32	17,60
Juin	17,29	24,30	20,80
Juillet	19,95	27,72	23,84
Aout	20,94	28,35	24,65
Année	13,68	21,29	17,48

- * **m** = Température moyenne des minima du mois
- * **(M+m)/2** = Température moyenne du mois
- * **M** = Température moyenne des maxima du mois

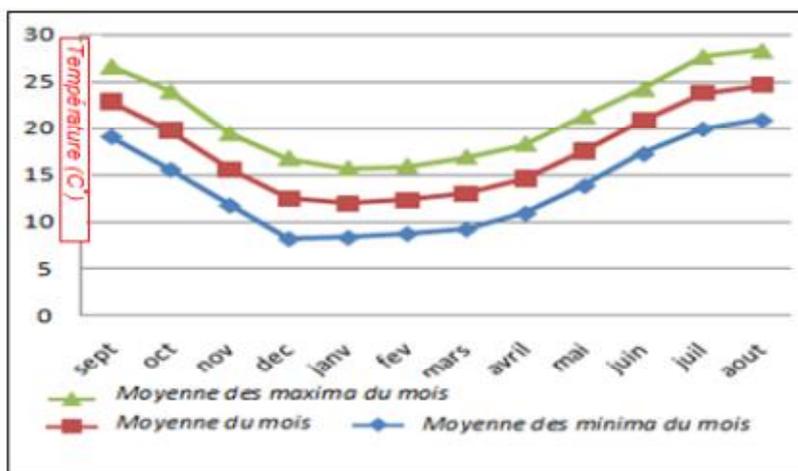


Fig.III.9. Courbe des températures maximale et minimale (1968-94) : station des Zerdazas).

III.1.3. Combinaison des facteurs thermiques et pluviométriques (les zones bioclimatiques (1968-94) station des Zerdazas)

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

Selon les graphes ombro-thermiques ci-dessous (Fig.III.10) établis selon la règle de Gaussen ($P=2T$) on remarque que :

- La courbe de précipitation se situe au dessus de la courbe thermique du mois de Octobre à la fin de Mai, tandis que du début de Juin jusqu'à la fin de Septembre la courbe thermique se trouve au dessus de celle de la pluviométrie.
- La période humide s'étend du mois de octobre au mois de mai .

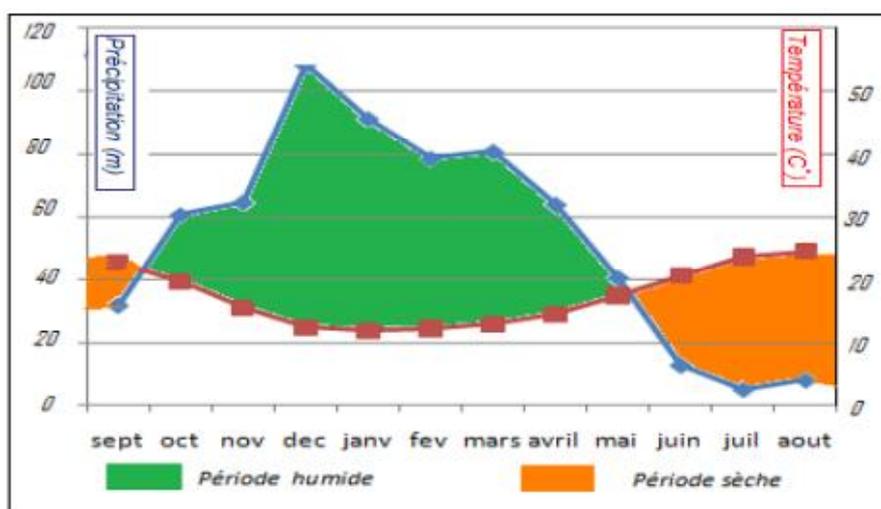


Fig.III.10. Graphe Ombro-Thermique :
1968-94 (Station des Zerdazas)

III.1.4. L'aridité : station des Zerdazas (1968-94)

L'indice d'aridité de E. Martonne, est exprimé par la formule :

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

avec : I : Indice d'aridité de E. Martonne .

P_{moy} : Précipitation moyenne annuelle (mm).

T_{moy} : Température moyenne annuelle (°C).

$$I = \frac{649}{17,48+10} = 23,61$$

Aux différentes valeurs de I, correspondent des types de climats

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

III.1.5. L'indice d'Emberger des zones bioclimatique, station des Zerdazas(1968-94)

L'indice d'Emberger est exprimé par :

$$Q = \frac{1000 \cdot P}{(M+m)/2 (M-m)} = \frac{1000 \cdot P}{(M^2 - m^2) / 2}$$

- P : précipitation moyenne annuelle .
- m = moyenne des minima du mois .
- M = moyenne des maxima du mois .

Q = pour la série de Seltzer : Pour la région de Zighoud :

$$P = 649$$

$$M = 28,35 + 273,2 = 301,55$$

$$m = 8,23 + 273,2 = 281,43$$

$$Q = \frac{1000 \cdot 649}{(582,98) / 2 (20,12)} = 110,66$$

Donc d'après les données calculé :

$$Q = 110,66 \text{ (L'indice d'Emberger).}$$

$$m = 8,23 \text{ C}^\circ \text{ (moyenne des minima du mois).}$$

Selon la figure (III.11) ci-dessous La station de Zerdazas durant la période étudiée se situe dans un climat : **Sub-humide et Hiver chaud.**

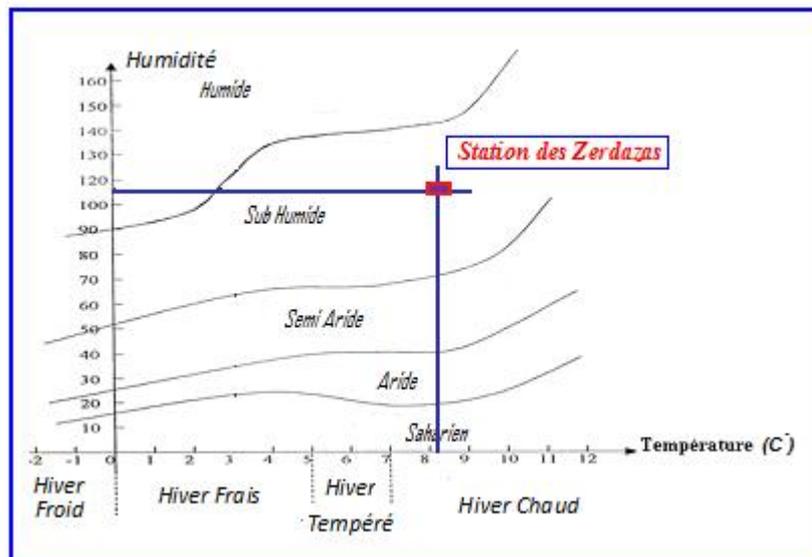


Fig.III.11. Climat de l'Aire d'étude (1968-94)
(Station des Zerdazas).

III.1.6. Appréciation du bilan hydrologique pour la station des Zerdazas (1968-94)

L'établissement d'un bilan hydrologique est essentiel dans les études hydromorphologiques. Il est donné par la formule suivante (G. Réménieras, 1980) :

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

avec : P : Précipitation moyenne annuelle (mm).
ETR : Evapotranspiration réelle (mm).
I : Infiltration (mm).
R : Ruissellement (mm).
Wa : variation des réserves (souvent négligeable).

III.1.6.1 .Cartographie de l'évapotranspiration potentielle (ETP)

La cartographie des ETP dans le Nord-est Algérien (ANRH,2003) , est un outil supplémentaire d'éviter de faire recours à des calculs par le biais de formules empiriques . Elle offre l'avantage de connaître en tout point de l'espace les valeurs mensuelles et annuelles moyennes de l'évapotranspiration potentielles.

Dans la zone d'étude , pendant le mois de janvier où l'ETP est en général au plus bas , les isovaleurs de ce mois oscillent entre 25 et 50mm.

En revanche pendant le mois d'Aout où l'ETP est la plus forte , les courbes isovaleurs est variant de 150 à 175 mm voir *Fig(III.12) et (III.13)*.

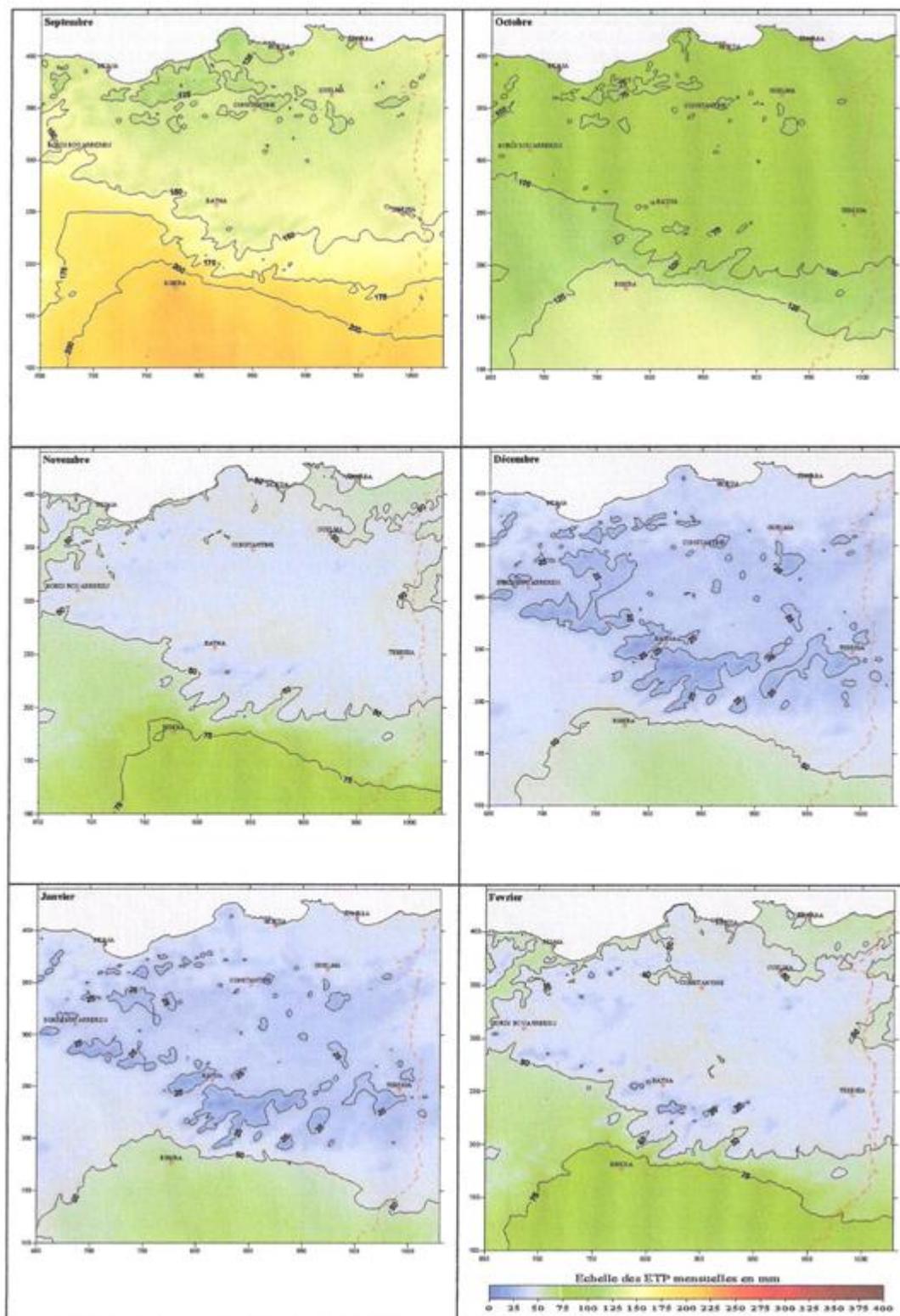


Fig. III.12 .Evapotranspiration potentiel mensuelle moyenne de l'Est algérien (Septembre à février)ANRH 2003 (1965 à Aout 1994) .

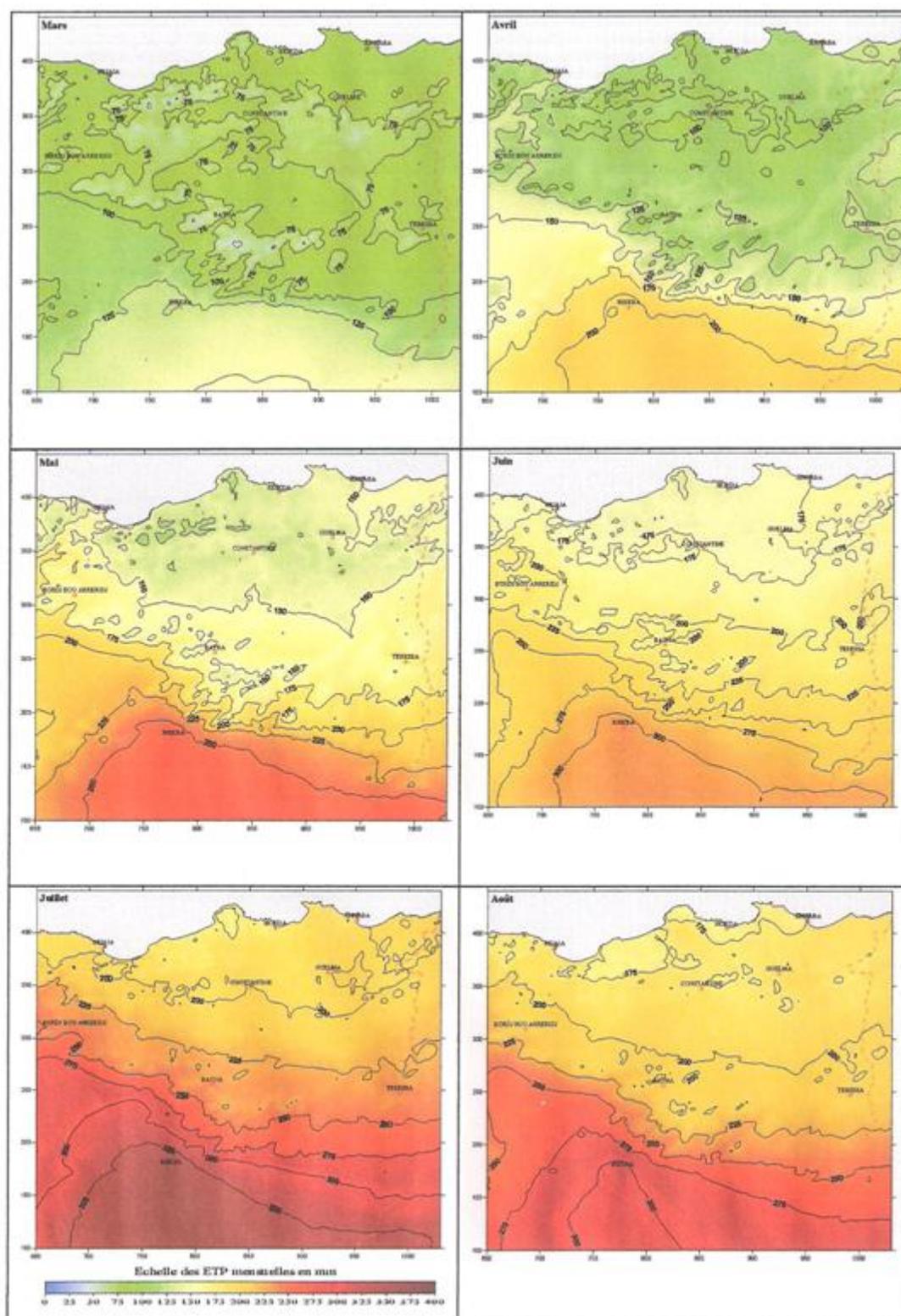


Fig. III.13. Evapotranspiration potentiel mensuelle moyenne de l'Est algérien (Mars à Août)ANRH 2003 (1965 - 1994).

La carte de l'ETP annuelle moyenne montre que les isovaleurs annuelle moyenne de la région d'étude comprise entre 900 et 1000 mm(Fig. III.14)

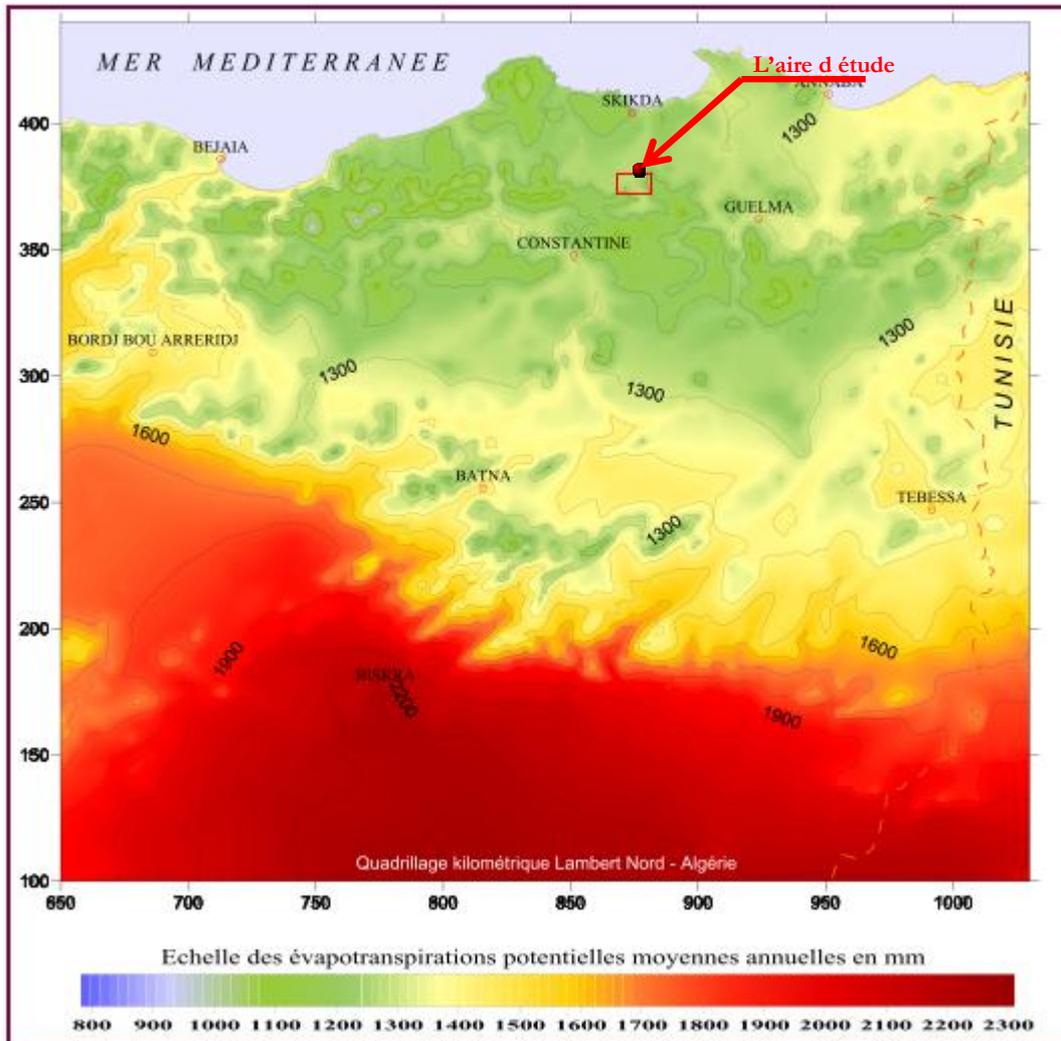


Fig. III.14. Zones d'évapotranspiration potentielle annuelle moyenne de l'Est Algérien ANRH (1965 – 94) .

La cartographie des ETP dans le Nord-est Algérien (ANRH,2003) elle donne les valeurs mensuelles et annuelles moyennes de l'évapotranspiration potentielles de manière générale c'est-à-dire, pour le site étudiant nous avons remarquer l'insuffisance de la précision des valeurs présenter sur la carte .

III.1.6.2. Calcul de l'évapotranspiration potentielle (ETP) station des Zerdazas (1968-94)

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 ETP selon Thornthwaite est donnée comme suit :

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

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 des 12 mois de l'année.

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

$$a = 0.016 \cdot I + 0.5$$

$$I = 81,96$$

$$a = 1,81$$

$$RFU = 100 \text{ mm.}$$

ETPC = ETP.K avec : ETPC : Evapotranspiration potentielle mensuelle corrigée.

K : Coefficient de correction.

- D'après les données de la station des Zerdazas : **I = 81,96 et a = 1,81**

III.1.6.3 .Calcul de l'évapotranspiration réelle (ETR) station des Zerdazas(1968-1994)

- Si les précipitations du mois (P) sont supérieures à l'évapotranspiration potentielle ETR = ETP.
- Si les précipitations du mois (P) sont inférieures à l'évapotranspiration potentielle ETR = $\sum P_i + RFU$; celle-ci est supposée mobilisée comme suit :
 - a) Si RFU antérieure est assez forte pour combler l'insuffisance de précipitation (P) ; ETR = ETP.
 - b) Si RFU est insuffisante pour satisfaire l'évapotranspiration potentielle, l'ETR reste inférieure à celle-ci et est égale à la somme des précipitations du mois et des RFU.

III.1.6.4. Cartographie de l'écoulement

La carte d'écoulements moyens annuels sur le Nord-est de l'Algérie, donne une estimation des lames d'eau moyennes annuelles écoulées en surface par des bassins versants de superficie inférieure à 1500 Km². Elle est basée sur l'utilisation d'un modèle hydrologique calé sur les observations de 70 stations de jaugeage . Ce modèle a ensuite été utilisé pour reconstituer à partir des pluies, les débits à l'échelle mensuelle sur la période septembre 1965 à Aout 1994.

Selon la carte (Fig.III.15) la lame d'eau moyennes annuelles écoulées de la zone d'étude est de 100 à 200 mm par année.

On remarque dans La cartographie des: Ecoulements moyens annuels du Nord-est de l'Algérie « source ANRH 2003 » 1965 à Aout 1994 l'insuffisance toujours de la précision des valeurs présenter sur la carte.



Fig. III. 15. Ecoulements moyens annuels du Nord-est de l'Algérie ANRH ; 1965 à Aout 1994 .

III.1.6.5.Estimation du ruissellement (R) station des Zerdazas(1968-1994)

Selon Thornthwaite : Le ruissellement est exprimé par :

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

avec : $P = 649 \text{ mm}$; $ETP_c = 858,7 \text{ mm}$

$$\Rightarrow R = \frac{(649)^3}{3 \cdot [858,7]^2} \Rightarrow R = 123,57 \text{ mm}$$

$$R (\%) = \frac{R(\text{mm}) \times 100}{P(\text{mm})} \Rightarrow R = \frac{123,57 \times 100}{649}$$

R = 19,04 % Donc le ruissellement représente 19.04% des précipitations.

III.1.6.6. Calcul de l'infiltration (I)

L'infiltration est exprimé par :

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

$$\text{Considérons : } W_a = 0 \quad \Rightarrow \quad P = ETR + R + I \quad \Rightarrow \quad I = P - ETR - R = E_x - R$$

$$I = 174,74 - 123,57 = 51,17 \text{ mm} \quad \Rightarrow \quad \mathbf{I = 51.17 \text{ mm.}}$$

$$I (\%) = \frac{I(\text{mm}) \times 100}{P(\text{mm})} \quad \Rightarrow \quad I = \frac{51.17 \times 100}{649} = 7.89 \%$$

I = 7.89 % de précipitations.

Tableau. III. 5. Bilan hydrologique - Station des Zerdazas(1968-94).

Mois	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU	Total
T (°C)	22,9	19,8	15,62	12,50	12,03	12,35	13,08	14,64	17,60	20,80	23,84	24,65	/
i	10,01	08,03	05,61	04,00	03,78	03,93	04,29	05,08	06,72	08,65	10,64	11,19	81,96
ETP (mm)	102,76	98,97	51,41	34,35	32,04	33,63	37,29	45,72	63,81	86,33	110,51	117,40	/
K	1,03	0,97	0,85	0,83	0,86	0,84	1,03	1,10	1,22	1,23	1,25	1,17	/
ETPC (mm)	105,84	76,60	43,70	28,51	27,56	28,25	38,41	50,29	77,85	106,19	138,14	137,36	858,70
P (mm)	32,13	60,91	64,90	108,50	91,50	78,70	80,90	64,20	40,90	13,10	05,40	08,40	649
P - ETPC (mm)	-73,71	-15,69	21,2	80	63,94	50,45	42,49	13,91	-36,95	-93,09	-132,74	-128,96	/
RFU (mm)	00	00	21,2	100	100	100	100	100	63,05	00	00	00	/
ETR (mm)	32,13	60,91	43,70	28,51	27,56	28,25	38,41	50,29	40,90	13,10	05,40	08,40	377,56
DA = ETPC - ETR	73,71	15,69	00	00	00	00	00	00	36,95	93,09	132,24	128,96	480,64
Ex = P - ETR	00	00	00	00	63,94	50,45	42,49	13,91	3,95	00	00	00	174,74

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

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

ETP : Evapotranspiration potentielle en mm.

K : Coefficient de correction .

P : Précipitations moyennes mensuelles en mm.

RFU : Réserves facilement utilisable en mm.

ETR : Evapotranspiration réelle en mm.

DA : Déficit agricole.

Ex : Excédent d'eau

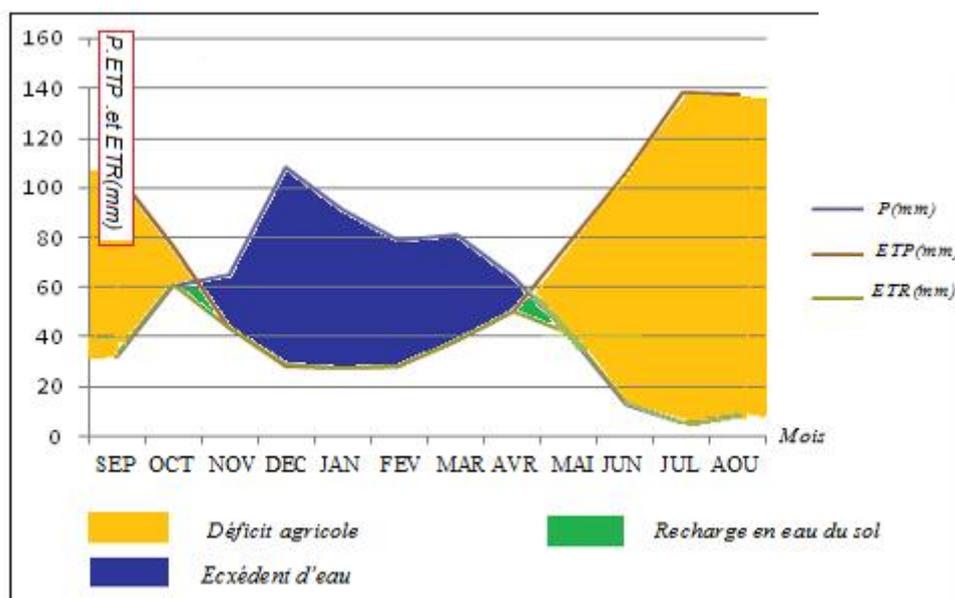


Fig. III. 16. Représentation graphique du bilan hydrologique (1968-94) station des Zerdazas .

• Interprétation du bilan hydrologique

L'observation des données résumées dans le tableau précédent (III.5) et les résultats donnés par la courbe de bilans hydrologique (Fig.III.16) permet d'en déduire les résultats suivants :

- Les précipitations atteignent leur maximum au mois de décembre(108.5mm), période durant laquelle l'évapotranspiration potentielle (ETP) atteint son minimum au mois de janvier (27.56 mm).
- L'évapotranspiration potentielle (ETP) atteint son maximum(138.14 mm) au cours de la période sèche au mois de juillet.
- L'excédent d'eau est rédigé du mois de novembre au mois d'avril. L'accroissement du volume d'eau durant cette période (saturation du sol) dont le rapport de ruissèlement au niveau du station des Zerdazas est de l'ordre de 19,04% , ainsi que l'infiltration et de l'ordre de 7.89 % rend l'instabilité du versant important.
- Le déficit agricole s'étale sur la durée sèche de l'année , du mois de Mai au mois d'Octobre.
- La recharge du sol en eau débute à partir de la mi-octobre jusqu'à la mi-novembre, et de mi-avril jusqu'à mi-mai. Les réserves durant cette période sont saturées .

III.2. Caractéristiques hydrologiques

Le régime et le sens d'écoulement des oueds, à l'Est algérien juxtapose deux grands types de bassins hydrographiques:

Au Nord, des bassins à écoulement exoréique (les oueds se jettent dans la mer Méditerranée) et à régime quasiment pérenne : Côtiers constantinois.

Au Sud, des bassins à écoulement endoréique (les oueds se jettent dans des dépressions fermées) et à régime quasi-temporaire : les Hauts Plateaux constantinois , le bassin Nord-Est du Chott Melrhir et le bassin Est du Chott Hodna .

III.2.1.Le bassin des Côtiers Constantinois

Le côtiers Constantinois trouve son origine sur les versant très arrosés du bourrelet tellien coule sur des dizaines de kilomètres vers la mer méditerranéenne. Il se décompose en Côtiers Est (quatre sous-bassins répartis sur 3 203 km²), et Côtiers Ouest (cinq sous-bassins répartis sur 2 724 km²), et finalement le Côtiers Centre (neuf sous-bassins répartis sur 5 524 km²). Le Côtiers centre formés d'Est en Ouest principalement par les Oueds Kébir-Ouest, Saf Saf et Ghuebli (Fig.III.17).

Les apports et le comportement hydrologiques des cours d'eau sont la résultante de l'interaction complexe des facteurs climatiques et physiographique.

Notre site d'étude le Glissement du versant sud d'El Kantour (Douar Souadek) ,se située dans le bassin des côtiers Centre, le bassin versant de Oued Bouadjeb (Saf Saf).

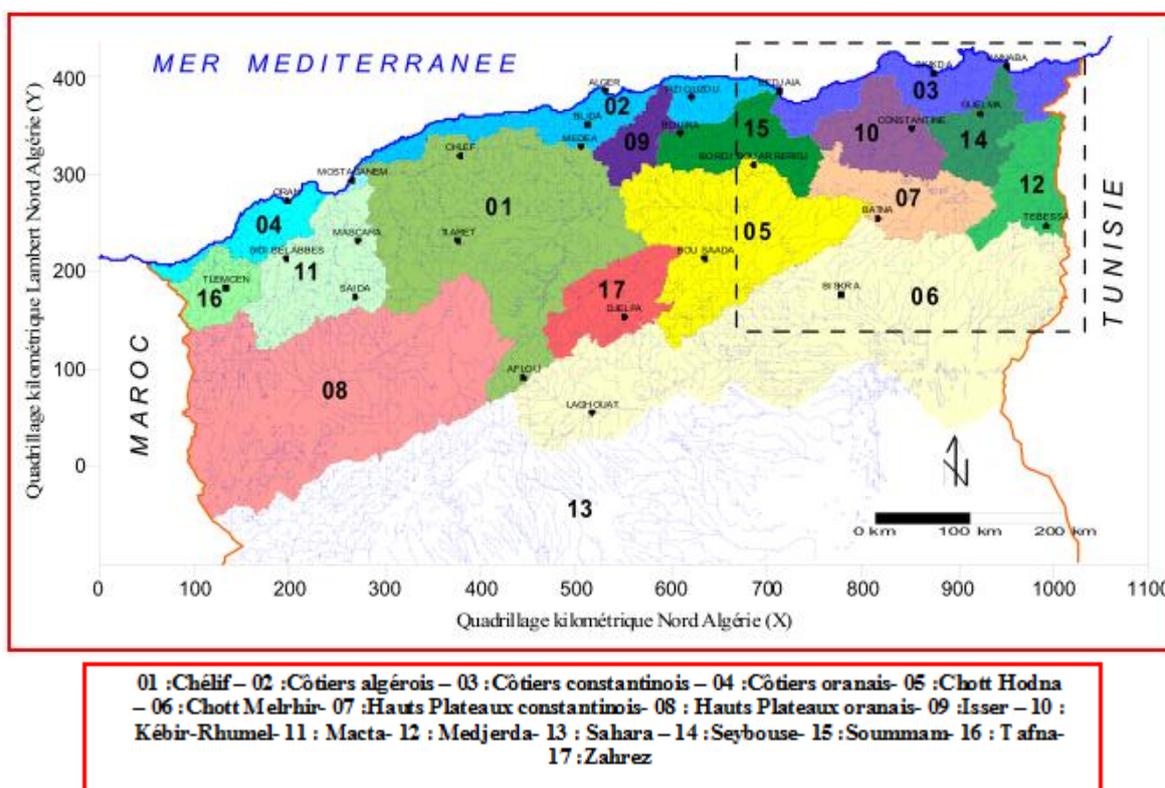


Fig . III. 17. Bassins hydrographiques de l'Algérie du Nord et position de la zone d'étude.

III.2.2. Analyse morphométrique du bassin versant du barrage des Zerdazas

Le bassin versant du barrage des Zerdaza se situe sur l'axe du tell. L'oued Saf saf le draine vers le Nord bien qu'il prenne sa source de la ligne de crête . Le bassin versant couvre une superficie de 345 km² avec un périmètre d'ordre de 100Km et occupe l'extrême Sud de la Wilaya de Skikda.

Le bassin versant est situé dans la zone homogène des Monts de Constantine regroupant trois principales sous zones :

- La sous zone des forêts des Ouled Attia et des Béni Médjaled au Sud-ouest et Sud-est.
- La sous zone des collines des Zerdaza ,occupant la partie centrale s'étendant jusqu'à l'extrémité Nord-est .
- La sous zone des hautes collines des Deirah à Zighoud yousef représentent la pointe Nord.

Les grands oueds ont un caractère torrentiel et leurs débits varient de la saison humide et fraîche à la saison chaude et sèche , devenant ainsi très irréguliers.

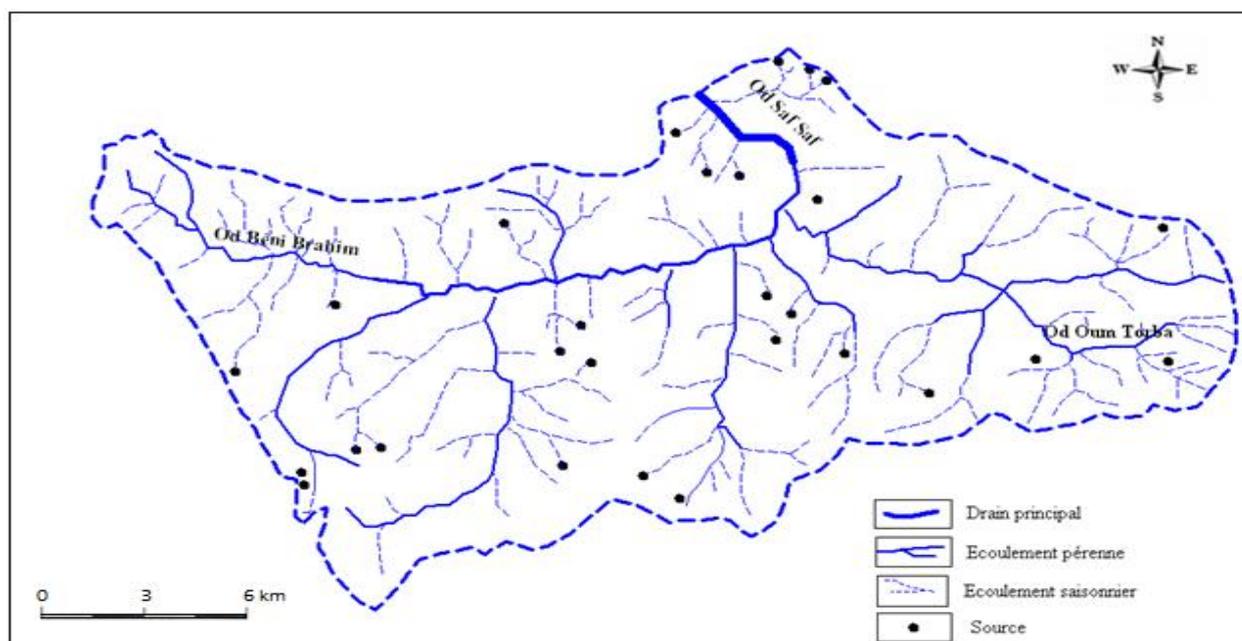


Fig.III. 18. Limite du bassin versant du barrage des Zerdazas

La carte ci-dessus (Fig.III.18) nous montre le périmètre et l'importance du réseau hydrographique dans le bassin versant de barrage des Zerdazas, dont les versants constituent l'essentiel du bassin de réception de l'oued Bou Adjeb. Le régime hydrologique de cet oued est très irrégulier.

L'oued de Saf-Saf constitué par la confluence de deux oueds importants, à six (6) km en amont du barrage. L'oued Bou Adjeb reçoit cinq principaux affluents alimentés chacun par de nombreuses chaabats drainant la zone méridionale. Les principaux affluents sont :

- L'oued khemakhem ,avec l'Oued Oum Torba, Mira et El Assèche,
- L'Oued Khorfan drainant la partie Sud
- Les oueds Rararef , Kranga ,et en fin l'Oued de Béni Brahim drainant les zones Ouest et Sud-ouest ou se située notre site d'étude .

Tableau. III. 6. Découpage des sous bassins du barrage des Zerdazas

Sous bassins	Superficie (Km ²)
1	60
2	68
3	94.9
4	99.1
5	23
Total	345

III.2.2.1.Caractéristiques morphométriques de sous bassin de Oued Beni Brahim

Le sous bassin de oued Béni Brahim est située au Nord-Ouest du bassin versant du barrage des Zerdazas(Fig.III.19).Les caractéristiques morphométriques de sous bassin influent directement sur l'écoulement global des eaux provenant des précipitations.

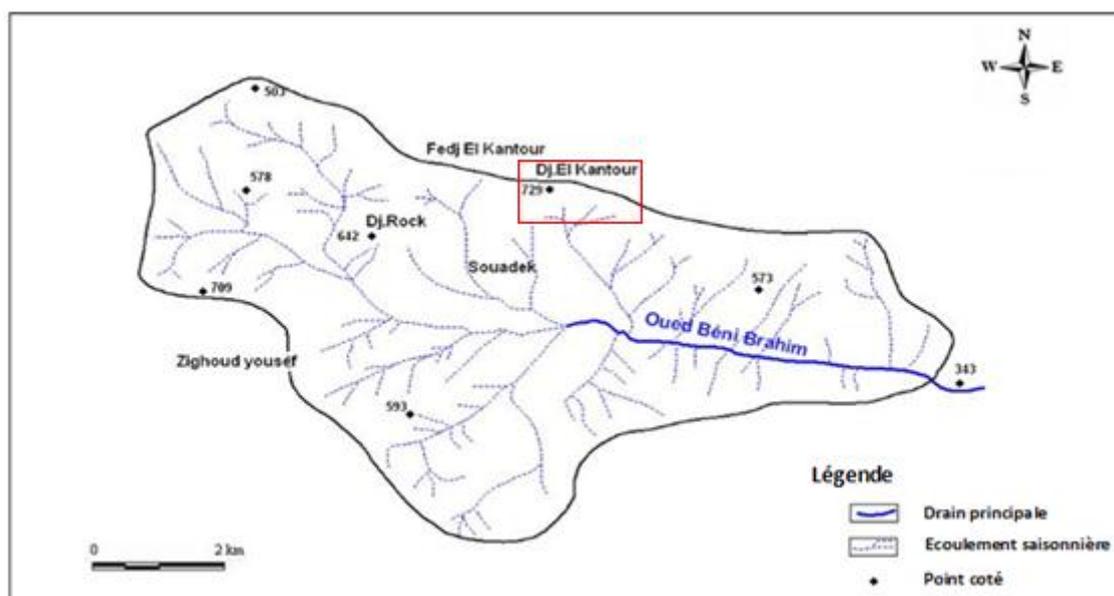


Fig . III. 19. Carte du réseaux hydrographique de Oued Béni Brahim

- **La superficie (S) :** La superficie planimétrique du sous bassin de oued Beni Brahim est de l'ordre de 60, Km² .
- **Le périmètre (P) :** Le périmètre du sous bassin étudié est de l'ordre de 38Km
- **Indice de forme ou de compacité (Indice de Gravilius) :** Il est donné par la formule suivante :

$$C = 0.28 P / \sqrt{S} \quad \text{avec : } C : \text{Indice de compacité;}$$

P : Périmètre du bassin versant (km).

S : Superficie du bassin versant (km²).

donc : $C = 1,37$

- **Le rectangle équivalent :**

Le rectangle équivalent ou rectangle de Gravilius 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 (in A. Mebarki, 1982) :

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

avec : C : indice de compacité;

S : Superficie du bassin versant (km²);

L : longueur du rectangle équivalent en km.

On obtient : $L = 14,92 \text{ km}$

La largeur du rectangle "I" est déterminée en fonction de la surface du bassin versant "S" et la longueur du rectangle "L" :

$$S = L \cdot I \Rightarrow I = S / L$$

$$I = 4,02 \text{ km}$$

Les valeurs élevée du coefficient orographique montre le potentiel important du relief dans la dynamisation des processus hydromorphogénitiques c'est -à-dire les aspects hydriques et géomorphologiques.

Les caractéristiques morphométriques du sous bassin versant étudié peuvent être récapitulées dans le tableau ci-dessous (Tab. III.7).

Tableau. III. 7. Caractéristique morphométriques du sous bassin de béni Brahim

Caractéristiques morphométriques du sous bassin versant	Valeur correspondante
Superficie (S)	60 en km ²
Périmètre (P)	38 en km ²
Indice de Gravelius (C)	1,37
Longueur du rectangle équivalent (L)	14,92 en km
Largeur du rectangle équivalent (I)	4,02 en km
H _{max}	1140 m
H _{moy}	577 m
H _{min}	300 m
H _{5°}	850 m
H _{50°}	600 m
H _{95°}	410 m
D _d	2,31
T _c	3,51(heure)

III.3. Hydrogéologie

L'eau souterraine est un facteur majeur de localisation des glissements, et de déclenchement des mouvements de masses. Cela démontre toute l'importance de l'étude hydrogéologique pour la compréhension de l'évolution des glissements de terrain et la maîtrise du risque correspondant.

Le manque des données hydrogéologiques de notre zone d'étude nous a contraint d'utiliser les quelques bribes d'informations trouvées lors de notre étude bibliographique.

Dans son étude « Le bassin du Kébir –Rhumel (1982): Hydrologie de surface et aménagement des ressources en eau », A Mébarki traite de l'hydrogéologie de la région de Mila (bassin du mila)où les formations géologiques (mio-pliocène) sont pour leur majorité présentes et fidèlement représentées à Zighoud Youcef(bassin de Constantine). La synthèse des travaux de cet auteur vient donc Le résumé de la partie hydrogéologique de la région d'étude.

III.3. 1.Caractéristique hydrogéologique de la région de Zighoud Youcef

Pour décrire les principale formations lithologiques et préciser leurs capacités aquifères , il convient de les regrouper en deux grands ensembles lithologiques et hydrogéologiques en tenant compte à la fois de la perméabilité d'interstices et /ou de fissures des roches et leurs extensions permettant l'accumulation des eaux souterraines.

III.3. 2. Divers formations de rétention souterraines

- **les formations quaternaires:** sont assez favorables pour des nappes aquifères superficielles.
 - les alluvions récentes formes le long des oueds(Béni Brahim)et les terrasses.
 - les formations de pente (les glacis).
 - Les croutes calcaires du quaternaire ancien.
- **Les formation gréseux :**
 - Les séries numidiens s'identifient aux secteurs montagneux (au nord et sud de la région d'étude) parmi les plus élevés et les plus arrosés du bassin.
 - Leurs réserves souterraines ne sont pas considérables.
- **Les formations à dominance argileuses ou marneuses :**
 - C'est la série mio- pliocène qui caractérise le versant sud d'El Kantour qui composée essentiellement d'argile, parfois gypsifère, de calcaire lacustre, de conglomérat et de sables consolidé légèrement. Cette séries est très irrégulière à la fois dans son épaisseur et dans ses facies.

Dans les niveaux travertineux (calcaire lacustre) qu'elle compose , ces formations possèdent des possibilités d'infiltration se traduisent par des points d'eau dispersés.

Dans l'ensemble la circulation des eaux souterraines est commandées par les variations des facies du remplissage moi-pliocène ainsi par ses ondulation.

Conclusion

L'analyse hydro- climatologique de la région d'étude nous permis de définir que les critères météorologiques et l'un des facteurs principales de déclenchement des glissement de terrains et d'instabilité des versants, notamment à partir de cumuls de pluie sur n jours ou, /durée de l'épisode pluvieux.

Les eaux souterraines, et surtout ses fluctuations dues aux conditions météorologiques, sont une des principales causes de déclenchement ou d'accélération des mouvements de versants notamment les glissements de terrain.

Les zones de broyage des grands accidents tectonique constituent généralement des zones favorables pour l'infiltration, la circulation et l'emmagasinement des eaux. En effet, ces zones constituant de bons aquifères montrent souvent des réapparitions de sources.

L'eau souterraines a travers les fissures et les accidents tectoniques peuvent créer des phénomènes chimiques de dissolution des formations solubles (gypse) et un soutirage des fines (argiles), ce qui entraînerait la fragilisation progressive des formations et la dégradation de leurs caractéristiques mécaniques et, augmente la vulnérabilité du site.

Troisième Partie

Chapitre :IV

Description du glissement de terrain

Introduction

Les glissements de terrains sont des mouvements de masse qui se développent dans des matériaux meubles et, en général, argileux. Les glissements évoluent en général lentement. Le volume des glissements de terrain est très variable : de quelques mètres cube (loupe) à plusieurs millions de mètres cube (versant entiers).

Les difficultés de stabilité de pentes se remarquent 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.

Selon sa nature, la vitesse d'évolution d'un glissement se situe entre quelques centimètres par an et plusieurs centaines de mètres à l'heure. Un glissement passe par des phases tranquilles à évolution faible, voire nulle, qui peuvent faire croire à tort à la stabilité du site et par des phases actives pendant lesquelles le processus s'accélère et peut devenir brutal. Les périodes d'accélération sont généralement dues à l'intervention de facteurs négatifs : pluies intenses, terrassements malencontreux, etc.

- **Glissement rotationnel**

La géométrie classique d'un glissement rotationnel est illustrée par la figure (IV.1). La surface de glissement est de forme circulaire, concave. La zone de départ du glissement est caractérisée par une brusque rupture de pente (escarpement de départ) et par la présence de fissures et éventuellement d'une morphologie en gradins (avec un ou plusieurs compartiments).

La surface même du glissement présente une topographie bosselée caractéristique. Dans la partie aval, on retrouve une morphologie en bourrelet : le pied du glissement. La masse de terrain descendue subit des contraintes de compression importantes et est fortement déstructurée.

Lorsqu'il y a une forte teneur en eau, la limite de liquidité peut rapidement être atteinte et on peut voir le glissement évoluer en une coulée boueuse.

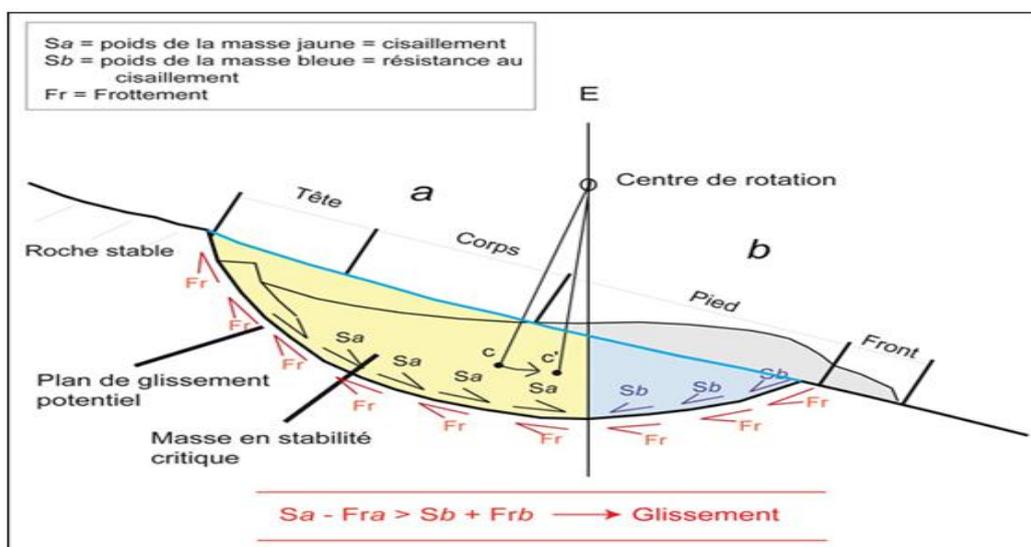


Fig. IV.1. Coupe schématisée d'un glissement rotationnel et distribution des forces.

Sb : poids qu'opèrent la masse (bleue), résistance face à Sa.

Sa : poids de la masse (jaune) qui tente de glisser.

Fr : frottement (rouge) , le sous- sol s'oppose au mouvement .

Sb + Fr = cohésion(frottement et contre - poids), Sa = cisaillement .

- Si , **Sa** \leq **Fr + Sb** , il ya stabilité .

- Si , **Sa** $>$ **Fr + Sb** , il ya glissement .

- L'eau (pluie qui s'infiltré ...) va réduire la cohésion et accentuer le glissement autour de centre de rotation virtuel .

IV.1. Les indices d'instabilité du glissement de terrain du versant sud d'El Kantour

L'étude et l'inventaire des mouvement de masses est fondée sur le recensement des événements passés ou présents . Il concerne d'abord le repérage des zones ou des mouvements se produisent ou se sont déjà produits (mouvements «déclarés»).

Il vise aussi a définir les types de mouvement , c'est un critère pour déterminer la nature des risque en courus. Il peut être, enfin, un des éléments servant a la gradation du risque , soit en fonction de l'âge ou du degrés d'activité du mouvement observé ,soit en fonction du volume de la masse déplacée.

Cette inventaire est fondé sur le relevé des traces apparentes laissées par les mouvements de matériaux. Ces traces sont plus ou moins facilement repérables sur le terrain ou sur les photographies aériennes .Ce sont des «phénomènes », et chacun sait que ces apparences, qui peuvent être trompeuses, sont a manier(utiliser) quelque précautions.

Dans notre cas , le glissement de terrain du versant sud d'El kantour révèle les indice d'instabilité suivants :

IV.1.1. le témoignage des formes de terrain : les indices géomorphologiques

Les indices géomorphologique sont d'un usage courant pour le repérage des zones actuellement instable(VERNES, 1978 et 1984).Ces indices sont constitués par les formes de terrains engendrées par les divers processus de façonnement des versants. Voir (*Photo .IV.1*).

- **La zone d'arrachement de glissement de terrain** ,surface plus bas par-rapport au niveau du versant .
- **L'escarpement principal** : Surface inclinée ou verticale souvent concave, limitant le glissement à son extrémité supérieur et prolongé en profondeur par la surface de glissement.
- **Fissures et crevasse** : Ruptures au sein du matériau se manifestant par des fentes(fissures) d'importance et de forme diverse suivant leurs positions.

On peut distinguer trois grands types élémentaires : Fissures de traction, fissures de cisaillement et fissures de compression. Les dimensions de glissement sont définies par la longueur (totale et de la rupture), la largeur, et la profondeur.



Photo . IV .1 .Niches d'arrachements du glissement de terrain (14/10/2009-15^h:34)

IV.1.2. La géomorphologie, un critère de repérage du degré d'activité

La distinction entre mouvements « actifs » et « non actifs », que ses derniers soient « dormants » ou stabilisés, figure en bonne place dans toutes les nomenclatures (Varnes, 1978). Elle peut être un des critères de la gradation des risques.

Pour Varnes (1978, p. 26), un mouvement actif est celui qui a fonctionné au moins une fois dans l'année, lors du dernier cycle saisonnier favorable (période de gel et de dégel, de maximum ou de forte intensité des précipitations, etc. ...). Pour d'autres auteurs, la période de retour peut être plus longue ; certains l'étendent jusqu'à 5 ans.

L'activité d'un mouvement peut être décelée (découverte) par observation directe pendant le déroulement de l'événement, par la pose d'une instrumentation en surface (piquets repères) et mesure du déplacement, ou en profondeur, la comparaison de photos au sol ou de prises de vues aériennes effectuées à des dates successives, par l'évolution de la couverture végétale et par enquête.

IV.1.3 . Les témoignages de la végétation

La végétation peut, elle aussi, apporter des témoignages d'instabilité actuelle ou passée. Elle est également un bon critère d'activité des mouvements. La distinction entre éboulis vifs et éboulis fixés par végétation est des plus classiques. On peut tenir le même raisonnement pour les

abrupts de tête des replats de glissement ; qui se couvrent progressivement de même temps que leur profil évolue.

IV.1.4. Autres indices

- **Le déplacement ou l'inclinaison des poteaux électriques** a haute tension ou constitue des bons indices d'un mouvement actif Voir (*Photo. IV .2*).



Photo. IV .2. Inclinaison de poteau électrique de haute tension suite à l'activation de glissement de terrain. (14/10/2009- 15^h :34)

IV.2. Topographie du glissement de terrain

Les cartes topographiques à petite échelle disponibles sont insuffisantes pour repérer un accident localisé, il convient donc pour un glissement bien localisé d'entreprendre un levé topographique à grande échelle ($1/1000^e$ ou $1/500^e$) de la zone en mouvement et d'en tirer un plan en courbes de niveau (P. Desvarreux, 1987).

IV2.1. Technique de travail

La mise en station de l'appareil nécessite la présence d'un « point dur » qui est souvent matérialisé au sol par un clou.

Il faut tout d'abord mettre le théodolite en station, (*Fig.IV.3*) c'est-à-dire qu'il faut le positionner de manière à ce que l'axe vertical de l'appareil soit perpendiculaire au plan horizontal de la station. Il est ensuite possible de relever tous les points caractéristiques du terrain. Au départ de ce point de station il sera possible de réaliser une série de mesures par rayonnement. Si le terrain est très étendu, il faudra réaliser un cheminement. Il va falloir déplacer l'appareil de mesure pour pouvoir couvrir tout le terrain de l'étude. Le cheminement consiste à déplacer le point de station. Il va falloir relever, à partir du point de station 1, la position de la station 2 pour

connaître les coordonnées de celle-ci et pour que le repérage soit complet, il ne faut pas oublier de relever sur la station 2 la position de la station 1 (pour que les points relevés de la station 2 soit repérés dans un même système de mesure par rapport à la station 1). Les points de station successifs (station 1, station 2, station 3, ...) s'articulent ainsi les uns aux autres.

L'appareil peut enregistrer un code en plus de la position d'un point. Le code permet d'identifier le point relevé, ce qui facilite le travail de dessin à l'ordinateur. Une fois le lever terminé, les données stockées dans l'appareil sont transférées sur un ordinateur pour effectuer le report et éditer le plan final.

Les angles et les distances sont mesurés, et les coordonnées sont calculées comme dans l'exemple de la partie précédente. Le théodolite mesure les angles, et on mesure les distances au moyen d'un ruban d'acier ou, plus souvent, d'un télémètre électronique (EDM). Un EDM permet de mesurer de grandes distances (plusieurs kilomètres) très rapidement et ce, avec une grande précision.

Le levé topographique du glissement de terrain du versant sud de Djebel El Kantour servent à déterminer l'emplacement et les altitudes de points choisis au sol dans le but de représenter graphiquement certains éléments et pour indiquer les différences qui existent dans les altitudes à la surface du sol, c'est à dire le déplacement.

Les éléments sont dessinés sur un plan topographique comme s'ils étaient vus du dessus (vue en plan), avec les lignes d'égale altitude, connues sous le nom de courbes de niveau, pour indiquer les changements d'altitude.



*Photo. IV .3.Appareillage pour Levés topographique .(théodolite).
(31 /12/2009 -Versant sud d'El Kantour)*

IV.2.2. Réalisation du Levé topographique

La réalisation du levé topographique consiste à implanter en quadrillage de bornes fixes ou de piquets dans la zone glissée et à son environnement stable voir (*Photo IV.3*) et de surveiller leur vitesse d'évolution pour établir les courbes de déplacement horizontal et vertical, à partir de ces courbes on peut localiser exactement la zone en mouvement, évaluer l'importance du risque et à envisager les mesures de sécurité nécessaire et les précautions à prendre (P. Desvarreux 1987).

Dans notre aire d'étude le levés topographique à été effectuée par le même principe , c'est-à - dire nous avons implanter le 31 Décembre 2009 des piquets en acier de 1.00 mètre de longueur dans la zone glissée (active) et à son environnement stable (*Photo. IV.4*), et a ce moment la, nous avons réalisé un levés topographique a l'aide de l'appareil topographique dite « théodolite », représenté le plan morphologique de glissement de terrain a la date précédent voir *Fig (IV.2)et (IV.3)*.



Photo. IV.4. Implantation des piquets en acier dans la zone de glissement (31-12-2009)

Après trois mois et demi c'est-à-dire le 16/04/2010 soit (104 jours), nous avons réalisé un deuxième levé topographique sur les mêmes points, d'où nous avons effectuée une courbe de déplacement horizontal et vertical et nous avons obtenu à la fin une vitesse d'évolution de glissement de terrain voir *Fig. (IV.4)et (IV.5)*.

Cette méthode nous permettent exactement de localiser exactement la zone du glissement (surface du la zone d'étude, surface de la zone active(*Tab. IV.1*) et le déplacement).

Tableau. IV.1. Surface du glissement de terrain :

Surface totale	7000 m ²
Surface de la zone active	3000m ²

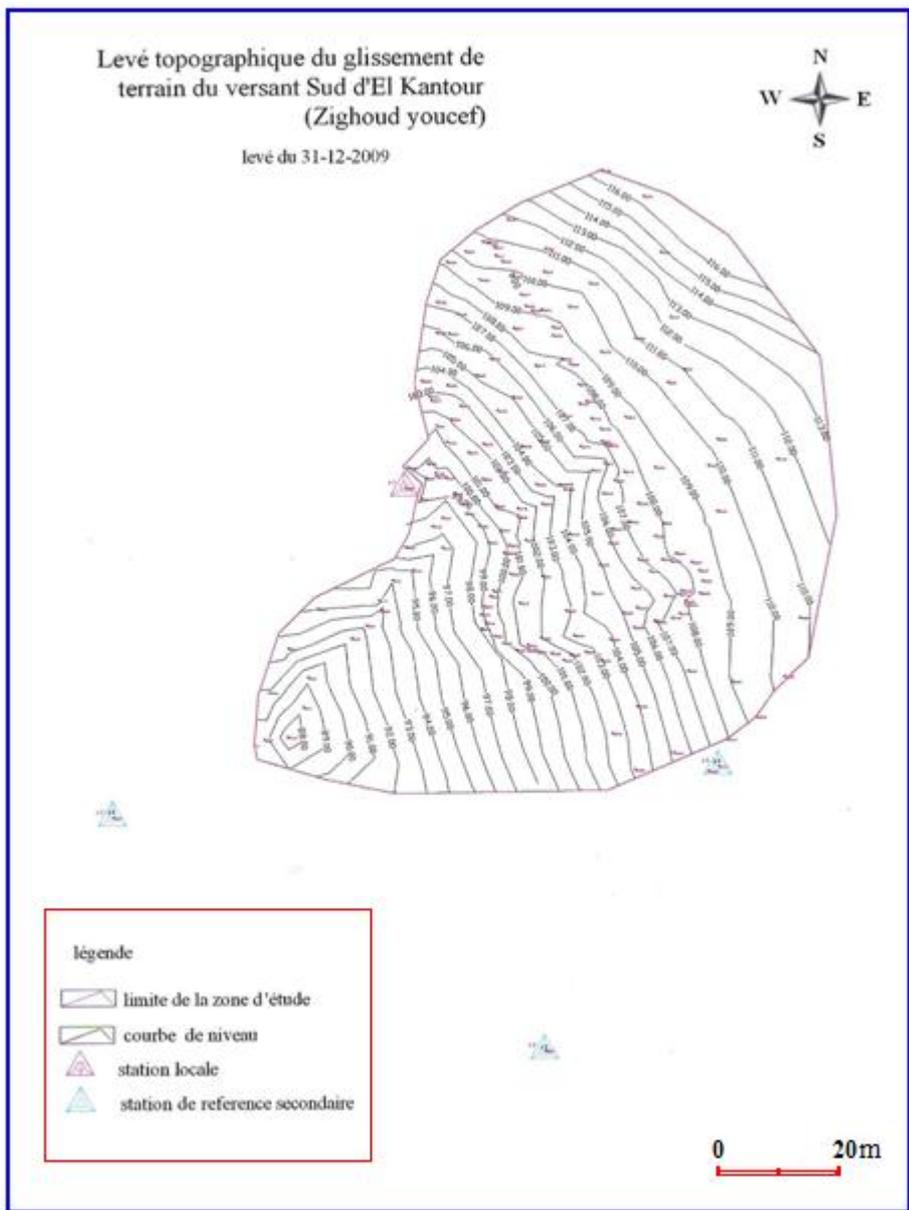


Fig. IV .2.Levé topographique de la zone du glissement de terrain réalisé le 31-12-2009

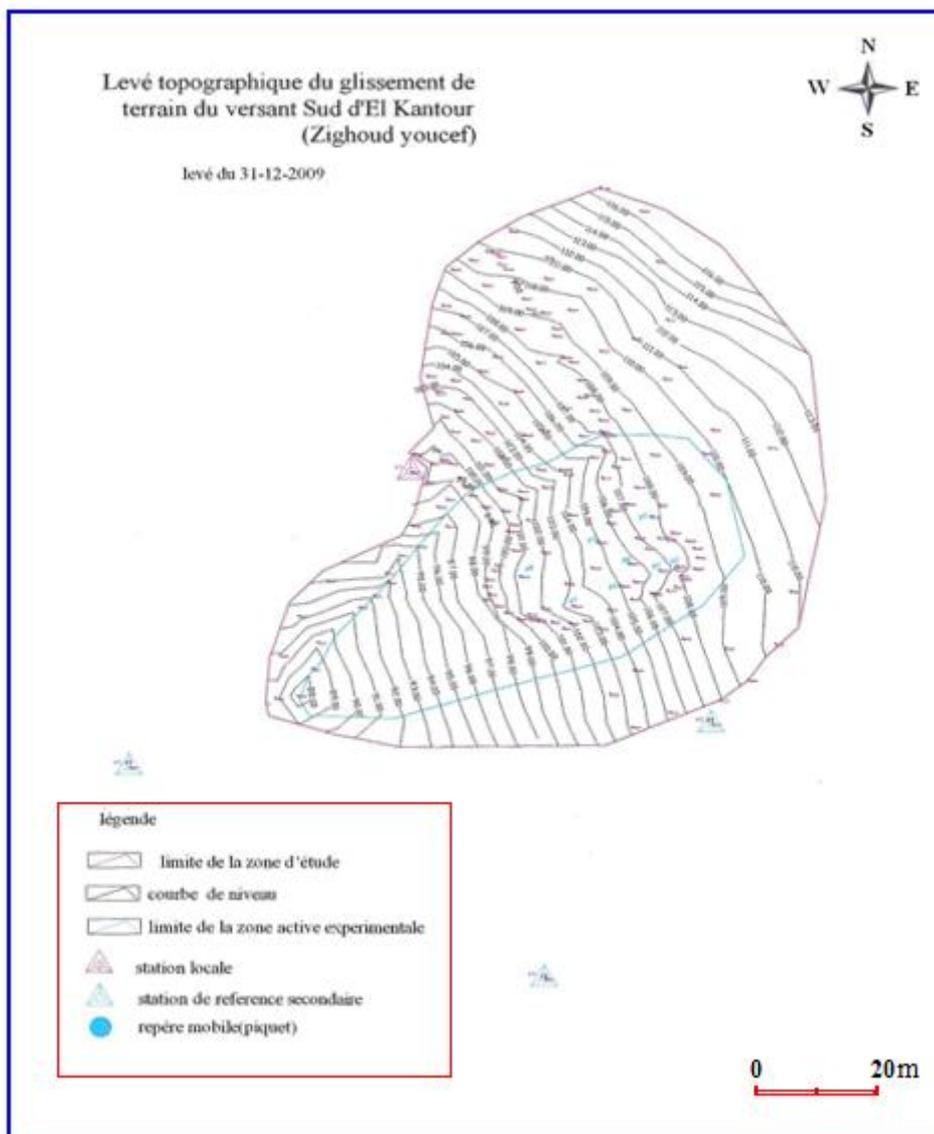


Fig. IV.3 .Levé topographique de la zone active du glissement de terrain réalisé le 31-12-2009

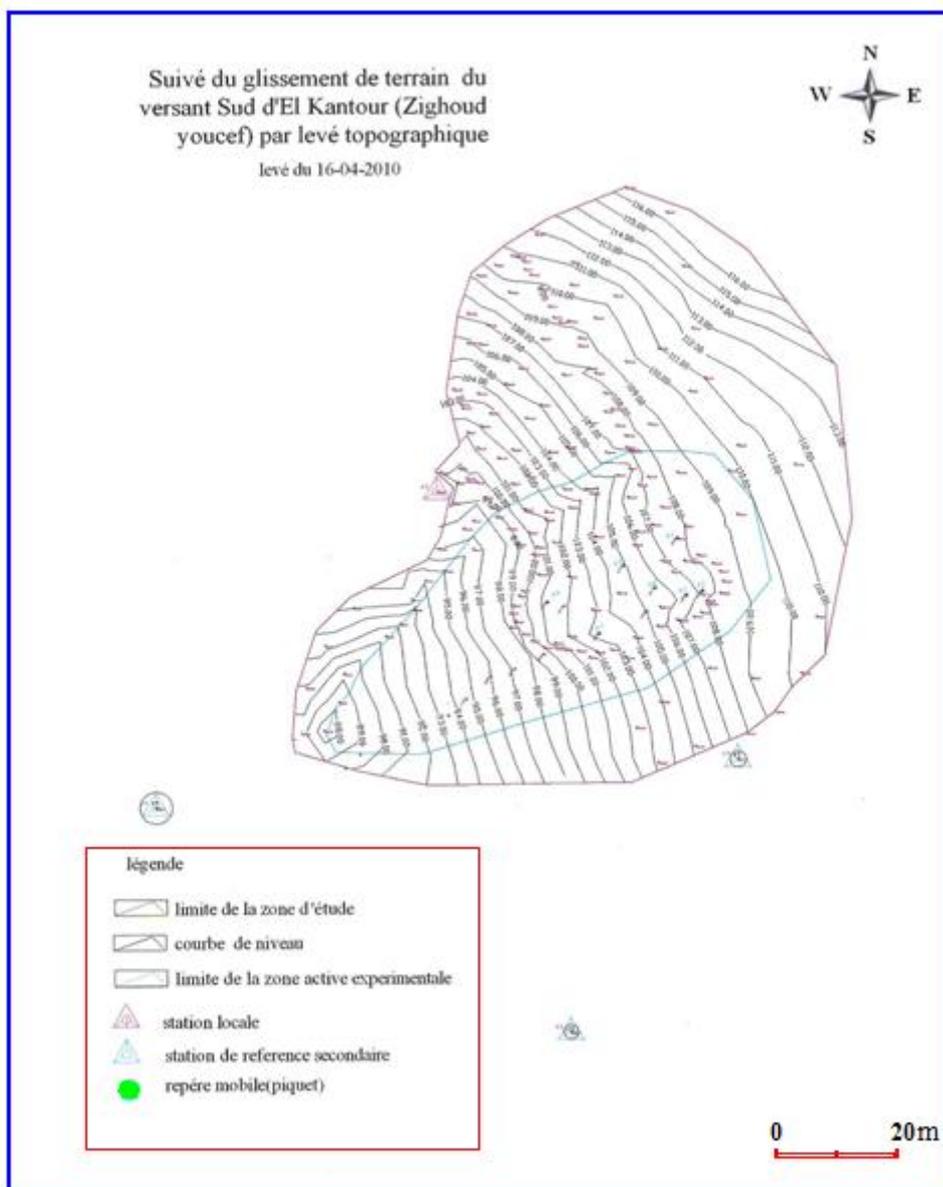


Fig. IV .4. Levé topographique de la zone active du glissement de terrain réalisé le 16-04-2010

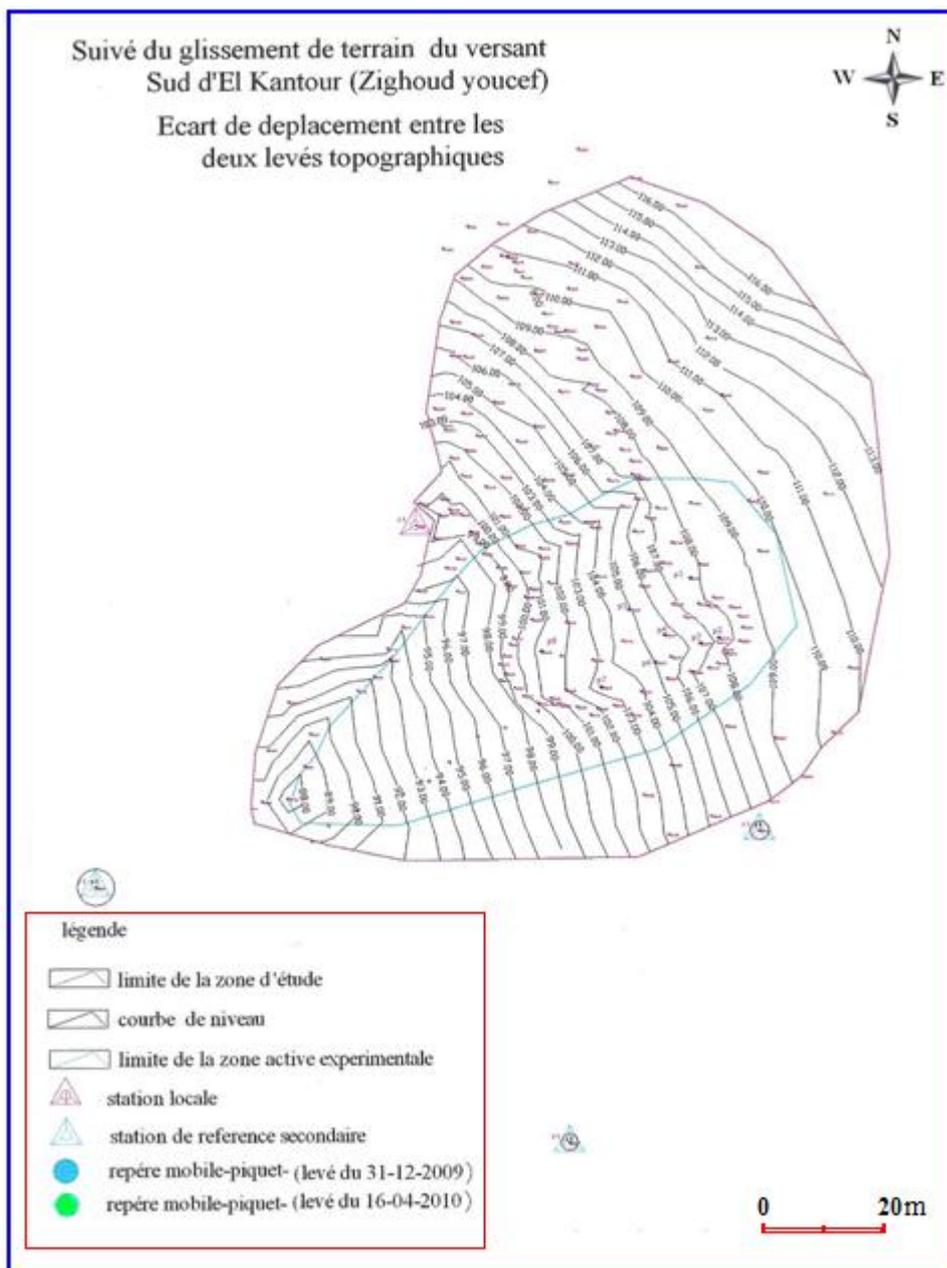


Fig. IV .5 .Ecart de d éplacement

- **Profil on long du glissement de terrain :**

Le profil qui suit (Fig.IV.6) a été réalisé à partir du levé topographique que nous avons effectué sur site.

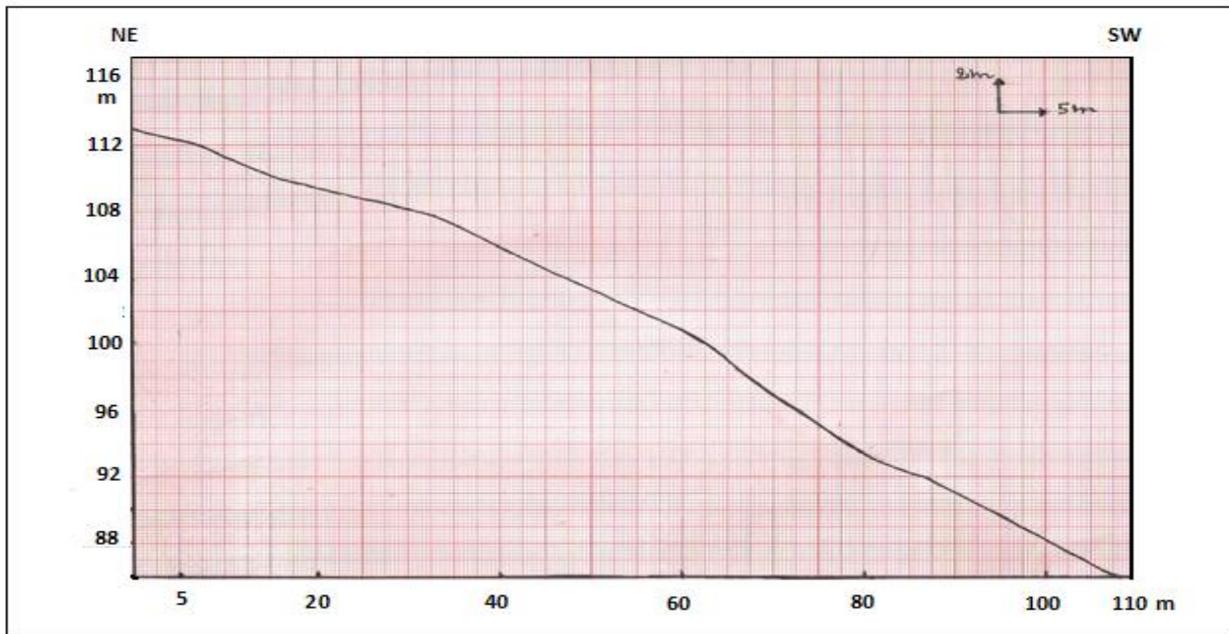


Fig. IV .6. Profil on long du glissement de terrain du versant sud d'El Kantour

- **Exploitation des mesures topographiques :**

Nous disposons d'un réseau de points de mesures topographiques relativement dense et bien réparties sur le versant. Les mesures topographiques sont également étalées dans le temps (certaines mesures pour permettre quelques interprétations fiables). Les résultats de mesures sont présentés dans les tableaux ci-dessous *Tableau(IV.2)*, *(IV.3)*et *(IV.4)*.

Tableau. IV .2. Les données du levé topographique(31/12/2009)

Stations Topographiques	x	y	z
1	1000042,62	9999991,49	107,8045
2	1000047,12	9999982,055	107,3600
3	1000044,21	9999981,225	106,3900
4	1000038,62	9999982,585	105,6500
5	1000033,12	9999986,625	104,9310
6	1000037,15	9999978,312	105,0400
7	1000028,72	9999974,441	103,4934
8	1000019,52	9999980,072	101,4168

Tableau . IV .3. Les données du levé topographique (16/04/2010)

Stations Topographiques	x	y	z
1	1000042,59	9999991,51	107,8000
2	1000047,05	9999982,05	107,3311
3	1000044,17	9999981,24	106,3686
4	1000038,61	9999982,59	105,6460
5	1000033,09	9999986,60	104,9300
6	1000037,13	9999978,31	105,0307
7	1000028,72	9999974,43	103,5000
8	1000019,50	9999980,07	101,4200

Tableau . IV .4. Ecart de déplacement en (cm):

Stations Topographiques	Amplitude de déplacement(cm)			Vitesse de déplacement (cm /jour)		
	x	y	z	x	y	z
1	3.20	-2.00	0.45	0.0308	0.0192	0.0043
2	0.50	0.51	2.89	0.0048	0.0049	0.0278
3	4.00	-1.50	2.14	0.0385	0.0144	0.0206
4	1.38	-0.50	0.40	0.0133	0.0048	0.0038
5	3.30	2.50	0.10	0.0317	0.0240	0.0010
6	2.00	0.20	0.93	0.0192	0.0019	0.0100
7	0.37	1.10	-0.66	0.0035	0.0106	0.0106
8	2.45	0.24	-0.32	0.0236	0.0023	0.0031

La représentation en trois dimensions des données topographiques de notre aire d'étude et que nous avons effectuées les journées du 31/12/2009 et celle du 16/04/2010 ou, 104 jours plus tard nous permettent de bien en relief la dynamique ou l'instabilité du site étudié en effet, ou regard des figures (IV.7) et (IV.8).

La superposition des deux images en 3D obtenues par le logiciel Surfer :8 Fig(IV.7)et (IV.8)montrent des différences apparaissent clairement :ces différences sont localisées au niveau de :

- La zone bleu, c'est-à-dire en amont de l'aire d'étude ou un léger bombement venir marquer cette zone.
- La bande centrale de couleur marron-jaune dans les 2 figures montre une " crête " ou "sommet de cote " qui s'est déplacées de l'ouest vers l'est.
- Ce même déplacement " d'onde " est nettement plus marquées dans la partie aval de l'aire d'étude ou l'on voit la bande " verdâtre " changer complètement la forme (courbure) et venir ainsi rejoindre le sens de déplacement ouest-est.

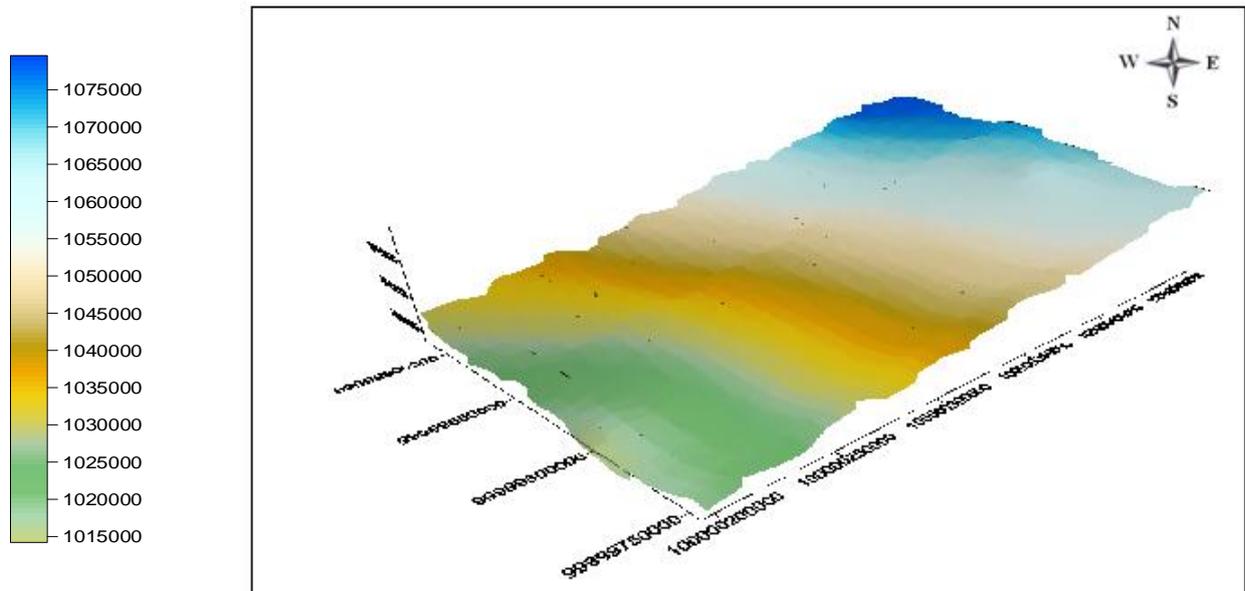


Fig.IV.7.Représentation en trois démentions des données topographique de la zone active du glissement (31-12-2009).

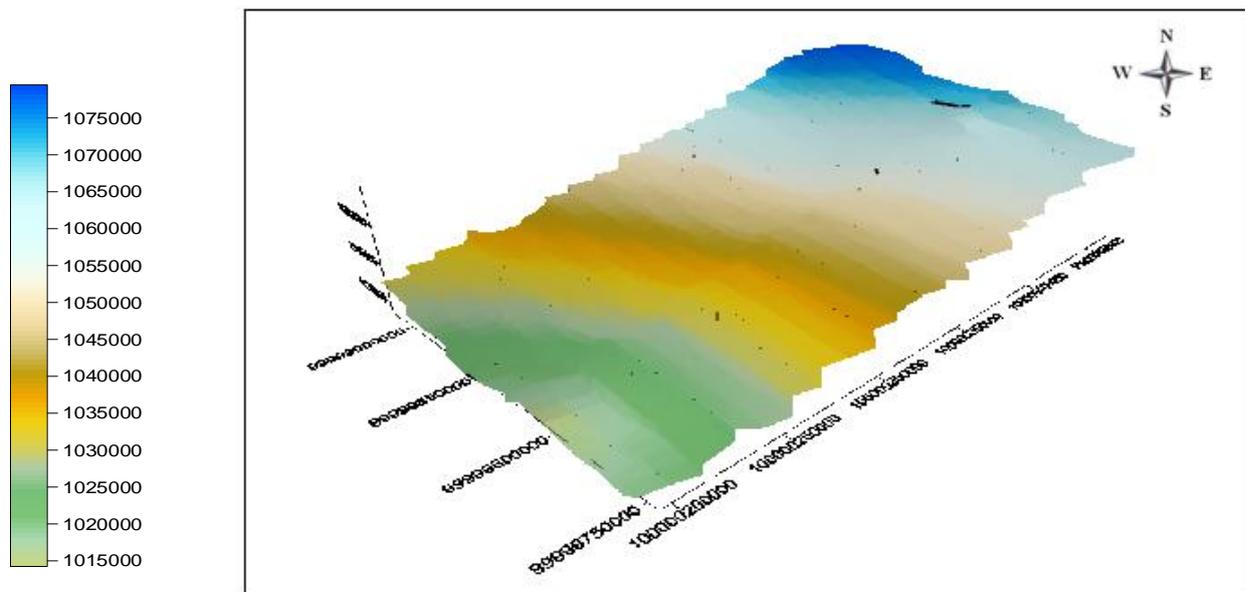


Fig.IV.8.Représentation en trois démentions des données topographique de la zone active du glissement (16-04-2010).

Le glissement d’El Kantour qui défini par une formation argileux et, une forte pente ($+23^\circ$) présenter des caractéristiques très différentes et atteindre des dimensions très variables .Ce glissement se produit dans ces formations argileux ,suivi d’une succession de ruptures affectent le sommet de talus,(rétrogression) sur une distance atteindre 2.70 metre durant une période de 104 jours , c'est-à-dire la vitesse mouvement de recul est de 2.6 cm/jour.

IV.3 . Méthode de Crozier

La méthode de Crozier est basé sur quatre paramètres morphométriques qui caractérisent le glissement de terrain. Les indices morphométriques permettant de qualifier un glissement de terrain de fluide ou de visqueux voir (Tab.IV.5).

Tableau. IV .5. Les paramètres de Crozier

Les indices		Les moyennes		
		Glissement liquide	Écoulement visqueux	Écoulement liquide
1	La dilatation	0.94	1.09	0.89
2	La ténuité	3.07	1.71	3.33
3	L'écoulement	16.01	5.39	12.14
4	Le déplacement	56.89	29.28	59.06

- Donc la méthode de Crozier est basée sur deux principes:
 - Le glissement de terrain est active ou partiellement active .
 - La longueur de glissement de terrain est de l'ordre 350 mètres.

Le glissement de terrain de versant sud de Djebel El Kantour, est caractérisé par un mouvement active , celle-ci nous permettent d'appliquée la méthodes de Crozier.

IV.3.2. Application de la méthode au glissement du terrain d'El Kantour

La méthode prend en compte uniquement les glissements dont la longueur est au moins égale à 350 mètres et présentant des indices matériels évidents d'activité.



Photo. IV .5. Application de la méthode de Crozier sur le glissement d'El Kantour (19/05/2010 - 11^h :14)

IV.3.2.1. Les paramètres morphométriques du glissement de terrain

Les Données morphométriques du glissement de terrain , réalisés au niveau de l'aire d'étude (*photo. IV.5*) à la date du 19/05/2010 :

- Longueur de glissement de terrain : 120 m
- Cote de la niche d'arrachement : 80 m
- Dénivellation : 27 m
- Pente moyenne : 23 %
- Longueur de la masse déplacée (**Lm**) : 70 m
- Largeur de la masse déplacée (**Wx**) : 13.60 m
- Longueur de la surface de rupture (**Lc**) : 35 m
- Largeur de la surface de rupture (**Wc**) : 11.70 m
- Longueur de la surface apparente (**Lr**) situé dans la surface concave : 6.20 m

IV.3.2.2. Détermination des indices morphométriques

a- La dilatation (D) : Caractérisés la forme de glissement ,c'est un indice de description et de classification (*Tab. IV.6*).

- C'est le quotient de la largeur déplacée par la largeur de la surface concave(rupture).

$$D = Wx / Wc$$

$$D = 13.60 / 11.70 = 1.16$$

Tableau. IV.6. Résultat de l'indice de dilatation

Valeurs de Crozier L'indice	Glissement liquide	Ecoulement visqueux	Ecoulement liquide
La dilatation(D)	0.94	1.09	0.89
Glissement d'El Kantour	-	1.16	-

- Selon le tableau ci-dessus (Tab.IV.6) , l'écoulement est de type **visqueux** .

b- La ténuité ou allongement (T) : C'est le rapport entre la longueur de la masse déplacée et la longueur de la masse concave . (*Tab . IV .7*)

$$T = Lm / Lc$$

$$T = 70 / 35 = 2$$

Tableau. IV.7. Résultat de l'indice de la Ténuité

Valeurs de Crozier L'indice	Glissement liquide	Écoulement visqueux	Écoulement liquide
La ténuité (T)	3.07	1.71	3.33
Glissement d'El Kantour	-	2	-

- Le tableau (IV.7) permet également de classer le glissement de versant sud d'El Kantour dans la catégorie « **Écoulement visqueux** ».

c- **L'écoulement (Q)** : Il dépend de la fluidité, mais également de la morphologie, notamment de la pente du glissement. (Tab.IV.8).

$$Q = \left| \frac{W_x}{W_c} - 1 \right| \times \frac{L_m}{L_c} \times 100$$

$$Q = \left| \frac{13.60}{11.70} - 1 \right| \times \frac{70}{35} \times 100 = 32.48 \%$$

Tableau . IV .8. Résultat de l'indice de l'écoulement

Valeurs de Crozier L'indice	Glissement liquide	Écoulement visqueux	Écoulement liquide
L'écoulement(Q)	16 .01	5.39	12.14
Glissement d'El Kantour	32.48	-	-

- La valeur de 32.48 % permet de classer le glissement dans la catégorie de « **glissement liquide** ».

d- **Le déplacement (P)** : C'est le quotient entre la longueur de la rupture apparente et la longueur de la pente réelle voir (Tab. IV.8).

$$P = \frac{L_r}{L_c} \times 100$$

$$P = \frac{6.20}{35} \times 100 = 17.71 \%$$

Tableau . IV .9. Résultat de l'indice de déplacement

Valeurs de Crozier L'indice	Glissement liquide	Ecoulement visqueux	Ecoulement liquide
Le déplacement(P)	56.89	29.28	56.06
Glissement d'El Kantour	-	17.71	-

- Cet indice permet d'évaluer l'état d'équilibre du glissement. Deux hypothèses se présentent ici :

$L_r / L_c < 1$ cela traduit une stabilité du matériel en place et inversement si L_r se rapproche de L_c .

- d'après les résultat obtenu le glissement de versant sud d'El Kantour est classée dans la catégoré « **Ecoulement visqueux** ».

Conclusion

Les problèmes de stabilité de pentes sont perçus différemment selon les caractéristiques géologiques, géomorphologiques et climatiques. dans notre site c'est-à-dire le glissement du versant sud d'El Kantour , les facteurs conduisent a la rupture et les mécanismes de rupture sont très variables.

Donc il est nécessaire d'identifier les caractéristiques physiques et mécaniques des sols, par une investigation géotechnique réalisées au niveau du site étudié. dans le but de cerner les problèmes de stabilité du talus, coefficient de sécurité, degrés de risques, et la vulnérabilité du site.

Chapitre : V

Analyse par diffractométrie aux rayons X

Introduction

La diffractométrie de rayons X (DRX, on utilise aussi souvent l'abréviation anglaise XRD pour X-ray diffraction) est une technique d'analyse fondée sur la diffraction des rayons X sur la matière. La diffraction n'ayant lieu que sur la matière cristalline, on parle aussi de radiocristallographie. Pour les matériaux non-cristallins, on parle de diffusion. L'appareil de mesure s'appelle un diffractomètre. Les données collectées forment le diagramme de diffraction ou diffractogramme ou spectre de rayons X.

La diffractométrie de rayons X est une méthode d'analyse physico-chimique. Elle ne fonctionne que sur la matière cristallisée (minéraux, métaux, céramiques, produits organiques cristallisés), mais pas sur la matière amorphe (liquides, polymères, verres) ; toutefois, la matière amorphe diffuse les rayons X, et elle peut être partiellement cristallisée, la technique peut donc se révéler utile dans ces cas-là.

Elle consiste à appliquer un rayonnement de la longueur d'onde des rayons x ($0,1 < \lambda < 10$ nm) sur un échantillon argileux orienté ou non. Le rayonnement pénètre le cristalle, il y a absorption d'une partie de l'énergie et excitation des atomes avec émissions de radiations émises par des plan atomiques qui sont en phases vont engendrer un faisceau cohérent qui pourra être détecté . Les conditions pour que les radiations soit en phase s'exprime par la loi de Bragg : ($2d \sin \theta = n \cdot \lambda$), (L.BERTHOIS. 1975).

n : nombre entier correspondant à l'ordre de la diffraction .

λ : longueur d'onde du rayonnement utilisé.

d : distance interréticulaire (Å).

θ : angle de diffraction .

V.1.La diffractométrie aux rayon X

V.1.1. Mode opératoire

On dispose la poudre du minéral à étudier sur une plaque de verre qui est posée dans les rainures d'une plaque métallique qui lui imprime un mouvement de rotation autour d'un axe perpendiculaire au cercle porteur.

Les rayons réfléchis sont reçus par un compteur Geiger Muller qui transmet les impulsions à un potentiomètre qui enregistre les angles et trace un pic lorsqu'il y a réflexion suivant la loi de Bragg voir (*Fig. V.1*).

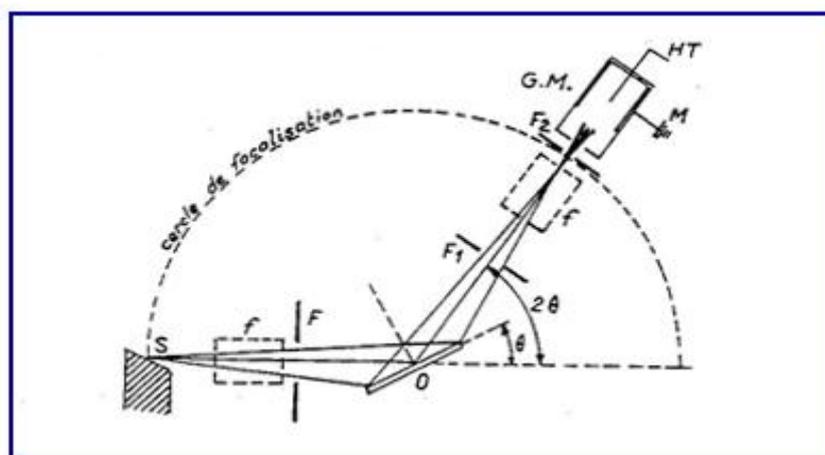


Fig.V.1. Schéma d'un diffractomètre (vue de plan)

- **S** : Source des rayons X – anticathode .
- **f** : fentes de Sollers
- **F.F₁.F₂** : fenêtres litant le faisceau X
- **O** : Echantillon placé au centre du cercle de focalisation et entraîné dans un mouvement de rotation GM : compteur Geiger Muller , qui se déplace d'un angle double de celui de l'échantillon , pour suivre le faisceau réfléchi .
- **En pointillé** : cercle de focalisation ,(L.BERTHOIS. 1975).

V.1.2.Méthode d'étude

Les méthodes pétrographiques classiques comme l'étude microscopique et les analyses chimiques sont généralement insuffisantes lorsqu'elles sont appliquées pour l'étude des argiles.

Deux méthodes physiques se sont imposées pour l'étude des argiles :

- L'analyse thermique différentielle .
- L'étude aux rayons X.

Dans notre cas, nous avons utilisé la douzième méthode c'est-à-dire l'analyse par diffractométrie aux rayons X.

V.1.3. Traitement des spectres et identifications des minéraux

Le diffractomètre aux rayons X a été utilisé dans cette analyse afin de déterminer les différentes proportions des minéraux constituant les 4 échantillons prélevés (argile du glissement de terrain du versant sud d'El Kantour). Les propriétés physico-chimiques d'un matériau dépendent non seulement de sa composition chimique mais aussi, et en grande partie, de ses caractéristiques structurales : (structure cristalline, la taille des cristaux et la nature chimique du matériau).

Après diffraction, cette identification a été faite en deux étapes : une étape de recherche à partir du logiciel PCPDFWin (American Society for Testing Materials) dans une base contenant tout

les signatures possible (Fiches ASTM), puis une confrontation des valeurs 2θ de chaque pic du diffractogramme ou du spectre avec les fiches ASTM probables.

Les diffractogrammes (Spectre DRX) des quatre (04) échantillons traités, sont représentés sur les figures : (V.3) (V.4), (V.5), (V.6), (V.7) et (V.8) ci-dessous. Ces derniers représentent des pics de diffraction selon l'angle et l'intensité (coup/seconde), ont été confrontés à des centaines de fiches de référence (ASTM) (Fig. V.2), afin de déterminer les différentes proportions des minéraux constituant les 4 échantillons prélevés Voir Tab(V.1), (V.2), (V.3) et (V.4).

- **Types d'argiles existants dans les spectres DRX des 4 échantillons prélevés :**

CL : Chlorites

MT : Montmorillonite

IL : Illite

Ve : Vermiculite

Ka : Kaolinite

- **Autres éléments :**

Q : Quartz

Ca : Calcite

SEARCH RESULT

Display Matched Item Number: **1 to 32**
33 to 33

Print Search Result

OK **Cancel**

ID	Chemical Name	Chemical Formula	3 Strongest Lines
46-1344	Illite-1M, ammonian, Potassium Ammo-	[(N H4) , K] -	10.3 4.49 2.57
43-0685	Illite-2M2, Potassium Aluminum Silica-	K A2 (Si3 Al) -	2.58 4.49 3.35
39-0363	Sidwillite, Molybdenum Oxide Hydrate	Mo O3 · 2 H2 O	3.32 3.25 6.94
38-0371	Minehillite, Potassium Calcium Zinc Alu-	K3 Ca28 Zn4 Al4 -	2.76 3.35 1.85
35-0652	Illite-montmorillonite, Potassium Alumi-	K A4 (Si , Al) -	3.33 9.50 12.6
35-0628	Dervillite, Silver Arsenic Sulfide	Ag2 As S2	3.08 3.02 2.84
35-0617	Leadhillite, Lead Carbonate Sulfate Hyd-	Pb4 (S O4) (C -	3.57 2.94 2.31
35-0507	Cyanophillite, Copper Aluminum Antimony-	Cu10 Al4 Sb6 O25 -	4.84 9.67 2.59
35-0478	Sterlinghillite, Manganese Arsenate Hyd-	Mn3 (As O4)2 · 4-	11.1 3.21 2.75
33-0891	Mcgillite, Manganese Chloride Silicate -	Mn8 Si8 O15 (O H-	2.56 7.16 2.89
31-0968	Illite-1M, Potassium Aluminum Silicate -	K A2 (Si3 Al) -	3.35 2.60 1.99
29-1496	Illite-1M, Potassium Aluminum Silicate -	K0.7 A2 (Si , -	4.43 2.56 3.66
29-0330	Añillite, Calcium Silicate Hydroxide H-	Ca3 (Si O3 O H)	3.17 2.83 2.73
26-0911	Illite-2M1, Potassium Aluminum Silica-	(K , H3 O) A2 -	3.34 10.0 5.02
25-0001	Illite, sodian brammallite, Sodium Alum-	(Na , K)1-x (-	10.2 4.40 3.20
24-0495	Illite-2M2, Potassium Aluminum Silica-	K0.7 A2.1 (Si , -	2.58 4.49 3.35
21-0381	Francevillite, syn, Barium Uranyl Vanad-	Ba (U O2)2 V2 O-	8.40 3.00 5.20

PCPDFWIN

PDFNumber Search Print View Data Conversion Window Clear Help

PDF # 350507, Wavelength = 1.9373 (Å)

35-0507	Quality:	Cu10 Al4 Sb6 O25 · 25 H2 O
CAS Number:		Copper Aluminum Antimony Oxide Hydrate
Molecular Weight: 2324.25		Ref: Walenta, K., Chem. Erde, 40, 195 (1981)
Volume[CD]: 1230.60		
Dx: 3.136 Dm: 3.100		
S.G.: Pnmb (51)		
Cell Parameters:		
a 11.82 b 10.80 c 9.64		
α β γ		
SS/FDM: F30= 1 (0.078,470)		
I/cor:		
Rad: FeKa		
Lambda: 1.9373		
Filter:		
d-sp: Debye-Scherrer		
Mineral Name:		
Cyanophillite		

2θ	int-f	h	k	l	2θ	int-f	h	k	l	2θ	int-f	h	k	l
11.498	60	0	0	1	39.166	5	0	3	2	66.064	10	1	4	4
18.996	5	2	0	0	41.564	5	4	1	1	70.565	5	6	0	3
20.667	10	0	2	0	41.564	5	2	1	3	72.662	20	3	4	4
23.090	100	0	0	2	43.925	60	4	2	0	74.137	10	0	0	6
24.366	40	2	1	1	46.780	50	4	1	2	77.002	30	5	4	3
25.088	40	1	0	2	49.815	20	5	0	1	81.897	30	8	0	0
27.264	5	1	1	2	49.815	20	1	4	2	86.326	10	7	4	1
28.687	10	3	0	0	54.100	20	4	1	3	89.740	5	5	6	2
30.438	5	2	2	1	54.100	20	5	0	2	100.37	5	7	1	5
34.791	10	1	3	1	57.309	20	3	1	4	106.23	20	8	5	1
37.035	5	3	0	2	60.702	40	3	2	4	111.62	5	3	4	7

Fig .V.2. Fiches de référence. (ASTM)

- Les spectres d'énergies de faisceau diffractés en fonction de l'angle de diffraction 2θ :

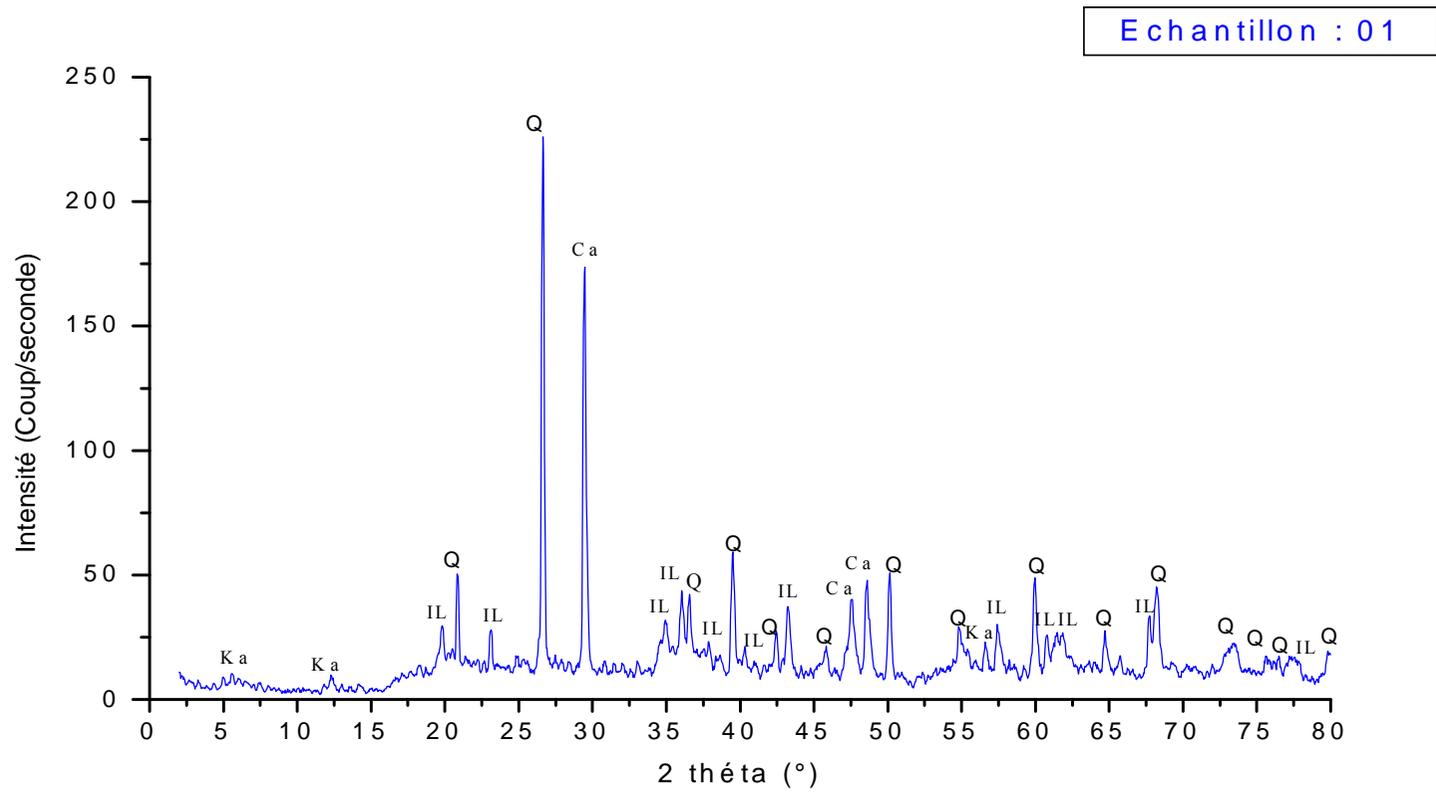


Fig. V.3. Spectre DRX de l'échantillon n° 01

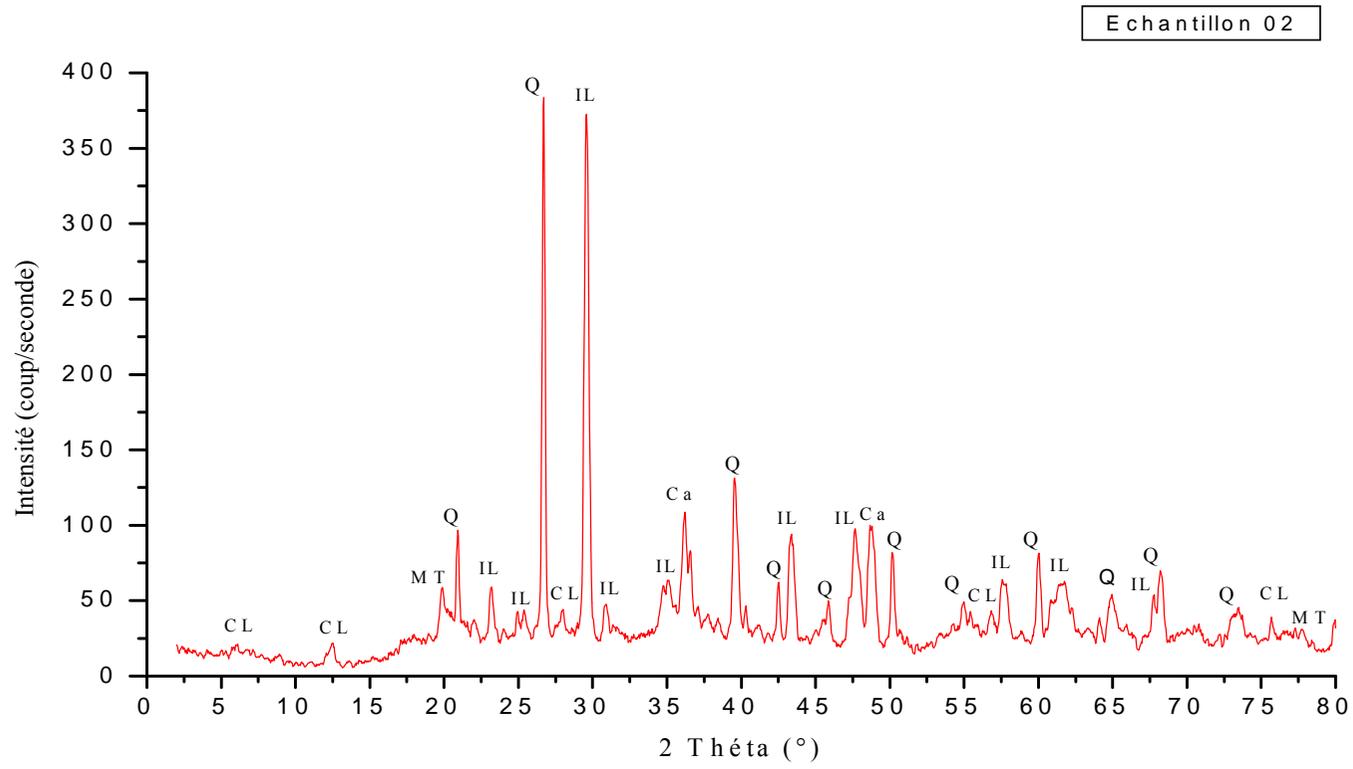


Fig.V.4. Spectre DRX de l'échantillon n° 02

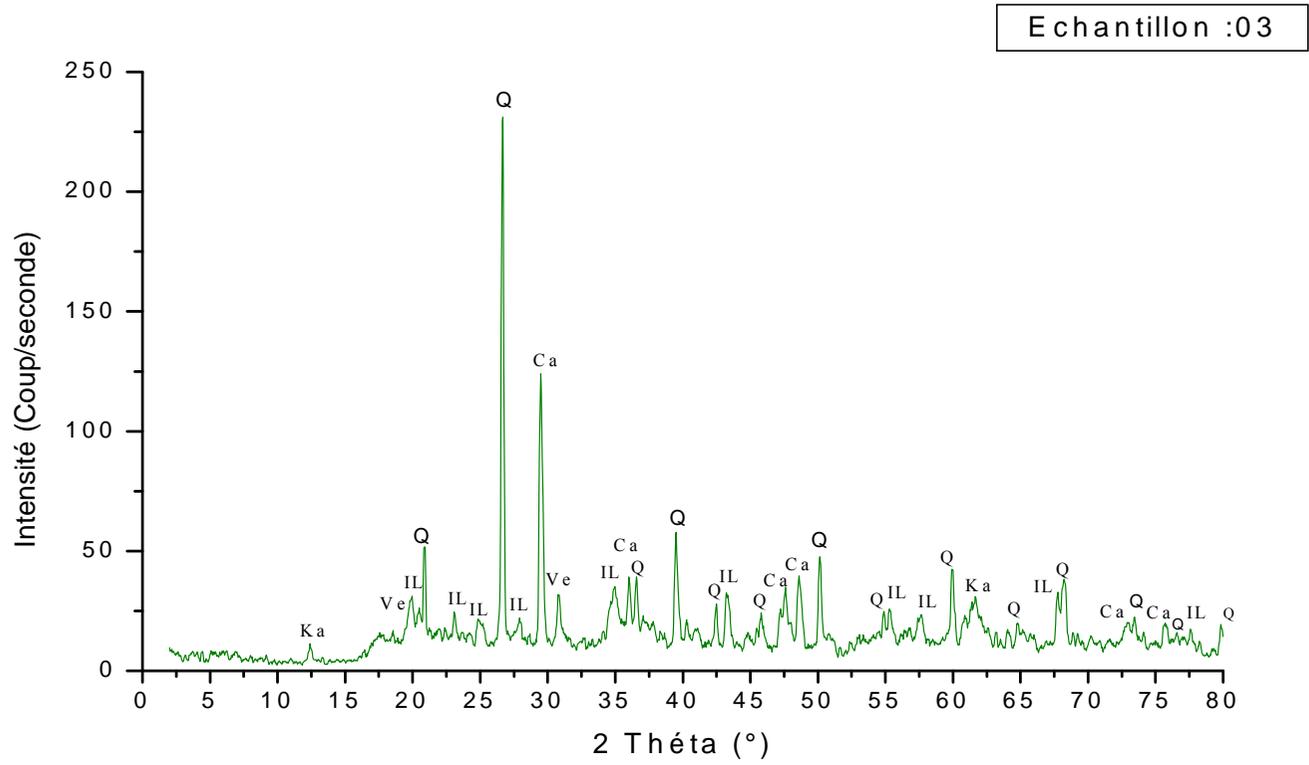


Fig.V.5. Spectre DRX de l'échantillon n° 03

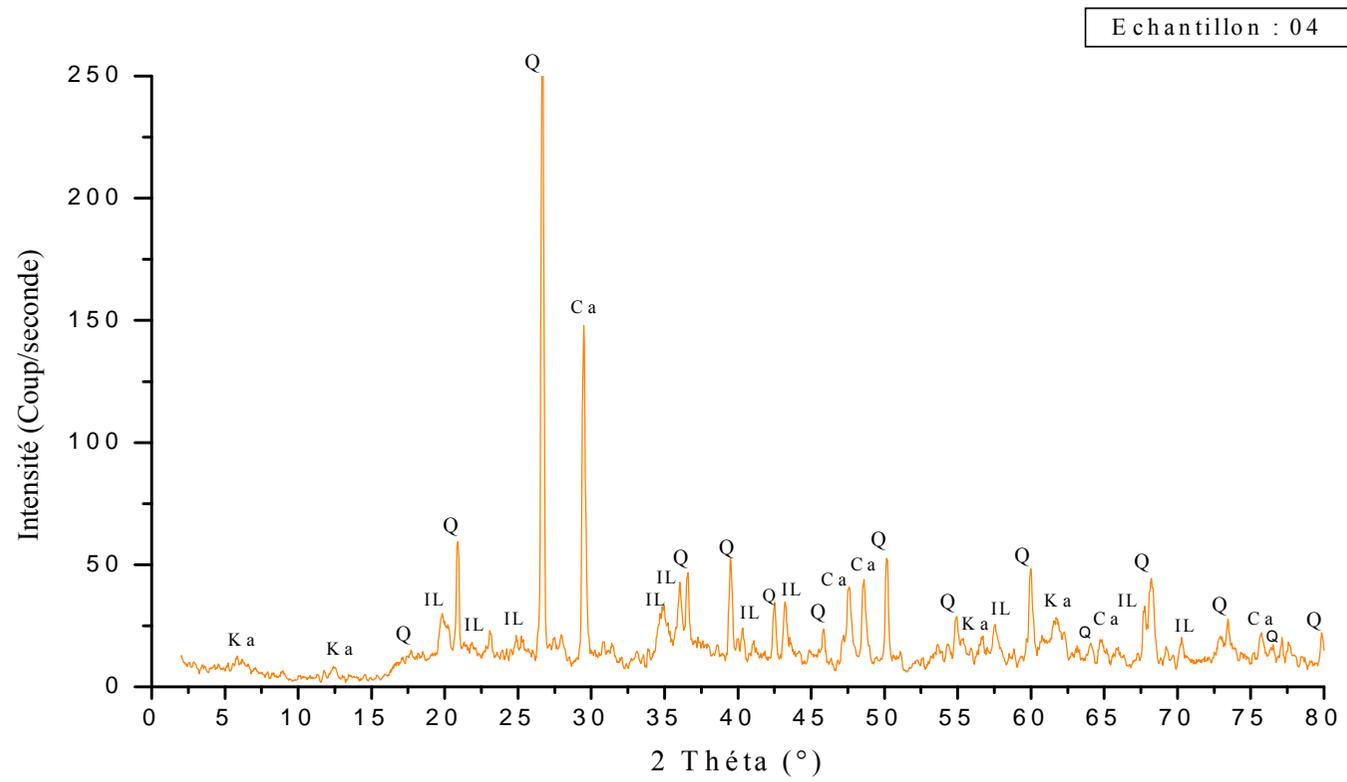


Fig.V.6.Spectre DRX de l'échantillon n° 04

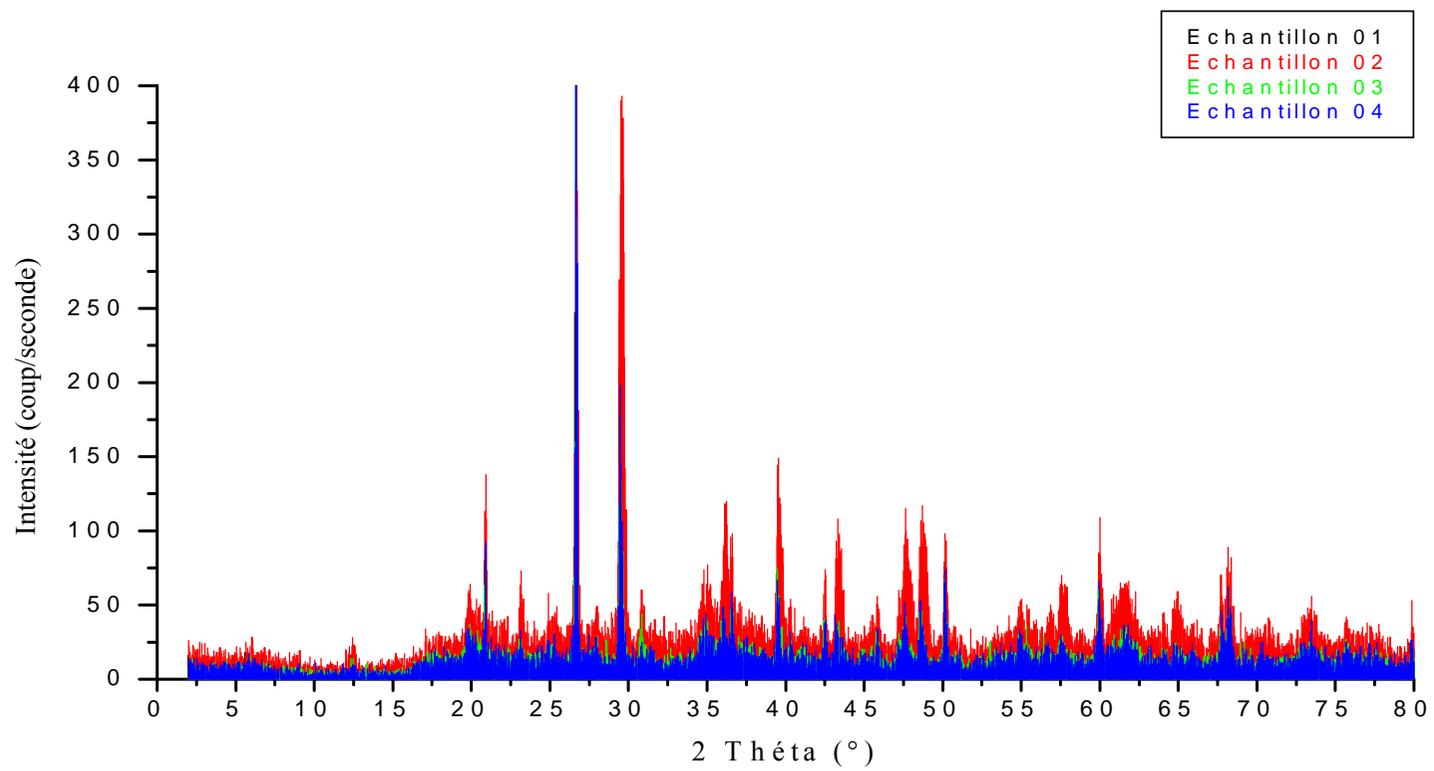


Fig. V.7. Spectre DRX des échantillons prélevés

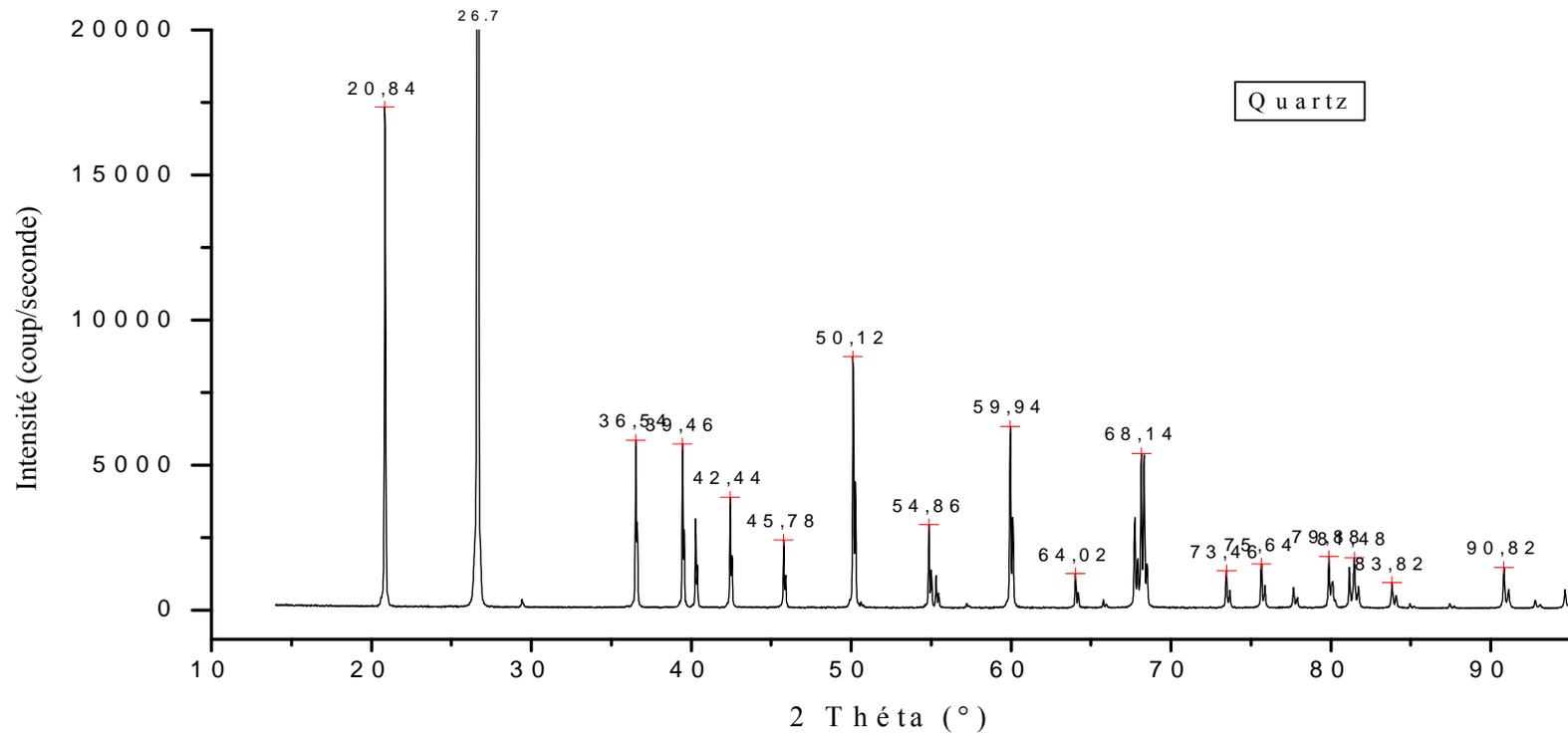


Fig.V.8. Spectre DRX du quartz

Tableau. V.1. Différents propriétés des minéraux constituant l'échantillon N° :01

Elément	Nom de minéral	N° fiche ASTM	Formule chimique	2 θ (°)
Kaolinite	Kaolinite-,Aluminium-Silicate-Hydrate	02-0105	$H_4AL_2Si_2O_9$	5,64
Kaolinite	Kaolinite-,Aluminium-Silicate-Hydroxide	14-0164	$AL_2Si_2O_5(OH)_4$	12,34
Illite	Illite-1M Ammonium, Potassium Aluminium Silicon Oxyde Hydroxide	46-1344	$[(NH_4),K](Si,AL)_4AL_4O_{10}(HO)_2$	19,76
Silice	Quartz	/	SiO_2	20,76
Illite	Lead Carbonate Sulfate Hydroxide	35-0617	$Pb_4(SO_4)(CO_3)_2(OH)_2$	23,16
Silice	Quartz	/	SiO_2	26,61
Calcite	Calcium Carbonate	47-1743	$CaCO_3$	29,4
Illite	Molybdenum Oxide Hydrate	39-0363	$MOO_3 \cdot 2H_2O$	34,83
Illite	Potassium Ammonium Silicon Oxide Hydroxide	46-1344	$[(NH_4),K](Si,AL)_4AL_4O_{10}(HO)_2$	36,01
Silice	Quartz	/	SiO_2	36,57
Illite	Potassium, Aluminium Silicate,-Hydroxide	43-0685	$KAL_2(Si,AL)O_{10}(OH)_2$	37,44
Silice	Quartz	/	SiO_2	39,58
Illite	Sodium Aluminium Silicate Hydroxide	25-0001	$[Na,k]_{1-x}[Al,Mg,Fe](Si,AL)_4O_{10}(HO)_2$	40,32
Silice	Quartz	/	SiO_2	42,42
Illite	Potassium, Aluminium Silicate,-Hydroxide	43-0625	$KAL_2(Si,AL)O_{10}(OH)_2$	43,46
Silice	Quartz	/	SiO_2	45,83
Calcite	Calcium Carbonate	47-1743	$CaCO_3$	47,51
Calcite	Calcium Carbonate	47-1743	$CaCO_3$	48,50
Silice	Quartz	/	SiO_2	50,11
Silice	Quartz	/	SiO_2	54,65
Kaolinite	Sodium Aluminium Silicate Hydroxide Hydrate	29-1490	$NaO \cdot 3AL_4SiO(OH)_6 \cdot 4H_2O$	56,60
Illite	Calcium Silicate Hydroxide Hydrate	29-0330	$Ca_3(Si_3O_7)_2 \cdot 2(H_2O)$	57,51
Silice	Quartz	/	SiO_2	59,64

Illite	Lead Carbonate Sulfate Hydroxide	35-0617	$Pb_4(SO_4)(CO_3)_2(OH)_2$	60,95
Illite	Calcium silicate hydrate	09-0454	$Ca_3(SiO_3OH)_2(H_2O)$	61,48
Silice	Quartz	/	$Si O_2$	64,78
Illite	Calcium Silicate Hydrate	09-0454	$Ca_3(Si, O_3, OH)_2H_2O$	67,74
Silice	Quartz	/	$Si O_2$	68,19
Silice	Quartz	/	$Si O_2$	73,48
Silice	Quartz	/	$Si O_2$	75,62
Silice	Quartz	/	$Si O_2$	76,48
Illite	Lead Carbonate Sulfate Hydroxide	16-0702	$Pb_4(OH_2)(CO_3)_2SO_4$	77,35
Silice	Quartz	/	$Si O_2$	79,89

Tableau. V.2. Différents propriétés des minéraux constituant l'échantillon N° :02

Elément	Nom de minéral	N° fiche ASTM	Formule chimique	2 θ (°)
Chlorite	Sodium calcium aluminium silicate	07-0027	Na-Ca-Al-Si ₄ O ₁₀ -O	6.09
Chlorite	Magnésium, aluminium silicate hydroxyde	02-0028	(Mg, Fe) ₅ (Al, Si) ₅ O ₁₀ (OH) ₈	12.63
Montmorillonite	potassium, aluminium silicate hydraté.	35-0652	K(Al ₄ Al) ₈ O ₁₀ (OH) ₄ 4(H ₂ O)	19.89
Silice	Quartz 3	—	SiO ₂	20.89
Illite	Lead carbonate sulfate hydroxyde	35-0617	Pb ₄ (SO ₄)(CO ₃) ₂ (OH) ₂	23.16
Illite	potassium, aluminium silicate hydroxyde	43-0685	K Al ₂ (Si ₃ Al) O ₁₀ (OH) ₂	25.30
Silice	Quartz	—	SiO ₂	26.74
Illite	Calcium silicate hydraté.	03-0510	Ca Si ₂ O ₇ 3(H ₂ O)	
Illite	Silver Arsenic sulfide	35-0628	Ag ₂ As S ₂	29.58
Illite	Lead carbonate sulfate hydroxyde	35-0617	Pb ₄ (SO ₄) (CO ₃) ₂ (OH) ₂	30.92
Illite	Manganèse ,Arsenate hydrate	35-0478	Mn ₃ (AsO ₄) ₂ 4(H ₂ O)	35.15
Calcite	Calcium, aluminum carbonate hydroxide hydrate	42-0595	Ca Al ₂ (CO ₃) ₂ (OH) ₄ 3(H ₂ O)	36.12
Silice	Quartz	—	SiO ₂	39.58
Silice	Quartz	—	SiO ₂	42.55
Illite	potassium, aluminium silicate hydroxyde	43-0685	K Al ₂ (Si ₃ Al) O ₁₀ (OH) ₂	43.46
Silice	Quartz	—	SiO ₂	45.83
Illite	Molybdenum Oxide hydrate	39-0363	MoO ₃ – 2H ₂ O	47.72
Calcite	Calcium, aluminum carbonate hydroxyde hydrate	42-0592	Ca Al ₂ (CO ₃) ₂ (OH) ₄ 3(H ₂ O)	48.70
Silice	Quartz	—	SiO ₂	50.11
Silice	Quartz	—	SiO ₂	54.9
Chlorite	Iron., aluminium hydroxyde silicate	03-0072	Fe ₄ Al ₄ Si ₂ O ₁₀ (OH) ₈	56.81
Illite	Manganèse Arsenate hydrate	35-0478	Mn ₃ (As O ₄) ₂ 4H ₂ O	57.45
Silice	Quartz	—	SiO ₂	60.07
Illite	Calcium silicate hydroxyde hydrate	29-0330	Ca ₃ (SiO ₃ OH) ₂ 2(H ₂ O)	61.81
Silice	Quartz	—	SiO ₂	64.82
Illite	potassium, silicate hydroxyde	31-0968	K Al ₂ (Si ₃ , Al) O ₁₀ (OH) ₂	67.92
Silice	Quartz	—	SiO ₂	68.19
Silice	Quartz	—	SiO ₂	73.48
Chlorite	Magnésium, aluminium silicate	13-0003	Mg ₂ Al ₃ (Si ₃ Al) O ₁₀	75.72

Montmorillonite	Sodium, Aluminium Silicate. hydroxyde hydraté.	29.1490	$\text{NaO}, 3\text{Al}_4\text{Si}_6\text{O}_{15}(\text{OH})_6$ $4(\text{H}_2\text{O})$	77.10
-----------------	--	---------	--	-------

Tableau .V.3.Différents propriétés des minéraux constituant l'échantillon N° :3

Elément	Nom de minéral	N° fiche ASTM	Formule chimique	2 θ (°)
Kaolinite	Aluminium silicate hydraté	14-0164	$\text{Al}_2 \text{Si}_2\text{O}_5 (\text{OH})_4$	12.34
Illite	potassium, aluminium silicate hydroxyde	24-0495	$\text{K} \text{O}_7 \text{Al}_2 (\text{Si} \text{Al})_4 \text{O}_{10} (\text{OH})_2$	19.77
Vermiculite	Magnésium, aluminium silicate hydraté.	34-0166	$(\text{Mg}, \text{Al})_3 (\text{Si}, \text{Al})_4 \text{O}_{10} (\text{OH})_2 4(\text{H}_2\text{O})$	20.47
Silice	Quartz	—	SiO_2	20.89
Illite	Copper aluminum antimony oxide hydrate.	35-0507	$\text{Cu}_{10} \text{Al}_4 \text{Sb}_6 \text{O}_{25} 25(\text{H}_2\text{O})$	23.09
Illite	Lead carbonate sulfate hydroxide	35-0617	$\text{Pb}_4(\text{SO}_4)(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$	24.94
Silice	Quartz	—	SiO_2	26.74
Illite	Manganèse Arsenate hydrate	35-0478	$\text{Mn}_3 (\text{As} \text{O}_4)_2 4(\text{H}_2\text{O})$	27.80
Calcite	Calcium carbonate	47-743	CaCO_3	29.40
Vermiculite	Magnésium, aluminium silicate hydroxyde hydrate	34-0166	$(\text{Mg}, \text{Al})_3 (\text{Si}, \text{Al})_4 \text{O}_{10} (\text{OH})_2 4(\text{H}_2\text{O})$	30.71
Illite	potassium, aluminium silicate hydroxide	43-0685	$\text{K} \text{Al}_2 (\text{Si}_3, \text{Al}) \text{O}_{10} (\text{OH})_2$	34.73
Calcite	Calcium, aluminium carbonate hydroxyde hydrate	42-0592	$\text{Ca} \text{Al}_2 (\text{CO}_3)_2 (\text{OH})_4 3(\text{H}_2\text{O})$	36.12
Silice	Quartz	—	SiO_2	36.57
Silice	Quartz	—	SiO_2	39.58
Silice	Quartz	—	SiO_2	42.55
Illite	potassium, aluminium silicate hydroxyde	43.0685	$\text{K} \text{Al}_2 (\text{Si}_3, \text{Al}) \text{O}_{10} (\text{OH})_2$	43.46
Silice	Quartz	—	SiO_2	45.83
Calcite	Calcium, carbonate	47-1743	CaCO_3	47.51
Calcite	Calcium, aluminum carbonate hydroxide hydrate	42-0592	$\text{Ca} \text{Al}_2 (\text{CO}_3)_2 (\text{OH})_4 3(\text{H}_2\text{O})$	48.70
Silice	Quartz	—	SiO_2	50.11
Silice	Quartz	—	SiO_2	54.96
Illite	Manganèse Arsenate hydrate	35-0478	$\text{Mn}_3 (\text{As} \text{O}_4)_2 4\text{H}_2\text{O}$	55.27
Illite	Manganèse Arsenate hydrate	35-0478	$\text{Mn}_3 (\text{As} \text{O}_4)_2 4\text{H}_2\text{O}$	57.45
Silice	Quartz	—	SiO_2	59.94
Kaolinite	Aluminium silicate	02-0204	$(\text{Al}, \text{Si})_2 \text{Si}_2 (\text{O}, \text{OH})_9$	61.79
Silice	Quartz	—	SiO_2	64.78
Illite	Calcium, silicate. hydraté.	09-0454	$\text{Ca}_3 (\text{SiO}_3 \text{OH})_2 2(\text{H}_2\text{O})$	67.74
Silice	Quartz	—	SiO_2	68.19
Calcite	Calcium, carbonate	47-1743	CaCO_3	72.89
Silice	Quartz	—	SiO_2	73.48

	hydrate			
Silice	Quartz	—	SiO ₂	76.62
Illite	Potassium, Calcium Zinc aluminium silicate hydroxide	38-0371	K ₃ Ca ₂₈ Zn ₄ Al ₄ Si ₄ O ₁₁₂ (OH) ₁₆	77.69
Silice	Quartz	—	SiO ₂	79.89

Tableau. V.4. Différents propriétés des minéraux constituant l'échantillon N° :04

Elément	Nom de minéral	N° fiche ASTM	Formule chimique	2 θ(°)
Kaolinite	Kaolinite Aluminium-Silicate-Hydrate	02-0105	H ₄ Al ₂ Si ₂ O ₉	5,64
Kaolinite	Kaolinite ,Aluminim-Silicate-Hydroxide	14,0164	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	14,0164
Silice	Quartz		Si O ₂	17,75
Illite	Barium Uranyl Vanadium Oxide hydrate	21-0381	KO ₇ Al ₂ (Si, Al) ₄ O ₁₀	19,77
Silice	Quartz		Si O ₂	20,89
Illite	Copper Aluminium Antimony Oxide Hydrate	35-0507	Cu ₁₀ Al ₄ Sb ₆ O ₂₅ 25H ₂ O	23,09
Illite	Lead Carbonate Sulfate Hydroxide	35,0617	Pb ₄ (SO ₄)(CO ₃)(OH) ₂	24,9
Silice	Quartz		Si O ₂	26,74
Calcite	Calcium carbonate	47-1743	CaCO ₃	23,05
Illite	Manganèse Arsenite Hydrate		Mn ₃ (AsO ₄) ₂ 4(H ₂ O)	35,15
Illite	Potassium Ammonium Silicon Oxide Hydroxide	46-1344	[(NH ₄)K](SiAl) ₄ Al ₂ O ₁₀ (OH) ₂	36,04
Silice	Quartz		Si O ₂	36,57
Silice	Quartz		Si O ₂	39,58
Illite	Sodium Aluminium Silicate Hydroxide	25-0001	(Na,K) _{1-x} (Al,Mg,Fe) ₂ (Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂	40,32
Silice	Quartz		Si O ₂	42,42
Illite	Molybdenum Oxide Hydrate	39-0363	MOO ₃ 2H ₂ O	43,32
Silice	Quartz		Si O ₂	45,83
Calcite	Calcium Manganèse Carbonate	02-0679	(Ca,Mn) CO ₃	47,51
Calcite	Calcium Carbonate	05-0586	CaCO ₃	48,51
Silice	Quartz		Si O ₂	50,11
Silice	Quartz		Si O ₂	54,53
Illite	Calcium Silicate Hydroxide Hydrate	29-0330	Ca ₃ (Si ,O ₃ ,OH) ₂ 2H ₂ O	57,51
Silice	Quartz		Si O ₂	59,94
Kaolinite	Aluminium Silicate Hydroxide	14-0164	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	61,62
Silice	Quartz		Si O ₂	64,08
Calcite	Calcium Carbonate	04-0636	CaCO ₃	64,73
Illite	Calcium Silicate Hydrate	09-0454	Ca ₃ (SiO ₃ OH) ₂ ?2H ₂ O	67,74
Silice	Quartz		Si O ₂	68,16
Illite	Sodium Aluminium Silicate Hydroxide	25-0001	(Na,K) _{1-x} (Al,Mg,Fe) ₂ (Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂	70,42
Silice	Quartz		Si O ₂	73,48

Calcite	Calcium Carbonate Hydrate		CaCO ₃	75.86
Silice	Quartz		Si O ₂	76,32
Silice	Quartz		Si O ₂	79.89

V.1.4. Interprétation des spectres DRX

Selon les fiches de référence **ASTM**, les pics des quartes échantillons correspondant aux plans des silicates d'alumines hydratés, avec la présence de calcite et du Quartz.

- Les figures (Fig.V.3). (Fig.V.4) ; (Fig.V.5) ; (Fig.V.6) ; (Fig.V.7). représentent les spectres de diffraction sur les poudres des échantillons (1.2.3.4).
- Selon la figure (Fig.V.7) on remarque que les spectres de diffraction des échantillons (1.3. et 4), sont presque identiques, par contre le spectre de diffraction de l'échantillon 2 (couleur rouge) est dissemblable.
- Le spectre de diffraction au rayon x de l'échantillon (01) (Fig.V.3), montre des pics de diffraction situés entre $2\theta = 5.64^\circ$ et $2\theta = 79.89^\circ$. Ces pics correspondent selon la fiche ASTM aux plans des silicates d'alumines hydratés (argiles) : kaolinites, Illites avec la présence du Quartz et de Calcite voir (Tab.V.1).
- Le spectre de diffraction au rayon x de l'échantillon (02) (Fig.V.4) illustre des pics de diffraction situés entre $2\theta = 6.09^\circ$ et $2\theta = 77.10^\circ$. Ces pics correspondent selon la fiche ASTM aux plans des silicates d'alumines hydratés (argiles) : Chlorites, Montmorillonites, Illites avec la présence du Quartz et de Calcite voir (Tab.V.2).
- Le spectre de diffraction au rayon x de l'échantillon (03) (Fig.V.5) représente des pics de diffraction situés entre $2\theta = 12.34^\circ$ et $2\theta = 79.89^\circ$. Ces pics correspondent selon la fiche ASTM aux plans des silicates d'alumines hydratés (argiles) : kaolinites, Illites, vermiculites et, avec la présence du Quartz et de Calcite voir (Tab.V.3).
- Le spectre de diffraction au rayon x de l'échantillon (04) (Fig.V.6) présente des pics de diffraction situés entre $2\theta = 5.64^\circ$ et $2\theta = 79.89^\circ$. Ces pics correspondent selon la fiche ASTM aux plans des silicates d'alumines hydratés (argiles) : kaolinites, Illites et, avec la présence du Quartz et de Calcite voir (Tab.V.4).
- Donc la présence de montmorillonite, explique le fort gonflement dans l'échantillon n°02.

Conclusion

La diffractométrie au rayon X donnent , la nature des minéraux argileux qui caractérises le glissement de terrain du versant sud du Djebel El Kantour . Cette indication semi quantitative est en fonction de la hauteur des pics et de leurs surface. Ces pics correspondant selon la fiche **ASTM** aux plan des silicates d'alumines hydratés (argiles), kaolinites , Illites , Chlorites , Montmorillonites, Vermiculites avec la présence du Quartz et de Calcite) .

La diffractométrie au rayon X permet aussi de reconnaître des produits ayant la même composition chimique brute, mais une forme de cristallisation différente.

Chapitre : VI

Caractéristiques des argiles

Introduction

Le terme "Argile" vient du latin *argilla*, emprunt probable au grec. Il pose un problème terminologique avec trois sens différents. L'argile granulométrique : éléments $< 2\mu$, comprend des minéraux et divers débris de minéraux pulvérisés de taille micrométrique. De manière générale c'est une définition en fonction de la dimensions, toute particule $< 2\mu$.

Les roches argileuses (sens pétrographique) : Une argile est une roche formée d'un ou plusieurs minéraux argileux, auquel s'associent d'autres minéraux.

Les minéraux argileux (sens minéralogique) : Les argiles sont des silicates hydratés d'alumines. La formule générale $\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n(\text{H}_2\text{O})$, comprenant souvent des alcalins, des alcalino-ferreux (Ca^{++}) et de fer. Ils présentent une structure en feuillets ou phylliteuse d'où leurs nom de phyllosilicates.

- La genèse des argiles obéit(cède) à trois mécanismes principaux :

- **Héritage** (local ou déplacé) à partir des silicates assemblés en roches et arrivés en surface par le jeu de la tectonique : granites, gneiss, micaschistes, schistes, laves, puis feldspaths et micas, Transformation (deuxième génération, nouveau statut en équilibre avec le nouveau milieu, aggradation ou dégradation)

- **Néoformation** ou authigénèse : On peut ajouter la diagénèse, et le métamorphisme. L'argile n'existe pas : Grâce à des processus physico-chimique (PH, T, Pression). Il ya une néoformation d'un type d'argile.

- **Transformation** : d'une argile a une autre.

VI.1 . Minéralogie des argiles

Le motifs élémentaire des silicates (qui représentent 95% des minéraux de la croute terrestre)est le tétraèdre $(\text{SiO}_4)^{-4}$, comportant un atome de (Si) au centre et des atomes(o) aux quatre sommets. Ces tétraèdres sont reliées entre eux soit par des cations, soit en partie par des atomes d'oxygènes (o). Les liaisons entre (Si) et (o) sont 50 % ionique c'est-à-dire { attraction d'un atome électropositif (cation +) et d'un atome électronégatifs (anion -) }, et 50 % covalentes c'est-à-dire { union de deux atomes de même nature }.

Les argiles sont des silicates hydratés d'alumines ou phyllosilicates hydratés, ce présentent en de très petites cristaux (quelques μ) en forme hexagonale ou parfois en fibres.

La structure des phyllosilicates(disposition des couches) reflète la texture particulière de ces minéraux. Chaque phyllite est formé de quelques dizaines ou centaines de feuillets ;la structure des feuillets détermine celle des minéraux.

Cette structure est caractérisée par la superposition de feuillets composés de couches tétraédriques (te) et des couches octaédriques (oc).Les minéraux argileux présentent une particularité importante : ils sont constitués par l'empilement de 3,ou 6 couches d'oxygène.

Chaque empilement forme un feuillet élémentaire ;c'est un constituant stable. Les catins (Si, Al ...) se situent dans es cavités tétraédriques ou octaédriques. Chaque feuillets d'argile renferme 2 ou 3 couches (soit octaédriques soit tétraédriques).

- Ainsi se distinguent les argiles de type (feuille) :

Te – oc (1 couche tétraédrique + 1 couche octaédrique).

Te – oc – te (1 couche tétraédrique + 1 couche octaédrique + 1 couche tétraédrique).

Chaque feuillet d'argile se caractérise aussi par la distance interfoliaire exprimé en Å° (l'épaisseur d'un ensemble (te – oc ou te – oc – te) + l'espace interfoliaire .

a- Le tétraèdre de silice SiO₄ (Te)

Quatre (4) atomes d'oxygène disposés au sommet d'un tétraèdre régulier enserrant un atome de silicium. Les tétraèdres se combinent entre eux pour former des couches planes dites couches tétraédriques (Fig. VI.1).

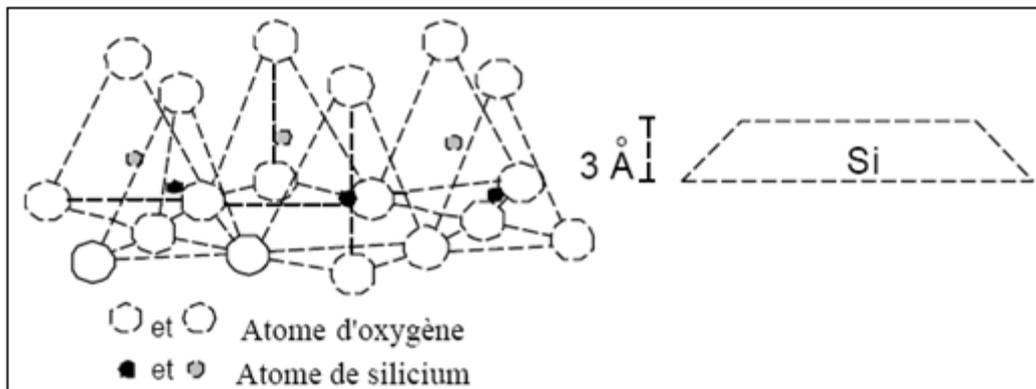


Fig. VI.1: Couche tétraédrique

b- L'octaèdre d'alumine Al₂(OH)₆ et éventuellement de magnésium : Mg₃(OH)₆ (Oc)

Six(6) ions hydroxydes enserrant un atome d'aluminium ou de magnésium. Les octaèdres se combinent également pour former des couches planes dites couches octaédriques (Fig. VI.2).

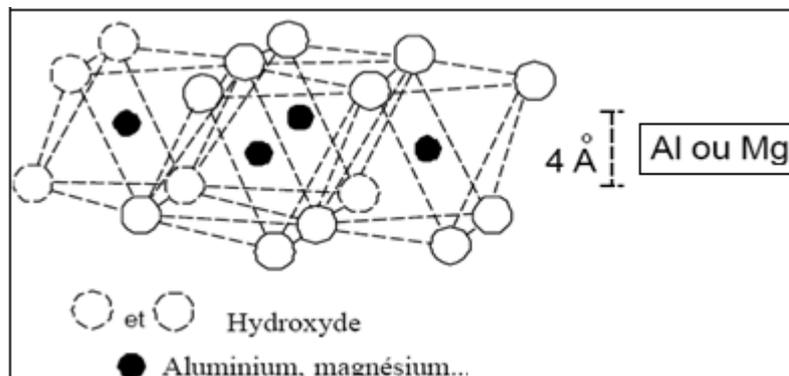


Fig. VI.2. Couche octaédrique et notation

c)Types d'argile

Les types d'argile les plus couramment rencontrés sont la kaolinite, l'illite, et la montmorillonite. Nous les décrivons dans la suite avant de préciser les différents mécanismes de gonflement .

- **La montmorillonite $(\text{OH})_4 \text{Si}_8 (\text{Al}_{10/3}, \text{Mg}_{2/3}) \text{O}_{20}, n\text{H}_2\text{O}$**

Le feuillet élémentaire est composé comme pour l'illite, d'une couche d'alumine comprise entre deux couches de silice. Un ion Al^{3+} est remplacé par un ion Mg^{2+} dans les couches d'alumine. Le déficit de charge qui en résulte est équilibré par des ions Ca^{2+} (montmorillonite calcique) ou par des ions Na^+ (montmorillonite sodique),(Fig .VI.3).

La valence des ions sodium étant plus faible que celles des ions calcium, c'est la montmorillonite sodique qui aura la plus grande surface spécifique et la plus grande C.E.C. Les liaisons entre feuillets étant très faibles, ces argiles sont très sensibles à la teneur en eau et ont un fort potentiel de gonflement. L'épaisseur d'une particule de montmorillonite peut être très faible puisque, contrairement aux autres argiles, on peut isoler un feuillet élémentaire. La montmorillonite fait partie de la famille plus générale des smectites définies comme les "argiles gonflantes" .

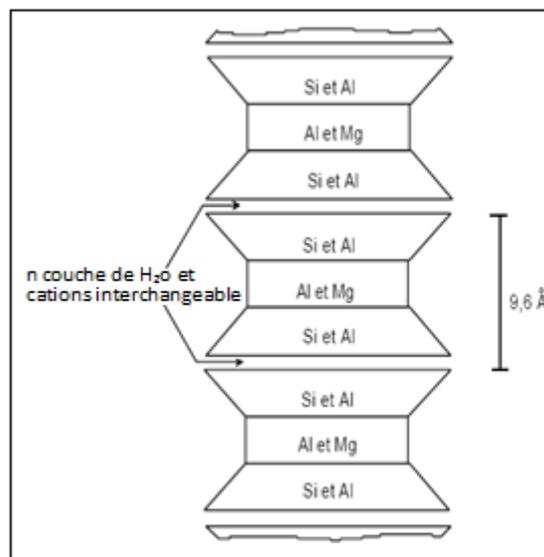


Fig .VI.3. Schéma de la particule de montmorillonite

- **L'illite $(\text{K}, \text{H}_2\text{O})_2 \text{Si}_8 (\text{Al}, \text{Fe}, \text{Mg})_{4,6} \text{O}_{20} (\text{OH})_4$**

Le feuillet élémentaire est composé d'une couche d'alumine comprise entre deux couches de silice (Fig.VI.4). Dans les couches de silice, un ion Si^{4+} sur quatre est remplacé par un ion Al^{3+} . Le déficit de charge qui en résulte est compensé par les ions potassium K^+ qui assurent des liaisons assez fortes entre les feuillets. La particule d'illite comportera, par exemple, une dizaine de feuillets et pourra avoir une épaisseur de quelques centièmes de micromètres. L'espace créé à l'intérieur du feuillet de silice est occupé par un ion K^+ qui, par sa présence, induit un lien fort entre les couches .

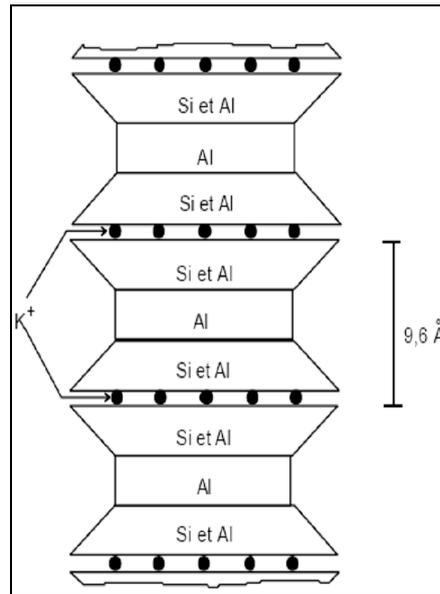


Fig .VI.4 .Schéma de la particule d'illite

- **La kaolinite** $(\text{Si}_4\text{O}_{10})\text{Al}_4(\text{OH})_8$

Le feuillet élémentaire est composé d'une couche de silice et d'une couche d'alumine. Entre différents feuillets de kaolinite, le contact se fait entre un plan contenant les ions hydroxyles OH^- de l'octaèdre, et celui contenant les ions d'oxygène O^{2-} du tétraèdre ; ce qui se traduit par un lien assez fort. Ainsi une particule de kaolinite sera constituée, par exemple, de quelques centaines de feuillets et pourra avoir une épaisseur de quelques dizaines de micromètres.(Fig .VI.5).

Ces particules sont stables et leur structure élémentaire n'est pas affectée par la présence d'eau.

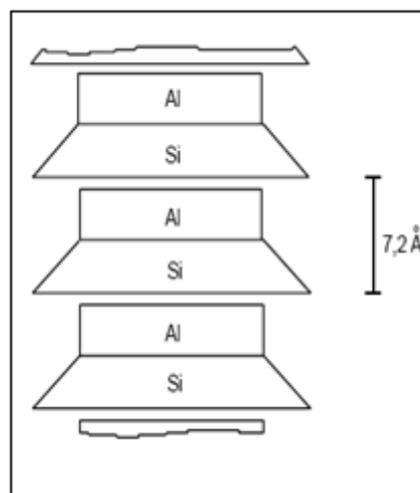


Fig .VI.5.Schéma de la particule de kaolinite

- **Les chlorites (OH) 4 (Si Al)₈ (Mg, Fe) 6O₂₀**

Il est nécessaire de citer les chlorites du fait que leurs propriétés se rapprochent de celles des argiles. Leur structure est cependant plus complexe, et se compose de deux feuillets de micas entre lesquels s'insère un feuillet de brucite. En fait, le déficit du feuillet de mica est rarement comblé par le feuillet de brucite et des cations interchangeables se logent dans les espaces créés au sein du feuillet de mica. De l'eau peut alors pénétrer entre les feuillets, provoquant ainsi un accroissement de l'interdistance et donc un gonflement. (Fig. VI.6).

Cependant, les édifices de brucite tendent à coller les feuillets les uns aux autres et donnent ainsi aux chlorites une certaine cohésion, contrairement aux feuillets des minéraux argileux, qui sont libres de glisser les uns par rapport aux autres.

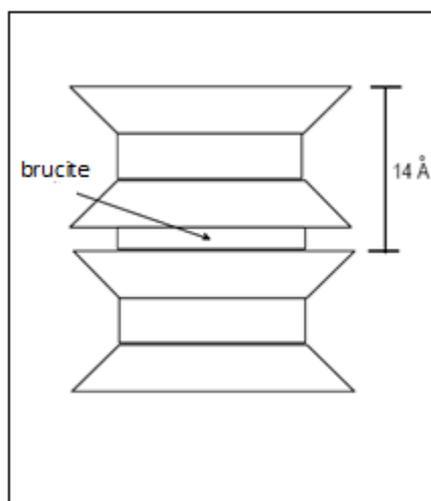


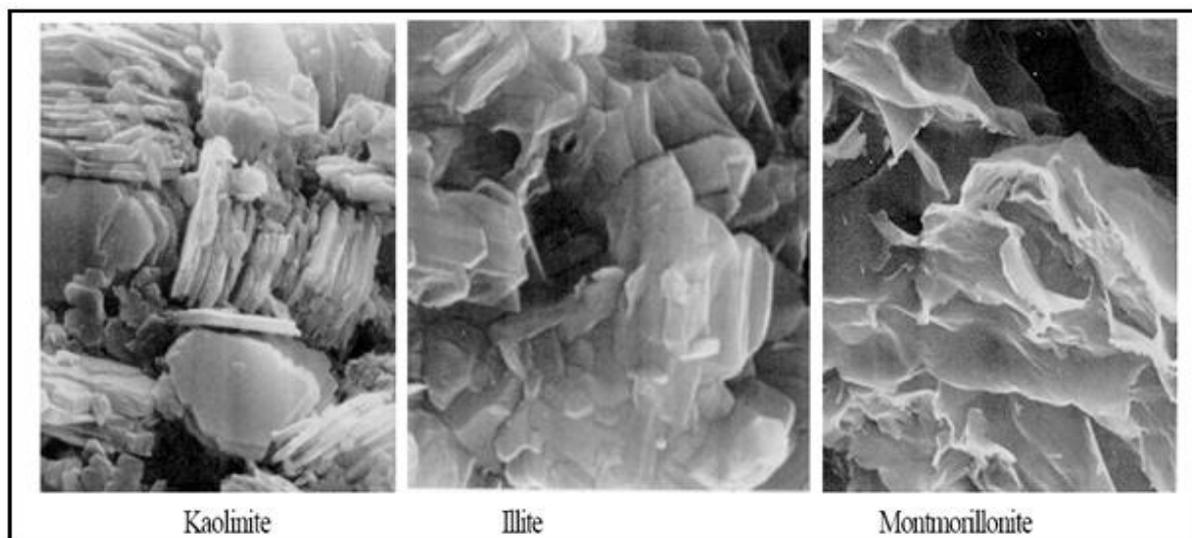
Fig .VI.6.Schéma de la particule de chlorite

- Les caractéristiques de ces argiles sont résumées dans le tableau ci dessous :

Tableau .VI.1. Caractéristiques des argiles, Kaolinite, Illite et Montmorillonite.

Nom	Type	Nombre de feuillets par particule	Diamètre d'une particule (µm)	Epaisseur d'une particule (µm)
Kaolinite	1:1	100 - 200	0,1 - 4	1 - 10
Illite	2:1	1 - 10	0,1 - 1	0,003 – 0,01
Montmorillonite (smectite)	2:1	1	0,1	0,001
Chlorite	2:1:1	1	0,1	0,005

- La Figure ci-dessous (VI.1) présente des Photographies de ces argiles prises au microscope électronique à balayage.



*Photo.VI.1. Microscope Electronique à Balayage des argiles
(Mitchell, 1976)*

- **Les interstratifiés**

Il existe bien entendu des minéraux interstratifiés, formés d'un empilement régulier ou irrégulier de feuillets de deux types différents. Lorsque l'un des feuillets est de type smectite, le comportement peut s'avérer gonflant. C'est le cas de la corrensite, la tosudite, la kaolinite-montmorillonite, la saponite-chlorite, la montmorillonite-mica, l'illite-montmorillonite. Le rappel de ces quelques données permet de souligner la complexité de la minéralogie des argiles et de mettre en évidence le caractère original des smectites .

VI.2. Gonflement interfoliaire et interparticulaire

L'analyse minéralogique précédente montre que certaines argiles, pour lesquelles les liaisons interfeuillets sont très faibles, ont la propriété de fixer les molécules d'eau entre deux feuillets voisins (c'est le cas de smectites telles que la montmorillonite, et de certaines chlorites). L'eau pénètre à l'intérieur des particules et s'organise en couches monomoléculaires, il s'agit alors d'un gonflement intraparticulaire ou interfoliaire (Didier, 1972). Il intervient à l'échelle la plus petite de la structure argileuse mais peut présenter une ampleur très importante.

VI.2.2. Evolution de la texture au cours du gonflement

La variation de texture des sols au cours du gonflement peut être étudiée à l'aide de deux techniques complémentaires, la microscopie électronique à balayage (M.E.B.) et la porosimétrie par injection de mercure voir (Fig.VI.7). La microscopie électronique à balayage (M.E.B) permet de visualiser la texture des sols, donc d'obtenir des informations générales (arrangement des particules, estimation de rayons de pores, de tailles de particules, détermination de certains minéraux...) *Photo.(VI.2).*

La porosimétrie par injection de mercure permet de quantifier le réseau poreux par la mesure des rayons de pores. L'étude du réseau poreux est fondamentale puisque c'est la dilatation volumique qui cause le gonflement macroscopique.

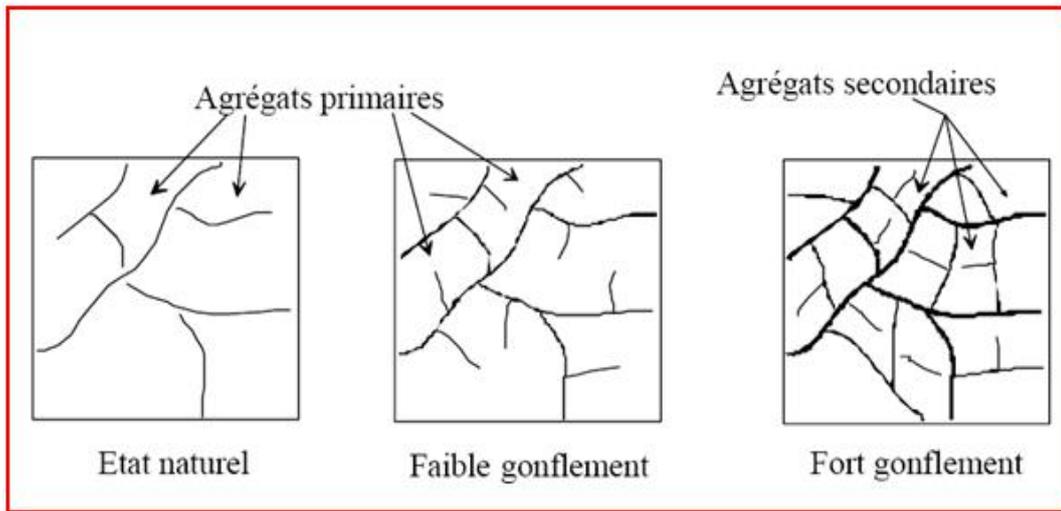


Fig .VI.7. Evolution de texture des sols au cours du gonflement- microscopie électrique à balayage (M.E.B)

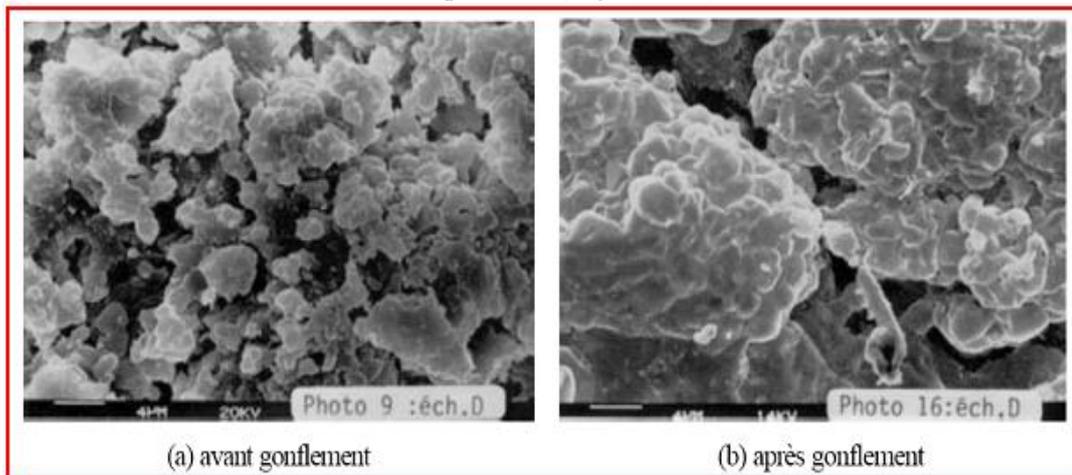


Photo .VI.2. Observation au MEB d'une texture argileuse (Troalen et al., 1984)

VI.2.3. Influence des sels (Gypse) sur le comportement physique des argiles :

Une grande attention a été accordée par de nombreux auteurs, au rôle joué par le gypse dans l'augmentation de conductivité hydraulique et la stabilité de la structure, lors de lessivage des sels solubles dans les sols salsodiques.

Le mécanisme invoqué est généralement d'ordre physico-chimique : il implique une augmentation de la conductivité en électrolyte et un phénomène d'échange. Cependant avant sa solubilisation dans le sol, le gypse aurait un effet défavorable sur la conductivité hydraulique en obturant (fermé, bouché) principalement les pores responsables de circulation de l'eau. (KEREN 1980).

L'absence d'adhésion des quasicristaux sur les cristaux de gypse explique la plus faible rétention de l'eau du mélange argile-gypse, par rapport au mélange calcite- argile.

- L'espace entre l'argile et le gypse doit permettre également la fissuration du matériau lors de la réhumectation. (ce qui permet la diminution des valeurs des densités).
- En effet, la présence d'un film d'eau entre le gypse et les quasicristaux constitue une zone de séparation préférentielle et donc de structuration préférentielle.
- Le taux de réhydratation des montmorillonites est levés avec la calcite et plus encore avec le gypse.

Les observations microscopiques aussi bien que l'examen du comportement hydrique, montrent que les relations calcite –argile, et gypse –argile sont fondamentalement différentes ; il y a lieu d'opposer l'action de cimentation du matériau pour la calcite, à celle qui conduit à l'écartement de la structure par le gypse. (Halitim 1983)

- L'anhydrite : $\text{SO}_4\text{Ca} + 2\text{H}_2\text{O} \text{ ----- } \text{SO}_4\text{Ca},2\text{H}_2\text{O}$ (gypse)

Conclusion

Les matériaux susceptibles de gonfler sous l'action de l'eau sont les sols argileux naturels, les marnes, les roches argileuses et les roches composées d'anhydrite. Le processus de gonflement interparticulaire met en jeu séparément ou de façon combinée des phénomènes physico-chimiques et mécaniques variés. Il dépend aussi de la texture du matériau, c'est-à-dire de l'organisation des plaquettes entre elles.

Le phénomène de gonflement, de même que le tassement, peut provenir d'une modification de l'état de contraintes dans le sol en présence d'eau. Il est donc important de rappeler les bases de la mécanique des sols appliquées à l'état de contraintes dans un sol.

Quatrième partie

Chapitre : VII

Caractéristique géotechnique de l'aire d'étude

Introduction

La géotechnique est l'ensemble des activités liées aux applications de la mécanique des sols, de la mécanique des roches et de la géologie de l'ingénieur. La mécanique des sols étudie plus particulièrement le comportement des sols sous leurs aspects de résistance et déformation.

A partir des essais de laboratoire et in situ de plus en plus perfectionnés, la mécanique des sols fournit aux constructeurs les données nécessaires pour étudier les ouvrages de génie civil et de bâtiment et assurer leurs stabilités en fonction des sols sur les quels ils doivent être fondés, ou avec les quels ils seront construits (ex. barrages en remblais) ; ceci tant durant la progression des travaux (grands terrassements) qu'après la mise en service des ouvrages.

Les domaines d'applications

La mécanique des sols joue un rôle essentiel dans l'acte de construire pour tous les travaux de bâtiment et de génie civil en relation avec les sols.

- La stabilité des pentes naturelles et des talus et les travaux de stabilisation.
- L'amélioration et le renforcement des sols.
- Les ouvrages de soutènement (murs, rideaux de palplanches,...etc).
- Les tunnels et travaux souterrains .
- Les barrages et digues en terre.
- Les fondations des bâtiments, des ouvrages d'art, des ensembles industriels,..... etc.

VII.1. Les essais de laboratoire

VII.1.1. Résultats des essais d'identification

Les essais physiques ont pour but, la détermination des caractéristiques physiques des sols, telles que : la répartition granulométrique des grains, le poids volumique, les densités, la teneur en eau, les limites d'Atterberg,... etc. Ces essais permettent aussi de préciser la nature du sol, sa structure, et les propriétés physico-chimiques.

VII.1.1.1. Analyse granulométrique

Il existe plusieurs méthodes pour déterminer la granulométrie d'un matériau. Elles sont fonction de la nature du matériau et de la fraction granulométrique que l'on désire analyser. Il est extrêmement important de rappeler que la détermination de la granulométrie d'un matériau donné doit absolument être faite à partir d'un échantillon représentatif.

L'essai de tamisage (*Photo. VII .1*) est en général effectué sur un matériau parfaitement sec, car la présence de traces d'eau peut fausser les résultats, l'eau favorisant l'agglomération des particules fines. Il existe cependant un cas où le tamisage doit se faire par lavage à l'eau, c'est le cas du tamisage au tamis de 80 μm (Norme NF P94-056) ou 0,063 μm (Norme EN 933-1 et 2). En effet, ce tamis qui est très fin se colmate facilement et, comme leur inertie est faible, les particules peuvent avoir une difficulté à traverser les mailles du tamis.

VII.1.1.1.1. Notions dérivées des résultats de l'analyse granulométrique

- Coefficient d'uniformité (coefficient de Hazen) C_U :

Pour caractériser d'une façon quantitative et non pas seulement qualitatif l'étalement d'une courbe granulométrique, on définit le coefficient d'uniformité C_U du matériau granulaire. Ce coefficient d'uniformité fait appel à la notion de diamètre efficace D_{10} qui correspond au diamètre des particules pour lesquelles on a un pourcentage de tamisats cumulés égal à 10%. En d'autres termes, il y a 10% de particules de diamètre inférieur au diamètre efficace D_{10} , et 90% de particules de diamètre supérieur. Le coefficient de Hazen est défini par la relation suivante :

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

D'après la valeur du coefficient d'uniformité, on peut classer les matériaux granulaires en cinq catégories:

$C_U \leq 2$: granulométrie très serrée
$2 < C_U \leq 5$: granulométrie serrée
$5 < C_U \leq 20$: granulométrie semi-étalée
$20 < C_U \leq 200$: granulométrie étalée
$200 < C_U$: granulométrie très étalée

- Coefficient de courbure C_c :

Le coefficient de courbure ou facteur de courbure d'un sol est donné par la relation suivante :

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

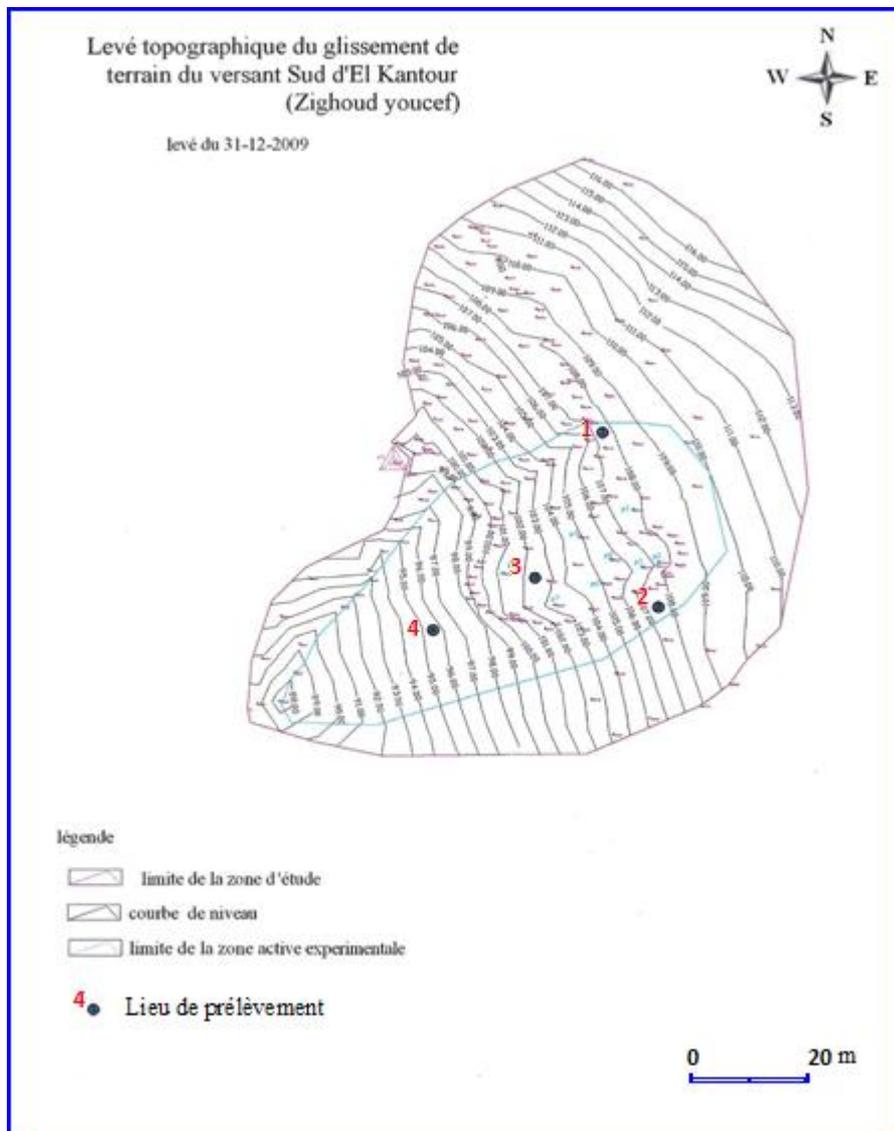
C_u et C_c sont deux paramètres utilisés pour caractériser l'allure de la courbe granulométrique d'un matériau granulaire. Lorsque $C_u > 5$ et $1 < C_c < 3$, le sol est dit bien gradué.

D_{10} , D_{30} et D_{60} étant respectivement les diamètres correspondant à 10%, 30% et 60% d'éléments de dimension inférieure (Hubert et al. 2003).



Photo. VII.1. Appareillage pour essai de l'analyse granulométrique.

Remarque : Un matériau comportant peu des particules fines est généralement caractérisé par un C_c supérieur à 1, alors qu'un matériau ayant une granulométrie étalée régulièrement aura un C_c de 0.5 environ.



*Fig .VII.1. Localisation des échantillons prélevés (31-12-2009) :
Glissement du terrain du versant sud d'El Kantour*

Les résultats des essais granulométrique des échantillons prélevés le 31/12/ 2009 (Fig.VII.1) et réalisés au laboratoire de génie géologie de l'université de Jijel sont récapitulés dans les Tableaux VII.1, VII.2, VII.3, VII.4 et VII.5.

Tableau. VII.1. Pourcentages des passants à différents diamètres des échantillons prélevés :

Echantillons		1	2	3	4
Profondeur (m)		00.00 – 01.50	00.00 – 01.50	00.00 – 01.50	00.00 – 01.50
% des passants à :	5 mm	100%	100	98.175	100
	80 µm	88.96%	83.92	49.12	81.66

Tab. VII.2. Analyse Granulométrique pour l'échantillon N° 01

Echantillon	Dimension Tamis (mm)	Poids des Refus partiels	Poids des Refus Cumulés	% des Refus Cumulés	Complément à 100 des Cumulés
01	0.16	18.14	18.14	2.27	97.73
	0.125	24.12	42.26	5.28	94.72
	0.1	12.54	54.80	6.85	93.15
	0.08	33.54	88.34	11.04	88.96

Tableau. VII.3. Analyse Granulométrique pour l'échantillon° 02

Echantillon	Dimension Tamis (mm)	Poids des Refus partiels	Poids des Refus Cumulés	% des Refus Cumulés	Complément à 100 des Cumulés
02	0.16	28.16	28.16	3.52	96.84
	0.125	19.72	47.88	5.96	94.02
	0.1	36.22	84.10	10.51	89.49
	0.08	44.57	128.67	16.08	83.92

Tableau. VII.4. Analyse Granulométrique pour l'échantillon 03

Echantillon	Dimension Tamis (mm)	Poids des Refus partiels	Poids des Refus Cumulés	% des Refus Cumulés	Complément à 100 des Cumulés
03	5	14.60	14.60	1.825	98.175
	4	06.62	21.22	2.652	97.348
	3.15	10.19	31.41	3.926	96.074
	2.5	08.40	39.81	4.976	95.024
	2	11.69	51.50	6.437	93.563
	1.6	15.89	67.39	8.423	91.577
	1.25	27.45	94.93	11.866	88.134
	1	41.91	136.84	17.105	82.895
	0.8	55.28	192.12	24.015	75.989
	0.63	54.26	246.38	30.797	69.203
	0.5	34.91	281.29	35.161	64.839
	0.4	15.39	296.68	37.085	62.915
	0.25	25.12	321.80	40.225	59.775
	0.2	12.81	334.61	41.826	58.174
	0.16	12.72	347.33	43.416	56.584
	0.125	21.50	368.83	46.104	53.896
0.1	16.59	385.42	48.177	51.823	
0.08	21.62	407.04	50.880	49.120	

Tableau. VII.5. Analyse Granulométrique pour l'échantillon N°04

Echantillon	Dimension Tamis (mm)	Poids des Refus partiels	Poids des Refus Cumulés	% des Refus Cumulés	Complément à 100 des Cumulés
04	0.16	22.31	22.31	2.79	97.21
	0.125	38.73	61.04	7.63	92.37
	0.1	51.82	112.86	14.11	85.89
	0.08	33.86	146.72	18.34	81.66

Généralement, il est plus commode de représenter les résultats de l'analyse granulométrique sous forme graphique. En l'occurrence, on porte les résultats sur un graphique semi-logarithmique. La présentation graphique des résultats des essais granulométrique est donnée dans les Planches VII.1, VII.2, VII.3et VII.4.

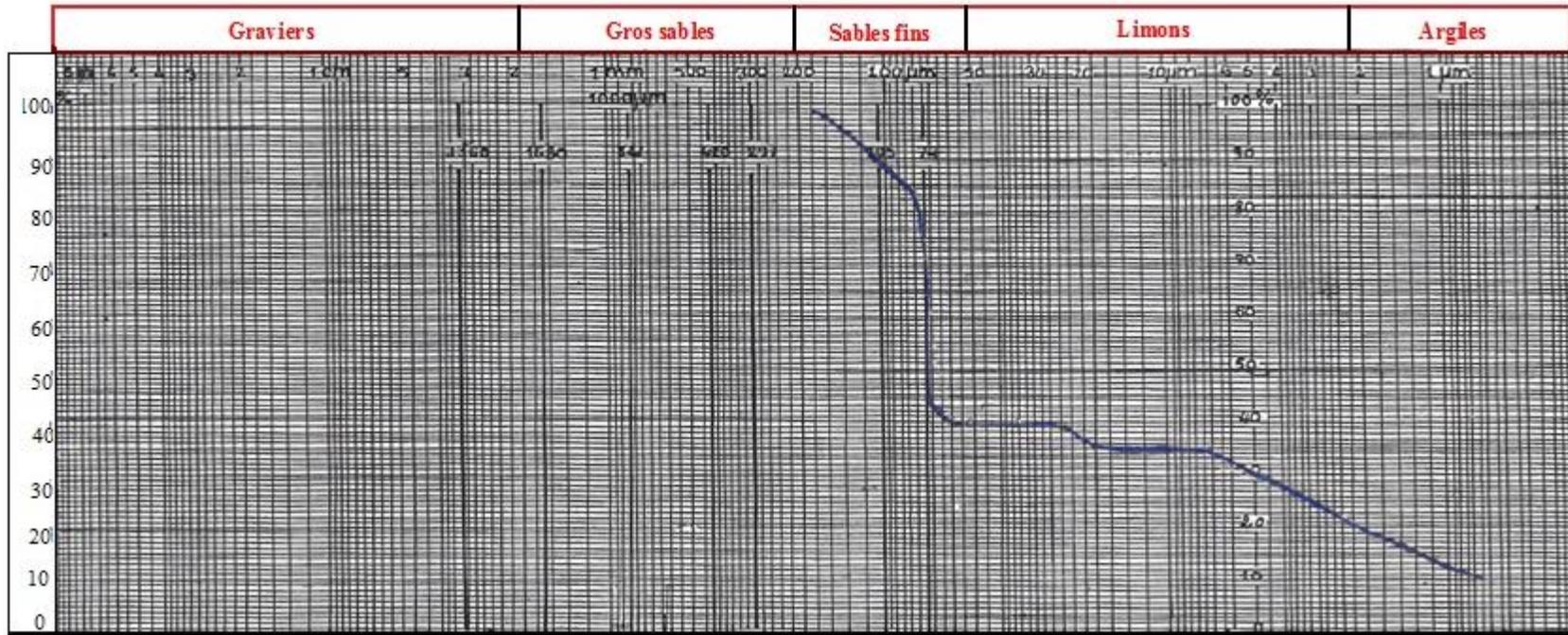


Planche. VII.2 . Courbe granulométrique obtenue à partir de l'échantillon N°2

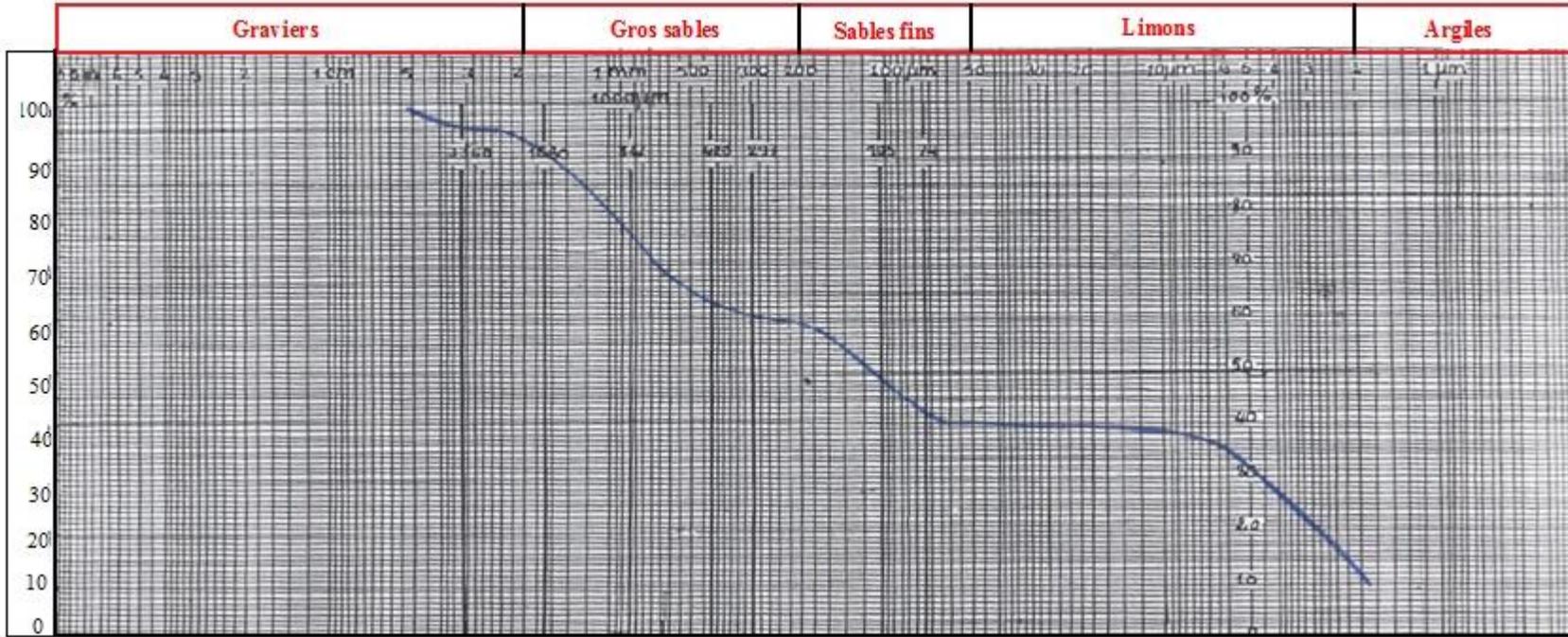


Planche. VII.3 . Courbe granulométrique obtenue à partir de l'échantillon N°3

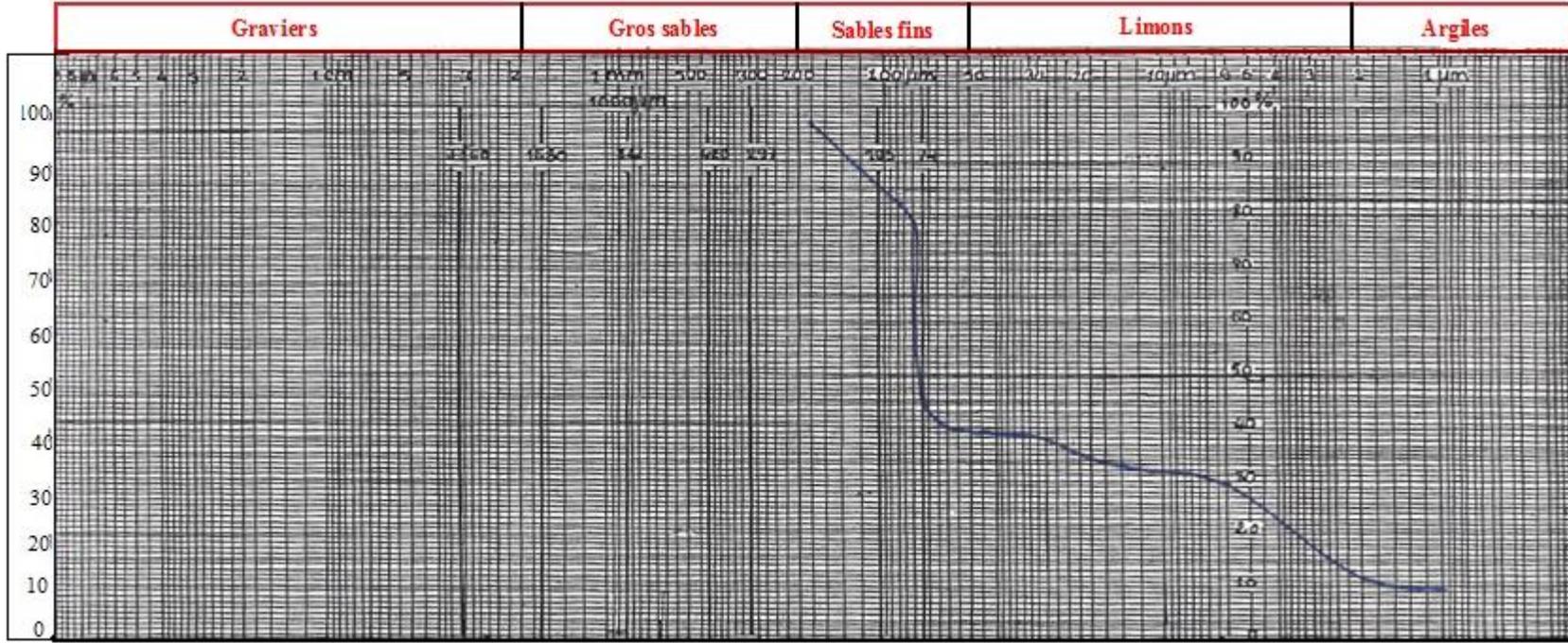


Planche. VII.4 . Courbe granulométrique obtenue à partir de l'échantillon N°4

VII.1.1.1.2. Paramètres de l'analyse granulométrique :**- Echantillon N°1 :**a) Coefficient de courbure C_c :

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} = C_c = \frac{(6)^2}{1 \times 70} = 0.514$$

b) Coefficient d'uniformité C_u :

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{70}{1} = 70$$

D'après la valeur de coefficient d'uniformité de l'échantillon N°1, la granulométrie du sol est dite étalée.

- Echantillon N°2 :a) Coefficient de courbure C_c :

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} = C_c = \frac{(5)^2}{1 \times 75} = 0.330$$

b) Coefficient d'uniformité C_u :

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{75}{1} = 75$$

D'après la valeur de coefficient d'uniformité de l'échantillon N°2, la granulométrie du sol est dite étalée.

- Echantillon N°3 :a) Coefficient de courbure C_c :

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} = C_c = \frac{(5)^2}{2 \times 300} = 0.042$$

b) Coefficient d'uniformité C_u :

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{300}{2} = 150$$

D'après la valeur de coefficient d'uniformité de l'échantillon N°3, la granulométrie du sol est dite étalée.

- Echantillon N°4 :a) Coefficient de courbure C_c :

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} = C_c = \frac{(6)^2}{2 \times 80} = 0.225$$

b) Coefficient d'uniformité : C_u

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{80}{2} = 40$$

D'après la valeur de coefficient d'uniformité de l'échantillon N°04, la granulométrie du sol est dite étalée.

Le *Tableau. VII.6* regroupe les paramètres granulométriques des quatre échantillons testés.

Tableau. VII.6. Coefficients de courbure et d'uniformité des échantillons prélevés.

Echantillon Coefficient	01	02	03	04
Coefficient de courbure : C_c	0.514	0.33	0.042	0.225
Coefficient d'uniformité : C_u	70	75	150	40

▪ **Interprétation des résultats granulométriques :**

D'après les valeurs des coefficients d'uniformités C_u et, de courbures C_c des échantillons prélevés, le sol étudié présente une granulométrie étalée.

Les sédiments de gros sables et graviers sont plus stables lorsqu'ils sont secs, par contre les sédiments fins, notamment les silts et les argiles représentent souvent les zones d'instabilité surtout en présence d'eau.

Les résultats de l'analyse granulométrique et notamment l'interprétation des courbes granulométrique, montre que les sols constituant le terrain étudié sont classés comme sols fins, ces derniers sont liées à la présence des argiles donc largement disposés aux problèmes d'instabilité surtout les risques des mouvements de masses.

VII.1.1.2. Description et mesure des propriétés physiques des sols

Le système d'unités métriques utilisées est le S.I ⁽¹⁾ (Fig VII.2).

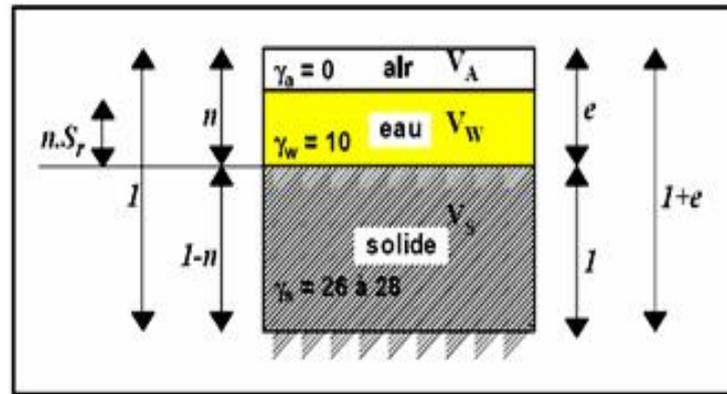


Fig .VII.2. Schéma simplifié des phases constitutives des sols

a) La teneur en eau (W)

La teneur en eau est supposée être la quantité d'eau dans les espaces entre les particules solides. Cette eau peut être éliminée par simple passage du sol dans une étuve à une température d'environ 105 à 110 C°. Elle est exprimée en pourcentage (%) de la masse spécifique du sol .

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

$$W_s : \text{ poids des grains solides dans l'échantillon.}$$

Le tableau ci-dessous donne une classification adoptée par FAER en fonction de la teneur en eau:

Tableau . VII.7. Paramètres d'identification de La teneur en eau.

W(%)	Etat
01-25 %	Légèrement humide
25-50 %	Humide
50-75 %	Mouillé
75-90 %	Détrempé
100 %	Saturé

Les résultats des essais de la teneur en eau effectués au niveau du site le 31/12/ 2009 et, réalisés au laboratoire de génie géologie de l'université de Jijel sont récapitulés dans le Tableau (VII.8) :

Tableau .VII.8. Résultats des essais de la teneur en eau des échantillons prélevés.

Échantillons	N°1	N°2	N°3	N°4
Teneur en eau W(%)	19.25	24.54	20.64	24.97

¹ Système international

Plus la teneur en eau naturels d'un sol est élevée, moins ses caractéristiques géotechniques sont bonnes.

Les valeurs de la teneur en eau représentées dans le (Tableau .VII.8) montrent que les sols des quatre échantillons pris au niveau de la zone de glissement de terrain (versant sud du Dj-El Kantour) sont caractérisés par un état légèrement humide.

Remarque : On peut même classifier (à titre indicatif) un sol en fonction de sa teneur en eau.

Tableau. VII.9.Nature lithologique du sol en fonction de la teneur en eau

Teneur en eau	%
Sable	2 à 15
Limon	10 à 30
Argile moyenne à raide	20 à 50
Argile molle	50 à 100
Vase et tourbe	80 à 300

VII.1.1.3. Les limites d'Atterberg

Lorsque la teneur en eau d'un sol varie, la consistance de ce sol peut évoluer dans de larges limites. Par convention, on définit les trois états suivants:

- Etat solide \Rightarrow a) sans retrait, b) avec retrait
- Etat plastique
- Etat liquide

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 au tamis de 0.5 mm (Habib, 1997). Selon les matériaux, les teneurs en eau limites qui séparent ces différents états varient largement. On peut donc utiliser les teneurs en eau qui marquent ces changements d'état pour identifier et comparer les différents sols. A noter que le passage d'un état à un autre ne se produit que progressivement dans un intervalle de teneurs en eau assez large voir (Fig.VII.3).

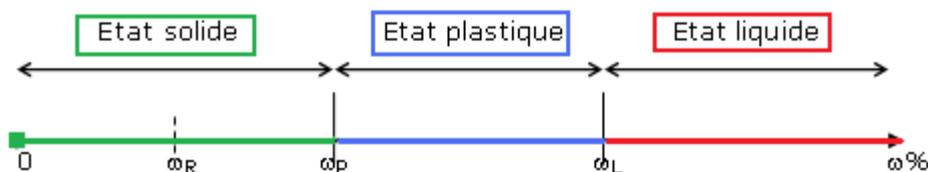


Fig. VII.3.Limites du retrait, de plasticité et de liquidité sur une échelle de teneur en eau.

- a) **La limite de liquidité w_L** est la teneur en eau d'une pâte remaniée du sol, exprimée en % de la masse sèche, au-dessus de laquelle cette pâte passe de l'état plastique à l'état liquide (Tableau. VII.10 et Photo.VII.2).

Tableau. VII.10. Limite de liquidité (w_L) des échantillons prélevés .

Echantillon	Profondeur(m)	W_L (%)
1	1.50	65.35
2	1.50	70.33
3	1.50	58.81
4	1.50	57.35

- b) **La limite de plasticité w_P** est la teneur en eau d'une pâte remaniée du sol, exprimée en % de la masse sèche, au-dessous de laquelle cette pâte passe de l'état plastique à l'état solide.(Tableau . VI.11). (Photo .VII.3) .



Photo. VII.2. Essai de la limite de liquidité à la boîte de Casagrande.

Tableau. VII.11. Limite de plasticité w_P des échantillons prélevés.

Echantillon	Profondeur(m)	W_P (%)
1	1,50	25,91
2	1,50	16,12
3	1,50	24,16
4	1,50	30,91



Photo .VII.3.Essai de la limite de plasticité.

c) **La limite de retrait** w_R est la teneur en eau exprimée en % de la masse sèche, au-dessous de laquelle un échantillon remanié de sol, moulé au voisinage de la limite de liquidité, et ne contenant plus d'air après moulage, cesse au cours du séchage de diminuer de volume. Cette limite marque le passage de l'état solide avec retrait à l'état solide sans retrait.

d) Indice de plasticité I_p :

Il permet de mesurer l'étendue du domaine de plasticité d'un sol (Costet et al. 1981). Cet indice est donné par la relation suivante :

$$I_p = W_L - W_p$$

Le Tableau VII.12 et VII.13 indiquent, à Titre indicatif, les degrés de plasticité des sols (FAER).

Tableau.VII.12. Paramètres d'indice de plasticité I_p des échantillons prélevés.

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

Tableau .VII.13. Indice de plasticité I_p des échantillons prélevés.

Echantillons	Profondeur (m)	I_p (%)
1	00.00 - 01.50	39,44
2	00.00 - 01.50	54,21
3	00.00 - 01.50	34,65
4	00.00- 01.50	26,44

e) Indice de consistance I_c

L'indice de consistance I_c est défini par (Hubert et al. 2003) :

$$I_c = W_L - W / I_p$$

Avec : W : teneur en eau du sol naturel

Tableau. VII.14. Indice de consistance I_c : des échantillons prélevés :

Echantillon	Profondeur(m)	I_c
1	1,50	1.17
2	1,50	0.85
3	1,50	1.10
4	1,50	1.22

f) Indice de liquidité I_L

Il est défini par la relation suivante (Hubert et al. 2003) :

$$I_L = W - W_p / I_p$$

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 LCPC des sols grenus et le diagramme de plasticité de Casagrande.

Les résultats des limites d'Atterberg obtenus pour les sols du site étudié sont récapitulés dans le *Tableau VII.15*.

Tableau. VII.15. Résultats des essais de limites d'Atterberg :

Echantillon	Profondeur (m)	W_L (%)	W_P (%)	I_p (%)	I_c	W (%)
1	1.50	65.35	25.91	39.44	1.17	66.73
2	1.50	70.33	16.12	54.21	0.85	70.16
3	1.50	58.81	24.16	34.65	1.10	61.00
4	1.50	57.35	30.91	26.44	1.22	56.55

La classification donnée par FAER et qui est basée sur l'indice de plasticité du sol (I_p) indique que les formations en place sont plastiques dont les valeurs de I_p allant de 26.44 à 54.21 %.

Après la réalisation des essais de limites d'Atterberg, on a reporté les valeurs de (W_L et I_p) des échantillons prélevés sur l'abaque de plasticité de Casagrande. On a remarqué que ces points (W_L - I_p) se situent au-dessus de la droite A : [$I_p = 0.73 (W_L - 20)$] ce qui nous montre qu'il s'agit des argiles plastiques à très plastiques (AT) voir (*Fig. VII.4*).

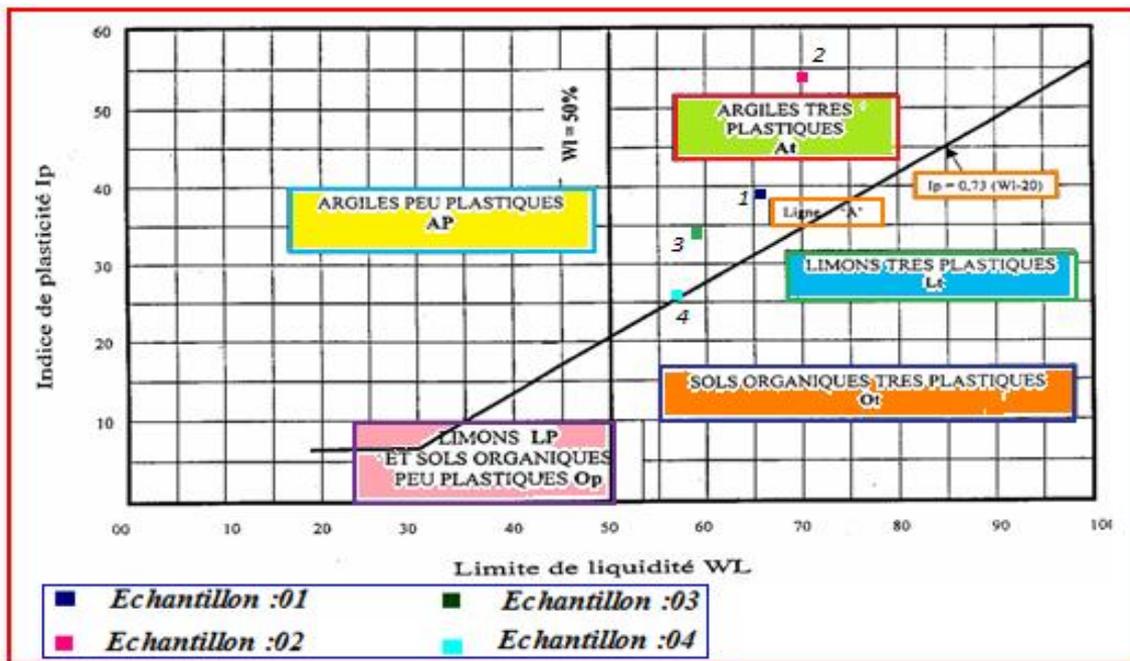


Fig.VII.4. Diagramme de Casagrande

Une classification peut être réalisé aussi suivant les valeurs de W_L , W_p et I_p en se basant sur le diagramme de Casagrande de classification des sols fins.

En reportant les résultats d'essais des sols étudiés sur le diagramme de Casagrande, on remarque que c'est une argile gonflante surtout pour les échantillons (1, 2 et 3) voir (Fig. VII.5).

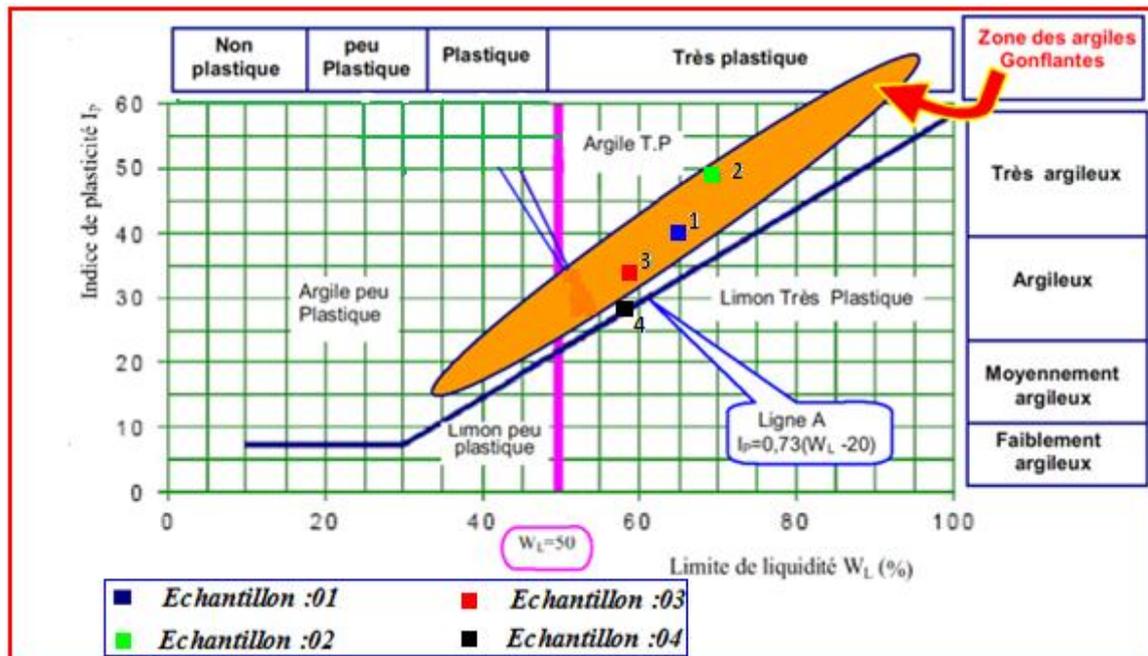


Fig. VII.5. Diagramme de Casagrand de classification des sols fin

Les résultats des essais de reconnaissances pour les quatre échantillons, permettent aussi de définir les types des argiles étudiées. D'après le diagramme de plasticité de Casagrande ci-dessous, les points représentatifs des sols étudiés sont localisés dans la zone des argiles de la famille d'illites et montmorillonites (Fig.VII.6).

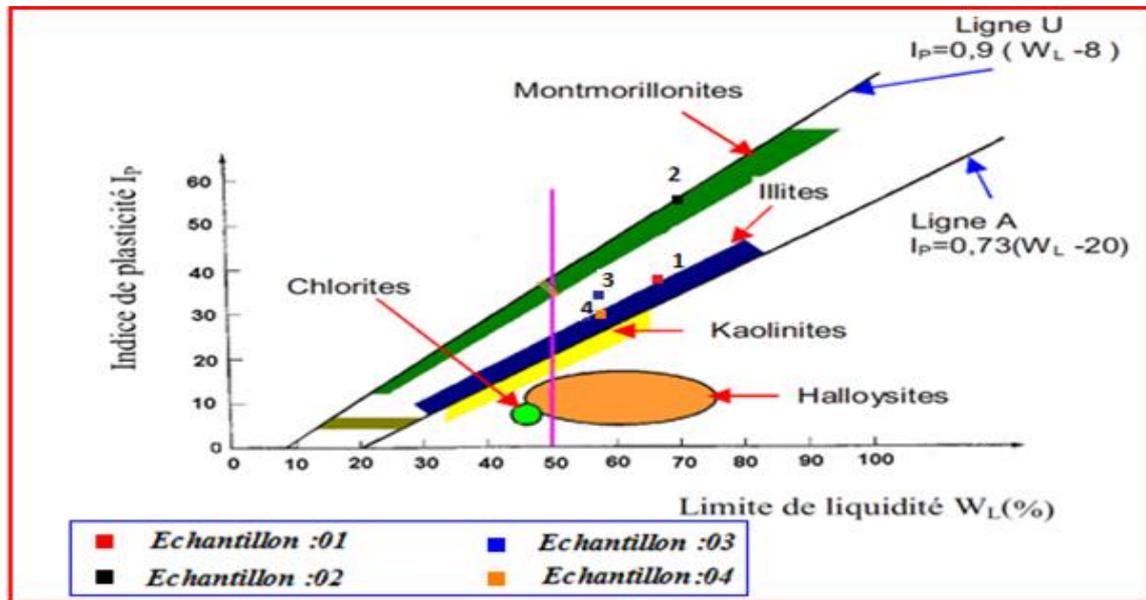


Fig. VII.6. Position des minéraux argileux les plus connus sur l'abaque de plasticité de Casagrande

g) Estimation du gonflement des sols

Selon les valeurs de l'indice de plasticité I_p , on peut évaluer le gonflement possible des sols. Souvent les sols gonflants ont un très grand indice de plasticité (Aoun, 2002) voir (Tableau.VII.16).

Tableau. VII.16. Paramètres d'indice de gonflement (Aoun, 2002).

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

Nous avons reporté au tableau ci-dessous les valeurs de I_p de chaque échantillon, avec estimation du gonflement potentiel du sol constituant le terrain :

Tableau.VII.17. Estimation du gonflement potentielle, et de degré de plasticité des échantillons prélevés.

Echantillons	Profondeur (m)	Ip (%)	Gonflement potentiel	Degré de plasticité
1	00.00 - 01.50	39,44	Elevé	Plastique
2	00.00 - 01.50	54,21	Elevé	Très plastique
3	00.00 - 01.50	34,65	Elevé	Plastique
4	00.00- 01.50	26,44	Elevé	Plastique

En général (Tableau VII.17), les sols du site étudié présentent un potentiel de gonflement élevé à très élever.

VII.1.1.4. La sédimentometrie (norme NF.P94-093) pour les sols fins

La sédimentometrie est un essai qui complète l'analyse granulométrique. On l'utilise pour les grains de dimensions comprises entre 100 μ et 1 μ .

L'essai consiste à laisser une suspension de sol se déposer au fond d'une éprouvette pleine d'eau, plus les grains sont fins, plus la vitesse de décantation est lente conformément à la loi de Stokes sur la vitesse de chute de billes sphériques dans l'eau d'après la formule suivante :

$$V = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{18\mu} D^2 \quad / \quad D = \sqrt{\frac{18\mu}{\gamma_s - \gamma_w} v}$$

Où :

V : la vitesse de décantation de la particule en cm /s

γ_s : poids spécifique des grains solides (kN/m³) .

γ_w : poids spécifique de liquide (kN/m³) .

μ : la viscosité du liquide (pa / s).

D : diamètre équivalent (en cm).

-Calcul des tamis cumulés : On exprime le pourcentage (P) des grains de diamètre inférieur à (D) qui sont encore en suspension à l'instant (t).

$$P = \frac{V \cdot \gamma_s \cdot Rc \cdot \gamma_w}{10 \cdot W \cdot (\gamma_s - \gamma_w)}$$

Où :

P: pourcentage des particules de diamètre inférieur ou égal à (D) par rapport à la masse de la prise d'essai à l'état sec.

V: volume de la suspension(2 litres) .

W: masse de sol sec mis en suspension et prélevé sur le tamisât à 80 μ (0.08kg).

Ys: poids volumique des particules solides ,valeurs conventionnel =2.7 g/cm³

Yw : poids volumique de l'eau (1 g/cm³)

Rc : lecture corrigé du nombre de division comptées entre la graduation 1.000,0 et la graduation d'affleurement.



Photo. VII.04. Appareillage pour essai de l'Analyse sédimentométrique.

Quatre essais de la sédimentométrie ont été effectués au laboratoire génie géologie (Université de Jijel) sur les échantillons prélevés au niveau du site du glissement de terrain du versant sud du Djebel El Kantour.

L'analyse sédimentométrique a été faite en deux étapes : l'essai proprement dit (*Photo.VII.4*), puis la confrontation des données de chaque échantillon avec des abaques de sédimentométrie (*Fig VII.7, VII.8 et VII.9*).

Les résultats d'essais de la sédimentométrie des échantillons prélevés, sont regroupés dans les Tableaux (*VII.18, VII.19, VII.20 et VII.21*).

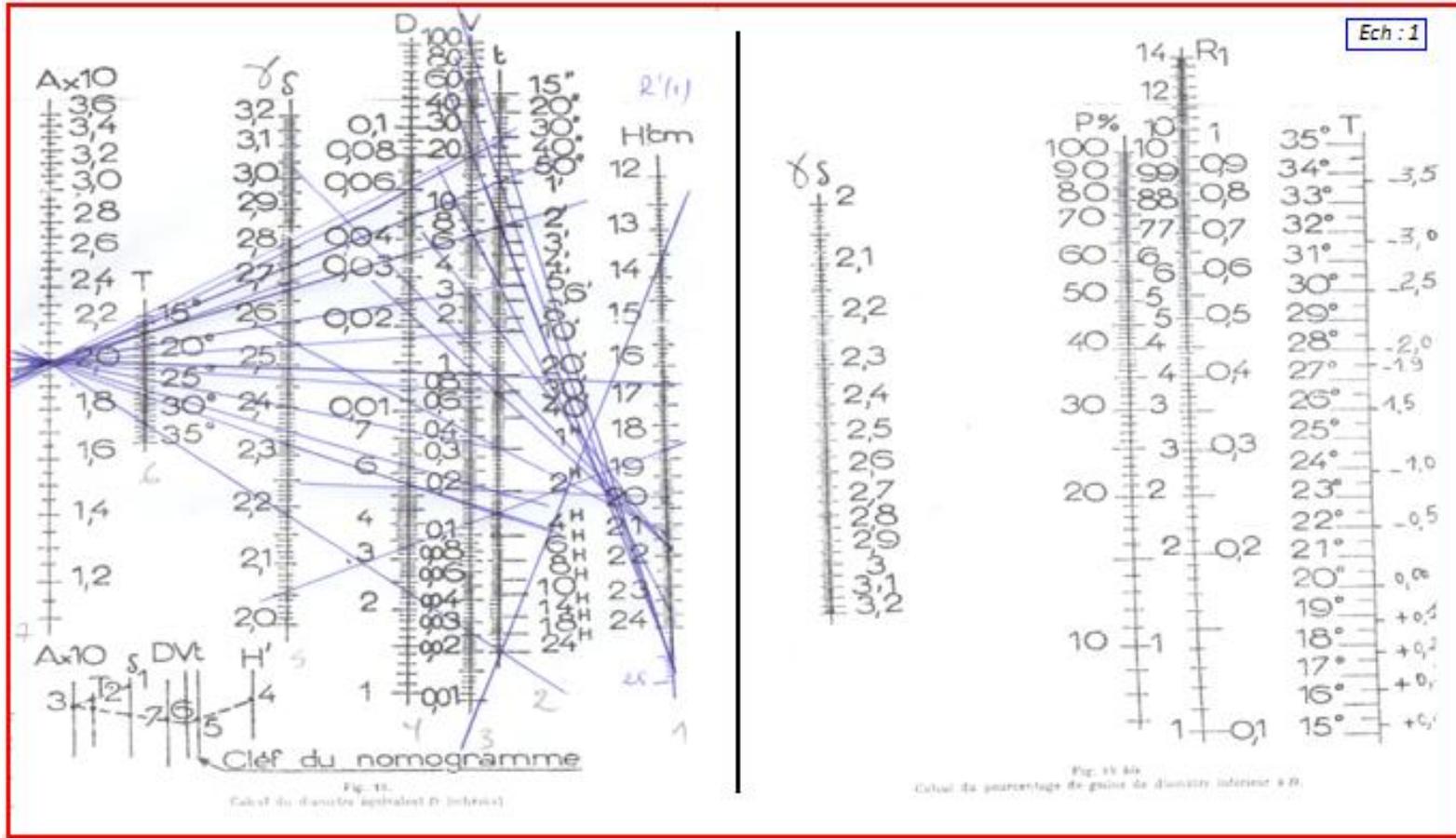


Fig. VII.7. Abaque sédimentométrique pour l'échantillon : N°01

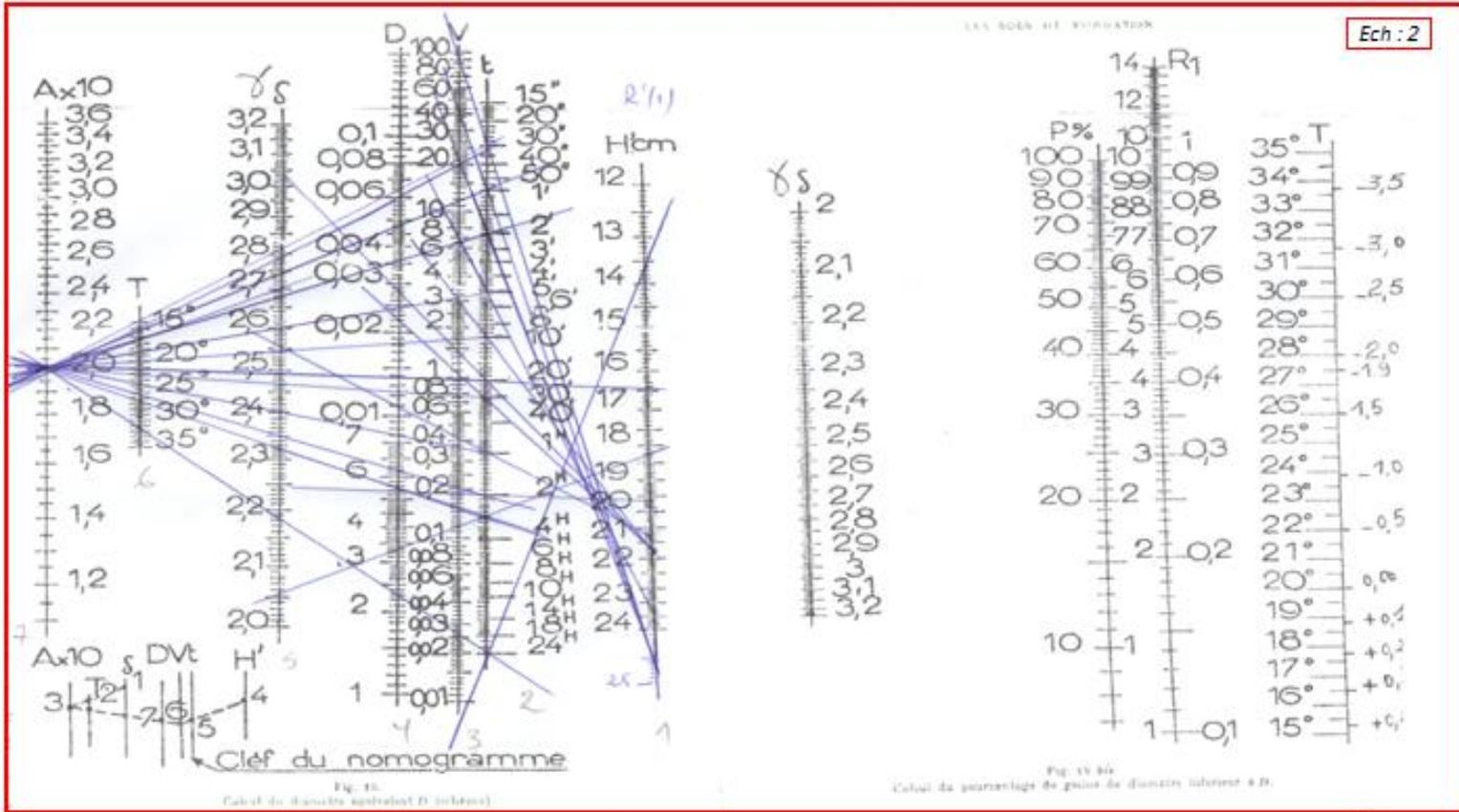


Fig. VII.8. Abaque sédimentométrique pour l'échantillon : N°02

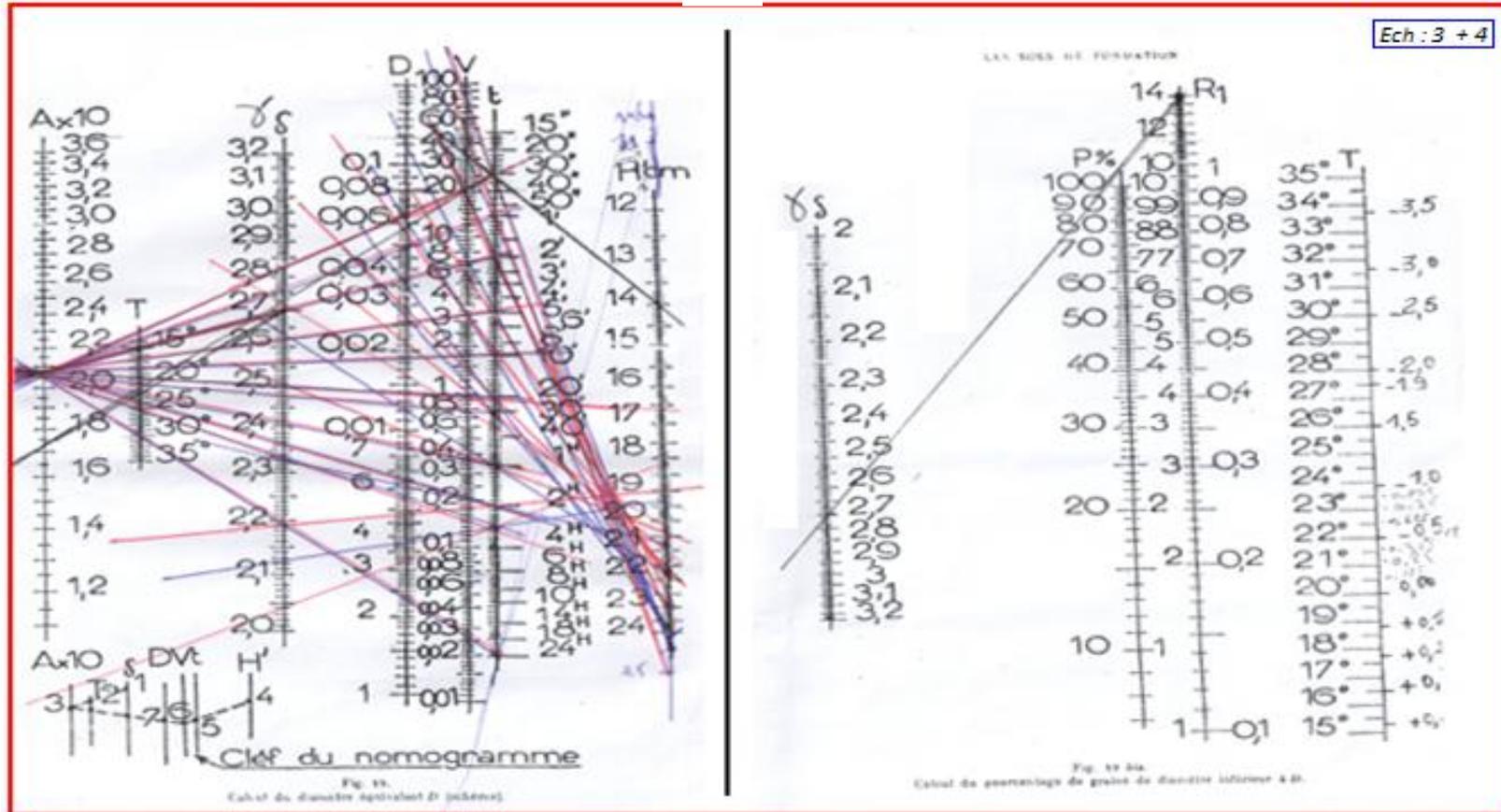


Fig .VII.9.Abaque sédimentométrique pour l'échantillons : N°03 et N° 04

Tableau. VII.18. Résultats d'analyse sédimentométrique (échantillon N°1).

Temps	Lecture du Densimètre (r)	Premières lectures $R' = R - 1000$ Lectures suivantes $R = r - 1000$	Température C°	Diamètres (microns) D	(Rc) Correction (R - r)	Lecture correction R-r (R' 1)	% des grains <Dp	P° Corrigée (Tamisât) P, P
30''	1025	25	17	61.5	24.75	+ 0.25	99.37	79.49
1'	1025	25	17	48	24.75	+ 0.25	99.37	79.49
2'	1025	25	17	36	24.75	+ 0.25	99.37	79.49
5'	1023	23	17	25	22.75	+ 0.25	91.34	73.07
10'	1022	22	17	18.5	21.75	+ 0.25	87.33	69.86
20'	1021	21	17	14	20.75	+ 0.25	83.31	66.65
30'	1020	20	17	12.5	19.75	+ 0.25	79.29	63.43
1h	1020	20	17	7.5	19.75	+ 0.25	79.29	63.43
2h	1018.5	18.5	17	6.2	18.25	+ 0.25	73.23	58.62
3h	1018	18	16.5	5.2	17.65	+ 0.35	70.87	56.69
24h	1015	15	16.5	2.5	14.65	+ 0.35	58.82	47.05

Tableau. VII.19 Résultats d'analyse sédimentométrique (échantillon N°2)

Temps	Lecture du Densimètre (r)	Premières lectures $R' = R - 1000$ Lectures suivantes $R = r - 1000$	Température C°	Diamètres (microns) D	(Rc) Correction (R - r)	Lecture correction R-r (R' 1)	% des grains <Dp	P° Corrigée (Tamisât) P, P
30''	1025	25	17	60	24.75	+ 0.25	99.57	79.79
1'	1025	25	17	48	24.75	+ 0.25	99.37	79.79
2'	1025	25	17	36	24.75	+ 0.25	99.37	79.79
5'	1024	24	17	24.5	23.75	+ 0.25	95.36	76.28
10'	1022	22	17	18	21.75	+ 0.25	87.33	69.86
20'	1022	22	17	13.5	21.75	+ 0.25	87.33	69.86
30'	1022	22	17	12.5	21.75	+ 0.25	87.33	69.86
1h	1021.5	21.5	17	7.5	21.25	+ 0.25	85.32	68.26
2h	1020	20	16.5	6.2	19.65	+ 0.35	78.89	63.11
3h	1019	19	16.5	5.2	18.65	+ 0.35	74.85	59.90
24h	1014	14	16	2.3	13.6	+ 0.40	54.61	43.69

Tableau. VII.20. Résultats d'analyse sédimentométrique (échantillon N°3)

Temps	Lecture du Densimètre (r)	Premières lectures $R' = R - 1000$ Lectures suivantes $R = r - 1000$	Température C°	Diamètres (microns) D	(Rc) Correction (R - r)	Lecture correction R-r (R' 1)) % des grains <Dp	P° Corrigée (Tamisât) P, P
30''	1025	25	15	62	24.50	+ 0.50	98.37	78.69
1'	1025	25	15	49	24.50	+ 0.50	98.37	78.69
2'	1025	25	15	37	24.50	+ 0.50	98.37	78.69
5'	1025	25	15	25.5	24.50	+ 0.50	98.37	78.69
10'	1024.5	24.4	15	19	24	+ 0.50	96.36	77.08
20'	1024.5	24.5	15	14	24	+ 0.50	96.36	77.08
30'	1023.5	23.5	15	12.5	23	+ 0.50	92.35	73.88
1h	1023	23	15	7.2	22.5	+ 0.50	90.34	72.27
2h	1021.25	21.25	15	6.3	20.75	+ 0.50	83.31	66.64
3h	1020	20	15.5	5.6	19.55	+ 0.45	78.49	62.76
24h	1011	11	15	2.4	10.50	+ 0.50	42.15	33.72

Tableau . VII.21. Résultats d'analyse sédimentométrique (échantillon N°4)

Temps	Lecture du Densimètre (r)	Premières lectures R' = R- 1000 Lectures suivantes R = r - 1000	Température C°	Diamètres (microns) D	(Rc) Correction (R - r)	Lecture correction R-r (R' 1)	% des grains <Dp	P°/° Corrigée (Tamisât) P, P
30 ''	1025.5	25.5	15	61	25	+ 0.5	100%	80
1'	1025.5	25.5	15	50	25	+ 0.5	100	80
2'	1024	24	15	38	23.50	+ 0.5	94.35	75.48
5'	1023	23	15	26	22.50	+ 0.5	90.34	72.27
10'	1023	23	15	19	22 .50	+ 0.5	90.34	72.27
20'	1022.5	22.5	15	14	22	+ 0.5	88.33	70.66
30'	1022	22	15	13	21.50	+ 0.5	86.33	69.06
1h	1021	21	15	7.5	20.50	+ 0.5	82.33	65.84
2h	1020	20	15	6.2	19.50	+ 0.5	78.29	62.63
3h	1019	19	16	5.4	18.60	+ 0.4	74.68	59.74
24h	1008	08	15.5	2.1	7.55	+ 0.45	30.31	24.25

$$P = \frac{V \gamma_s \gamma_w R_c}{10 W (\gamma_s - \gamma_w)} \quad V = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{18 \mu} D^2$$

- **Interprétation des résultats :**

- **Échantillon N°1** : le pourcentage des particules fines inférieures a 2 μm est égale 58.82 %.
- **Échantillon N°2** : le pourcentage des particules fines inférieures a 2 μm est égale 54.61 %.
- **Échantillon N°3** : le pourcentage des particules fines inférieures a 2 μm est égale 42.15 %.
- **Échantillon N°4** : le pourcentage des particules fines inférieures a 2 μm est égale 30.31 %.

- **Calcul de l'activité (A) :**

- **Échantillon N°1** : $A = I_p / \text{Fraction argileuse} = 39.44 / 58.82 = 0.67$
- **Échantillon N°2** : $A = I_p / \text{Fraction argileuse} = 54.21 / 54.61 = 0.99$
- **Échantillon N°3** : $A = I_p / \text{Fraction argileuse} = 34.65 / 42.15 = 0.82$
- **Échantillon N°4** : $A = I_p / \text{Fraction argileuse} = 26.44 / 30.31 = 0.87$

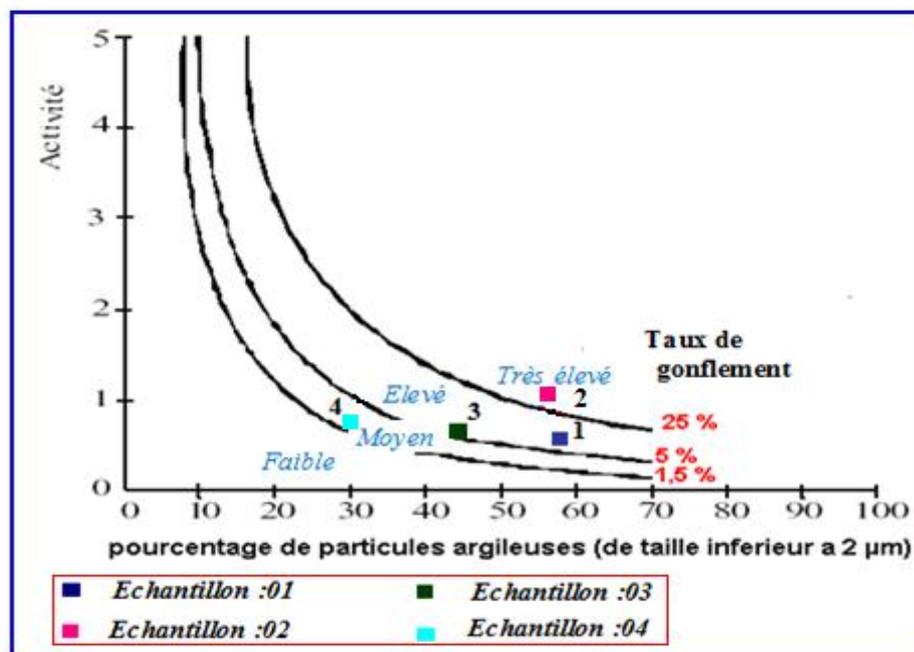


Fig. VII.10. Activité des argiles du site étudié selon le diagramme de (Seed et al, 1962).

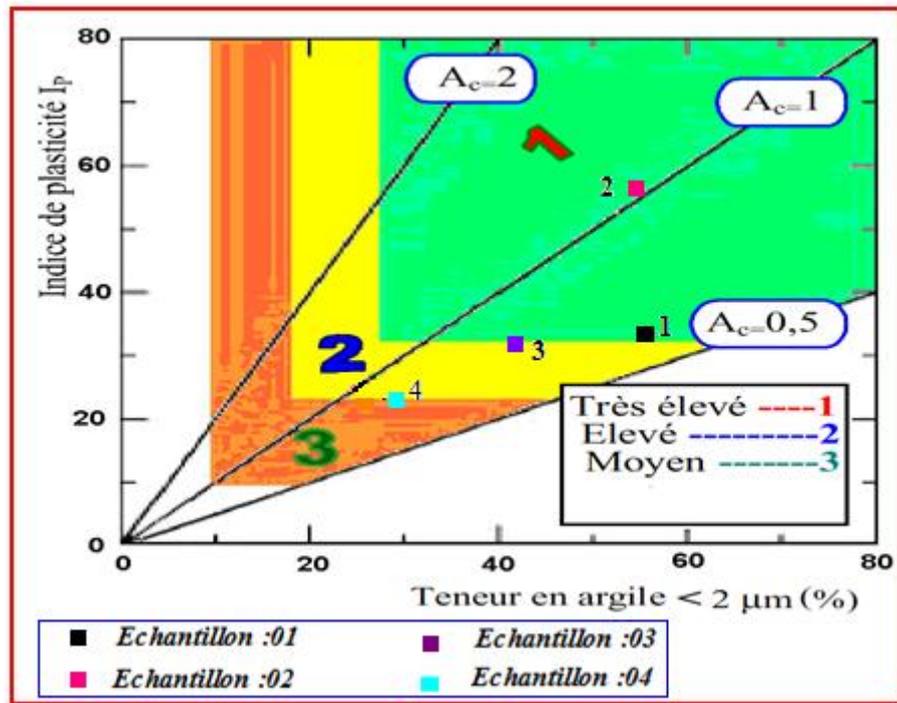


Fig. VII.11. Activité des argiles du site étudié selon l'abaque de Williams et Donaldson.

- **Classification :**

D'après le diagramme de classification du potentiel de gonflement de Seed et al. (1962) (Fig. VII.10) et l'abaque proposé par Williams et Donaldson (1980) (Fig. VII.11), les argiles du site étudié sont caractérisées par un potentiel de gonflement élevé à très élevé.

VII.1.1.5. Essai au bleu de méthylène (NF P94-068)

Cet essai permet de mesurer la capacité des éléments fins à adsorber du bleu de méthylène. Le bleu de méthylène étant adsorbé préférentiellement par les argiles, les matières organiques et les hydroxydes de fer, cette capacité rend compte globalement de l'activité de surface de ces éléments (c'est-à-dire de leur surface spécifique).

On appelle « valeur de bleu » des fines, la quantité exprimé en grammes de bleu de méthylène adsorbée par 100g de fines. Un sol adsorbe proportionnellement d'autant plus le bleu de méthylène qu'il contient davantage d'argile. Une argile est active implique qu'elle développe une surface spécifique élevée.

- **Principe de l'essai :**

Il consiste à introduire, dans un bain aqueux contenant la prise d'essai des quantités croissantes de bleu de méthylène, par doses successives, et à contrôler après chaque ajout l'adsorption du bleu au moyen du test « de la tache » jusqu'à ce que les particules argileuses du matériau soient saturées de bleu (test de la tache devenant positif).

Cet essai s'effectue sur la fraction granulométrique 0/5. Ce sont principalement les éléments inférieurs à 2 mm qui représentent la fraction argileuse. Cette fraction est à la base de la réaction au bleu de méthylène et donc quantifie la sensibilité du sol en question à l'eau. Pratiquement, on prélève 30g de fraction (0/5) sèche que l'on met à tremper dans 200 ml d'eau déminéralisé.

▪ Exploitation des données :

Une fois le test effectué on exploite les données :

$$VBS = B/m^o$$

$$B = V \times 0.01$$

$$m^o = mh_1 / (1 + w) ; \quad mh_1 = 31$$

$$SST = 21 \times VBS$$

VBS : valeur de bleu spécifique . cm^3/g

B : valeur de bleu .

V : volume de solution de bleu utilisé jusqu'à obtention du test positif ml .

mh_1 : masse humide en (g) .

w : Teneur en eau .

m^o : masse sèche en (g) .

SST : surface totale spécifique (cm^2/g).

Le VBS traduit globalement la quantité et la qualité (activité) de la fraction argileuse du sol .Elle s'exprime en gramme de bleu pour 100 g de sol.

▪ Ordre de grandeur :



Fig. VII.12. Valeur de bleu des sols .

Tableau . VII.22. Type d'argile selon la surface spécifique.

Types d'argile	Surface spécifique (cm^2/g)
Kaolinite	5 à 20
Illite-Montmorillonite	40 à 60
Vermiculite	200
Montmorillonite	800

On considère généralement (Chassagneux et al. 1996) que la sensibilité d'un matériau argileux varie de la manière suivante (Tableau. VII.23) en fonction de la valeur de bleu (Vbs).

Tableau . VII.23. La sensibilité d'un matériau argileux en fonction de la valeur de bleu

Valeur de bleu	Susceptibilité
< 2.5	Faible
2.5 à 6	Moyenne
6 à 8	Forte
> 8	Très forts

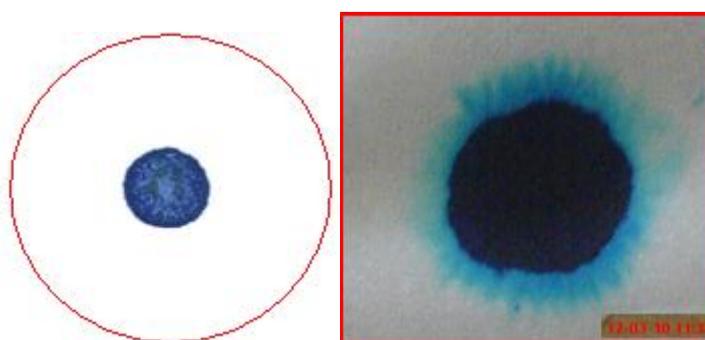
Après la réalisation des essais (*Photo.VII.5*), le test consiste à prélever une goutte de suspension et à déposer celle-ci sur un papier filtre, il se forme une tache composée d'un dépôt de sol coloré en bleu soutenu, entouré d'une zone humide en général incolore et ainsi de suite (test négatif).

Le test est positif si, dans la zone humide, il apparaît autour du dépôt central une auréole bleu clair, celle-ci traduit le début d'excès de bleu dans la suspension et donc la saturation des particules argileuses du sol.



Photo. VII. 5. Appareillage pour essai au bleu de méthylène

- Echantillon N°1 :



Tache sans auréole (test négatif)

Test avec auréole claire (test positif)

Photo. VII. 6 .Illustration des résultats de l'essai de la tache, échantillon N°1.

L'essai permet de mesurer la valeur du bleu des échantillons, et par la suite leur surface spécifique, les éléments sont récapitulés dans les tableaux ci-dessous :

Tableau. VII.24. Résultats de l'essai au bleu de méthylène (échantillon N°01)

Echantillon	VBS[cm ³ /g]	S.S.T [cm ² /g]	Susceptibilité	Types d'argile
01	8.27	173.69	Très forts	Illite-Montmorillonite

Echantillon N°2 :

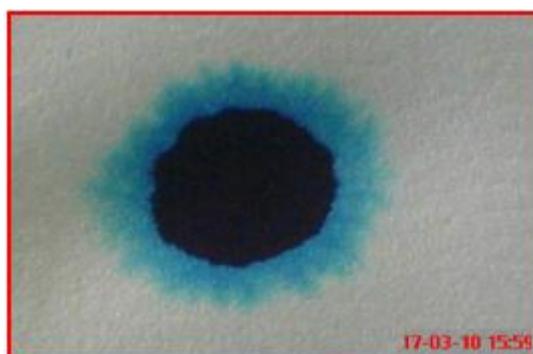


Photo. VII. 7. Illustration des résultats de l'essai de la tache, échantillon N° 02.

Tableau. VII.25. Résultats de l'essai au bleu de méthylène (échantillon N°02)

Echantillon	VBS[cm ³ /g]	S.S.T [cm ² /g]	Susceptibilité	Types d'argile
02	7.83	164.52	Très forts	Illite-Montmorillonite

Echantillon N°3:

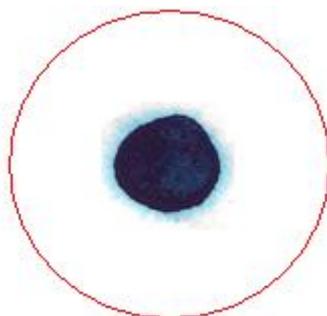


Photo. VII. 8. Illustration des résultats de l'essai de la tache, échantillon N° 03.

Tableau. VII.26. Résultats de l'essai au bleu de méthylène, échantillon N°03.

Echantillon	VBS[cm ³ /g]	S.S.T [cm ² /g]	Susceptibilité	Types d'argile
03	8.66	181.86	Très forts	Illite-Montmorillonite

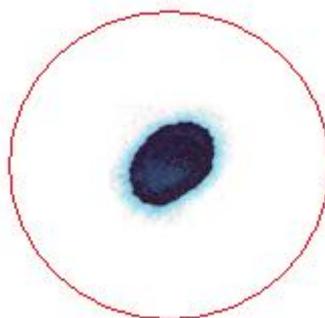
Echantillon N°4:

Photo. VII. 9. Illustration des résultats de l'essai de la tache. Echantillon N°04.

Tableau . VII.27. Résultats de l'essai au bleu de méthylène ; échantillon N°04.

Echantillon	VBS[cm ³ /g]	S.S.T [cm ² /g]	Susceptibilité	Types d'argile
04	10.88	228.52	Très forts	Illite-Montmorillonite

Tableau. VII.28. Résultats des essais au bleu de méthylène des échantillons prélevés

Echantillon	VBS[cm ³ /g]	S.S.T [cm ² /g]	Susceptibilité	Types d'argile
01	8.27	173.69	Très forts	Illite-Montmorillonite
02	7.83	164.52	Très forts	Illite-Montmorillonite
03	8.66	181.86	Très forts	Illite-Montmorillonite
04	10.88	228.52	Très forts	Illite-Montmorillonite

- **Interprétation des résultats :**

D'après les résultats obtenus, on remarque que l'argile formant les sols du terrain sujet de glissement (versant sud du Djebel El Kantour) , a une valeur de bleu dépassant 7.83, indiquant un sol à potentiel de gonflement très fort (Chassagneux et al. 1996), voir le Tableau.VII.28.

La surface spécifique totale S.S.T des argiles formant les sols du site étudié varie entre (164.52 et 228.52 m²/g), ce qui implique qu'elle est constituée d'un mélange de minéraux de la famille de l'illite (essentiellement) et de minéraux de la famille des montmorillonites, et probablement la présence de la vermiculite qui est une argile à potentiel de gonflement élevé.

Conclusion :

Les caractéristiques géotechnique des sols constituant le site de glissement de terrain (versant sud du Djebel El Kantour) nous permet de conclure qu'il s'agit des argiles sableuses à gypse , plastiques à très plastiques.

Selon les résultats obtenus par l'essai des limites d'Atterberg, les argiles au niveau du site sujet de glissement de terrain (versant Sud du Djebel El Kantour) ont un potentiel de gonflement élevé à très élever.

La surface spécifique totale S.S.T de ces argiles varie entre (164.52 et 228.52 m²/g), ce qui implique quelles sont constituées d'un mélange de minéraux de la famille de l'illite (essentiellement) et des montmorillonites.

Une dernière étape qui s'impose dans l'étude du glissement de terrain du versant sud du Djebel El Kantour, c'est le calcul de la stabilité du versant pour but d'estimer la valeur du coefficient de sécurité (F_s) et par la suite la proposition des solutions techniques adéquates.

Chapitre : VIII

Calcul de stabilité et confortement

VIII 1. Calcul de stabilité

Les glissements de terrain constituent des phénomènes naturels. Leur manifestation résulte généralement de la combinaison de facteurs aggravants ou déclencheurs, notamment la présence d'érosion, l'inclinaison de la pente, les propriétés géologiques et géotechniques des sols, les conditions des eaux souterraines, etc. Les glissements surviennent majoritairement au période où la pression d'eau est critique pour la stabilité de talus. Leur distribution dans le temps est irrégulière et leurs fréquences peuvent être augmentées par des événements météorologiques extrêmes. Le calcul de la stabilité peut être réalisé dans deux cas: avant ou après déclenchement du glissement.

VIII.1.1.Méthodes de calcul

La méthode universellement utilisée pour le calcul de stabilité de pente est celle de l'équilibre limite. On considère l'aptitude au glissement d'un certain volume de sol au voisinage de la pente. On étudie la stabilité de cet élément de sol voir (Fig. VIII.1)

VIII.1.1.1. Méthode des tranches

Les méthodes par tranches sont les plus souples. Le talus est partagé en tranches verticales, l'étude de l'équilibre tranche par tranche permet de moduler les valeurs de σ et d'envisager des conditions plus complexes : profil de talus non rectiligne, hétérogénéité du sol, ligne de glissement quelconque (BENAISSA .A).

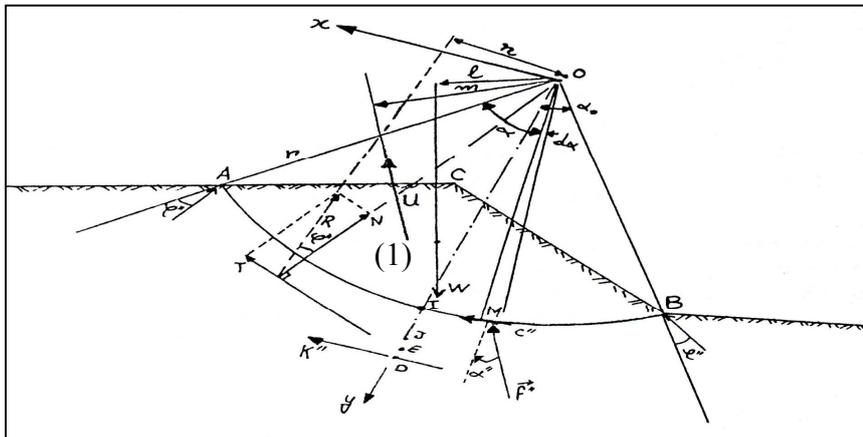


Fig. VIII.1. Différentes forces agissant sur une masse en mouvement.
(J. Costet et al, 1983)

La méthode des tranches est une méthode suédoise due à Petterson (1916), qui a subi plusieurs adaptations au fil des ans tel que son développement par Fellenius en 1927 pour les ruptures circulaires, par Bishop en 1954 et en fin elle a été étendue aux ruptures non circulaires par Nonveiller en 1965 (J. Costet et al, 1983).

VIII.1.1.1.1.Méthode des tranches de Fellenius : (suédoise)

- **Principe**

- On suppose que la ligne de glissement est circulaire mais on néglige totalement les efforts interbranches .
- Considérons un talus recoupant un certain nombre de couches de sols de caractéristiques C_i ; ϕ_i ; γ_i .
- Soit un cercle quelconque de centre O et rayon R pour lequel on veut déterminer le coefficient de sécurité visé à visé du risque de glissement .
- La méthode consiste tout d'abord, à découper le volume de sol intéressé (compris dans l'arc) en certain nombre de tranches limitées par des plans verticaux voir(Fig. VIII.2).
- C'est la méthode fondamentale pour l'analyse de stabilité des talus .
- Le découpage des couches se fait de telle façon que l'intersection du cercle de glissement et d'une limite de couches (points G et H sur la(Fig. VIII.3) correspond à une limite entre deux tranches.

Nous allons étudier l'équilibre de l'une de ces tranches (ABCD) , les forces qui agissant sur cette tranche sont :

- < Le poids W .
- < La réaction R_n du milieu sous-jacent sur l'arc AB .
- < Les réactions sur les faces verticales AD et BC décomposées en réactions horizontales H_n et H_{n+1} en réactions verticales V_n et V_{n+1} , ce sont les forces intertranches.
- < Les pressions hydrauliques.

Par rapport au centre O du cercle de glissement, on définit :

- Le moment moteur, comme celui du poids des terres W , de l'eau interstitielle et des surcharges éventuelles, qui tend à provoquer le glissement.
- Les moments résistants, comme ceux des réactions s'opposant globalement au glissement de la tranche : moment de R_n , H_n , H_{n+1} , V_n et V_{n+1} .

- **Le coefficient de sécurité est donné par le rapport**

$$F_s = \frac{\sum_{EF} \text{des moments résistants maximaux}}{\sum_{EF} \text{des moments moteurs}}$$

- **Moment moteur** : Celui du poids des terres , de l'eau interstitielle et des surcharges éventuelles tendant à provoquer le glissement .
- **Moment résistant** : Celui des réactions s'opposant au glissement .
- Considérons la somme des moments pour tout l'arc , on voit que la somme des moments des forces internes est nulle.
- Fellenius a fait une hypothèse qui simplifie considérablement les calculs, à savoir que la seule force agissant sur l'arc AB est le poids W , qui est décomposé en deux forces, l'une normale à AB (N_n) et l'autre tangentielle (T_n).

D'après Coulomb :

$$(R_n)_i = c_i \cdot AB + N_n \cdot \tan \varphi_i \dots \dots \dots (1)$$

La somme des moments résistants pour toutes les tranches sera :

$$\sum_{n=1}^{n=m} R \cdot (c_i \cdot AB + N_n \cdot \tan \varphi_i) \dots \dots \dots (2)$$

avec : m : nombre total de tranches,

c_i et φ_i : caractéristiques mécaniques de la couche dans laquelle est situé AB .

L'expression du coefficient de sécurité F_S sera :

$$F_S = \frac{\sum_{n=1}^{n=m} (c_i \cdot AB + N_n \cdot \tan \varphi_i)}{\sum_{n=1}^{n=m} T_n} \dots \dots \dots (3)$$

avec les notations définies sur la (Fig.VII.3), la formule (3) peut s'écrire :

$$F_S = \frac{\sum_{n=1}^{n=m} \left(c_i \frac{b}{\cos \alpha} + W \cos \alpha \tan \varphi_i \right)}{\sum_{n=1}^{n=m} W \sin \alpha} \dots \dots \dots (4)$$

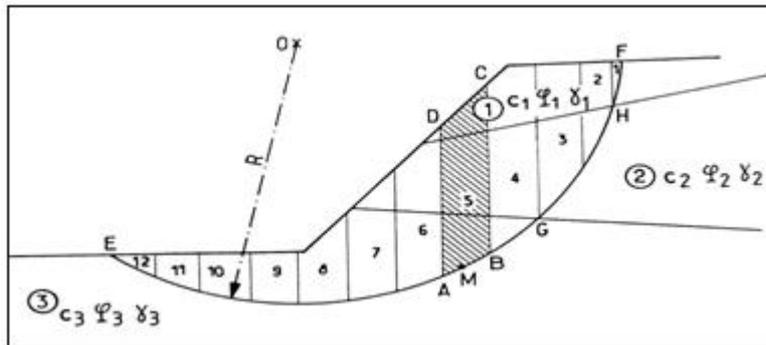
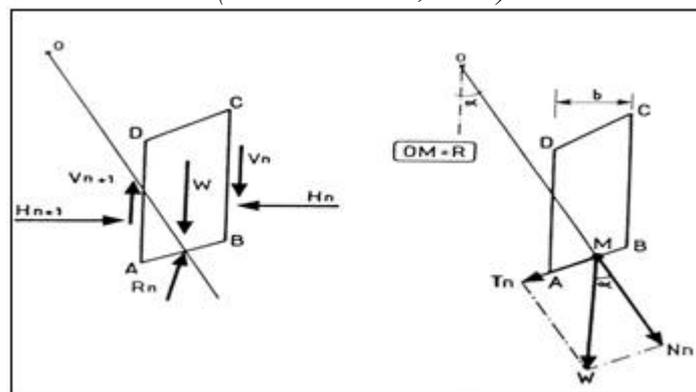


Fig. VIII.2. Découpage en tranches d'un talus.
(B. Hubert et al, 2003)



a) Décomposition complète b) Hypothèse de Fellenius

Fig. VIII.3. Forces agissant sur la tranche n.

(B. Hubert et al, 2003)

- Pour les calculs en adoptera des tableaux du type ci-dessous :

N° Tranches	$\alpha(^{\circ})$	$\text{Cos } \alpha$	$\text{Sin } \alpha$	W	$N=W. \text{Cos } \alpha$	$T=W. \text{Sin } \alpha$	\emptyset	$\text{tg } \emptyset$	$N. \text{tg } \emptyset$	$L= b/ \text{Cos } \alpha$	C (bars)	$C.L= C.b/ \text{Cos } \alpha$	
Fs =					$\Sigma T =$		/		$\Sigma N. \text{tg } \emptyset =$		/		$\Sigma C.L=$

- Cas de l'existence de la nappe (B. Hubert et al, 2003) :

$$F_s = \frac{\sum_{n=1}^{n=m} \left[c_i \frac{b}{\cos \alpha} + \left(W \cos \alpha - \frac{u \cdot b}{\cos \alpha} \right) \tan \varphi_i \right]}{\sum_{n=1}^{n=m} W \sin \alpha} \dots\dots (5)$$

avec : $u = Z_w \cdot \gamma_w$

u : pression interstitielle,

Z_w : hauteur d'eau,

γ_w : poids volumique d'eau.

VIII.1.1.1.2. Méthode des tranches de Bishop simplifiée

D'après Bishop(1954) :

- Les tranche étudiée, $V_n - V_{n+1} = 0$

- Tous les efforts intertranches uniquement horizontaux.

Le coefficient de sécurité F_s s'exprime par cette méthode comme suit :

$$F_s = \frac{1}{\sum_{n=1}^{n=m} W \sin \alpha} \cdot \sum_{n=1}^{n=m} \frac{(W - u_n \cdot b) \tan \varphi_i + c_i \cdot b}{\cos \alpha + \sin \alpha \cdot \frac{\tan \varphi_i}{F_s}}$$

< Recherche de coefficient de sécurité

Pour donner une valeur précise de (f_s), on commence par divers lignes de glissements possibles et on cherche pour quelle ligne on obtient la valeur la plus faible de (f_s), puisque c'est le long de cette surface de glissement que la rupture se produira.

D'après (G .Philliponnant et H.Bertrand ; 2003) :Il n'ya pas de méthode précise pour définir ce cercle , la méthode générale consiste à calculer le facteur de sécurité (f_s) pour un nombre suffisant de cercles . On général , il y'a beaucoup de possibilités :

- Pour un cercle donné , on peut faire varier le rayon de cercle .
- La possibilité du centre peut varier horizontalement et verticalement .
- Pour chaque centre de cercle , on porte le (f_s) calculer .

< Choix de la valeur du coefficient de sécurité dans le calcul de stabilité

Le coefficient de sécurité (f_s) définit par rapport au moment résistant par des essais successifs permettent de déterminer le cercle le plus défavorable .(P.Habib,1997).

Le facteur de sécurité minimal F_s adopté est assez rarement inférieur à 1.5.Il peut quelquefois être égal à 2, voire à 2.5 pour des ouvrages dont la stabilité doit être garantie à tout prix (grand risque pour les personnes, site exceptionnel), ou pour des méthodes dont l'incertitude est grande (analyse en contrainte totale avec risque d'erreur sur la valeur de la cohésion drainée C_u).

Les valeurs de F_S en fonction de l'importance de l'ouvrage et des conditions particulières qui l'entoure sont résumées dans le (Tab. VIII.1):

Tableau. VIII.1. Valeurs de coefficient de sécurité F_S données en fonction de l'importance de l'ouvrage.

F_S	Etat de l'ouvrage
< 1	danger
1.0 - 1.25	sécurité contestable
1.25 - 1.4	sécurité satisfaisante pour les ouvrages peu importants sécurité contestable pour les barrages, ou bien quand la rupture serait catastrophique
> 1.4	satisfaisante pour les barrages

La définition des seuils des facteurs de sécurité dépend de l'approche adoptée, des fréquences de sollicitations de l'ouvrage en question et du risque créé par la rupture. En condition normale, Fellenius propose un seuil égal à 1.25, alors que $F_S = 1.5$ pour Bishop (l'approche de Fellenius est plus conservatoire que celle de Bishop).

VIII.1.2. Etude de la stabilité du talus

VIII.1.2.1. Calcul manuel

Pour effectuer le calcul de la stabilité nous avons utiliser la méthode de Fellenius. Nos visites et observations sur site, appuyées par les données de l'étude géologique effectuée par P.E. Coiffait nous ont permis de considérer que le versant concerné par l'instabilité présente les formations lithologiques suivantes:

a- **Des argiles gypsifères avec des passées de calcaire lacustre:** Elles se trouvent en surface et ont une épaisseur très variable allant de 0 à 50 m.

b- **Des grés ou sables jaunes légèrement consolidés:** Ils sont situés sous les argiles avec une épaisseur très variable ,de quelques mètre a 100 mètres .

Notons que le cas qui se présente à nous ne demande qu'un seul calcul ,ou calcul que nous avons l'habitude de nommer : **calcul en absence de nappe** .

$$\text{C'est-à-dire : } F_S = \frac{\sum_{n=1}^{n=m} \left(c_i \frac{b}{\cos \alpha} + W \cos \alpha \tan \varphi_i \right)}{\sum_{n=1}^{n=m} W \sin \alpha}$$

Les valeurs des paramètres nécessaires à introduire dans le calcul sont en principe données par les études exécutées sur site: La géométrie de la surface du glissement, les caractéristiques géotechniquesetc.

- Poids volumique humide : γ_h (Kn/m³) = 18 .5
- La cohésion : C (KPa) = 20
- L'angle de frottement : φ (°) = 16

Effectivement la lithologie tel que présentée ci-dessus (argiles gypsifères à passées de calcaires lacustres) n'admet pas l'existence de nappe d'eau.

Pour notre cas où le glissement est déjà apparu sur le versant, le calcul de la stabilité s'effectue donc pour apprécier la marge de sécurité.

L'essai de cisaillement a la boite (Essai non consolidé non drainé court terme UU, et les densités sont effectuées au laboratoire de géotechniques(LTP EST de JIJEL)voir l'annexe.

- Afin de bien étudier l'instabilité du versant , nous avons jugé utile de tracer un profil que nous avons orienté selon le grand axe (NE - SW) du glissement étudié.(voir *Planche VIII. 1*).

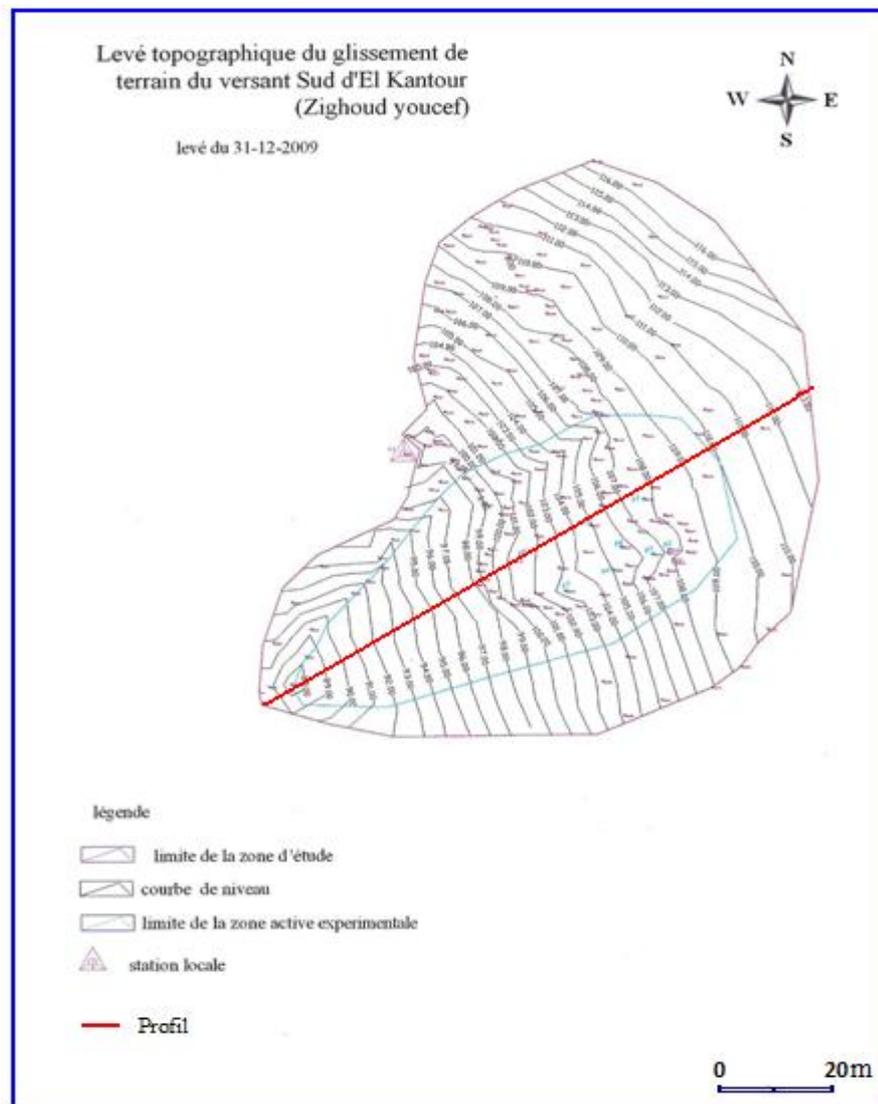


Planche VIII. 1 : Implantation de Profil choisi pour le calcul de stabilité.

< Les cercles calculés selon le grand axe du glissement sont joints dans les *Planches* : (VIII.2, VIII.3, VIII.4, VIII.5, VIII.6, VIII.7, VIII.8 et VIII.9) ci-dessous :

< Les résultats de calculs de stabilité obtenus sont regroupées dans les tableaux (VIII.2, VIII.3, VIII.4, VIII.5, VIII.6, VIII.7 et VIII.8) :

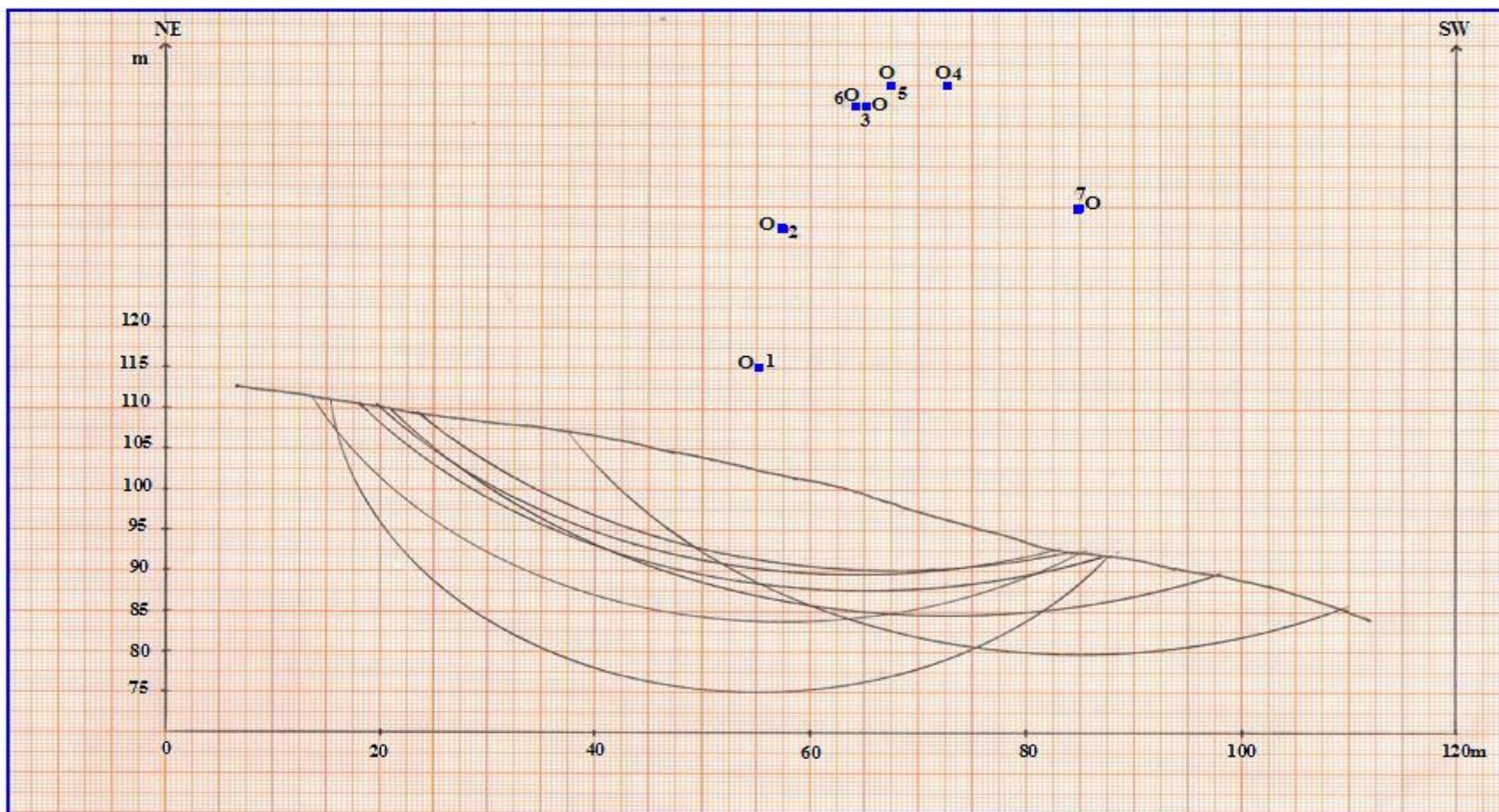


Planche. VIII.2.Présentation des cercles du glissement de terrain :

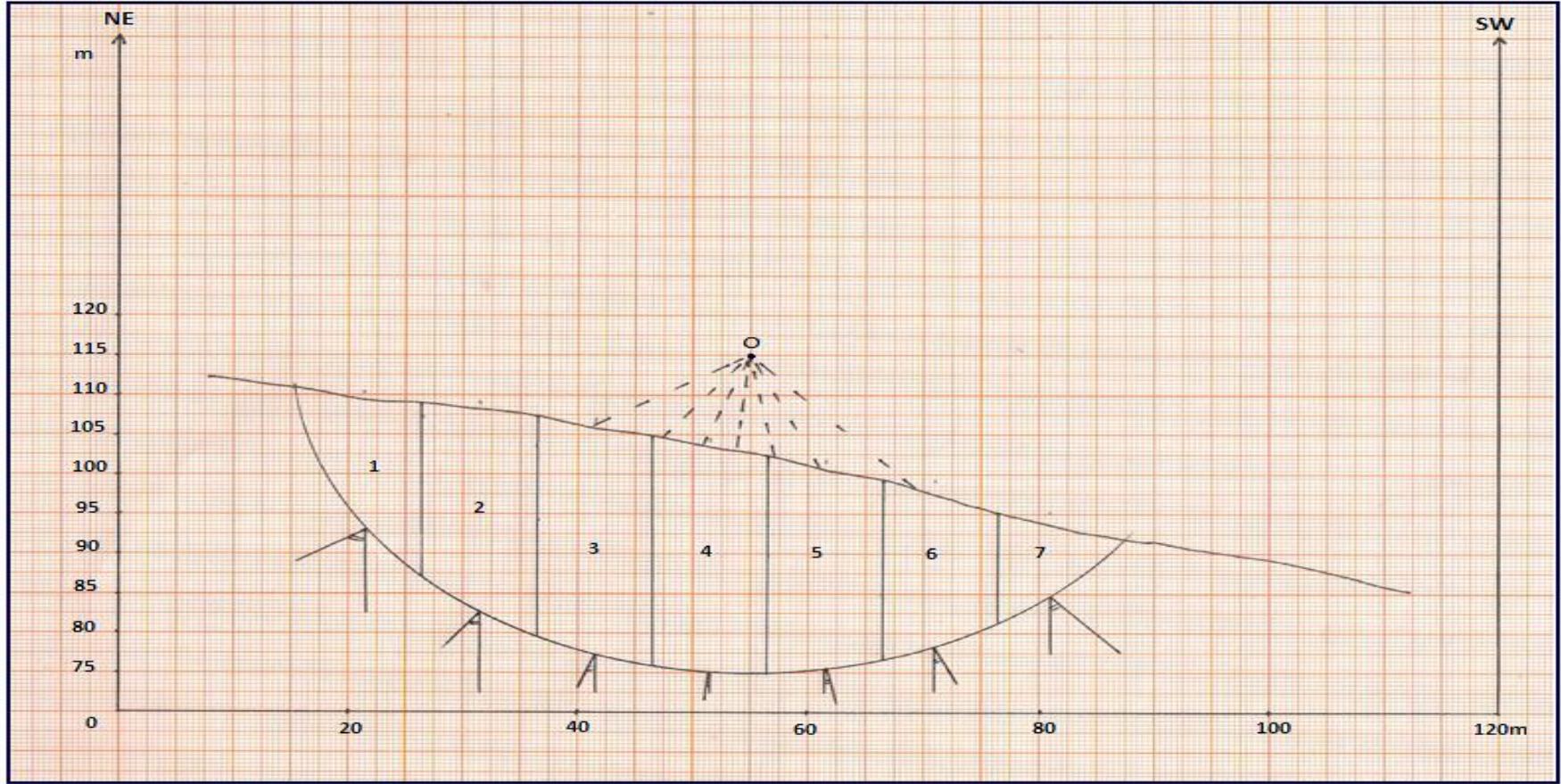


Planche. VIII.3 . Cercle n° 01 .

Tableau. VIII.2 . Cercle n° 01 .

N° Tranches	$\alpha(^{\circ})$	$\cos \alpha$	$\sin \alpha$	W	N= W. $\cos \alpha$	T= W. $\sin \alpha$	$\varnothing(^{\circ})$	$\text{tg } \varnothing$	N. $\text{tg } \varnothing$	L= b/ $\cos \alpha$	C (bars)	C.L= C.b/ $\cos \alpha$
1	59	0.51	0.85	213.67	110.04	183.11	16	0.286	31.47	34.75	0.2	6.95
2	36	0.80	0.58	444	359.19	260.62	16	0.286	102.72	22.12	0.2	4.42
3	20	0.93	0.34	504.12	473.37	172.42	16	0.286	135.38	19.06	0.2	3.82
4	9	0.98	0.15	494.87	488.77	77.41	16	0.286	139.78	18.13	0.2	3.62
5	-10	0.98	-0.17	434.75	428.14	-75.49	16	0.286	122.44	18.19	0.2	3.63
6	-27	0.98	-0.45	305.25	299.45	-138.58	16	0.286	85.64	18.24	0.2	3.64
7	-44	0.71	-0.69	105.45	75.85	-73.25	16	0.286	21.69	24.89	0.2	4.97
				Fs=1.65		$\Sigma T=406.02$	/		$\Sigma N. \text{tg } \varnothing=639.12$	/		$\Sigma C.L=31.07$

Cercle N°01 :

Les coordonnées relatives du cercle n°01 sont :

$$\left\{ \begin{array}{l} X_1 = 55\text{m} \\ Y_1 = 45\text{m} \\ R_1 = 40\text{m} \\ L_1 = 70\text{m} \\ b_1 = 17.9\text{m} \end{array} \right.$$

avec : X_1 et Y_1 : les coordonnées du cercle proposé.

R_1 : le rayon du cercle proposé.

L_1 : la longueur développée de la surface de rupture.

b_1 : la largeur des tranches.

Fs = 1.65

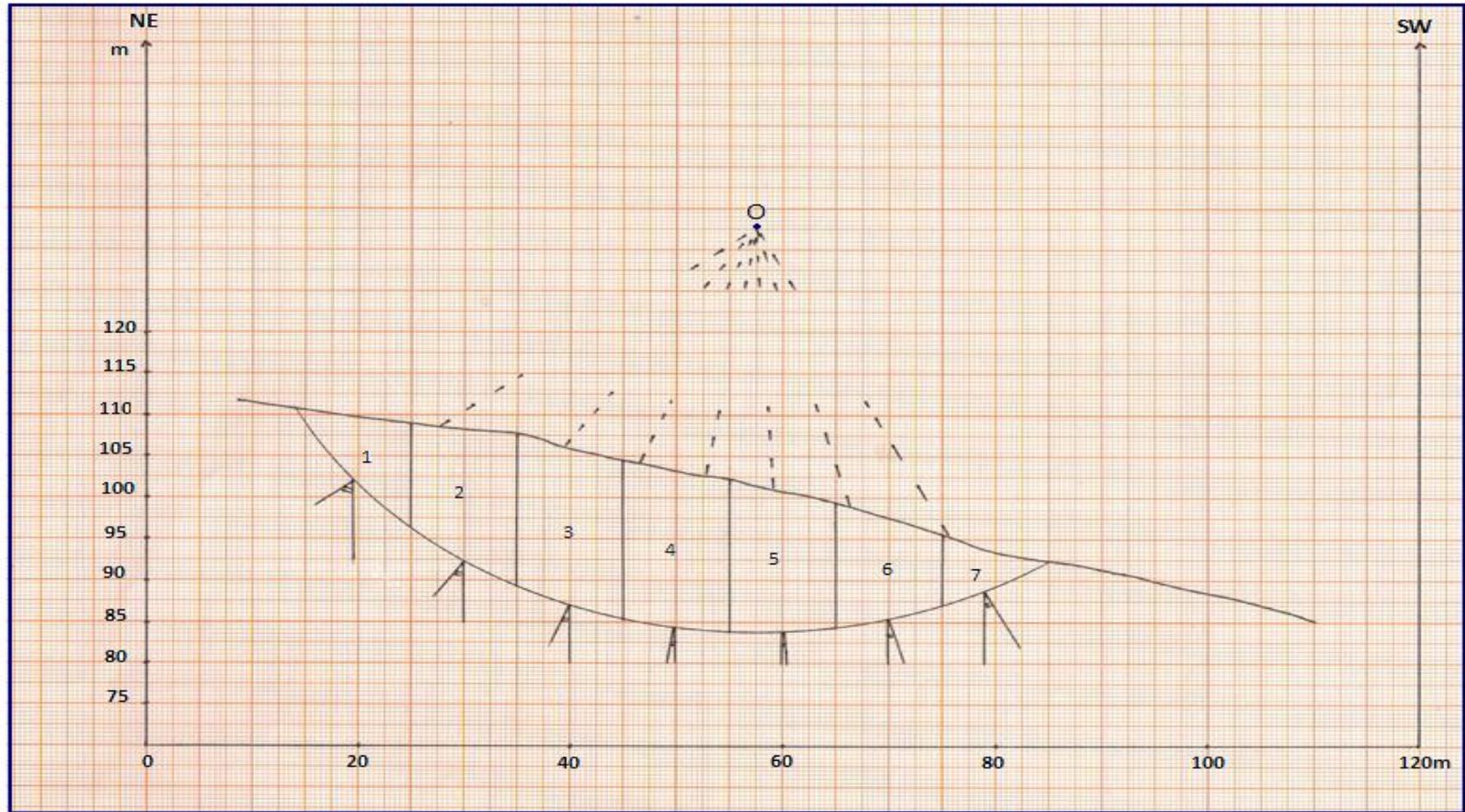


Planche. VIII.4 . Cercle n° 02 .

Tableau. VIII.3 .

Cercle N°02

N°	$\alpha(^{\circ})$	$\text{Cos } \alpha$	$\text{Sin } \alpha$	W	N= W. Cos α	T= W. Sin α	$\theta(^{\circ})$	tg θ	N. tg θ	L= b/ Cos α	C (bars)	C.L= C.b/ Cos α
1	48	0.66	0.74	87.41	58.48	64.96	16	0.286	16.72	25.21	0.2	5.04
2	39	0.77	0.62	263.62	204.87	165.90	16	0.286	58.59	21.71	0.2	4.34
3	22	0.92	0.37	333	308.75	124.74	16	0.286	88.30	18.19	0.2	3.63
4	10	0.98	0.17	328.37	323.38	57.02	16	0.286	92.48	17.14	0.2	3.42
5	-4	0.99	-0.06	291.37	290.66	-20.32	16	0.286	83.12	16.92	0.2	3.38
6	-15	0.96	-0.25	198.87	192.87	-51.47	16	0.286	55.16	17.48	0.2	3.49
7	-22	0.92	-0.37	15.26	15.26	-5.716	16	0.286	4.04	18.19	0.2	3.63
Fs=1.26					$\Sigma T=335.11$		/		$\Sigma N. \text{tg } \theta=398.41$	/		$\Sigma C.L=26.93$

Les coordonnées relatives du cercle n°02 sont :

$$\left\{ \begin{array}{l} X_2 = 57.50\text{m} \\ Y_2 = 62.50\text{m} \\ R_2 = 48.50\text{m} \\ L_2 = 69\text{m} \\ b_2 = 16.87\text{m} \end{array} \right.$$

Fs = 1.26

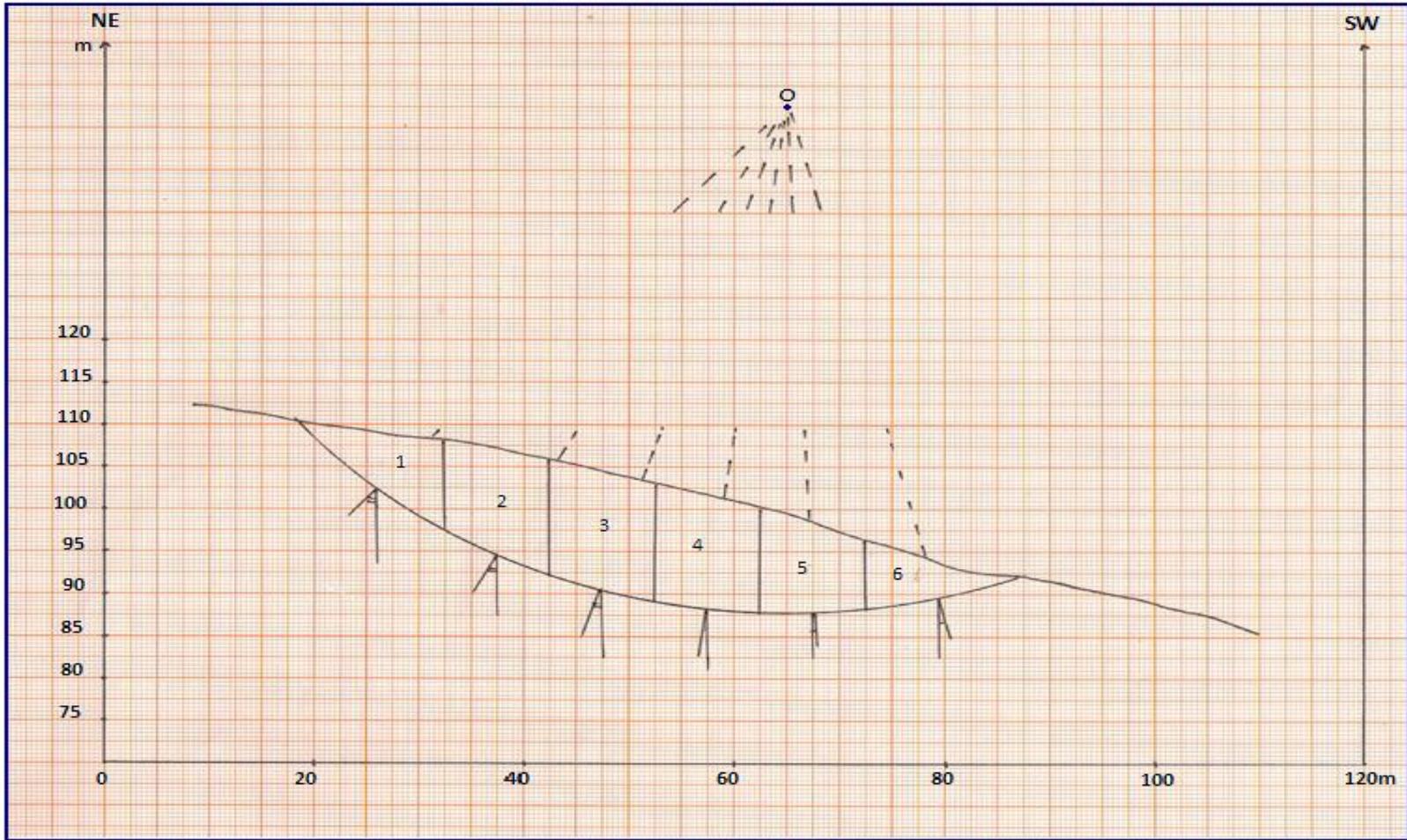


Planche. VIII.5 . Cercle n° 03 .

Tableau. VIII.4 .Cercle n° 03

N°	$\alpha(^{\circ})$	$\text{Cos } \alpha$	$\text{Sin } \alpha$	W	$N=W. \text{Cos } \alpha$	$T=W. \text{Sin } \alpha$	$\theta(^{\circ})$	$\text{tg } \theta$	N. $\text{tg } \theta$	$L= b/ \text{Cos } \alpha$	C (bars)	$C.L=$ $C.b/ \text{Cos } \alpha$
1	38	0.78	0.61	95.73	75.43	58.87	16	0.286	12.12	20.13	0.20	4.06
2	28	0.88	0.46	194.25	171.32	91.19	16	0.286	47.96	17.99	0.20	3.59
3	26	0.89	0.43	226.60	203.48	99.33	16	0.286	56.97	17.67	0.20	3.53
4	8	0.99	0.13	217.37	215.19	30.25	16	0.286	60.25	16.03	0.20	3.20
5	-5	0.99	-0.08	166.5	165.83	-14.48	16	0.286	46.43	15.93	0.20	3.18
6	-15	0.96	-0.25	71.22	68.72	-18.37	16	0.286	19.24	16.44	0.20	3.28
	$F_s=1.10$					$\sum T=246.87$	/		$\sum N. \text{tg } \theta=251.97$	/		$\sum C.L=20.84$

Les coordonnées relatives du cercle n°03 sont :

$$\left\{ \begin{array}{l} X_3 = 65 \text{ m} \\ Y_3 = 77.50 \text{ m} \\ R_3 = 60 \text{ m} \\ L_3 = 63.45 \text{ m} \\ b_3 = 15.87 \text{ m} \end{array} \right.$$

$F_s = 1.10$

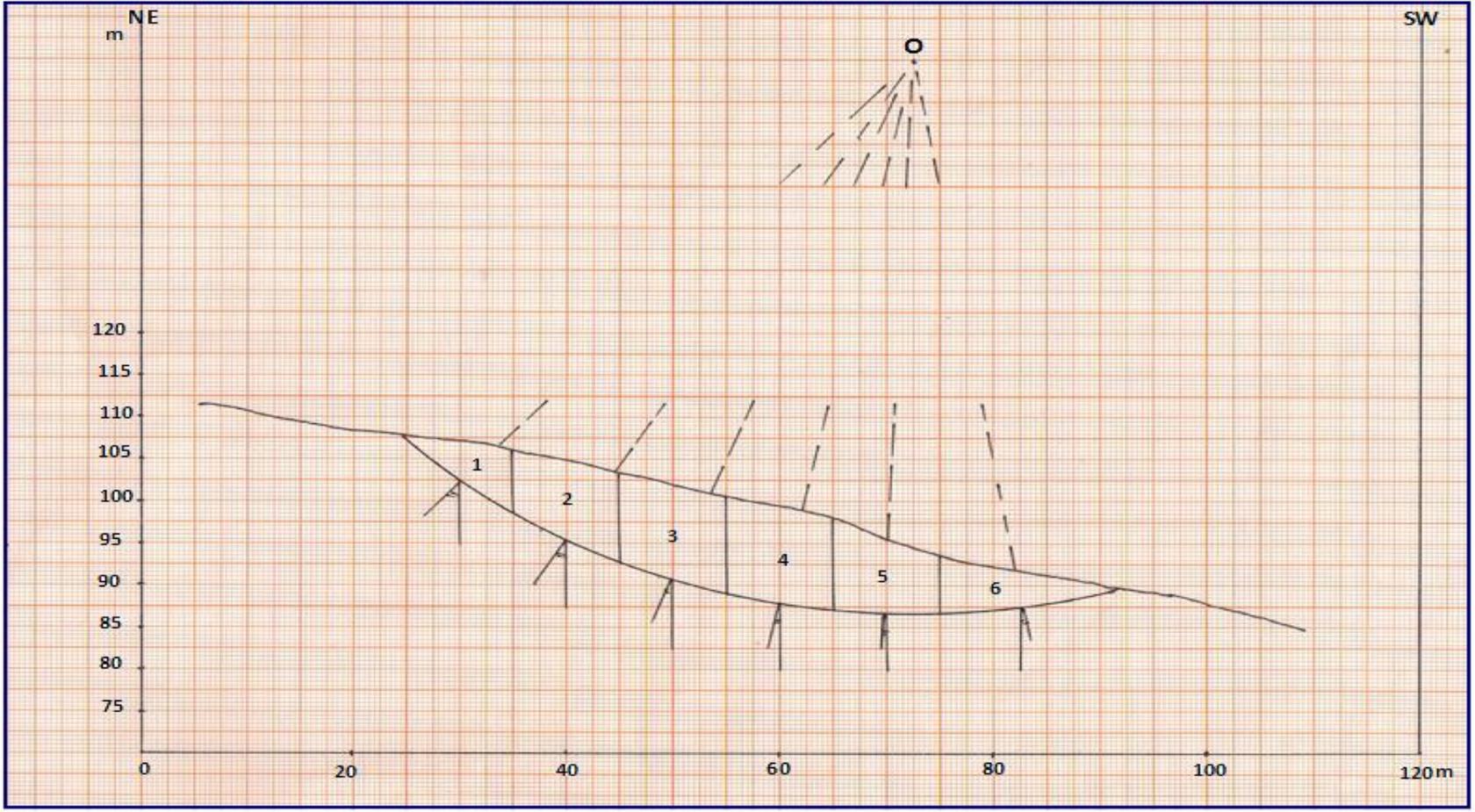


Planche. VIII.6 . Cercle n° 04 .

Tableau. VIII.5 .Cercle n° 04

N°	$\alpha(^{\circ})$	$\text{Cos } \alpha$	$\text{Sin } \alpha$	W	N= W. Cos α	T= W. Sin α	$\theta(^{\circ})$	tg θ	N. tg θ	L= b/ Cos α	C (bars)	C.L= C.b/ Cos α	
1	42	0.74	0.66	62.43	46.40	14.77	16	0.286	13.27	22.36	0.2	4.47	
2	29	0.87	0.48	161.8	141.57	78.47	16	0.286	40.49	19.02	0.2	3.80	
3	20	0.93	0.34	198.8	186.87	68.01	16	0.286	53.44	17.76	0.2	3.54	
4	10	0.98	0.17	203.50	200.40	35.37	16	0.286	57.31	16.96	0.2	3.39	
5	3	0.99	0.05	161.87	161.64	8.47	16	0.286	46.22	16.79	0.2	3.35	
6	-10	0.98	-0.17	132.73	130.29	-23.04	16	0.286	37.26	16.96	0.2	3.39	
	Fs=1.29				$\sum T=209.07$		/		$\sum N. \text{tg } \theta=247.99$		/		$\sum C.L=21.94$

Les coordonnées relatives du cercle n°04 sont :

$$\left\{ \begin{array}{l} X_4 = 72.50 \text{ m} \\ Y_4 = 82.50 \text{ m} \\ R_4 = 66 \text{ m} \\ L_4 = 66.50 \text{ m} \\ b_4 = 16.63 \text{ m} \end{array} \right.$$

Fs = 1.29

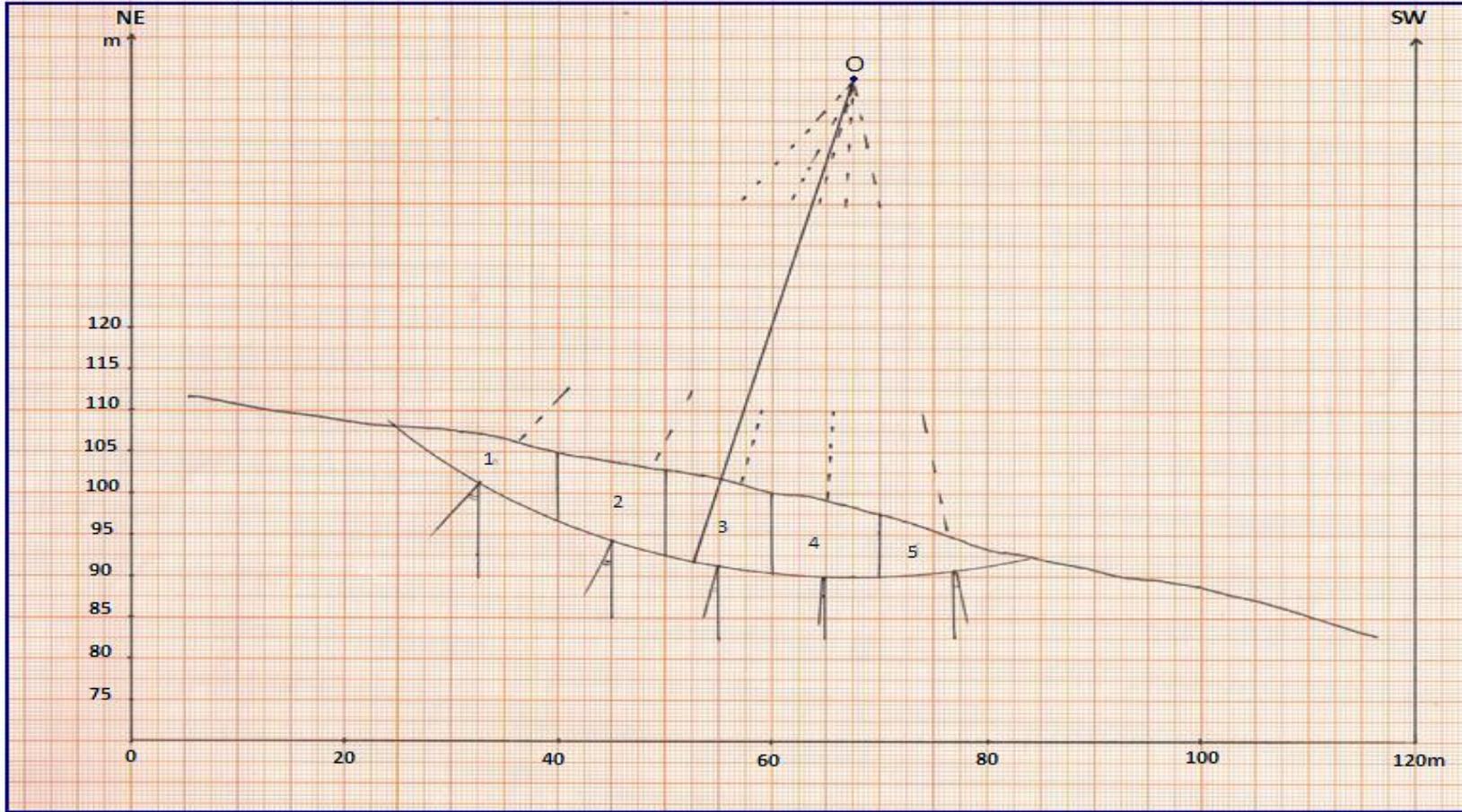


Planche. VIII.7. Cercle n° 05 .

Tableau. VIII.6 . Cercle n° 05

N°	$\alpha(^{\circ})$	$\text{Cos } \alpha$	$\text{Sin } \alpha$	W	N= W. Cos α	T=W. Sin α	$\theta(^{\circ})$	tg θ	N. tg θ	L= b/ Cos α	C (bars)	C.L= C.b/ Cos α
1	37	0.79	0.60	19.35	15.45	11.64	16	0.286	44.18	18.17	0.2	3.63
2	23	0.92	0.39	161.87	149.0	63.24	16	0.286	42.61	15.76	0.2	3.15
3	13	0.97	0.22	171.12	166.73	38.49	16	0.286	47.68	14.94	0.2	2.98
4	04	0.99	0.06	138.75	138.75	9.878	16	0.286	39.58	14.54	0.2	2.90
5	-8	0.99	-0.13	71.22	70.53	9.912	16	0.286	20.17	14.64	0.2	2.92
	Fs=1.5					$\sum T=113.145$	/		$\sum N. \text{tg } \theta=154.47$	/		$\sum C.L=15.612$

Les coordonnées relatives du cercle n° 05 sont

$$\left\{ \begin{array}{l} X_5 = 67.50 \text{ m} \\ Y_5 = 80 \text{ m} \\ R_5 = 60 \text{ m} \\ L_5 = 58.25 \text{ m} \\ b_5 = 14.40 \text{ m} \end{array} \right.$$

Fs = 1.50

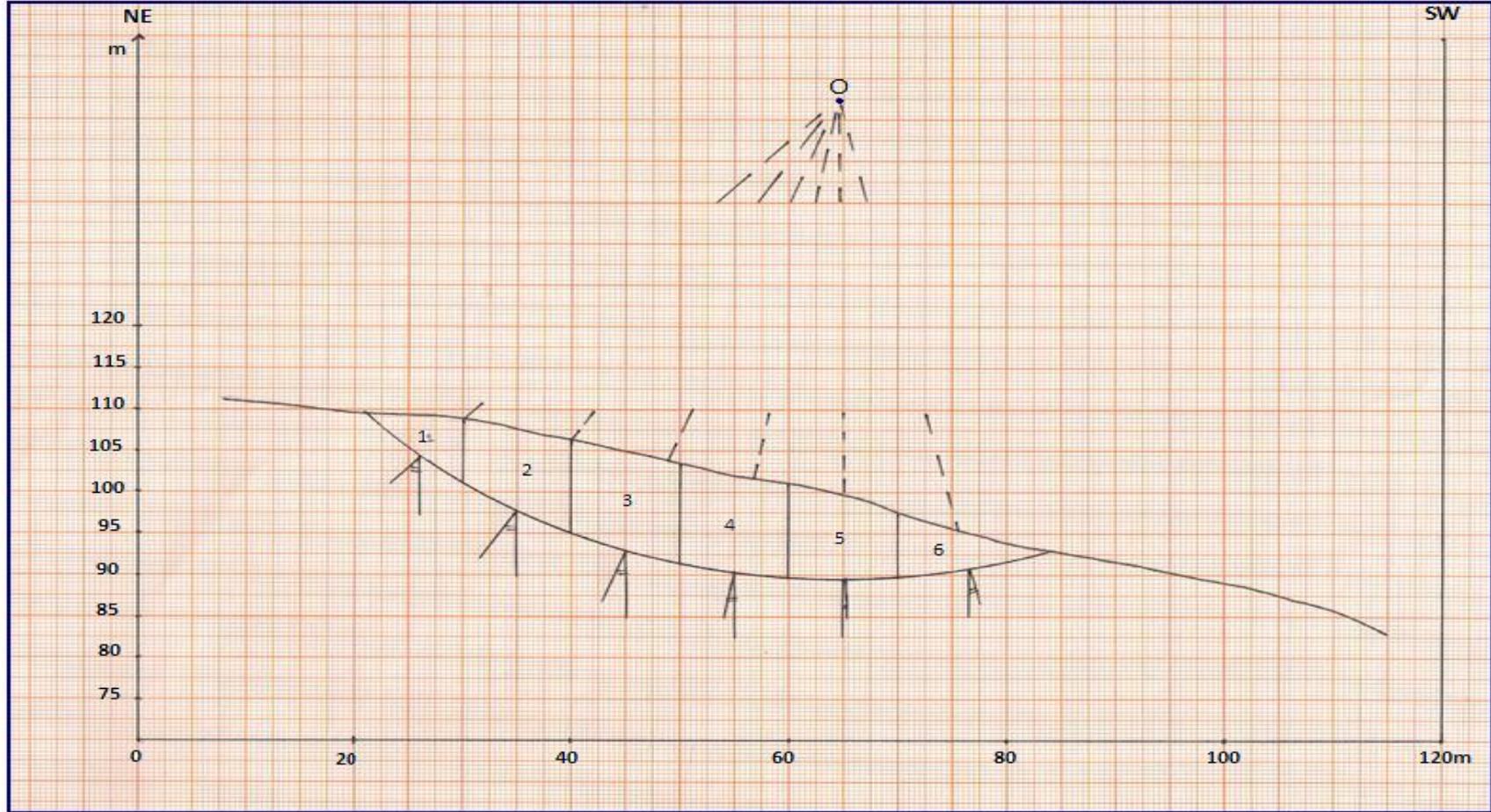


Planche. VIII.8. Cercle n° 06.

Tableau. VIII.7 .Cercle n° 06

N°	$\alpha(^{\circ})$	$\text{Cos } \alpha$	$\text{Sin } \alpha$	W	N= W. Cos α	T= W. Sin α	$\theta(^{\circ})$	tg θ	N. tg θ	L= b/ Cos α	C (bars)	C.L= C.b/ Cos α
1	42	0.743	0.669	66.60	49.49	44.56	16	0.286	14.15	21.19	0.2	4.23
2	32	0.848	0.529	175.75	149.04	93.13	16	0.286	42.62	13.35	0.2	2.67
3	20	0.939	0.342	212.75	199.91	72.74	16	0.286	57.17	14.78	0.2	2.95
4	10	0.984	0.173	217.37	214.07	37.74	16	0.286	61.22	15.49	0.2	3.09
5	-2	0.999	-0.034	180.37	180.26	-6.29	16	0.286	51.55	15.73	0.2	3.14
6	-13	0.97	-0.22	97.12	94.63	-21.84	16	0.286	27.06	15.27	0.2	3.05
				Fs=1.24		$\sum T=220.08$	/		$\sum N. \text{tg } \theta=253.77$	/		$\sum C.L=19.13$

Les coordonnées relatives du cercle n°06 sont :

$$\left\{ \begin{array}{l} X_6 = 64.50 \text{ m} \\ Y_6 = 77.50 \text{ m} \\ R_6 = 28 \text{ m} \\ L_6 = 63 \text{ m} \\ b_6 = 15.75 \text{ m} \end{array} \right.$$

Fs = 1.24

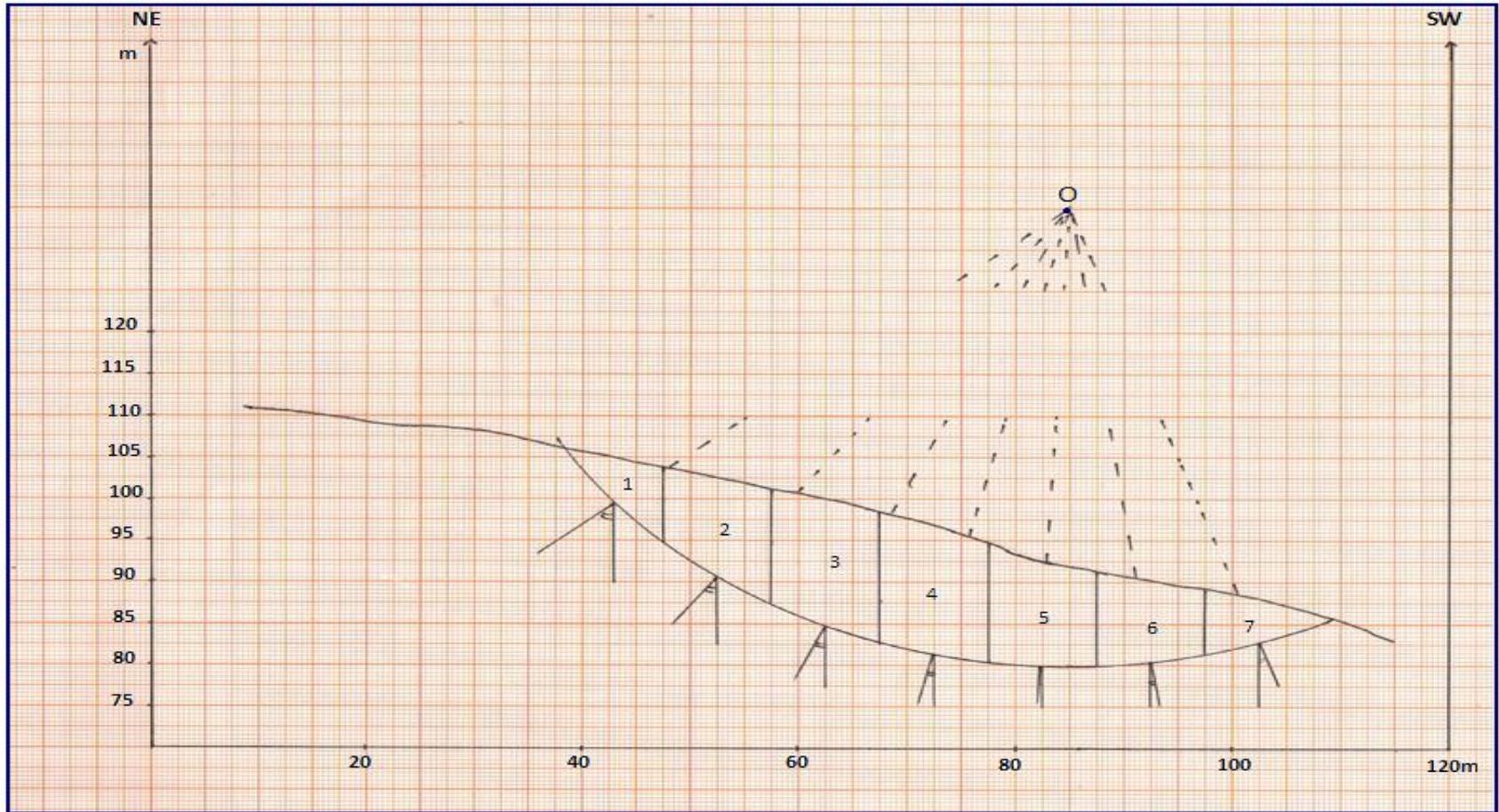


Planche. VIII.9. Cercle n° 07.

Tableau. VIII.8 . Cercle n° 07

N°	$\alpha(^{\circ})$	$\text{Cos } \alpha$	$\text{Sin } \alpha$	W	N= W. Cos α	T= W. Sin α	$\theta(^{\circ})$	tg θ	N. tg θ	L= b/ Cos α	C (bars)	C.L= C.b/ Cos α
1	50	0.64	0.76	87.87	56.48	67.31	16	0.286	16.15	28.42	0.2	5.68
2	36	0.80	0.58	217.37	175.86	127.76	16	0.286	50.29	22.55	0.2	4.51
3	29	0.87	0.48	272.87	238.66	132.29	16	0.286	68.52	20.88	0.2	4.17
4	14	0.97	0.24	272.87	264.68	66.01	16	0.286	75.72	18.81	0.2	3.76
5	4	0.99	0.06	231.25	230.68	16.13	16	0.286	65.97	18.30	0.2	3.66
6	-9	0.98	-0.15	171.12	169.01	-26.76	16	0.286	48.33	18.49	0.2	3.69
7	-20	0.93	-0.34	132.96	124.94	-45.47	16	0.286	35.73	19.42	0.2	3.88
				Fs=1.15		$\sum T=338$		/	$\sum N. \text{tg } \theta=360.44$	/		$\sum C.L=29.35$

Les coordonnées relatives du cercle n° 07 sont :

$$F_s = 1.15$$

$$\left\{ \begin{array}{l} X_7 = 85 \text{ m} \\ Y_7 = 65 \text{ m} \\ R_7 = 55 \text{ m} \\ L_7 = 73 \text{ m} \\ b_7 = 18.25 \text{ m} \end{array} \right.$$

- Le coefficient de sécurité minimal correspondant au cercle critique et de l'ordre de: 1.10. Cette valeur est inférieure au coefficient de sécurité admissible (1.5)ce qui confirme parfaitement l'instabilité du talus étudié.

VIII.1.2.2.Calcul par le logiciel (GEO-SLOPE)

C'est un logiciel crée par la compagnie canadienne« MITRE SOFTWARE CORPORATION» et qui permet la détermination de la valeur minimal du coefficient de sécurité F_s .

GEO-SLOPE exécute l'analyse de la stabilité des pentes naturelles à l'équilibre limite, des pentes artificielles non renforcées, ou pente avec de la terre renforcées .Le programme emploie la méthode ordinaire (fellenius), BISHOP, JANBU et Morgenstern-prince dits méthodes des tranches .Il permet d'appliquer l'une ou l'autre méthode à des surface circulaire, composées, et non circulaires.

Dans nos calculs de stabilité, nous avons utilisé le logiciel Geo-Slope, ce dernier utilise la théorie de l'équilibre limite basée sur les méthodes des tranches de Fellenius, Bishop et Janbu.

< Les données utilisées par ce logiciel de calcul sont

- a-** La géométrie du versant : profil topographique, disposition géométrique des différentes couches constituant le terrain, une fois introduites, ces données constituent le schéma de base pour le calcul.
- b-** Les caractéristiques géotechniques de terrains constituant le versant (c_i , ϕ_i et γ_i).
- c-** Les données hydrauliques : concernant le régime hydraulique et le niveau piézométrique rencontré.

* Pour les pressions interstitielles, le paramètre RU et les surfaces piézométriques peuvent être utilisé seuls ou en combinaison.

Ru : coefficient de pression interstitielle ($Ru < 1$) La pression interstitielle peut trouver son origine voir (Photo. VIII.1) et (VIII.2) :

- Dans une simple accumulation d'eau à l'arrière d'une structure imperméable .
- Dans une nappe aquifère qui filtre dans le terrain .
- Dans l'application brutale d'une surcharge ou l'effet d'un choc sur un milieu saturé (vibration séisme).

Par le simple jeu hydrostatique , une pression d'eau peut également s'établir dans une discontinuité du milieu (faille, joint de stratification ,etc..) ou au contact de deux milieux imperméables ; par exemple à la base d'une couverture argileuse imperméable plaquée sur un substratum imperméable lui aussi .l'eau qui s'infiltré dans cette discontinuité se met en charge, et agit comme un vérin (crique) pour décoller la couverture de son soubassement .la pression d'eau disparaît au moment du décollement ,mais elle a suffi à déclencher la rupture. (Abdelkader Benaïssa ;2003)



*Photo. VIII.1. Gabionnage au sommet du glissement de terrain .
(31 /12/2009)*



*Photo. VIII.2 .Concentration des eaux de ruissellement vers le glissement
(31 12/2009)*

Les caractéristiques géotechniques des matériaux introduites dans le calcul par ce logiciel sont reportées dans le *Tableau (VIII.9)* :

Tableau. *VIII.9.* Caractéristiques géotechniques des argiles .

Matériaux	γ_h (Kn/m³)	C (KPa)	ϕ (°)
Argile	18.5	20	16

* Les résultats de calcul de stabilité par le logiciel *Geo-Slope* sont récapitulés dans les *Tableaux ci-dessous* :

Tableau. VIII.10. Coefficients de sécurité obtenus par le logiciel Geo-Slope selon le Profil 01 (cercle :01) Ru =0

Coefficients de sécurité(F_s) selon (fellenius),					
1.420	1.481	1.525	1.562	1.631	1.810
1.436	1.483	1.527	1.567	1.641	1.910
1.442	1.493	1.530	1.570	1.650	2.052
1.453	1.495	1.533	1.582	1.653	/
1.454	1.499	1.542	1.584	1.650	/
1.467	1.506	1.547	1.596	1.653	/
1.475	1.509	1.552	1.600	1.734	/
1.477	1.510	1.553	1.610	1.753	/
1.479	1.512	1.558	1.616	1.777	/
1.480	1.519	1.559	1.622	1.800	/

Tableau. VIII.11. Coefficients de sécurité obtenus par le logiciel Geo-Slope selon le Profil 01 (cercle :01) Ru =0.35

Coefficients de sécurité(F_s) selon (fellenius),					
0.970	1.014	1.042	1.080	1.120	1.377
0.980	1.016	1.044	1.081	1.122	1.400
0.990	1.018	1.045	1.082	1.032	1.505
0.991	1.019	1.049	1.089	1.132	1.532
0.996	1.021	1.051	1.090	1.200	1.544
1.001	1.022	1.059	1.097	1.300	/
1.004	1.028	1.065	1.098	1.320	/
1.005	1.036	1.070	1.102	1.325	/
1.007	1.038	1.077	1.107	1.342	/
1.011	1.039	1.079	1.117	1.347	/

Tableau. VIII.12 . Coefficients de sécurité obtenus par le logiciel Geo-Slope selon le Profil 01 (cercle :2) Ru =0

Coefficients de sécurité(F_s) selon (fellenius),					
1.407	1.528	1.562	1.667	1.789	1.868
1.427	1.529	1.573	1.672	1.791	1.905
1.431	1.539	1.577	1.690	1.795	1.922
1.450	1.540	1.593	1.700	1.798	/
1.456	1.541	1.607	1.717	1.804	/
1.459	1.515	1.614	1.733	1.835	/
1.467	1.546	1.616	1.737	1.861	/
1.502	1.547	1.658	1.746	1.862	/
1.509	1.559	1.659	1.776	1.863	/
1.520	1.560	1.666	1.788	1.865	/

Tableau. VIII.13. Coefficients de sécurité obtenus par le logiciel Geo-Slope selon le Profil 01 (cercle :2) $R_u = 0.35$

Coefficients de sécurité(F_s) selon (fellenius),				
0.940	1.006	1.031	1.051	1.071
0.941	1.013	1.032	1.053	1.074
0.960	1.016	1.034	1.057	1.075
0.985	1.018	1.035	1.058	1.076
0.988	1.019	1.036	1.059	1.077
0.989	1.020	1.038	1.060	1.085
0.992	1.024	1.041	1.063	1.110
0.994	1.027	1.044	1.066	1.324
0.998	1.029	1.046	1.067	1.373
1.000	1.030	1.049	1.069	/

Le calcul de la stabilité par le logiciel *Géo-Slope* donne un très grand nombre de coefficient de sécurité, leurs valeurs minimales trouvées correspondant aux cercles critiques ont été données comme suit ,voir Fig.(VIII.4, VIII.5, VIII.6 et VIII.7)d’après ordinaire (fellenius),

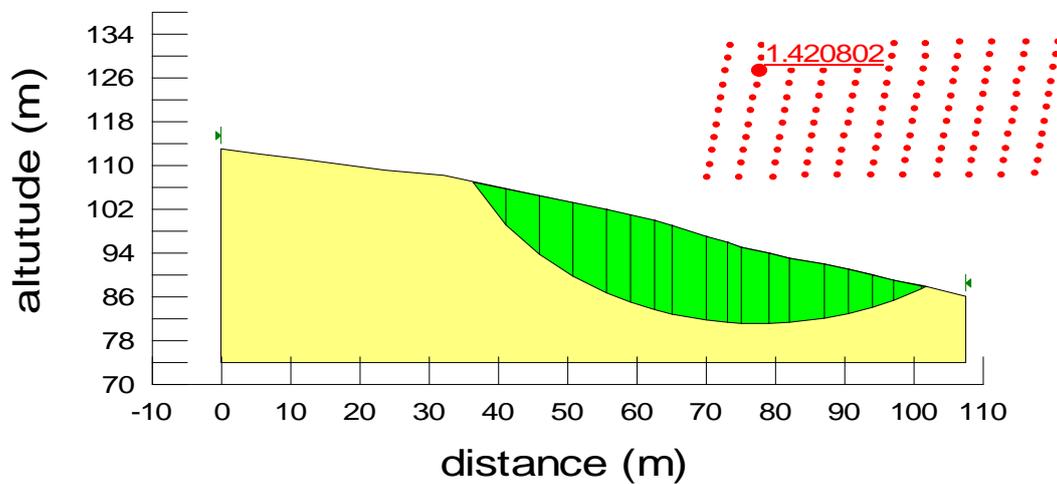


Fig. VIII.4 . Cercle critique (1)obtenu selon le profil 01 ($R_u = 0$)

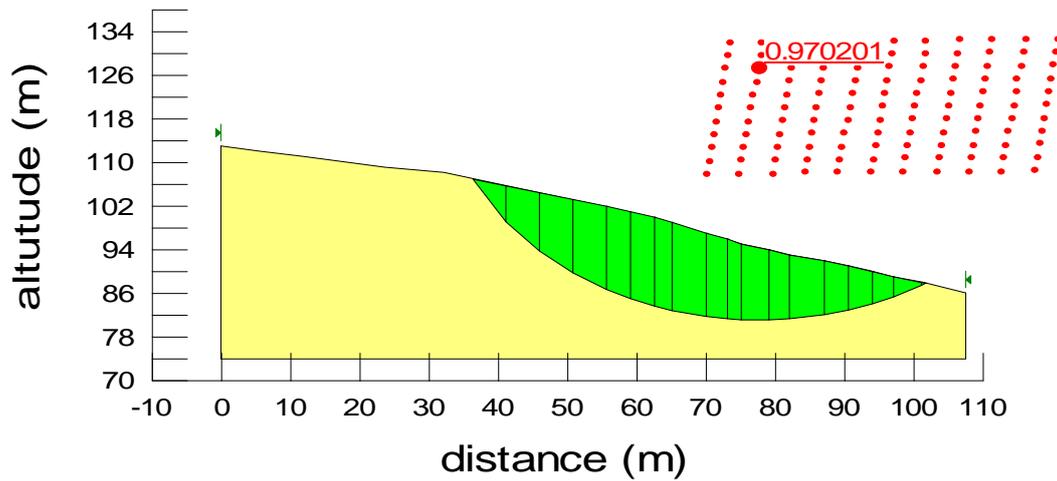


Fig. VIII.5. Cercle critique(1) obtenu selon le profil 01 ($R_u = 0.35$)

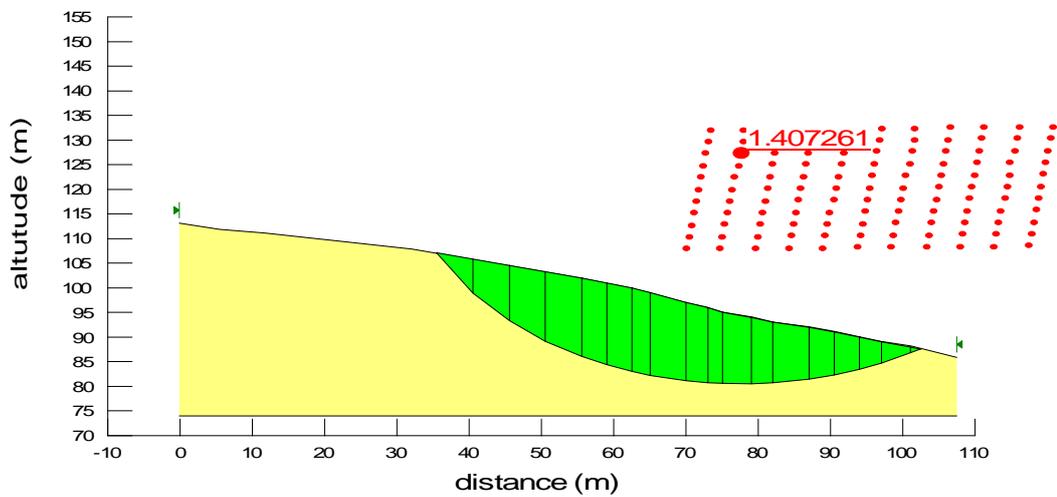


Fig. VIII.6. Cercle critique(2) obtenu selon le profil 01 ($R_u = 0$)

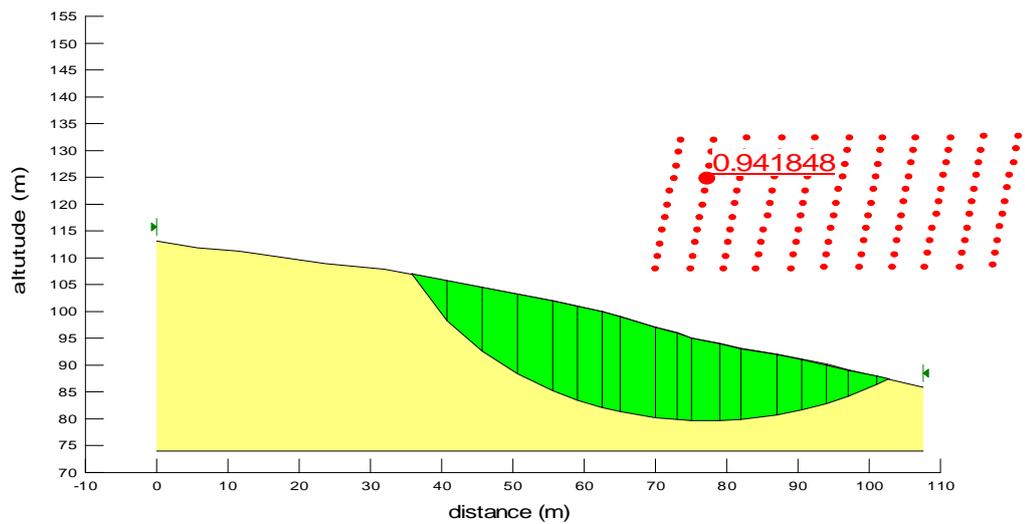


Fig. VIII.7. Cercle critique(2) obtenu selon le profil 01 ($R_u = 0.35$)

L'examen des cercles critiques permet d'en déduire que le glissement affectent principalement les formations d'argiles gypsifère avec un profondeur importante : de 20 mètre.

Conclusion

La combinaison de plusieurs facteurs est à l'origine du déclenchement du glissement de terrain du versant sud d'El Kantour, telle que : la nature lithologique, la topographie, la pluviométrie et l'activité anthropique.

Le glissement d'El Kantour est lié à des interventions humaines qui fragilisent le site. Les modifications de nature anthropiques inappropriées peuvent agir comme facteurs déclencheurs ou, plus couramment comme facteurs aggravants. Ceux-ci ont pour effet de diminuer le coefficient de sécurité de talus.

L'observation des cercles critiques permet d'en déduire que le glissement du versant sud du Djebel El Kantour affecte principalement les formations d'argiles gypsifères avec une profondeur importante : de 20 mètres.

Les profondeurs de glissements obtenues par le logiciel sont proches de celles obtenues par les calculs manuels, ces profondeurs doivent être prises en considération lors de l'exécution de tout système de confortement afin d'assurer leur efficacité.

VIII.2. Confortement et remèdes

Quand l'on est conforté a des enjeux importants, cas de glissement du versant sud d'El Kantour ,il est notamment nécessaire de s'assurer de l'efficacité des travaux a réaliser. Un des moyens pour y parvenir est la bonne connaissance des terrains a stabiliser, surtout lorsqu'il y a un risque a degrés important.

Les travaux de prévention dites « passives »,c'est-à-dire qui ne réduisent pas l'ampleur du phénomène mais en limitent ses effets :

- modification des enjeux
- surveillance et alerte .
- arrêt ou déviation des matériaux, etc...

Les actions dites »actives »qui permettent de stabiliser la zone de glissement. Ces actions peuvent être ponctuelles (soutènement, végétalisation, substitution de terrain par apport de matériaux grossiers de meilleures caractéristique mécanique et drainantes) ou plus étendues (drainage). Le drainage est particulièrement mise en œuvre, l'eau jouant en règle générale un rôle moteur déterminant.

Il est donc possible de classer les remèdes envisageables en deux grandes familles :

- **Les actions rhéologiques** : qui agissent sur le milieu lui même et visent à accroître se résistance à la rupture : amélioration des caractéristiques géotechniques par drainage, traitement, plantation.

- **Les actions mécaniques** : qui visent à créer des forces extérieures stabilisatrices : ouvrages de soutènement, terrassements, élimination de surcharges.

* Rappel préalable de quelque principe de base :

En présence d'un glissement, il est impossible de définir efficacement des remèdes sans une étude préalable sérieuse des causes et plus précisément d'un classement par ordre d'importance de diverses causes possibles.

- Il n'existe pratiquement pas deux glissements identiques
- Les remèdes sont peu ou prou(largement) , toujours onéreux(cher) ,mal adaptés ou mal implantés, ils sont inefficaces, voire même de nature à aggraver une situation dite mauvaise.
- Il faut se persuader(convaincre)qu'il est toujours préalable de prévenir l'apparition de glissements de terrain, plutôt que d'avoir à stabiliser un versant ou des ruptures sont apparues.
- Un seul type de remède est souvent insuffisant pour restaurer la stabilité permanente d'un versant
- solutions les plus chères ne sont pas nécessairement les plus efficaces.

VIII.2.1. Les différents travaux de confortement

VIII.2.1.1. Les techniques de drainage

La lutte contre l'eau est une des actions les plus efficaces pour prévenir, stabiliser ou ralentir un glissement de terrain. La connaissance du mode d'alimentation de la nappe est indispensable pour intervenir efficacement. Le succès d'un drainage repose aussi sur son entretien pour éviter un risque de colmatage(fermer) par des dépôts sulfatés, calcaires ou ferrugineux, des arrivées de fines, etc.

Parmi les différentes techniques de drainage, pour le cas du glissement de terrain du versant sud d'El Kantour , on distinguera :

a- Les ouvrages de captage, collecte et évocation :

ont pour principe de capter et dériver les eaux de surface s'écoulant en direction de la zone sensible c'est-à-dire vers le glissement de terrain et, de collecter et évacuer les eaux loin de la zone sensible , en limitant les risques de réinfiltration.

Ces techniques ont pour avantages principaux leur cout modère, une mise en œuvre simple pouvant être réalisée par des entreprises locales, un entretien aisé pour les collecteurs a ciel ouvert et une bonne adaptation au traitement de zones étendues.

- **Exemples de techniques de drainage**

- **Collecteurs à ciel ouvert**

Leur but est de transporter l'eau captée par le système drainant hors de la zone en glissement en évitant le plus les réinfiltration . Il existe une importante gamme de collecteur a ciel ouvert qui permettent de s'adapter a de nombreuses situation : aqueduc(canal) béton, canal en pierres sèches / maçonneries ou en bois, demi-buse métallique.

- **Les collecteurs fermés**

Ce sont de simple canalisation identique à celle utilisées en adduction d'eau et assainissement, installées lorsqu'il n'est pas possible d'utiliser des collecteurs a ciel ouvert pour des raisons foncières (ex : traversée de parcelles , exploitation agricole). Dans le cas de glissement très actif, seuls des tuyaux non enterrés en PEHD semblent acceptable.

b- Elimination des infiltrations superficielles issues de la pluie et du ruissellement sauvage :

- Captage de toutes les sources et résurgences repérables et évacuation au moyen de tubes en plastiques
- Réalisation d'un réseau provisoire de rigoles
- Obturation(fermeture) de fissures superficielles
- Recherche et élimination des infiltrations anormales : réseau de drainage.
- Pose d'un revêtement étanche sur pente

Mise en place d'un masque drainant : sa mise en place a pour effet : d'éliminer le ruissellement superficiel et donc l'érosion-de réduire l'infiltration profonde par élimination de l'effet désorganisateur de l'alternance retrait/gonflement-de réduire l'effet

de la pression de courant-de créer une surcharge en pied et donc un couple stabilisateur-éventuellement de réduire la pente de versant.

c- Captage des filtrations profondes – drainage profond

Sont utilisées en dernier recours, c'est-à-dire dans le cas où les techniques décrites précédemment n'auraient pas ou peu d'effet stabilisateur. Le drainage profond est le remède le plus efficace puisqu'il agit au niveau de la surface de glissement en captant un maximum d'eaux nuisibles (fatal). Il concerne toutes les techniques drainantes utilisant des forages, soit les drains subhorizontaux, drains siphons, puits verticaux.

Le coût très élevé et les aléas du drainage profond réservent pratiquement de telles opérations aux problèmes urbains ou à la protection d'intérêts importants et de vies humaines. Ce sont des techniques complexes à concevoir et à mettre en œuvre. Elles nécessitent systématiquement une étude préalable importante et l'intervention d'entreprises spécialisées.

* Il s'agit d'intervenir :

Sur les eaux superficielles qui s'infiltrent à l'amont immédiat du glissement et qui s'écoulent dans les terrains instables. Ces apports d'eau qui se font au sein même de la masse instable, sont les plus pernicious en même temps que les difficiles à repérer et à éliminer.

Les principaux dispositifs de drainage envisageable pour le traitement d'un versant :

- Les tranchées drainantes représentent la technique de drainage la plus ancienne.
- Les éperons drainants destinés à drainer mais aussi à armer le terrain
- Les drains subhorizontaux : elle se fait de deux façons soit par forage et introduction d'un tube drainant et au moyen de tubes métalliques perforés poussés à force ou battus dans le versant (Fig. VIII.8).
- Les drains verticaux
- Les forages de rabattement
- Galeries horizontales et puits verticaux

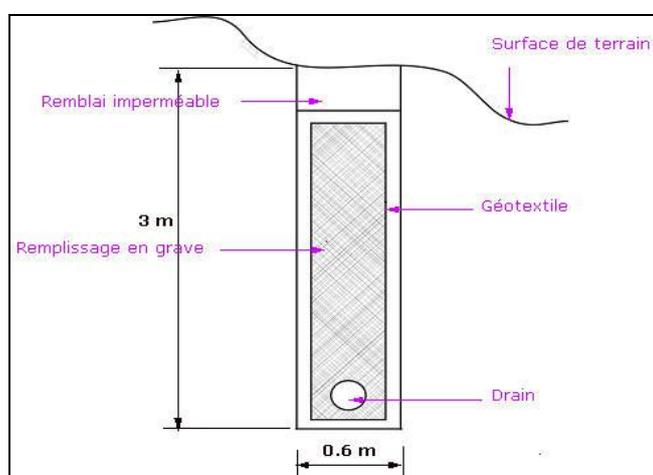


Fig. VIII.8. Exemple d'un drain subhorizontal.

VIII.2.1.2. Reprofilage (Talutage)

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

VIII.2.1.3. Butée du pied

Le chargement en pied d'un glissement est une technique souvent utilisée et généralement efficace, elle permet de limiter les risques de reprise du glissement en amont ou en aval.

VIII.2.1.4. 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 (J.C. Flageollet, 1989). En plus, la couverture végétale lutte contre l'érosion superficielle des sols.

VIII.2.1.5. Elimination de surcharge :

L'action de surcharge du talus au sommet par la construction du gabionnage cas du glissement du versant sud du Djebel El Kantour ,ce poids supplémentaire peuvent déclencher le glissement du terrain .

L'installation du gabionnage est mal adaptés ou mal implantés, donc ils est inefficaces, voire même de nature à aggraver une situation dite mauvaise.

Conclusion

Le choix d'une technique de drainage tien compte a l'évidence de la profondeur du mouvement, de la nature et du volume de matériaux mis en jeu, de la connaissance du site (vitesses de glissement, réaction aux épisodes pluvieux)et de ses contraintes d'accès et d'emprises, des contraintes économiques d'investissement et d'entretien, des délais de réalisation ,et des risques de désordres en phase de travaux.

Il serra notamment nécessaire de réfléchir a l'adéquation (lien)entre le dispositif et l'échelle du phénomène, a la pérennité de certaines techniques, aux nécessités et possibilités d'entretien ultérieur et a la possibilité de compléter le dispositif suite a des observations faites durant le chantier ou après quelques s'interroger sur la maitrise des risques liés a la modification des écoulements (en particulier le contrôle des exutoires), et au comportement des dispositifs en cas d'épisode de pluies particulier , réactivation du mouvement, etc..

- Enfin on n'insistera jamais sur les trois points :
 - 1- La surveillance du dispositif est nécessaire, quand a son entretien, a l'appréciation de son efficacité(souvent possible par quelques mesures simples mais régulières), ce qui suppose la parfaite connaissances des travaux effectivement réalisés.
 - 2- Toute intervention a ses limites dans un domaine naturel complexe comme celui d'un versant. La connaissance du fonctionnement de celui -ci était en règle générale très réduite avant la réalisation des travaux.
 - 3- Les conditions de fonctionnement « naturel » peuvent varier sur une longue période (modification des écoulements en amont par exemple).

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Le glissement de terrain du versant sud du Djebel El Kantour se situe dans le bassin néogène de Constantine. Le glissement est caractérisé par une dynamique liée aux facteurs (géotechniques de sol, hydroclimatiques et l'effet anthropique) et constitue une menace sous deux aspects, premièrement : le déplacement de la masse de sol provoquant les infrastructures situées sur la portion de terrain en mouvement, tel que le réseau électrique de haute tension ... Deuxièmement : le glissement d'El Kantour affecte non seulement le talus, mais aussi d'immenses bandes de terrain à l'arrière (le cimetière) par le phénomène de rétrogression c'est-à-dire le mouvement de recul.

Dans notre cas il s'agit aussi de surcharge presque au sommet du talus par la construction d'un gabionnage. Ce poids supplémentaire modifie l'état d'équilibre du talus et peut ainsi déclencher le glissement parce qu'il agit comme facteur aggravant. De plus, il augmente l'inclinaison du talus, ce qui diminue le coefficient de sécurité et, par le fait même, la stabilité du talus.

Concentration d'eau vers la pente : le fait de concentrer et de diriger l'eau de drainage, de ruissellement au sommet ou dans le talus occasionne du ravinement, de l'érosion verticale ou d'infiltration dans le sol. Une telle concentration d'eau peut agir comme facteur aggravant ou comme facteur déclencheur en modifiant la géométrie du talus (augmentation de l'inclinaison et de la hauteur) et les conditions d'eau souterraine. Canaliser l'eau de pluie dans des drains au sommet du talus. Ces gestes peuvent être très néfastes à la stabilité du talus.

L'ensemble des caractéristiques géologiques et géotechniques du versant sud du Djebel El Kantour et les résultats de calcul de stabilité permettent de proposer les solutions adéquates précédemment citées.

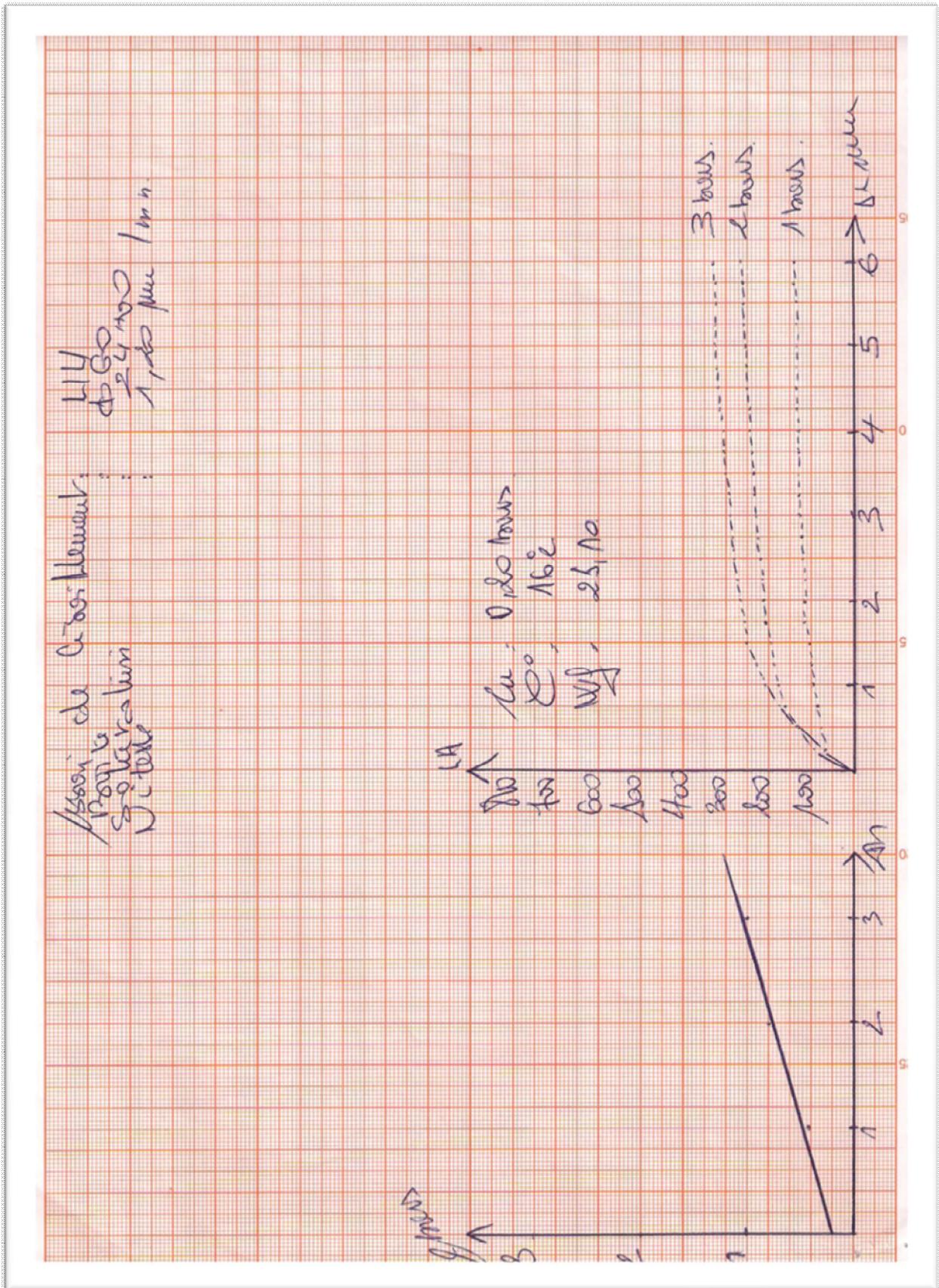
Dans toutes les travaux de confortement des glissements de terrains, il est nécessaire de s'assurer de l'efficacité des travaux à réaliser. Un des moyens pour y parvenir est la bonne connaissance des terrains à stabiliser, surtout lorsqu'il y a un risque à degrés importants.

Références bibliographiques

- Amireche.H :(2002) , *L'eau , le substrat , la tectonique et l'anthropisation dans les phénomènes érosifs du tell nord – constantinois* .(Thèse de doctorat d'état) .
- Amireche .H :1984 :*Etude de l'érosion dans le bassin versant des zerdazas (Tell constantinois –Algérie)* Thèse de troisième cycle.
- Amor Halitim : (1981) *Sols des régions arides d'Algérie* ,Alger,361p.
- Antoine, P., et Fabre, D., (1980). *Géologie appliquée au génie civil*. Ed. Masson. Paris, 291 p.
- Aoun, M., (2002). *Problèmes géologiques et géotechniques dans le bassin de Mila : leur impact sur les ouvrages d'art*. Thèse magi. Univ. Tébessa, 156 p.
- Benaissa, A., (2003). *Glissement de terrain, calcul de stabilité*. Ed. O.P.U. (Alger), 95 p.
- Bouillin, J.P., et Raoult, J.F., (1971). *Présence sur le socle kabyle du constantinois d'un olistostrome lié au charriage des flyschs; le Numidien peut-il être un néo-autochtone?* Bull. Soc. Géol. France. 7, 117 p.
- Bouillin, J.P., (1977). *Géologie alpine de la petite Kabylie dans la région de Collo et d'El Milia (Algérie)*. Thèse doct. Uni. P. et M. Curie, 511 p.
- Chaumont ,et Paquinc (1971). *Les influences des régimes climatiques en France, en Espagne et en Afrique du Nord et leurs conséquences hydrologiques* , thèse de doctorat d'état , Faculté des Sciences de Paris ,174P.
- Coiffait .PE.(1992) *un bassin post-nappe dans son cadre structural . l'exemple du bassin de Constantine (Algérie orientale)* . thèse de doctorat . univ .Nancy .505 p.
- Cordary, D., (1994). *Mécanique des sols*. Ed. Lavoisier Tec et Doc. Paris, 380 p.
- Cote M .1998, *les régimes bioclimatiques de l'Est Algérien , Rhumel* .n°6 PP .57-71.
- Djellit, H., (1987). *Evolution tectono-métamorphique du socle Kabyle et polarité de mise en place des nappes de flyschs en petite Kabylie occidentale (Algérie)*. Thèse doct. Univ. Paris, 206 p.
- Durant Delga .M(1955) . *Etude géologique de l'ouest de la chaîne numidique (Algérie)* . Thèse sciences .Paris .Publ .Serv.cartes Géol .Algérie .

- Gelard, J.P., (1969). *Le flysch à base schisto-gréseuse de la bordure méridionale et orientale du massif de Chellata : le flysch maurétanien (Grande Kabylie)*. Bull. Soc. Géol. France. Paris. 7, pp. 676-686.
- Habib, P., (1997). *Génie Géotechnique - Applications de la mécanique des sols et des roches*. Ed. Ellipses AUPELF/UREF. Paris, 222 p.
- Hubert, B., et Philipponnat, G., (2003). *Fondations et ouvrages en terre*. Ed. Eyrolles. Paris, 548 p.
- Lahonder, J.C., et al., (1979). *Datation des grès numidien d'Algérie orientale conséquences structurales*. C.R.Acad. Sc. Paris. T 289. (D). 4, pp. 383-386.
- L.Berthois, 1975 : *Etude sédimentologique des roches meubles (techniques et méthodes)* ; doin éditeurs 8 , place de l'Odéon ; 75006-Paris VI^e .
- Mebarki, A., (1982). *Le bassin de Kébir-Rhumel - Hydrologie de surface et aménagement des ressources en eau*. Thèse doct. 3^{ème} cycle, Univ. Nancy II, 304 p.
- Meghraoui M, 1980 : *Géologie des zones sismiques du Nord de l'Algérie . tectonique active et système sismotectonique* , thèse d'Etat . Univ. Paris Sud.
- Raoult, J.F., (1969). *Relations entre la Dorsale Kabyle et les Flyschs sur la transversale du Dj Rhédir, phases tangentielles Eocènes, paléogéographie (Nord du Constantinois, Algérie)*. Bull. Soc. Géol. Fr. XI. Paris, pp. 523-543.
- Raoult, J.F., (1974). *Géologie du centre de la chaîne Numidique (Nord du Constantinois, Algérie)*. Thèse. Sc. Mem. Soc. Géol. Fr. ns. LIII. Paris. 21, 163 p.
- Schlosser, F (1980) : *Cours sommaire de mécanique des sols* (LCPC).
- Vila, J.M., (1980). *La chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins algéro-tunisiens*. Thèse Doct. Univ. P. et M. Curie. Paris. 3 Vol, 665 p.
- Wildi, W., (1983). *La chaîne Tello-rifaine (Algérie - Maroc - Tunisie) : Structure, stratigraphie et évolution du Trias au miocène*. Rev. Géol. Dyn. Geogr. Phy. Paris. 24, pp. 201-297.

Annexe :01 –Essai de cisaillement UU(non consolidé non drainé)



Pression Verticale (bars)	0.28	0.53	0.66
Déformation %	5.47	5.47	5.34

Temps	1=bars	2 bars	3bars
	Anneau	Anneau	Anneau
0.25	70	90	70
	77	130	135
	84	160	175
1.0	95	175	205
	100	188	230
	105	195	250
	115	205	255
2.0	115	210	267
	115	217	275
	125	220	280
	127	227	287
	127	230	290
3.0	130	232	295
	130	235	300
	130	240	305
	135	245	307
	135	245	315
4.0	135	250	320
	135	252	320
	135	255	325
	135	257	327
	140	260	327
	140	263	327
6.0	140	265	330
	140	265	330
Section Corrigée (cm)	24.98	24.98	25.056
Force (kgf)	10.64	20	25.08
Z (bars)	0.42	0.80	1.00

Annexe :02- ESSAI DE CISAILLEMENT A LA BOITE

Intacte UU
 Durée de la saturation : 24 :00H
 Boite : Ø60
 Anneau N° 12044 Force : 200kg
 Vitesse de cisaillement : 1.20um/mn
 Nature du sol : argile
 Date : 26/5/201

Echantillon	Caractéristiques Initiales			Caractéristiques		
	I	II	III	I	II	III
Charge verticale	/	/	/	/	/	/
Poids humide+Moule	170.7	171.0	170.8	/	/	/
Tare +Moule	84.4	84.4	84.4	/	/	/
Poids Net	86.3	86.6	86.4	/	/	/
Volume cm ³	56	56	56	/	/	/
N°Tare	85	80	79	63	7	75
PH+Tare	76.2	64.1	85.0	99.7	106.6	105.2
PS+Tare	66.8	56.2	73.6	83.9	89.4	86.8
Poids du Tare	16.5	14.2	18.1	21.3	17.4	16.5
Eau	9.4	7.9	11.4	15.8	17.2	18.4
Poids sec	50.3	42	55.5	62.6	72	70.3
Teneur en eau	18.7	18.8	20.54	25.24	23.9	26.17
γ_h (g/cm ³)	1.73	1.73	1.73	/	/	/
γ_d (g/cm ³)	1.46	1.46	1.43	/	/	/
SR %	59.4	59.7	62.4	/	/	/

$\omega_f = 25.10\%$

Annexe : 03 - Densité – Teneur en eau

LTP- EST Jijel
26- 05 - 2010

Profondeur : 1.40m
Nature : Argile

ECHANTILLONS	DENSITE 1		DENSITE 2	
Tare N°	6.6	83	35	74
PH +Tare	70.6	75.5	69.5	68.1
Ps + Tare	61.9	66.2	61.7	59.7
Tare	17.4	16.7	20.0	18.0
Poids de l'eau	8.7	9.3	7.8	8.4
Poids sec	44.5	49.5	41.7	41.7
Teneur en eau	19.55	18.8	18.7	20.14
PH-Parrafine	236		264	
Poids humide	218.6		246.2	
P .Parrafine	17.4		17.8	
P .Mat dans l'eau	100.00		110.00	
Volume brut	136.00		154	
Volume parrafine	19.33		198	
Volume net	116.7		134.2	
Densité Humide	1.87		1.83	
T .en eau moy	19.17		19.42	
Densité sèche	1.57		1.53	
WS %	26.7		28.36	
SR %	71.8		68.5	