

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



Université de Jijel
جامعة جيجل

Géo.06/13

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des Sciences de la Terre et de l'Univers



كلية علوم الطبيعة و الحياة
قسم علوم الأرض و الكون

MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en géologie
Spécialité : Géologie de l'ingénieur

Thème

01
01

*Glissements de terrain sur la RN 105 entre Tassala et Mila
-Diagnostics et remèdes-*

Présenté par : Saoudi Widad
Chekout Meryem

Soutenu publiquement le : 01/07/2013

Devant le jury composé de :

Président : Mr Rouikha.Y .
Encadreur(s) : Mr Benzaid.R et Mr Tekkouk.M .
Examineur(s) : Mr Remyoum.K .



Année Universitaire 2012/2013

Résumé

Le tronçon de la route nationale numéro 105 (RN 105) situé entre les villes de Mila et de Tassala est affecté par deux glissements de terrain ayant entraîné des désordres importants. Les observations sur terrain et le traitement des données géotechniques ont permis de diagnostiquer ces instabilités de terrains.

Les glissements constatés au niveau du RN 105 se sont manifestés au sein du remblai servant à supporter la route. Le remblai en question, d'épaisseur allant jusqu'à quatre mètres, a été édifié sur l'une des formations géologiques des plus instables connues dans la région, il s'agit de la formation flysch massylien d'âge crétacé inférieur pour le premier glissement, et Marnes à gypses du miocène supérieur pour le deuxième.

Le secteur affecté par les deux glissements fait partie du bassin versant d'Oued Kébir Amont Endja qui est caractérisé par un réseau hydrographique très développé. Les deux instabilités sont localisées aux lieux de passage des eaux de ruissellement que collectent les différentes « chaâbats ». Les précipitations annuelles sont d'environ 680 mm dont 143 mm (21 %) s'infiltrent et 125mm (19%) ruissent.

Les glissements en question se sont déclenchés depuis un 29 ans, ils ont été traités à maintes reprises et les solutions proposées par les bureaux d'études n'ont pas donné de résultats satisfaisants. Nous avons repris les données géotechniques de ces différentes études ainsi que celles réalisées récemment (2010) et nous les avons traitées avec le logiciel « Geo-Slope ». Les traitements réalisés ont permis de calculer les coefficients de stabilité « Fs ».

Les solutions proposées pour stabiliser ces terrains consistent :

- Des ouvrages poids (masque drainant) ;
- Drainage (tranchées drainantes, caniveaux) ;
- Reprofilage du talus ;
- Reboisement ;
- Tirants d'ancrages ;
- Mur de soutènement.

Les calculs effectués en appliquant ces solutions donnent toujours des coefficients de sécurité « Fs » toujours supérieurs à 1.5.

Résumé

Le tronçon de la route nationale numéro 105 (RN 105) situé entre les villes de Mila et de Tassala est affecté par deux glissements de terrain ayant entraîné des désordres importants. Les observations sur terrain et le traitement des données géotechniques ont permis de diagnostiquer ces instabilités de terrains.

Les glissements constatés au niveau du RN 105 se sont manifestés au sein du remblai servant à supporter la route. Le remblai en question, d'épaisseur allant jusqu'à quatre mètres, a été édifié sur l'une des formations géologiques des plus instables connues dans la région, il s'agit de la formation flysch massylien d'âge crétacé inférieur pour le premier glissement, et Marnes à gypses du miocène supérieur pour le deuxième.

Le secteur affecté par les deux glissements fait partie du bassin versant d'Oued Kébir Amont Endja qui est caractérisé par un réseau hydrographique très développé. Les deux instabilités sont localisées aux lieux de passage des eaux de ruissellement que collectent les différentes « chaâbats ». Les précipitations annuelles sont d'environ 680 mm dont 143 mm (21 %) s'infiltrent et 125mm (19%) ruissellent.

Les glissements en question se sont déclenchés depuis un 29 ans, ils ont été traités à maintes reprises et les solutions proposées par les bureaux d'études n'ont pas donné de résultats satisfaisants. Nous avons repris les données géotechniques de ces différentes études ainsi que celles réalisées récemment (2010) et nous les avons traitées avec le logiciel « Geo-Slope ». Les traitements réalisés ont permis de calculer les coefficients de stabilité « Fs ».

Les solutions proposées pour stabiliser ces terrains consistent :

- Des ouvrages poids (masque drainant) ;
- Drainage (tranchées drainantes, caniveaux) ;
- Reprofilage du talus ;
- Reboisement ;
- Tirants d'ancrages ;
- Mur de soutènement.

Les calculs effectués en appliquant ces solutions donnent toujours des coefficients de sécurité « Fs » toujours supérieurs à 1.5.

ملخص

المقطع من الطريق الوطني رقم 105 (RN105) المتواجد بين مدينتي ميله و تسالة معرض لانزلاقين لتربة الشيء الذي سبب اضطرابات كبيرة. الملاحظات في عين المكان و معالجة المعطيات الجيو تقنية أمكنتنا من تشخيص حالات عدم الاستقرار هذه.

الإنزلاقات المحققة على مستوى الطريق الوطني 105 ظهرت في طبقة الردم المستخدمة لدعم الطريق. الردم ذو سمك يصل إلى 4 أمتار. هذا الردم قد نفذ فوق واحدة من الطبقات الجيولوجية الأكثر عدم استقرارا المعروفة في المنطقة إنها تتمثل في طبقة الفليس ماسيليان طيشيرى سفلي بالنسبة للانزلاق الأول , و المارن بالجيس ميوسان علوي بالنسبة لثاني.

المقطع المعرض لهادين الانزلاقين هو جزء من حوض السفح لواد الكبير الأعلى النجاء الذي يتميز بشبكة هيدروغرافية متطورة. حيث أن الانزلاقين متمركزين في نقاط عبور المياه الجارية التي تتجمع في الشعابي. الأمطار السنوية تتراوح في حدود 680 مم حيث 143 مم (21%) تترسب و 125.28 مم (19%) تجري. الإنزلاقات المطروحة في السؤال انطلقت منذ 29 سنة. عولجوا عدة مرات و كانت الحلول المقترحة من طرف مكاتب الدراسات غير مرضية لقد أخذنا المعطيات الجيوتقنية لهذه الدراسات المختلفة و حتى تلك المرهبة حديثا (2010) و قمنا بعلاجها بالبرنامج « GéoSlope ». المعالجات المنفذة تسمح بحساب معاملات الاستقرار.

الحلول المقترحة لتثبيت هذه المناطق تتمثل في:

- منشآت ثقل ;
- تسريب المياه ;
- إعادة تخطيط المنحدر ;
- تشجير ;
- ربط قصيب ;
- صور مدعم.

حسابات الثبات المنفذة بتطبيق هذه الحلول قدمت معاملات الأمان دائما اعلي من الواحد و النصف.

Summary

The section of road to number 105 national (RN 105) located between the cities of Mila and Tassala is affected by four landslides causing major disturbances. The field observations and data processing have allowed Geotechnical diagnose these instabilities of land.

Shifts observed at the RN 105 have emerged within the fill used to support the road. The fill in question, up to four meters thick, was built on one of the most unstable geological formations known in the region, it is the formation of flyschs massilien for crétacé inferior of the first landslide and Marne à gypse of Miocene superior for the second.

The area affected by landslides is part four of the watershed of Wadi Kébir Amont Endja, which is characterized by a highly developed drainage system. The instabilities are localized to four crossing points of runoff that collects the various "chaâbats." Annual precipitation is about 680 mm, 143mm (21.12%) and 125mm infiltrate (19%) runs off.

Landslides are triggered in question for 29 years, they have been treated many times and the solutions proposed by the consultants did not give satisfactory results. We took the geotechnical data from these studies and those carried out recently (2010) and we have dealt with the software «Géo-Slope». The treatments have made it possible to calculate the coefficients of security "Fs".

The solutions proposed to stabilize these lands are to:

- Works weight (draining mask);
- Drainage (drainage ditches, culverts);
- Reshaping the slope;
- Reforestation;
- Tirant anchored;
- Mur de soutènement.

The calculations made in applying these solutions always give security coefficients "Fs" always higher than 1.5.

Sommaire

Introduction générale.....	01
----------------------------	----

Chapitre I : Généralités

I/ Situation géographique du secteur étudié.....	02
II/ Climat et végétation.....	03
II.1/ Climat.....	03
II.2/ Végétation.....	04
III/ Réseau hydrographique.....	05
IV/ Morphologie et relief.....	06
IV.1/ Classement topographique.....	06
IV.2/ Relief.....	07
V/ Sismicité de la région.....	08

Chapitre II : Cadre géologique régional

I/ Introduction.....	09
II/ Le domaine interne.....	10
II.1/ Le Socle kabyle.....	10
II.2/ La couverture sédimentaire du socle kabyle.....	11
II.2.1/ La dorsale kabyle ou chaîne calcaire.....	11
A/ La dorsale interne.....	11
B/ La dorsale médiane.....	11
C/ La dorsale externe.....	11
II.2.2/ Les formations de l'Oligo-Miocène Kabyle (OMK).....	12
II.2.3/ Les Ollistostromes.....	12
II.2.4/ Le Nummulitique.....	12
III/ Le domaine externe.....	12
III.1/ Les séries de type flyschs.....	12
III.1.1/ Le flysch maurétanien.....	12
III.1.2/ Le flysch massylien.....	13
III.1.3/ Le flysch numidien.....	13
III.2/ Les séries telliennes.....	13
III.3/ Les formations Post-nappes.....	14
III.4/ Les formations du quaternaire.....	14
IV/ Aspect structurale de la partie occidentale de la petite Kabylie.....	15
IV. 1/ Tectonique anté-Oligocène.....	15
IV.2/ Tectonique Miocène.....	15
V/ Position du bassin néogène de Constantine dans le dispositif structural de la partie Nord orientale de la chaîne Alpine Algérie.....	16

Chapitre III : Cadre géologique local

I/ Présentation géologique du bassin néogène de Mila.....	17
II/ Synthèse litho-stratigraphique du bassin de Mila.....	17
II.1/ Les formations triasiques.....	17
II.2/ Les formations du jurassique.....	17
- Lias.....	17
- dogger.....	17
- Malm.....	18
II.3/ Les formations du Crétacé inf et sup.....	18
- Crétacé inférieur.....	18
- Crétacé supérieur.....	18
II.4/ Les formations du Paléogène.....	18
-Paléocène.....	18
-Eocène.....	18
II.5/ Les dépôts Néogènes.....	19
II.6/ Les dépôts Quaternaires.....	19
III/ Géologie du secteur étudié.....	22
III.1/ Caractéristiques lithologiques de la région étudiée.....	22
III.1.1/ Région de Machtat Baraka.....	22
III.1.1.1/ Les formations cristallophylliennes du socle Kabyle.....	22
III.1.1.2/ Les formations de type flysch.....	23
III.1.1.3/ Les formations telliennes.....	23
III.1.1.4/ Les formations quaternaires.....	24
III.1.2/ Région de Djebessa.....	26
III.1.2.1/ Les formations telliennes.....	26
III.1.2.2/ Les formations post-nappes.....	26
III.1.2.3/ Les formations quaternaires.....	27
III.1.2.3.1/ Les conglomérats.....	27
III.1.2.3.2/ Les calcaires lacustres.....	27
III.2/ La tectonique.....	30

Chapitre IV : Synthèse hydrologique et hydrogéologique

I/ Introduction.....	31
II/ Analyse morphométrique du bassin versant.....	31
II.1/ Situation géographique.....	31
II.2/ Situation et présentation du secteur étudié.....	33
II.3/ les caractéristiques morphométriques.....	34
III/ Analyse des caractéristiques hydroclimatiques.....	36
III.1/ La pluviométrie.....	37
III.2/ La température.....	40
III.3/ Graphe ombro-thermique.....	41
III.4/ L'aridité.....	43
III.5/ Appréciation du bilan hydrologique.....	43
A/ Calcul de l'évapotranspiration potentielle (ETP).....	44
B/ Calcul de l'évapotranspiration réelle (ETR).....	44
III.6/ Conclusion.....	50
IV/ Conditions hydrogéologiques du site.....	51

V/ Conclusion.....	52
--------------------	----

Chapitre V : Caractéristiques géotechniques du site et l'étude de stabilités

I/ Introduction.....	53
II/ Méthodologie d'étude des glissements de terrain	54
II.1/ Repérage des zones instables du site	54
II.2/ Exploitation des travaux de reconnaissance.....	55
II.2.1/ Les moyens de reconnaissance insitu.....	56
II.2.2/ Les moyens d'étude au laboratoire.....	56
II.2.2.1/ Essais d'identification.....	56
a/ La teneur en eau.....	56
b/ Les densités.....	57
c/ Les limites d'Atterberg.....	60
II.2.2.2/ Essais mécaniques.....	63
II.2.2.3/ Caractéristiques chimiques des sols.....	64
II.3 / Lithologie du site et contexte géotechnique	66
II.4 /Diagnostics et causes probables des glissements étudiés.....	68
II.4.1/ Description des glissements étudiés.....	68
II.4.2/ Causes probables des glissements.....	74
II.5/ Analyse de stabilité.....	74
II.5.1/ Simulation numérique par le logiciel Geo-Slope	75
II.5.2/ Techniques de confortement	77
II.5.2.1/ Actions sur la géométrie par reprofilage.....	77
II.5.2.2/ Action sur la buté en pied du talus.....	77
II.5.2.3/ Actions sur le régime hydraulique.....	79
II.5.2.4/ Les tirants d'ancrages.....	81
II.5.2.5/ Les murs de soutènements.....	83
Conclusion générale.....	88

Liste des tableaux

Tab. IV.1- Les sous bassins du grand bassin versant du Kébir Rhumel (ANRH).....	32
Tab. IV.2- Caractéristiques morphométriques du sous bassin Kébir Amont Endja.....	35
Tab. IV.3- Précipitations moyennes mensuelles en mm durant la période : 2003 - 2007 (Station de Beni Haroun).....	38
Tab. IV.4- Précipitations moyennes mensuelles en mm durant la période :1984 - 1997 (Station de Hamala Grarem).....	38
Tab. IV.5- Températures moyennes mensuelles en °C durant la période : 2003 - 2007 (Station de Beni Haroun).....	40
Tab. IV.6- Températures moyennes mensuelles en °C durant la période : 1984 - 1997 (Station de Hamala).....	40
Tab. IV.7- Bilan hydrologique - Station de Beni Haroun (Période : 2003 - 2007).....	46
Tab. IV.8- Bilan hydrologique - Station de Hamala Grarem (Période :1984 1997).....	47
Tab. V.1- Essais exécutés en 2009 à partir du sondage SC1.....	57
Tab. V.2- Essais exécutés en 2009 à partir du sondage SC2.....	57
Tab. V.3- Essais exécutés en 2009 à partir du sondage SC3.....	57
Tab. V.4- Essais exécutés en 2009 à partir du sondage SC4.....	58
Tab. V.5- Estimation du gonflement potentiel du sol étudié.....	61
Tab. V.6- Résultats des essais de limites d'Atterberg effectués pour les sols du site étudié.....	62
Tab. V.7- Résultats des essais de cisaillement direct, 1 ^{er} glissement (2009).....	63
Tab. V.8- Résultats des essais de cisaillement direct, 2 ^{ème} glissement (2009).....	64
Tab. V.9- Résultats des teneurs en carbonates.....	65
Tab. V.10- Profil du 1 ^{er} glissement.....	75
Tab. V.11- Profil du 2 ^{ème} glissement.....	75
Tab. V.12- Valeurs du facteur de sécurité Fs état actuel.....	75
Tab. V.13- Valeur du facteur de sécurité Fs après confortement.....	77
Tab. V.14- Caractéristiques du tirant d'ancrage proposé.....	82
Tab. V.15- Caractéristiques du mur de soutènement proposé.....	83
Tab. V.16- Valeur de facteur de sécurité Fs après confortement (mur de soutènement+tirant d'ancrage).....	84

Liste des figures

<i>Fig. I.1- Carte de situation géographique</i>	02
<i>Fig. I.2- Carte simplifiée des zones bioclimatiques de l'Est algérien (D'après Mebarki A ,2005</i>	03
<i>Fig. I.3- Carte d'indice de végétation (NDVI)</i>	04
<i>Fig. I.4- Réseau hydrographique du bassin de Mila</i>	05
<i>Fig. I.5- Carte des pentes de la région -Tassala-</i>	06
<i>Fig. I.6- Carte des reliefs de la région d'étude(3D)</i>	07
<i>Fig. I.7- Carte sismique de l'Algérie selon les R.P.A version 2003 Source :CRAAG-Alger</i>	08
<i>Fig. II.1- Carte géologique de la Petite Kabylie Extrait de la carte structurale de la chaîne Alpine d'Algérie orientale et des confins algéro- tunisien au 1/500 000 (d'après Vila,1980)</i>	09
<i>Fig. II.2- Les grands ensembles géologiques des Maghrébides en Algérie (Wildi,1983; in Djellit,1987)</i>	10
<i>Fig. II.3- Esquisse structurale du Nord- Est Algérien. (W. Wildi, 1983)</i>	16
<i>Fig. III.1- Carte géologique synthétique du bassin constantinois. (J.M. Vila, 1980)</i>	20
<i>Fig. III.2- Carte géologique du Sidi Merouane (Durand Delga M., (1969)</i>	21
<i>Fig. III.3- Coupe géologique à travers le site affecté par le glissement de terrain (Rouikha,2013)</i>	24
<i>Fig. III.4- Colonne litho stratigraphique du site affecté par le glissement de terrain (Rouikha,2013)</i>	25
<i>Fig. III.5- Coupe géologique à travers le site affecté par le glissement de terrain (Rouikha, 2013).</i>	28
<i>Fig. III.6- Colonne lithostratigraphique du site affecté par le glissement de terrain (Rouikha,2013)</i>	29
<i>Fig. IV.1- Situation du bassin versant du Kébir-Rhumel en Algérie. (A. Mebarki, 1982)</i>	31
<i>Fig. IV.2- Découpage du bassin versant de Kébir Rhumel (LNRH)</i>	32
<i>Fig. IV.3- Réseau hydrographique d'oued Endja Extraire de la carte topographique N°50 de Constantine (1 / 50 000)</i>	33
<i>Fig. IV.4- Réseau hydrographique du sous bassin de Kébir Amont Endja carte topographique de Constantine.n° 50 (1/50.000)</i>	35
<i>Fig. IV.5- Climat du secteur étudié</i>	36
<i>Fig. IV.6- Distribution des précipitations moyennes mensuelles</i>	38
<i>Fig. IV.7- Répartition de précipitations moyennes saisonnières durant la période : 2003 – 2007 (Station de Beni Haroun)</i>	39
<i>Fig. IV.8- Répartition de précipitations moyennes saisonnières durant la période : 1984 – 1997 (Station de Hamala)</i>	39
<i>Fig. IV.9- Distribution des températures moyennes mensuelles</i>	41

Fig. IV.10- <i>Graphe Ombro-Thermique durant la période : 2003 - 2007 (Station de Beni Haroun)</i>	42
Fig. IV.11- <i>Graphe Ombro-Thermique durant la période : 1984 - 1997(Station de Hamala Grarem)</i>	42
Fig. IV.12- <i>Représentation graphique du bilan hydrologique pour la période : 2003 - 2007 (Station de Beni Haroun)</i>	48
Fig. IV.13- <i>Représentation graphique du bilan hydrologique pour la période : 1984 – 1997 (Station de Hamala Grarem)</i>	48
Fig. V.1- <i>Classification des sols étudiés par l’abaque de Casagrande</i>	62
Fig. V.2- <i>Corrélation entre les sondages carottés Sc₁₋₁ et Sc₁₋₂ (glissement 1)</i>	67
Fig. V.3- <i>Corrélation entre les sondages carottés Sc₂₋₃ et Sc₂₋₄ (glissement 2)</i>	68
Fig. V.4- <i>Situation de 1^{er} glissement sur le levé topographique réaliser par SARL L.V.B ZEKKOUR 2009</i>	69
Fig. V.5- <i>Situation de 2^{ème} glissement sur le levé topographique réaliser par SARL L.V.B ZEKKOUR 2009</i>	72
Fig. V.6- <i>Etude de stabilité des deux talus étudiés (actuellement les deux versants sont instables)</i>	76
Fig. V.7- <i>Etude de stabilité après confortement</i>	78
Fig. V.8- <i>Schéma de la tranchée drainante proposée</i>	80
Fig. V.9- <i>Détail de la jonction du drain en buse perforée de la tranchée drainante avec le puisard</i>	80
Fig. V.10- <i>Exemple d’un Voile ancré</i>	81
Fig. V.11- <i>Tirant permanent</i>	82
Fig. V.12- <i>Exemple d’un Mur de soutènement</i>	83
Fig. V.13- <i>Caractéristiques du mur de soutènement utilisé</i>	84
Fig. V.14- <i>la deuxième série des solutions proposées pour la stabilisation des talus étudiés</i>	85
Fig. V.15- <i>Schéma récapitulative des solutions proposé (1^{er} glissement)</i>	86
Fig. V.16- <i>Schéma récapitulative des solutions proposé (2^{ème} glissement)</i>	87

Planche des photos

Photo. III.1- Contact socle kabyle- flysch massylien.....	22
Photo. III.2- Alternances argile-quartzite (flysch massylien).....	23
Photo. III.3- illustrant les formations telliennes fortement ravinées	23
Photo. III.4- illustrant les formations telliennes.....	26
Photo. III.5- illustrant les formations post nappes.....	26
Photo. III.6- illustrant les formations quaternaires.....	27
Photo. III.7- illustrant les plissements N-S visibles dans les formations du flysch Massylien...	30
Photo. V.1- Situation géographique du secteur d'étude sur l'image spatiale (Google earth année 2011).....	54
Photo. V.2- Implantation des sondages carottés. a) sondages du 1 ^{er} glissement (PK9) ; b) sondages du 2 ^{ème} glissement (PK18).....	55
Photo. V.3- Désordres observés au niveau du site du 1 ^{er} glissement	70
Photo. V.4- Désordre observés au niveau du site du 2 ^{ème} glissement	73

Introduction générale

L'intérêt donné aux phénomènes d'instabilité des sols s'est fortement accru ces dernières décennies. Cette augmentation des dégâts et des coûts liés aux instabilités de terrains est devenue une des préoccupations majeures des responsables ainsi que la société civile.

En effet, l'utilisation des sols autrefois jugés marginaux ou inadéquats pour la construction intensifie le nombre d'instabilité des terrains. Il est donc primordial non seulement d'identifier ces phénomènes, mais également de mieux cerner leur comportement afin d'anticiper des dégâts probables.

Les instabilités étudiées dans ce mémoire se situent sur la route nationale (RN105) joignant Tassala à Mila dans la wilaya de Mila. Elles constituent un défi majeur au développement socio-économique de la région en regard aux sinistres occasionnés par cet aléa.

L'effet de certains glissements étudiés ne cesse de préoccuper les citoyens malgré les nombreux travaux de confortement réalisés, ces remèdes sont parfois inappropriés car le traitement est symptomatique et ne prend pas en considération les propriétés intrinsèques des sols.

A l'amont de notre projet de fin d'étude, la géologie, l'hydrologie et l'étude géotechnique sont d'une importance capitale. En effet, à partir de la géologie on détermine la nature, la géométrie et l'extension des différentes unités lithologiques. L'étude hydrologique, nous permet de caractériser le comportement hydroclimatique du secteur étudié. Quant à l'étude géotechnique, elle permet de connaître les paramètres physico-mécaniques du sol étudié.

Cette étude est proposée dans le but d'approfondir les connaissances sur les propriétés géologiques et géotechniques des sols instables afin de proposer les solutions les mieux adoptées aux problèmes posés. La méthodologie suivie se base sur :

- Une consultation des travaux et des études géologiques antérieures en rapport avec le sujet d'étude que se soit sur le plan géologique (géologie de l'Algérie nord orientale, géologie du bassin néogène de Mila), sur le plan hydrologique ou sur le plan géotechnique. Aussi des esquisses et cartes géologiques et topographiques en relation avec le thème; ont été d'une utilité certain par l'élaboration de ce travail.
- Des sorties sur terrain d'étude et réalisation d'observations et coupes;
- Une analyse des résultats obtenus lors des études réalisées par la direction des travaux publics (DTP) de Mila.

Pour mener à bien notre travail nous avons proposé le plan suivant:

- Introduction générale;
- Chapitre I : Généralités ;
- Chapitre II : Cadre géologique régional ;
- Chapitre III : Cadre géologique local ;
- Chapitre IV : Synthèse hydrologique et hydrogéologique;
- Chapitre V : Caractéristiques géotechniques du site et Analyse de stabilité;
- Conclusion générale et recommandations.

I/ Situation géographique du secteur étudié :

La région étudiée est située sur l'axe routier Mila-Tassala le long duquel de nombreuses zones instables sont à signaler. Le secteur concerné par cette étude se situe à environ 50 Km au Nord -Ouest du chef lieu de la wilaya de Mila et s'étend sur une longueur d'environ 43,5 Km, il est limité au Nord par Chahna, à l'Est par Amira Arrès, au Sud par Rouached et à l'Ouest par Djimla. Cette localité s'étend sur une superficie de 61 km² (Figure. I.1).

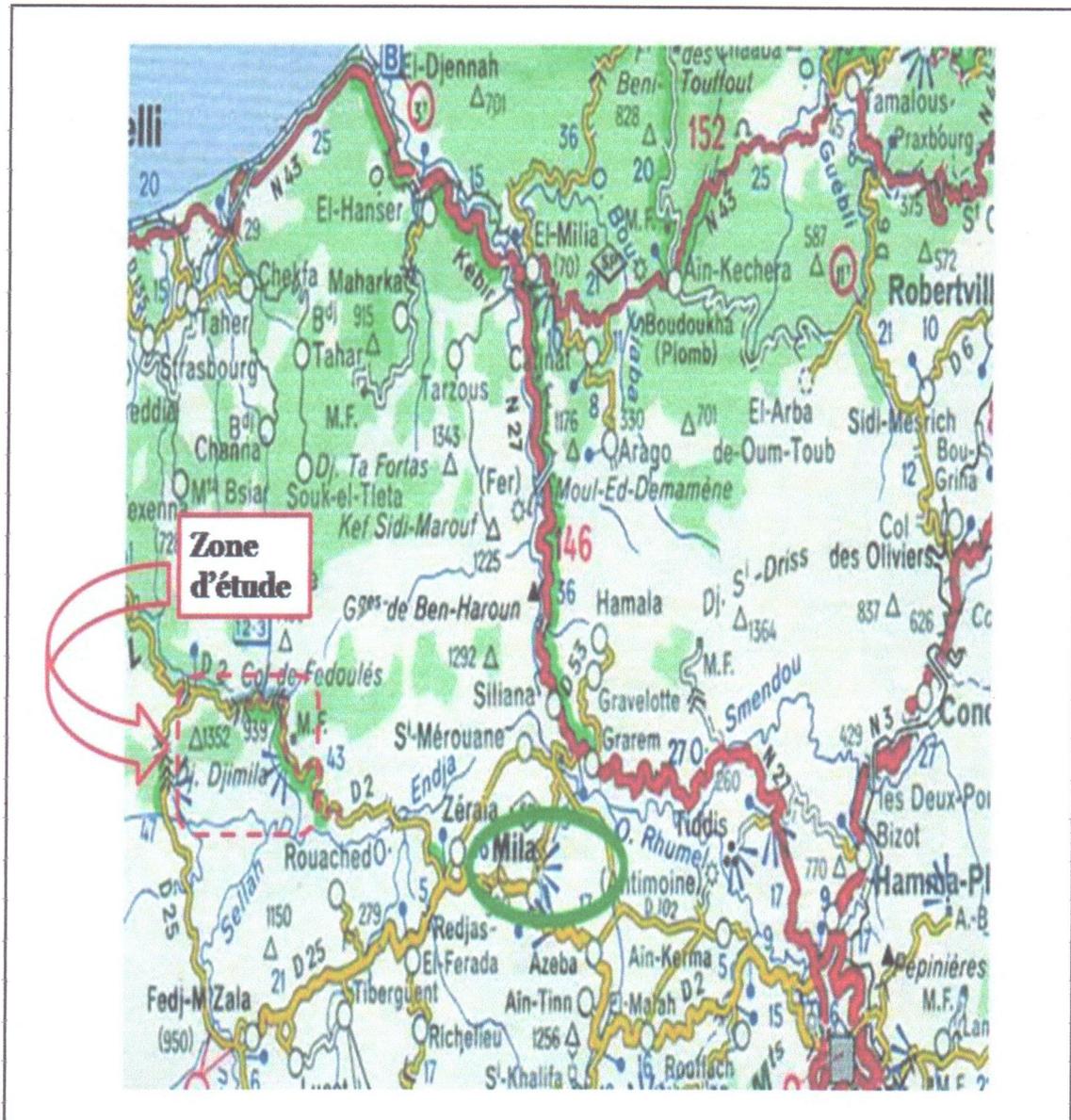


Figure. I.1- Situation géographique. Extraite de la carte topographique N° =50 de Constantine (1 / 25 000).

II/ Climat et végétation :

II.1/ Climat :

Le secteur étudié se trouve à la jonction de deux domaines climatiques différents : un climat tempéré et humide au Nord, et un climat plus sec ou sud, caractérisé par des températures élevées en Eté et basse en Hiver.

Les précipitations d'eaux annuelles varient entre 900 et 1300 mm/an. Cette pluviométrie classe cette région parmi les zones les plus arrosées de l'Algérie. Cette dernière révèle un potentiel hydrique très important, qui se manifeste par l'émergence de nombreuses sources d'eau de très bonne qualité. En plus d'une importante pluviométrie, Cette région est souvent recouverte par d'importantes quantités de neige (Figure. I.2).

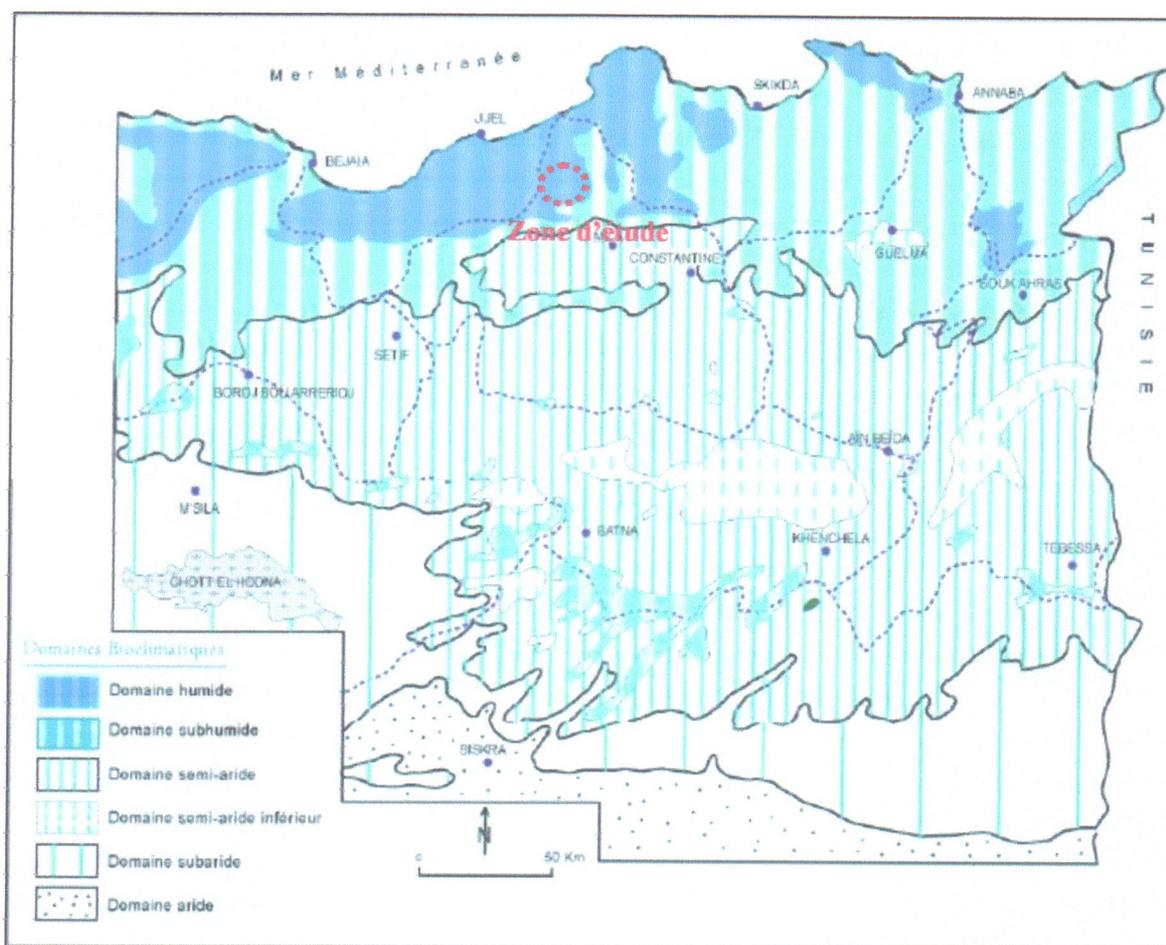


Figure. I.2- Carte simplifiée des zones bioclimatiques de l'Est algérien (D'après Mebarki A ,2005).

II.2/ Végétation :

La région d'étude est caractérisée par une couverture végétale assez dense. Cette dernière est favorisée par l'importance des précipitations. Les conditions climatiques et la nature des terrains de la région ont permis le développement de forêts très denses. Ces forêts sont représentées essentiellement par du chêne-liège, du chêne-zen, des broussailles, et autres arbres fruitiers. En général, ce potentiel forestier confère à la région une vocation agricole et forestière (Figure. I.3).

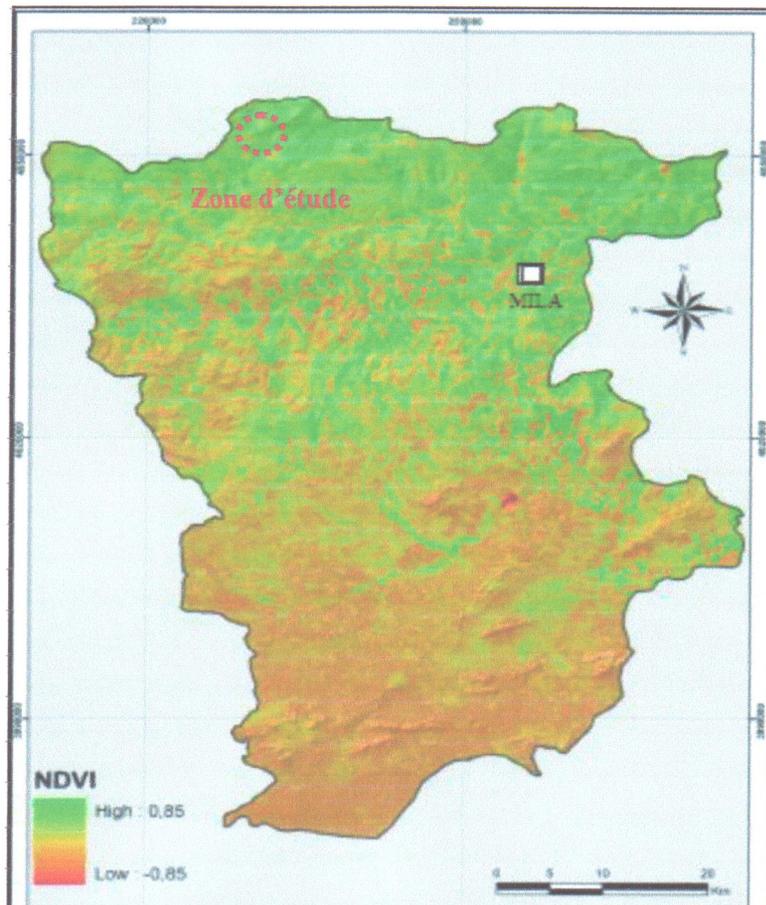


Figure. I.3- Carte d'indice de végétation (NDVI).

IV/ Morphologie et relief :

IV.1/ Classement topographie :

En analysant la carte de région concernée par cette étude nous constatons les données suivantes :

- La moitié de la superficie de la région possède une pente topographique dont la valeur varier entre 10 à 20 %.
- La zone à fortes pentes entre 20 % et >30 % représente plus de 40 % de la superficie.

Nous pouvons conclure que la région concernée présente une topographie quasiment défavorable pour l'implantation du projet d'infrastructure ou de construction.

Tous travaux d'aménagement urbain ou périurbain nécessitent la prise en considération de cet aléa favorisant les mouvements de terrains.

Ajoutant à cela la nature lithologique défavorable des formations géologique présentes dans la région (marnes à gypse, flyschs massylien schistosé) et fortement ravinées par les ruissellements superficiels (Figure. I.5).

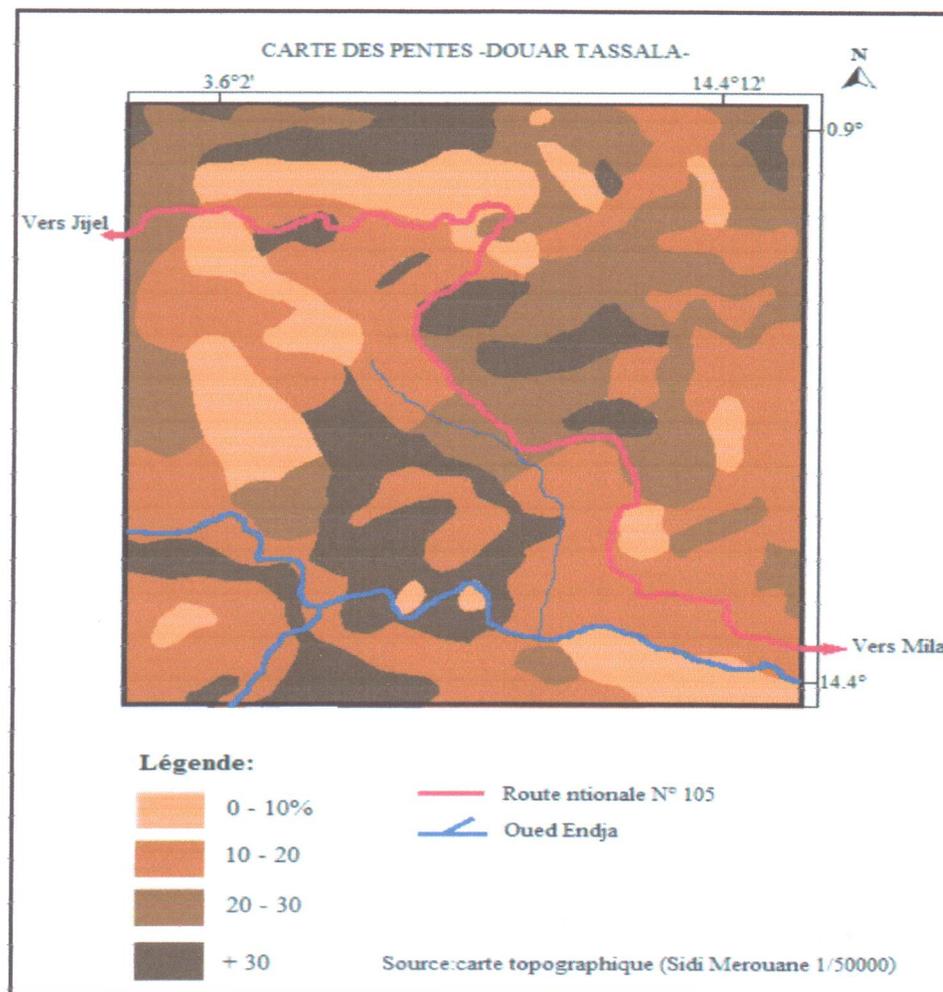


Figure. I.5- Carte des pentes de la région –Tassala–.

IV.2/ Relief :

La région de Tassala est une région montagneuse caractérisée par une topographie très contrastée. Le relief est marqué par une grande diversité morphologique. Il est représenté par des massifs culminants (plus de 1250 m), et des dépressions, et ravins assez profonds (Figure. I.6).

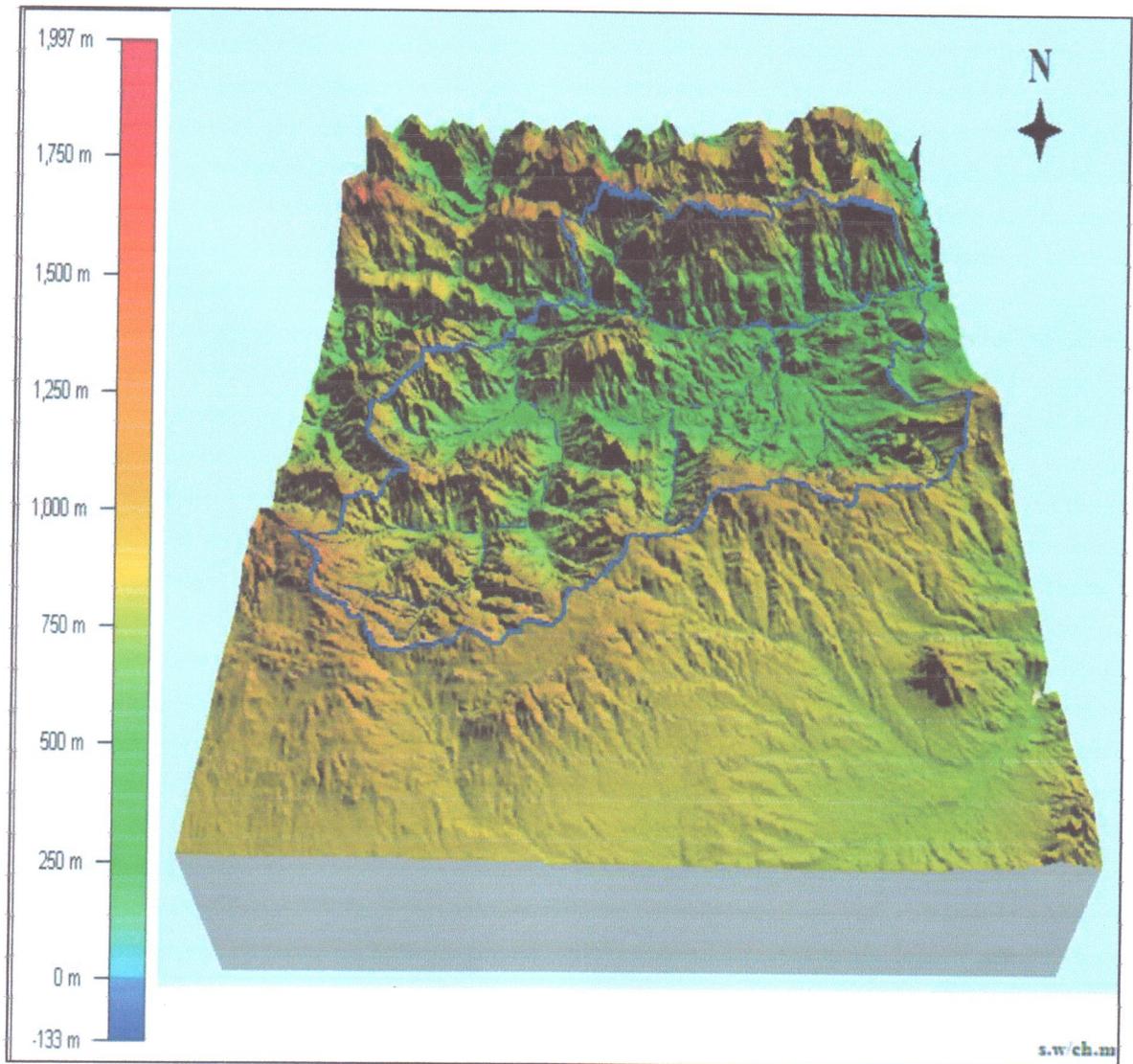


Figure. I.6- Carte des reliefs de la région d'étude (3D).

I/ Introduction

Le secteur étudié fait partie intégrante du grand bassin néogène constantinois. Il est localisé dans la partie Nord - orientale de l'Algérie. Ce dernier appartient à la branche Sud de la chaîne dénommée " Maghrébides " qui s'étend sur environ 2000 Km, entre le détroit de Gibraltar à l'Ouest, la Sicile et la Calabre à l'Est (Figure. II.1).

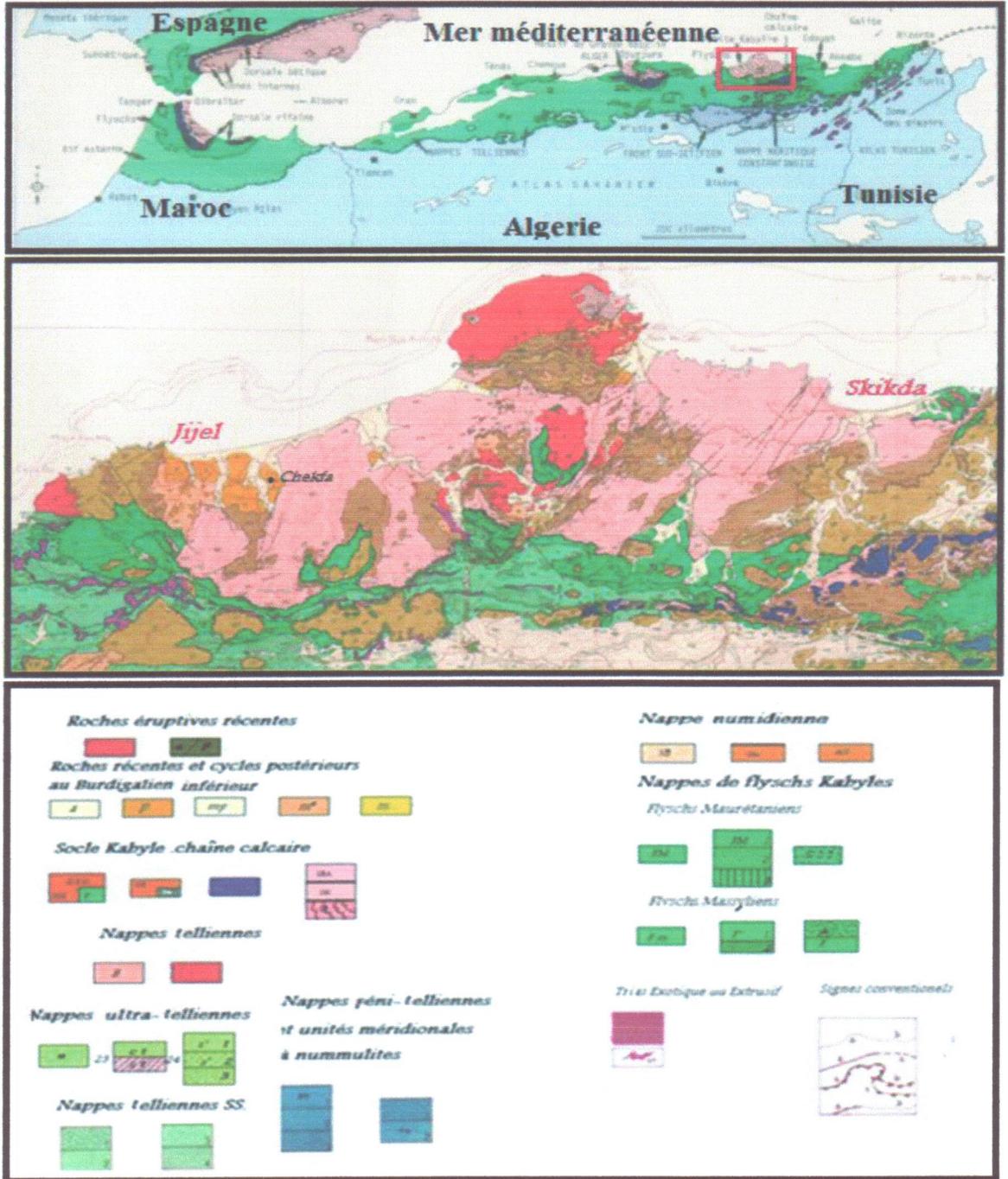


Figure. II.1- Carte géologique de la Petite Kabylie
 Extrait de la carte structurale de la chaîne Alpine d'Algérie orientale et des confins algéro-tunisien au 1/500 000 (d'après Vila, 1980).

En Algérie, la branche Sud de la chaîne Alpine est subdivisée en deux grands domaines (Figure.II.2) :

- **Le domaine interne :** situé au Nord, il comporte les formations cristallophylliennes du socle Kabyle et sa couverture sédimentaire. Cet ensemble est largement charrié vers le sud sur le domaine du flysch (*J.P. Bouillin, 1977 et W. Wildi, 1983*).
- **Le domaine externe :** situé plus au Sud, il comporte les formations des flyschs et les formations telliennes. ces formations telliennes reposent partiellement sur l'autochtone de l'avant pays Saharien (*J.P. Bouillin, 1977*).

II/ Le domaine interne :

Il regroupe le socle Kabyle et sa couverture sédimentaire.

II.1/ Le Socle kabyle :

Il est représenté par des formations cristallophylliennes formant trois pointements amygdalaires au Nord de l'Algérie durant le mésozoïque :

- Le massif de Chenoua à l'Ouest d'Alger,
- Le massif de la grande Kabylie au centre,
- Le massif de la petite Kabylie à l'Est.

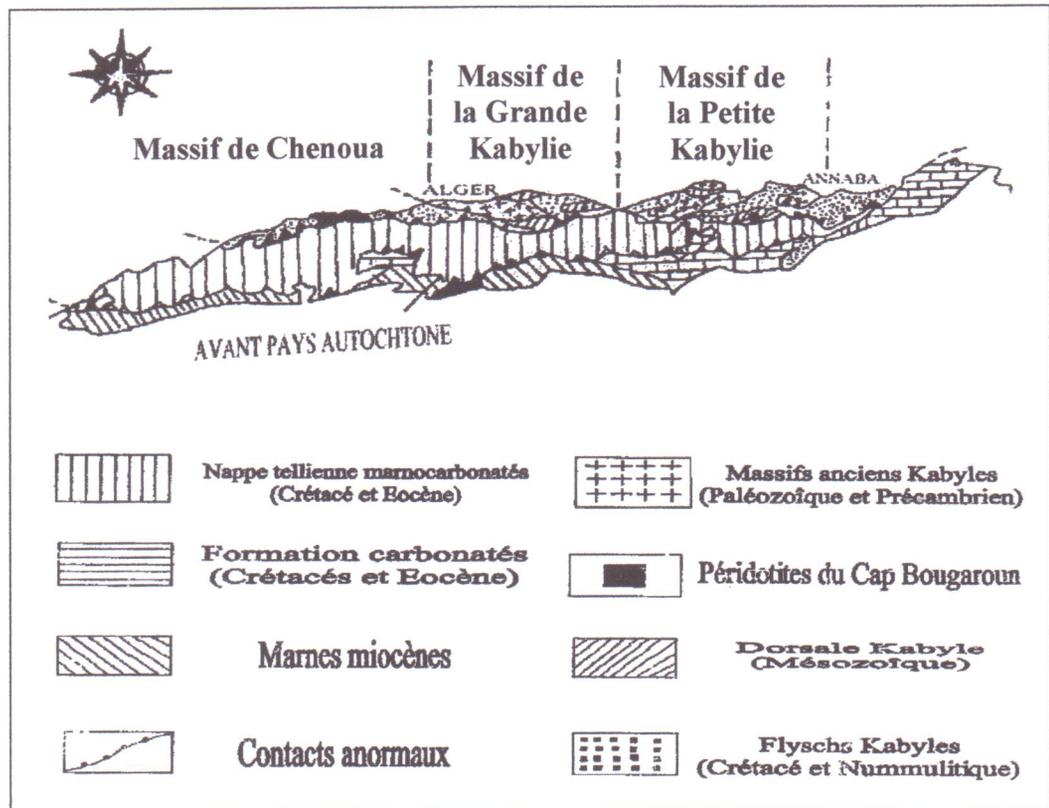


Figure. II.2- Les grands ensembles géologiques des Maghrébides en Algérie (*Wildi, 1983 ; in Djellit, 1987*).

Dans le massif de la petite Kabylie, le socle kabyle comporte deux grands ensembles :

➤ **Un ensemble supérieur :**

Cet ensemble est formé essentiellement de Schistes, de Micaschistes et de Phyllades. Il est surmonté en discordance par des formations siluriennes (*M. Durand Delga, 1955*) comportant de bas en haut :

- Des schistes noirâtres,
- Des psammites rouges et vertes à Graptolites,
- Des grès calcaires à Tentaculites,
- Des calcaires à Orthocères.

➤ **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 flyschs et les formations telliennes (*M. Durand Delga, 1955 et J.P. Bouillin, 1977*).

II.2/ La couverture sédimentaire du socle kabyle :

II.2.1/ 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.

Les séries quelle présente permettent de la subdiviser en trois domaines, qui sont du Nord au Sud (*J.F. Raoult, 1969 - 1974*) :

A/ La dorsale interne :

Qui montre sur un soubassement paléozoïque une série complète du Permo-Trias au Néocomien. Le Néocomien est directement surmonté par des calcaires biogènes à caractères littoraux de l'Eocène inférieur à moyen.

B/ 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.

C/ 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 repose en discordance sur les flyschs (*Bouillin, 1977 ; Raoult, 1974, 1975 ; Djellit, 1987*).

II.2.2/ 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 grés micacés à débris provenant du socle kabyle associés à des pélites micacées.
- **Un terme supérieur** : pélitique et siliceux à radiolaires et diatomées.

L'âge attribué à ces formations est supposé : Oligocène supérieur à Aquitanien. À cet Oligo-Miocène kabyle succèdent des Olistostromes (*J.F. Raoult, 1974 - 1975 et J.P. Bouillin, 1977*).

II.2.3/ Les Olistostromes :

Ce sont des formations tectono-sédimentaires à débris de flyschs intercalés dans des passées grés-micacés. L'âge de ces formations est supposé Aquitanien à Burdigalien inférieur probable (*J.P. Bouillin et al, 1971 ; J.P. Bouillin et al, 1973 et J.P. Bouillin, 1977*).

II-2-4- Le Nummulitique :

Il est représenté par des formations grés-micacées d'âge Priabonien à Oligocène supérieur, qui constitue la couverture de la chaîne calcaire (dorsale Kabyle) et du flysch maurétanien. (*Bouillin, 1977 ; Raoult 1974*).

III/ Le domaine externe:

Il correspond au domaine de flysch et au domaine tellien.

III.1/ Les séries de type flysch :

Ce sont des séries d'âge Crétacé à Paléocène. En Algérie, ces séries occupent une position allochtone. Elles sont classiquement subdivisées en deux principaux types:

- Flysch maurétanien.
- Flysch massylien.

Et aux quels s'ajoute le flysch Numidien d'âge Burdigalien.

III.1.1/ Le flysch maurétanien :

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 turbidites 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).

III.1.2/ Le flysch massylien:

Les caractéristiques majeures de la série massylienne sont (*J.P. Bouillin, 1977*) :

- Un Albo-Aptien pélito-quartzitique.
- Un Cénomanién microbréchiq ue 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.

III.1.3/ Le flysch numidien :

Le flysch numidien forme une entité géologique à part. Généralement la nappe numidienne occupe 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, et 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 tubatomaculum 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.

III.2/ Les séries 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, qui sont du nord vers le sud :

- **Une série ultra-tellienne** :
Cette série comporte les formations marneuses et marno-calcaires d'âge Crétacé à Eocène (*M. Durand Delga, 1969*).
- **Une série méso-tellienne** :
Cette série correspond aux formations carbonatées du Jurassique. Elle est considérée comme la couverture de la plate forme constantinoise (*J.M. Vila, 1980*).

- **Une série peni-tellienne :**

Cette série se particularise par des formations Jurassico-Crétacées, caractérisées par des faciès intermédiaires entre les faciès de la plate forme (calcaire et marmo-calcaire du néritique) et des faciès de bassin (marne du domaine tellien) (*M. Durand Delga, 1969*).

III.3/ Les formations Post-nappes :

Les formations post-nappes sont constituées de dépôts marins d'âge miocène supérieur tortono-messinien dans le Nord et des dépôts continentaux d'âge Miocène à Pliocène dans le bassin de Constantine (*J.P. Bouillin, 1977 et Ph.A. Coiffait, 1992*). Les formations post-nappes recouvrent en discordance toutes les formations précédentes. Dans la partie Nord ces formations post-nappes comportent deux cycles sédimentaires :

- Un premier cycle, essentiellement constitué par des marnes grises ou bleues transgressives et discordantes sur les structures anciennes. Elles reposent également sur les flyschs Numidien, les flyschs Crétacé et sur l'OMK.
- Un second cycle, gréseux d'épaisseur réduit (5 à 50 m) paraissant nettement transgressif.

Dans la partie Sud du massif de la petite Kabylie et particulièrement dans le bassin Néogène de Constantine, ces formations sont dominées par des dépôts continentaux comportant de conglomérats, sables, graviers, argiles, calcaires lacustres et roches évaporitiques (*Ph.A. Coiffait, 1992*).

III.4/ Les formations du quaternaire :

Les dépôts Quaternaires recouvrent les formations précédentes. Elles sont représentées par des blocs de taille variable, noyés dans une masse d'argile rouge. Ces dépôts correspondent à des déplacements en masse sous forme de coulées boueuses (*Ph.A. Coiffait, 1992*).

Selon cet, auteur la ville de Mila est construite sur la plus importante coulée boueuse qui atteint 7 Km de longueur et 1.2 Km de largeur.

IV/ Aspect structurale de la partie occidentale de la petite Kabylie

La structuration géologique du massif de la Petite Kabylie est le résultat de plusieurs phases tectoniques :

IV. 1/ Tectonique anté-Oligocène

La tectonique anté-Oligocène est particulièrement caractérisée par de grands accidents cassants d'ampleur régionale et de direction variée : Nord-Sud, Est-Ouest, Nord- Est, Sud-Ouest et Nord Ouest-Sud Est.

Cette tectonique cassante semble être à l'origine de la structuration du massif de Petite Kabylie en horst et grabens.

Par ailleurs, ces grands accidents tectoniques cassants (accidents du socle) semblent avoir guidé la mise en place des roches magmatiques (Bouillin. J.P ; 1977).

IV.2/ Tectonique Miocène

La tectonique Miocène semble être responsable de la structuration géologique actuelle du massif de la petite Kabylie. Cette tectonique s'est manifestée par des plissements, des charriages et une reprise des jeux de failles qui ont surtout rejouées en faille décrochantes (NO-SE dextre et NE-SO senestre).

Par ailleurs, ces jeux de faille semblent avoir eu un rôle important dans la mise en place des roches magmatiques Miocène et des remontées diapiriques du Trias (Bouillin. J.P ; 1977).

Au néogène, la tectonique est marquée par le retrait de la mer de la plus grande partie des terres émergées. Les invasions marines ne vont atteindre que des aires limitées, notamment les dépressions côtières (bassin de Jijel) ou vont se déposer les marnes bleues du miocène terminal. Les zones montagneuses immergées ont subi une intense érosion et modelage qui leur en donnée l'aspect actuel.

IV/ Position du bassin néogène de Constantine dans le dispositif structural de la partie Nord orientale de la chaîne Alpine en Algérie :

La structuration géologique résultant de l'orogénèse Alpine en Algérie du Nord est constituée par un empilement d'unités allochtones charriées sur l'autochtone pré-saharien (J.F. Raoult, 1974 ; J.P. Bouillin, 1977 et J.M. Vila, 1980). Selon ces auteurs le dispositif structural est constitué par le socle Kabyle et sa couverture au Nord et les nappes de flyschs au Sud. Ces dernières ont subi une tectonique tangentielle majeure fini-Lutétienne à fini-Oligocène (J.P. Bouillin, 1977), reposent partiellement sur l'autochtone de l'avant pays saharien.

Au Burdigalien inférieur-moyen, la reprise des mouvements compressifs engendre le chevauchement du socle vers le sud et la mise en place de la nappe Numidienne. Cette phase de compression a été suivie par une phase de relaxation avec formation de bassins discordants où se met en place une sédimentation Burdigalienne (in Ph.A. Coiffait, 1992).

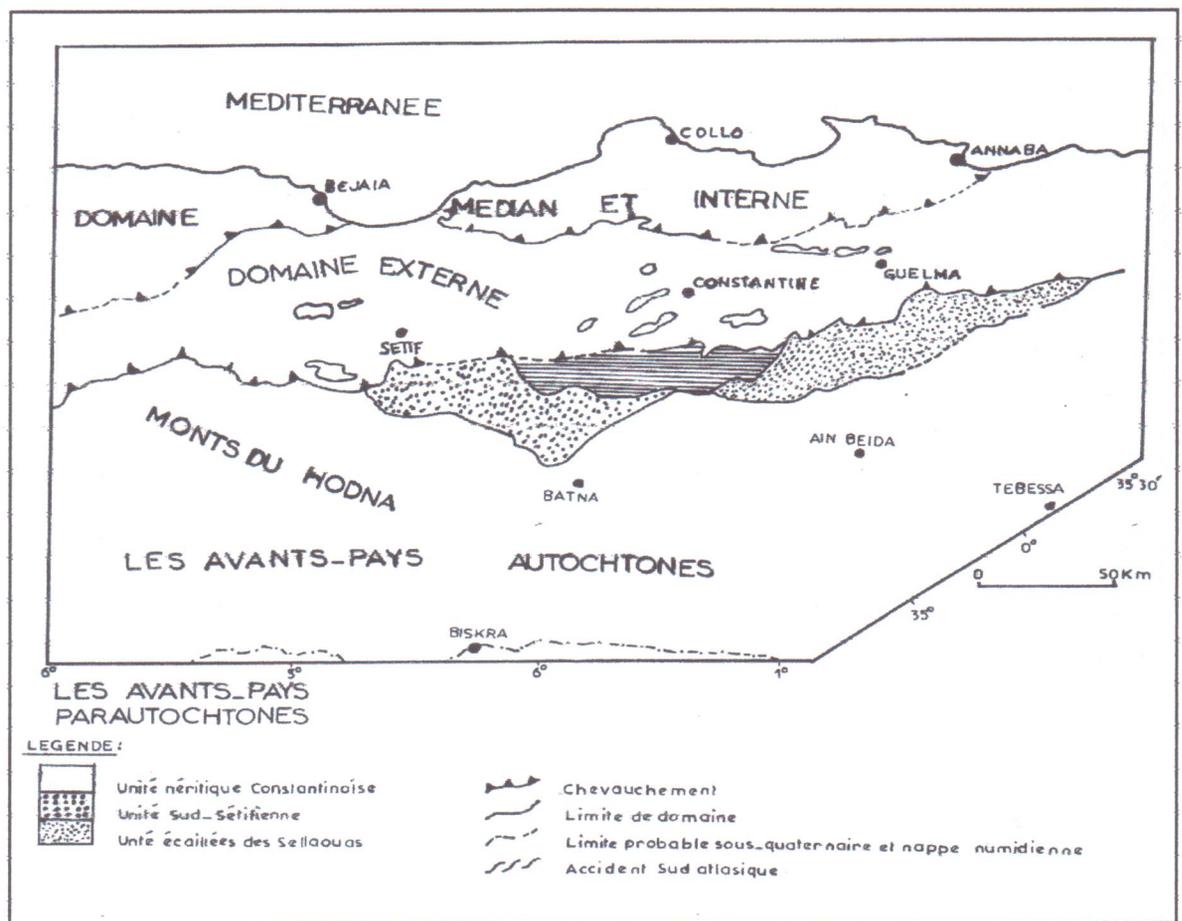


Figure. II.3 - Esquisse structurale du Nord- Est Algérien.
(W. Wildi, 1983).

I/ Présentation géologique du bassin néogène de Mila :

La limite septentrionale du site est constituée par l'arrête montagneuse du massif sidi Bouazza. Ce massif est constitué par les formations cristallophylliennes du socle kabyle, comprenant gneiss, marbres phyllades.

Le versant Nord du bassin est constituée par les affleurements des nappes du flysch massylien surmontant les formations telliennes représentées essentiellement par des marnes noires à débits en plaquettes avec quelques passées de marno-calcaires micro plissés et représentant de nombreuses recristallisation de calcite.

Le substratum du bassin néogène de Mila est constitué par les structures telliennes ayant joué en distensives durant le miocène, ce qui a permis la mise en place d'une structure dispersives durant le miocène supérieur, et ayant servi à l'accumulation de dépôts marneux et évaporitiques suivis de calcaires lacustres, sables et graviers du quaternaire.

II/ Synthèse litho-stratigraphique du bassin de Mila :

Les différents ensembles litho-stratigraphiques représentés dans le bassin de Mila peuvent être résumés comme suit (Figure.III.1) :

II.1/ Les formations triasiques :

Les formations triasiques sont essentiellement représentées par des dépôts évaporitiques (gypse et sel gemme), des argiles bariolées, grés, roches carbonatées et des fragments de roches magmatiques (ophites).

Ces formations affleurent au pied de Djebel Chettaba, au Sud de Djebel Akhal et à l'Ouest de Sidi Marouane. Elles affleurent généralement à la faveur de grands accidents tectoniques régionaux, notamment visibles le long de la transversale Nord-Sud El Milia - Béni Haroun où les affleurements triasiques se localisent principalement au niveau des nœuds des grandes failles affectant les formations telliennes (*M. Durand Delga, 1955*).

II.2/ Les formations du Jurassique :

Les formations du Jurassique affleurent au Djebel Chettaba, Djebel Akhal et Mcid Aicha. Elles forment une épaisse série de calcaires massifs comportant des horizons très fossilifères.

-Le Lias :

Il est représenté par des calcaires compacts et des dolomies massives du Lias inférieur et moyen, et des calcaires à Silex du Lias.

-Le dogger :

Il est représenté par des formations carbonatées comportant des calcaires, des marno-calcaires, et des dolomies.

-Le Malm :

Il est représenté par des calcaires fins, parfois Siliceux ou biodétritiques. Ces calcaires sont affectés par un phénomène de dolomitisation très important, notamment au Djebel Kheneg.

II.3/ Les formations du Crétacé inf et sup :**-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 de calcaires néritiques au Sud Est. Elles affleurent également au Djebel Akhal et dans la région de Sidi Marouane (*M. Durand Delga, 1955*).

-Le Crétacé supérieur :

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.

II.4/ Les formations du Paléogène :

Le Paléogène dans le bassin de Mila est représenté par les formations du Paléocène et de l'Eocène.

-Paléocène :

Le Paléocène est représenté par des marnes noires, affleurant sur les deux rives d'Oued El Kébir et sur le versant Nord Ouest d'Oued Endja.

-Eocène :

L'Eocène est représenté par des calcaires Yprésien, affleurant à l'Ouest de Sidi Marouane et dans les gorges d'Oued El Kébir et en aval d'Oued Dib et des marnes à débit en plaquettes admettant à la base des passés gréseuses (petits bancs de grès d'ordre décimétrique) conférant à cette dernière un aspect flyschôide. Ces marnes sont très perturbées par la tectonique. Elles sont observées souvent au contact des calcaires Yprésien et parfois redressées à la verticale, notamment au niveau des limites du bassin témoignant du serrage ultérieur.

La base de l'Eocène est représentée par des marnes noires à nodules jaunes, qui paraissent parfois reposer en légère discordance sur les marnes Sénoniennes, ces marnes noires sont surmontées par des calcaires à patine blanche de l'Yprésien (*M. Durand Delga, 1955*).

II.5/ Les dépôts Néogènes :

Les dépôts néogènes du bassin de Mila sont essentiellement représentés par deux cycles sédimentaires :

-cycle marin (argile, marne). La mise en place de ces dépôts est datée du Miocène moyen (Serravallien) à Pliocène (*Ph.A. Coiffait, 1992*).

-cycle laguno-détritique (graviers, sables, conglomérats, et argiles), et des dépôts évaporitiques (gypse et en moindre mesure de sel gemme) et des calcaires lacustres. Ces dépôts reposent sur un substratum formé par un empilement de nappe dans la partie septentrionale et sur des calcaires néritiques dans la partie méridionale (*Ph.A. Coiffait, 1992*).

II.6/ Les dépôts Quaternaires :

Les dépôts Quaternaires recouvrent les formations précédentes. Elles sont représentées par des blocs de taille variable, noyés dans une masse d'argile rouge. Ces dépôts correspondent à des déplacements en masse sous forme de coulées boueuses (*Ph.A. Coiffait, 1992*).

Selon cet, auteur la ville de Mila est construite sur la plus importante coulée boueuse qui atteint 7 Km de longueur et 1.2 Km de largeur.

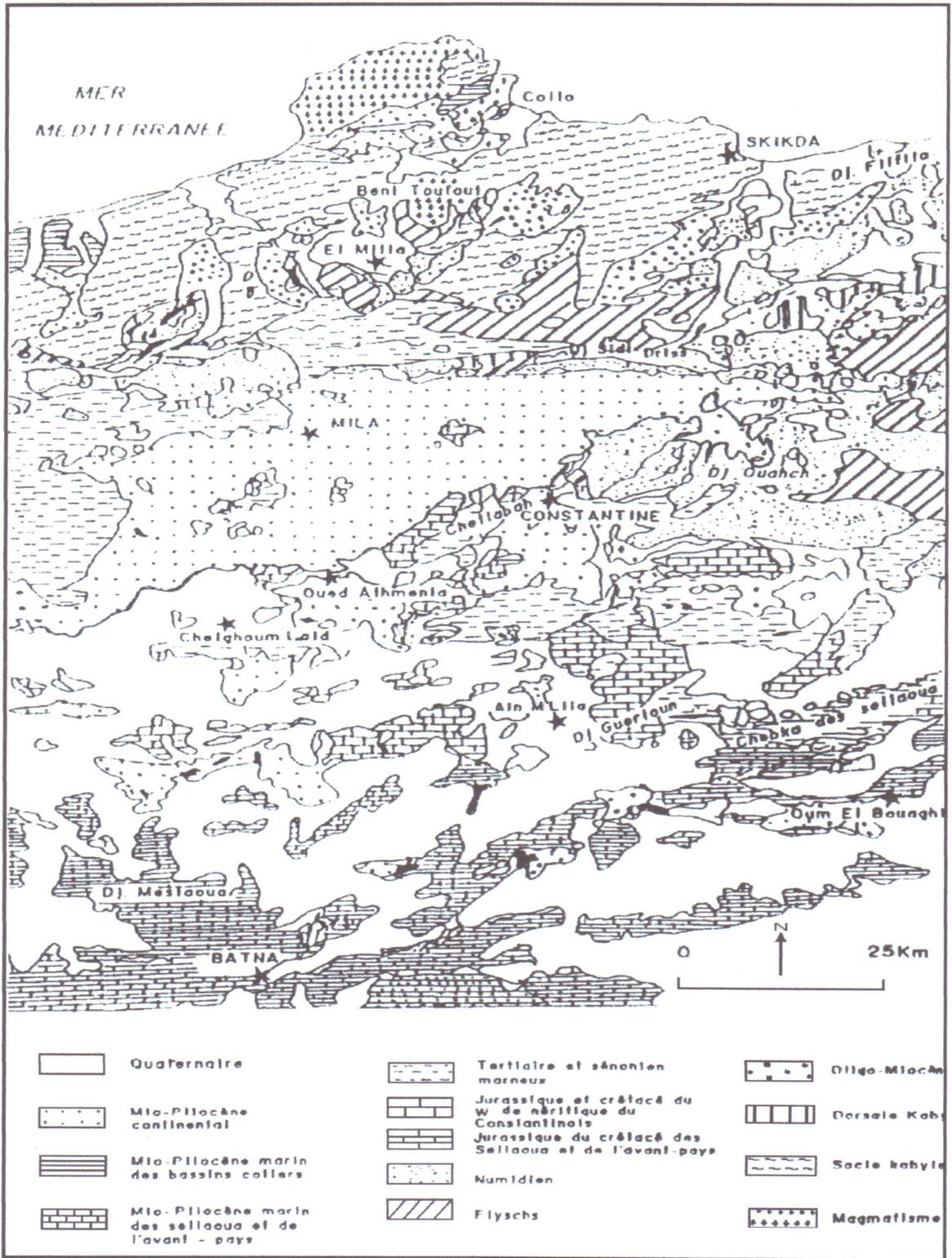


Figure. III.1- Carte géologique synthétique du bassin constantinois.

(J.M. Vila, 1980).

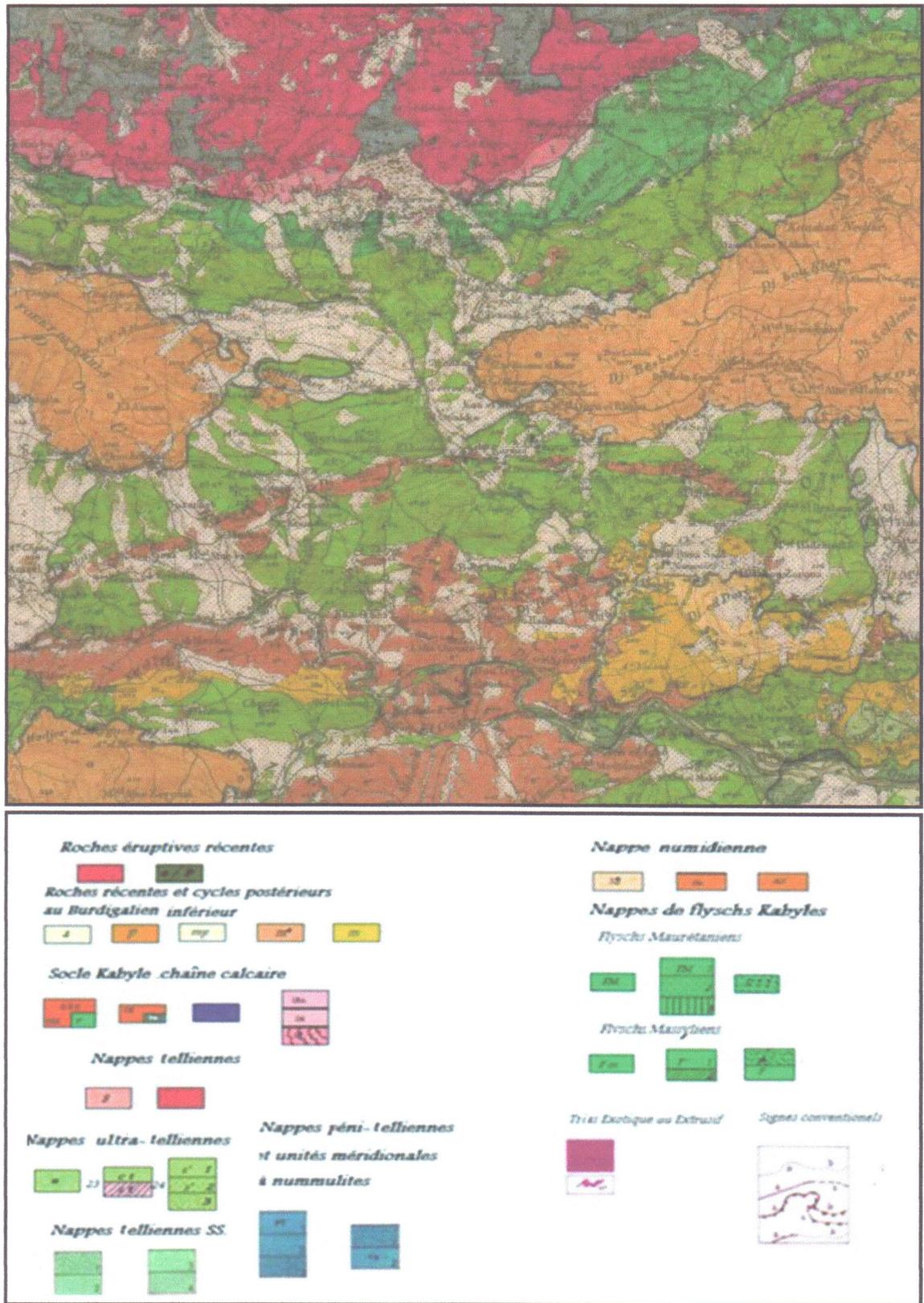


Figure. III.2- Carte géologique du Sidi Merouane.

(Durand Delga M., (1969).

III/ Géologie du secteur étudié :

III-1/ Caractéristiques lithologiques de la région étudiée :

D'après les travaux de *Durand Delga (1955)*, dans la région de Mila, les différentes formations géologiques et leur disposition structurale peuvent être résumées comme suit :

III-1-1/ Région de Machtat Baraka :

La région de Machtat Baraka dont fait partie certaines zones instables étudiées est située dans la zone de contact des formations du domaine interne avec les formations du domaine externe (Photo.III.1).

Du Nord vers le Sud on peut distinguer :

- Les formations du socle Kabyle.
- Les formations de type flysch.
- Les formations telliennes.
- Les formations quaternaires.

III-1-1-1/ Les formations cristallophylliennes du socle Kabyle :

Au Nord de Machtat Baraka les formations du socle Kabyle sont représentées d'une part par les formations du complexe volcano-sédimentaire et d'autre part les formations cristallophylliennes du socle Kabyle, regroupant des schistes, des micaschistes, des gneiss et des calcaires métamorphiques du Djebel el Mouissa.

L'ensemble de ces formations est charrié vers le Sud sur les formations du flysch massylien. Le contact de chevauchement est situé à environ 250m au Nord de l'oued Endja.

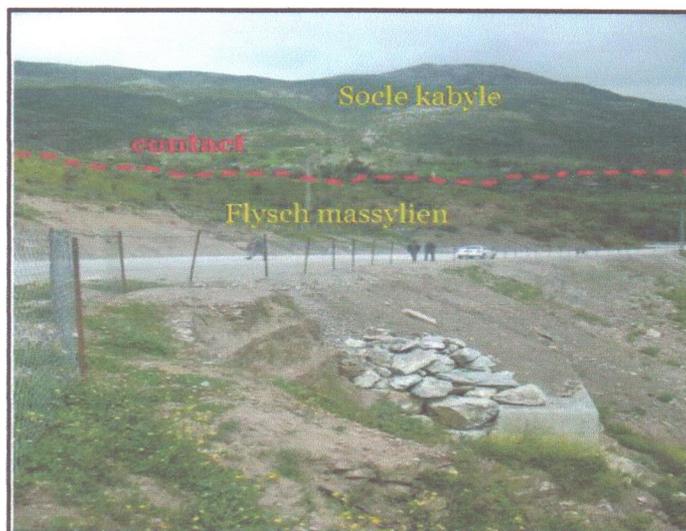


Photo. III.1- Contact socle kabyle- flysch massylien

Région : Mâchtât Baraka.

III-1-1-2/ Les formations de type flysch :

Elles sont représentées dans la région étudiée par les formations du flysch massylien d'âge Albo-aptien. Ce flysch comporte une alternance rythmique des bancs de quartzites décimétriques, parfois centimétriques, et des argiles noires parfois brunes schistosés, l'épaisseur dépasse les 100 m (Photo. III.2).

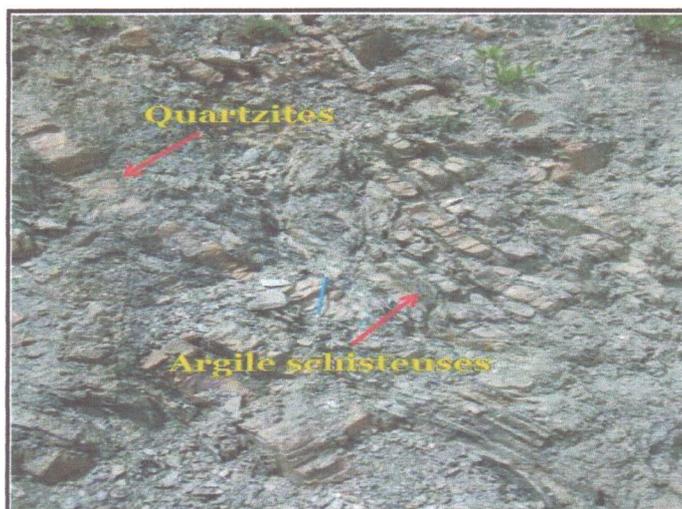


Photo. III.2- Alternances argile-quartzite (flysch massylien).

III-1-1-3/ Les formations telliennes :

Les formations telliennes sont représentées par une alternance de marno-calcaires légèrement indurés. Au sommet de cette série, nous avons des marnes noires d'épaisseur variable et d'âge Sénonien.

La base de la série est représentée par des marnes noires à boule jaune (d'épaisseur 100m) datées du Lutétien (Photo. III.3).

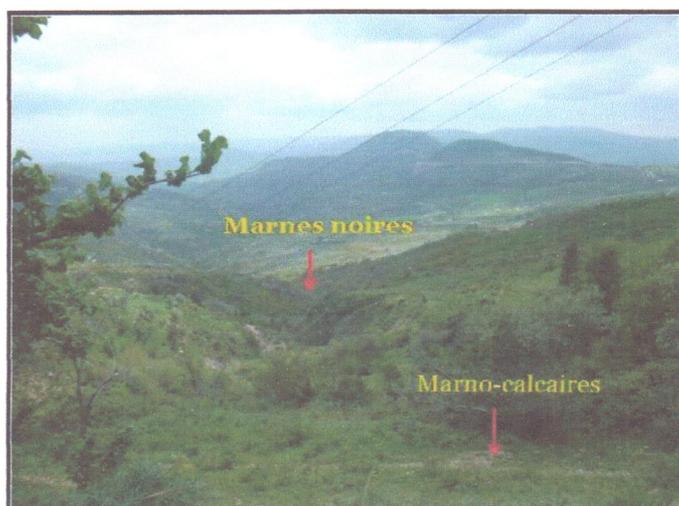
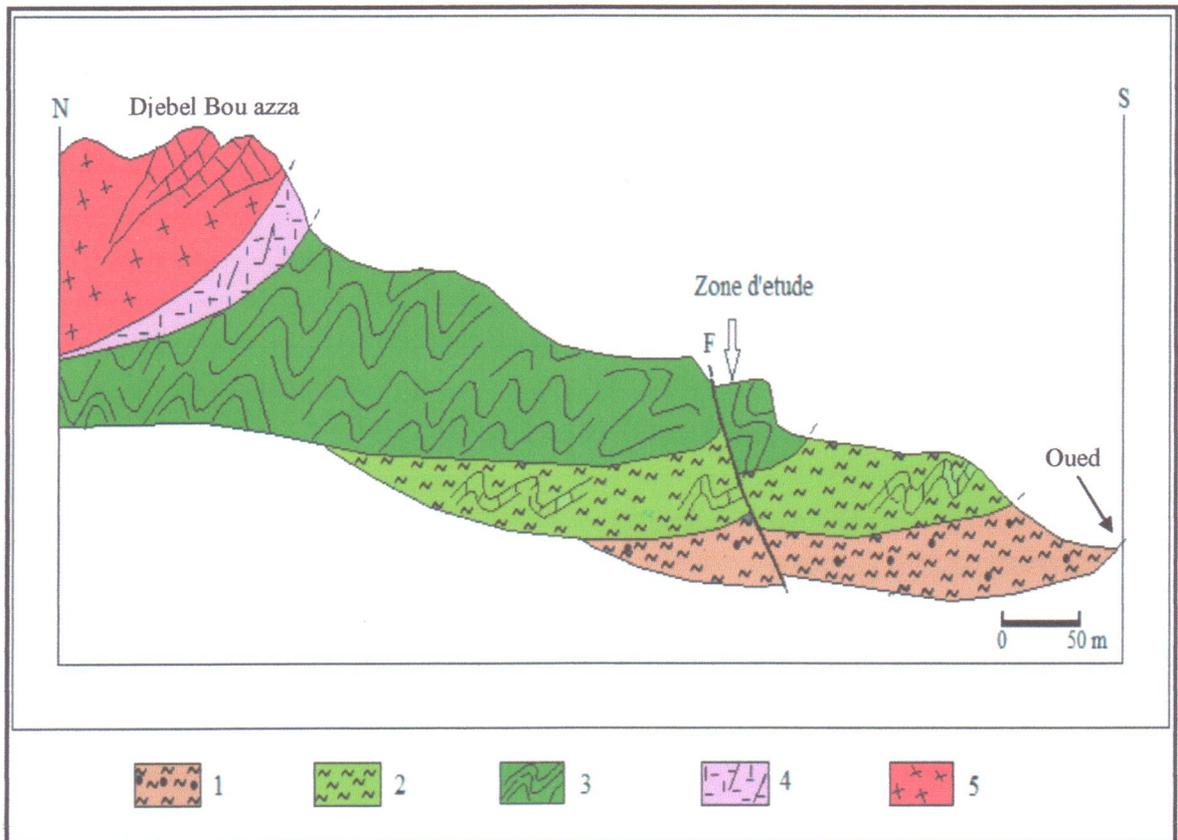


Photo. III.3- illustrant les formations telliennes fortement ravinées.

III-1-1-4/ Les formations quaternaires :

Elles sont représentées par une tranche de terre végétale argilo-limoneuse, dont la quelle sont noyés des blocs de grès numidien de taille variable, des débris de flysch



Légende : 1-Marnes à boules jaunes du lutétien 2-Tellien; Marne et marno-calcaire du Sènonien. 3-Flysch massylien ; alternance argile quartzite du l'Albo-Aptien. 4- Complexe volcano-sédimentaire. 5- Socle kabyle.

Figure. III.3- Coupe géologique transversale au niveau du site affecté par Le 1^{er} glissement de terrain (collaboration du monsieur Rouikha, 2013).

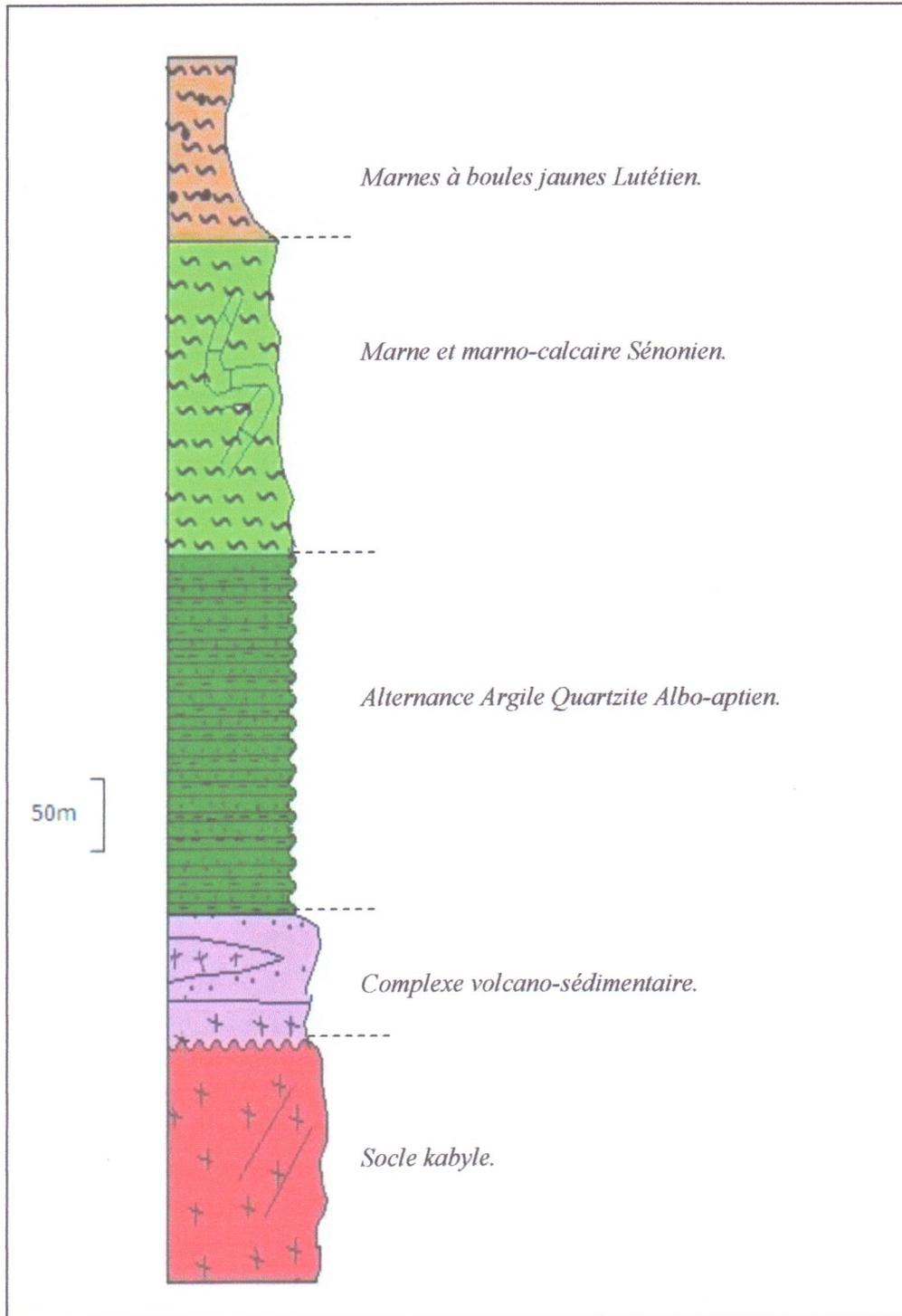


Figure. III.4- Colonne litho stratigraphique du site affecté par le 1^{er} glissement de terrain. (Collaboration du monsieur Rouikha, 2013).

III-1-2/ Région de Djebessa :

Dans la région de Djebessa les formations représentées à l'affleurement peuvent être résumées comme suit :

III-1-2-1/ Les formations telliennes :

Dans la région étudiée, les formations telliennes sont représentées par, des écaillés répétitives, légèrement indurées au sommet de la série surmontent des épaisseurs de l'ordre de 150 m des bancs calcaires à silex d'âge Yprésien.

A la base de la série est représentées par des marnes noires à boule jaune d'âge Eocène basale (Paléocène) d'épaisseurs variable à 100m (Photo.III.4).



Photo.III.4- illustrant les formations telliennes.

III-1-2-2/ Les formations post-nappes :

Les marnes du miocène supérieur de couleur grise avec des passes de gypse parfois sous forme des niveaux biloculaires d'épaisseur 100 m reposent en discordance à la fois sur les formations telliennes (Photo. III.5).



Photo. III.5- illustrant les formations post nappes.

III-1-2-3/ Les formations quaternaires :

III-1-2-3-1/ Les conglomérats :

Ces conglomérats se particularisent par leur grande hétérogénéité. Ils sont constitués d'éléments gréseux, carbonatés et silexites à matrice argilo-sableuse et carbonatée. Par ailleurs, ils montrent des passées métriques de blocs gréseux.

III-1-2-3-2/ Les calcaires lacustres :

Ce sont des calcaires de teinte saumonée, alternant avec des niveaux d'argiles rouges, ces calcaires lacustres surmontent les conglomérats précédemment décrits. L'épaisseur de ces calcaires peut atteindre une dizaine de mètres (Photo. III.6).

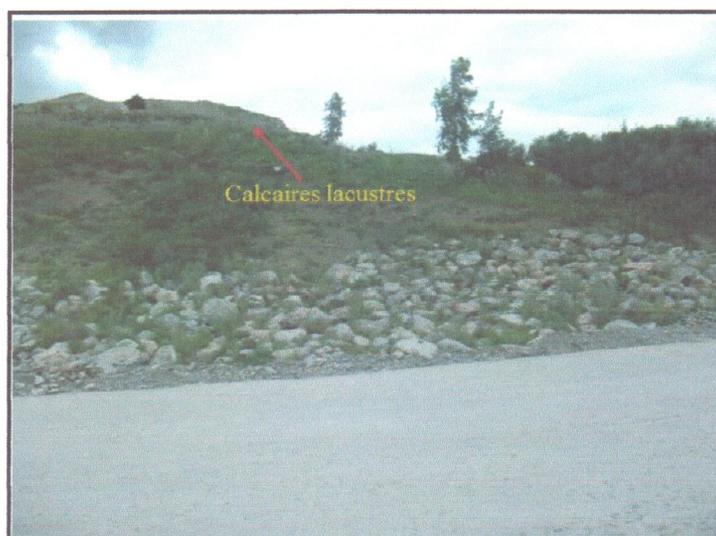
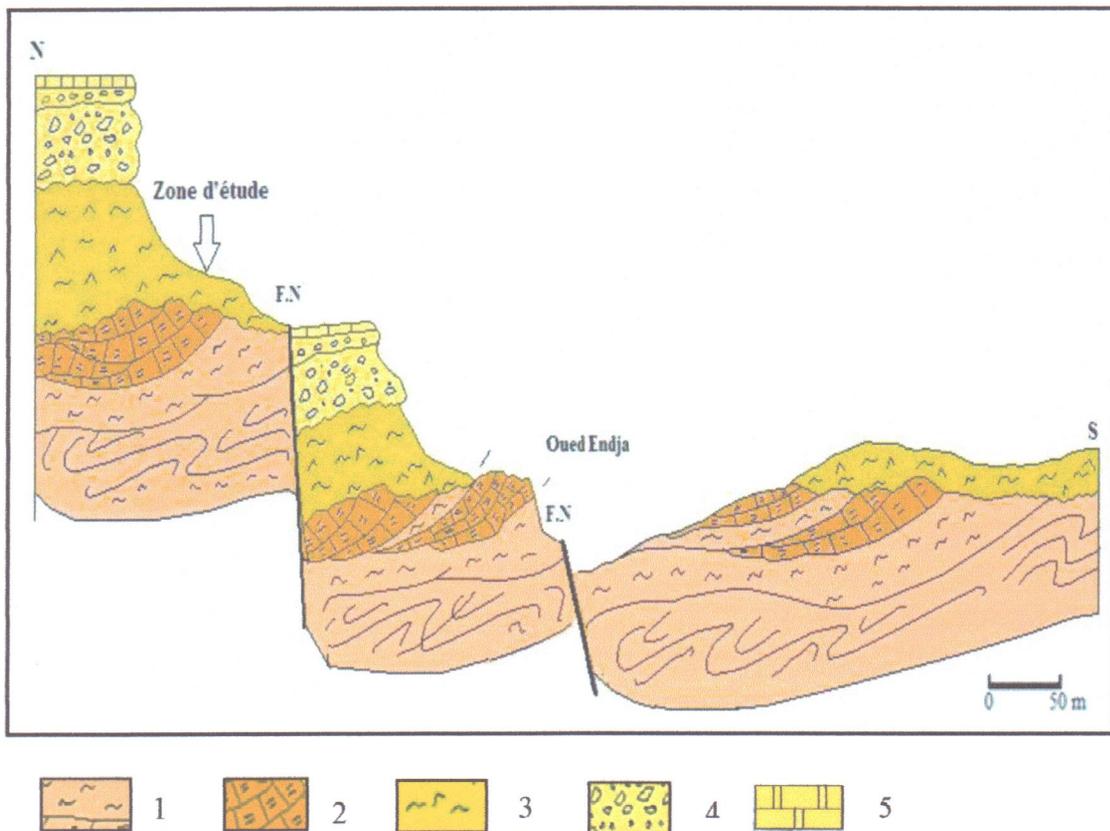


Photo. III.6- illustrant les formations quaternaires.



Légende : 1- Marnes à boules jaunes d'âge Eocène basal (Paléocène.) 2- Calcaires à silex du l'Yprésien. 3- Marnes à gypses du miocène supérieur. 4- Conglomérats grossiers du Pliocène. 5- Calcaires lacustres du Quaternaire.

Figure. III.5- Coupe géologique transversale au niveau affecté par
Le 2^{ème} glissement de terrain (collaboration du monsieur Rouikha, 2013).

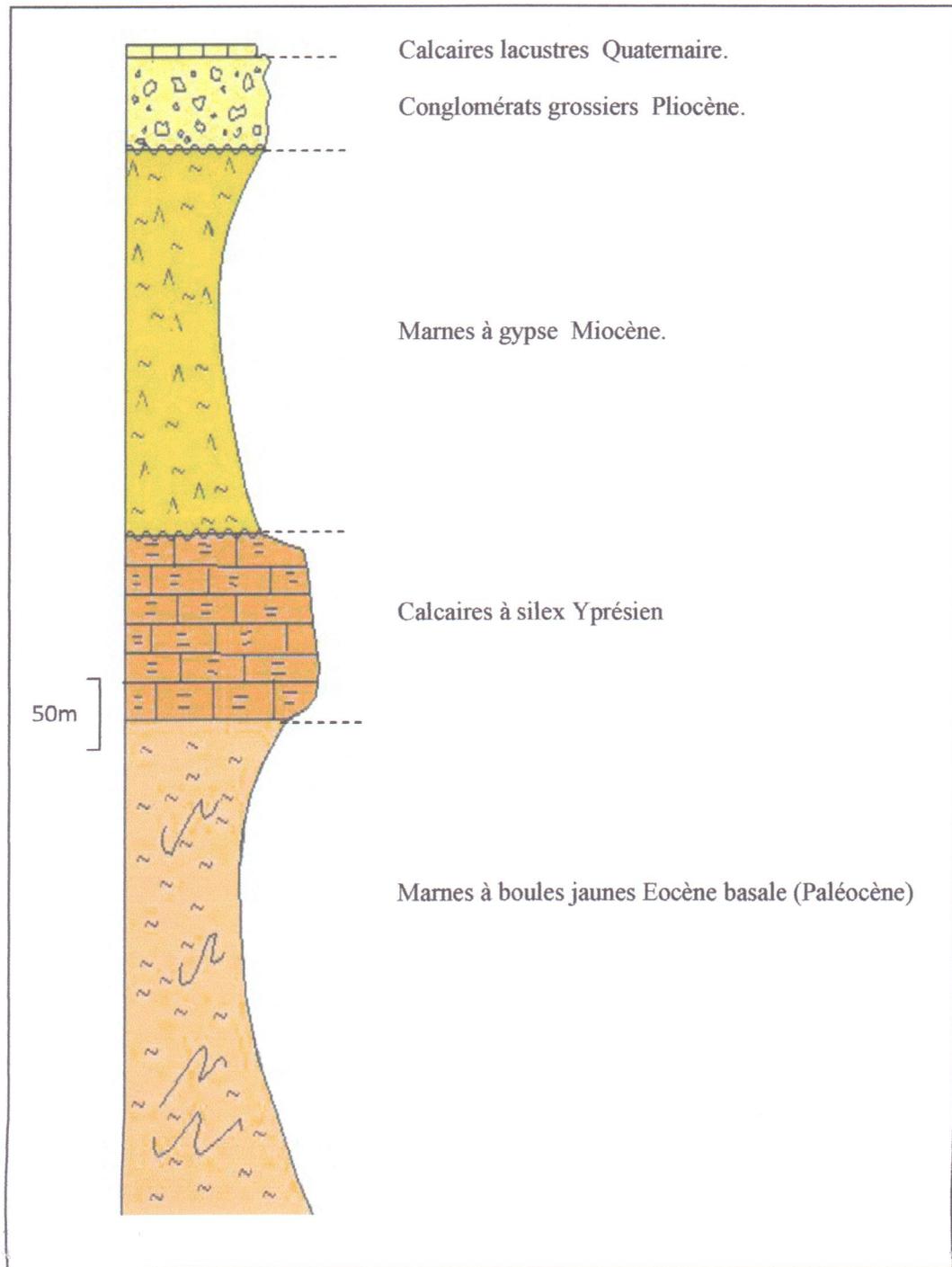


Figure. III.6- Colonne litho -stratigraphique du site affecté par le 2^{ème} glissement de terrain. (collaboration du monsieur Rouikha, 2013).

III-2- La tectonique :

Au niveau de la région d'étude qui constitue la terminaison occidentale de la Petite Kabylie, plusieurs événements tectoniques ont participé à sa structuration actuelle. Les différents aspects tectoniques régionaux sont le charriage, les déformations ductiles et les déformations cassantes.

a- Les charriages :

Affectant les différentes nappes : flysch, socle Kabyle, et le tellien.

b- Déformations ductiles :

Elles sont matérialisées par les plissements, (*Photo.III.13*) visibles dans les formations du socle Kabyle et les formations du flysch massylien, celles présentes au sein des nappes telliennes (*Photo.III.7*).



Photo.III.7- illustrant les plissements visibles dans les formations du flysch Massylien.

c- Déformations cassantes :

Elles sont marquées par les rejeux de grands accidents tectoniques d'ampleur régionale, animées par des déplacements faibles et horizontaux (décrochements).

Les directions dominantes de ces accidents sont : N-S, E-W, NE-SW, et NW-SE, et affectent aussi bien le socle Kabyle que les formations récentes.

Ces accidents ont engendré dislocations locale, broyage des zones de contacts. Recristallisation minéralogique et développement d'un intense réseau de fracture secondaires.

I/ Introduction :

Il est évident que l'eau joue un rôle primordial dans le déclenchement des mouvements de terrain. L'expérience a montré que la plus part des catastrophes liés aux glissements de terrain ont eu lieu durant les saisons des pluies et/ou la fonte des neiges. Cette constatation rend l'eau responsable à 80% de l'instabilité des talus et ceci s'explique par deux faits importants :

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

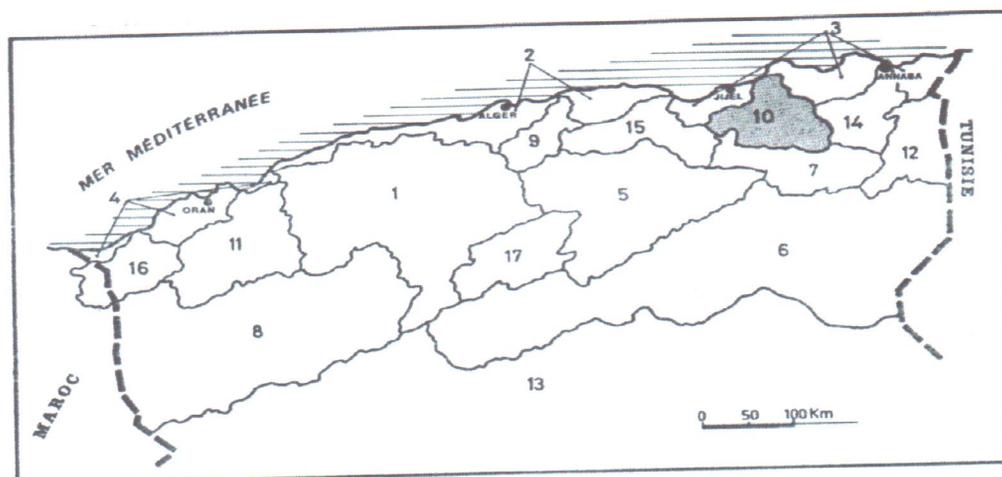
Ces deux effets conduisent toujours à l'instabilité de terrain. De ce fait, la caractérisation hydrologique et hydrogéologique d'une région est l'un des aspects les plus importants de l'étude des zones instables.

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

II/ Analyse morphométrique du bassin versant :

II.1/ Situation géographique :

D'après la carte de la situation des bassins versant d'Algérie, le bassin versant de l'assiette du Tassala appartient au grand bassin du Kébir-Rhumel de n°10.

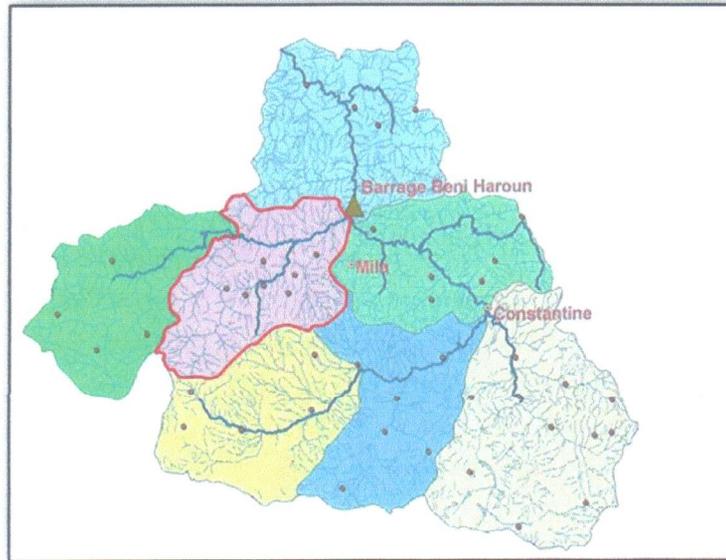


Noms des bassins-versants :

1 CHELIFF	7 HAUTS PLATEAUX CONSTANTINOIS	13 SAHARA
2 COTIERS ALGEROIS	8 HAUTS PLATEAUX ORANAIS	14 SEYBOUSE
3 COTIERS CONSTANTINOIS	9 ISSER	15 SOUMHAM
4 COTIERS ORANAIS	10 KEBIR RHUMEL	16 TAFNA
5 CHOTT HODNA	11 MACTA	17 ZAHREZ
6 CHOTT MELRHIR	12 MEDJERDAH	

Figure. IV.1- Situation du bassin versant du Kébir-Rhumel en Algérie.
(A. Mebarki, 1982).

Le grand bassin du Kébir-Rhumel est subdivisé en sept (7) sous bassins. La zone étudiée fait partie du sous bassin de l'Oued Kébir Amont Endja (Figure. IV.2 et Tableau. IV.1).



LA LEGENDE :

- : Oued Kébir Maritime.
- : Oued Dehamcha Kébir Amont.
- : Oued Kébir Amont Endja.
- : Oued Rhumel Smendou.
- : Oued Kébir Amont.
- : Oued Rhumel Seguen.
- : Oued Boumerzoug.
- : Chevelu hydrographique

Figure. IV.2- Découpage du bassin versant de Kébir Rhumel (LNRH).

Tableau. IV.1 - Les sous bassins du grand bassin versant du Kébir Rhumel (LNRH).

Numéro de code de sous bassins	Sous bassin	Superficie en km ²
10 - 01	Oued Dehamcha Kébir Amont	1067
10 - 02	Oued Kébir Amont Endja	1102
10 - 03	Oued Kébir Amont	1230
10 - 04	Oued Rhumel Seguen	1150
10 - 05	Oued Boumerzoug	1832
10 - 06	Oued Rhumel Smendou	1091
10 - 07	Oued Kébir Maritime	1339

Comme présente la figure. IV.2, le sous bassin d'Oued Kébir amont Endja est limité au Nord par le sous bassin d'Oued Kébir Maritime, au Sud par: Oued Kébir amont et Oued Rhumel Seguen à l'Est par Oued Rhumel Smendou, et à l'Ouest par le sous bassin d'Oued Dehamcha Kébir amont. (A. Mebarki, 1982).

II.2/ Situation et présentation du secteur étudié :

Le secteur d'étude affecté par le glissement de terrain est inclus dans le sous bassin d'Oued Kébir amont Endja. Il est situé à environ une dizaine de kilomètres Ouest de la ville de Mila.

Le sous bassin à pour coordonnées (Figure.IV.3):

- $3.6^{\circ}12'$ et $14.4^{\circ}12'$ Est de longitude.
- 0.9° et $14.4^{\circ}40'$ Nord de latitude.

Le sous bassin versant étudié est présente un chevelu hydrographique très dense, la longueur du cours d'eau principal avoisine les 54 Km.

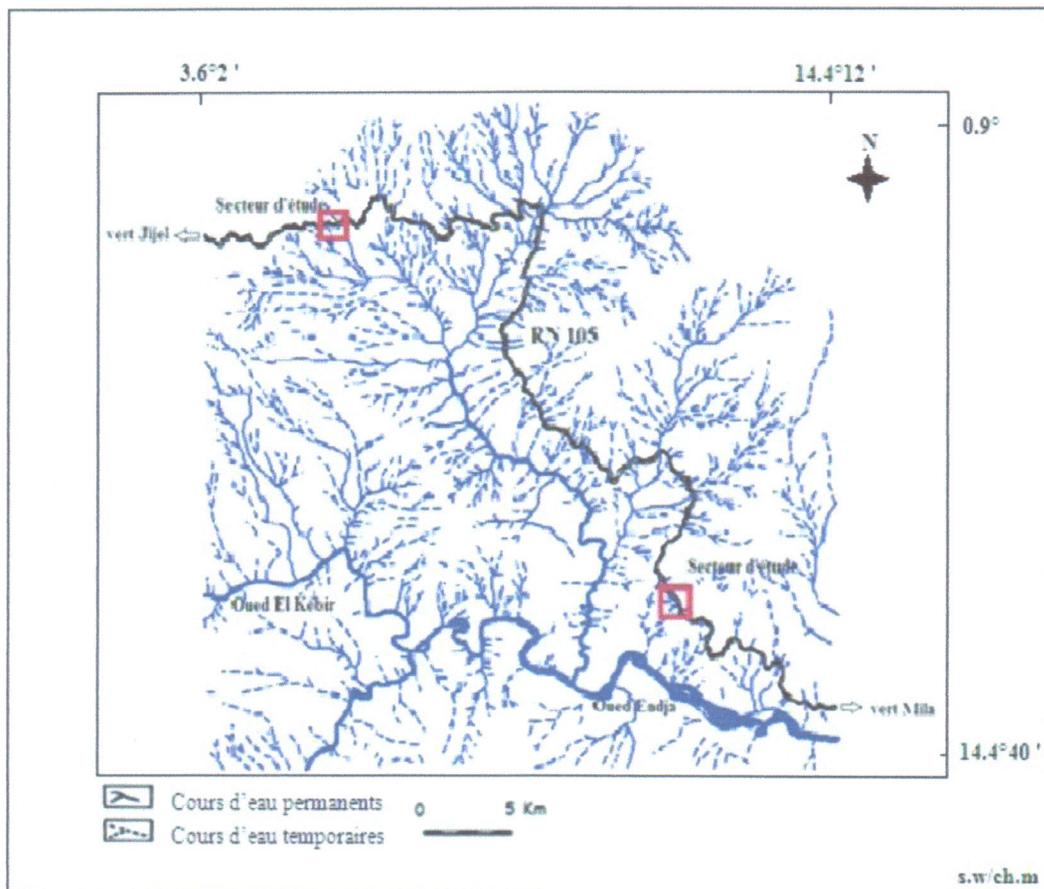


Figure. IV.3- Réseau hydrographique d'oued Endja Extrait de la carte topographique N°50 de Constantine (1 / 50 000).

II.3/ les caractéristiques morphométriques :

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

II.3.1/ La superficie (S) :

Elle sert essentiellement à calculer la lame d'eau précipitée sur l'ensemble du bassin. La superficie planimétrique du sous bassin de Kébir Amont Endja est de l'ordre de 1102 km² (A. Mebarki, 1982).

II.3.2/ Le périmètre (P) :

Le périmètre du sous bassin étudié est de l'ordre de 150 km (A. Mebarki, 1982).

- **Indice de forme ou de compacité (Indice de Gravilius) :**

Il est donné par la formule suivante (A. Mebarki, 1982) :

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

Avec : C : Indice de compacité;

P : Périmètre du bassin versant (km).

S : Superficie du bassin versant (km²).

$$\text{Donc : } C = \frac{0.28 \cdot 150}{\sqrt{1102}} = 1.26$$

$$C = 1.26$$

Il ressort de ces données que le C = 1.26 c'est-à-dire supérieur à 1. Ceci indique que le bassin versant d'Oued Kébir Amont Endja est de forme allongée et non circulaire (C = 1), de tels bassins favorisent les forts débits, en raison des temps d'acheminement de l'eau plus courts vers l'exutoire.

II.3.3/ 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 (A. Mebarki, 1982) :

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

Avec : C : indice de compacité;

S : Superficie du bassin versant (km²);

L : longueur du rectangle équivalent en km.

On obtient :

$$L = \frac{1.26 \cdot \sqrt{1102}}{1.128} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{1.26} \right)^2} \right]$$

$$L = 54 \text{ km.}$$

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

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

$$\Rightarrow I = 1102 / 53.60$$

$$\Rightarrow I = 21 \text{ km.}$$

Les caractéristiques morphométriques du sous bassin versant étudié peuvent être récapitulées dans le tableau suivant :

Tableau. IV.2- Caractéristiques morphométriques du sous bassin Kébir Amont Endja

Caractéristiques morphométriques du bassin versant	Valeur correspondante
Superficie (S) en km ²	1102
Périmètre (P) en km	150
Indice de Gravilius (C)	01.26
Longueur du rectangle équivalent (L) en km	54
Largeur du rectangle équivalent (I) en km	21

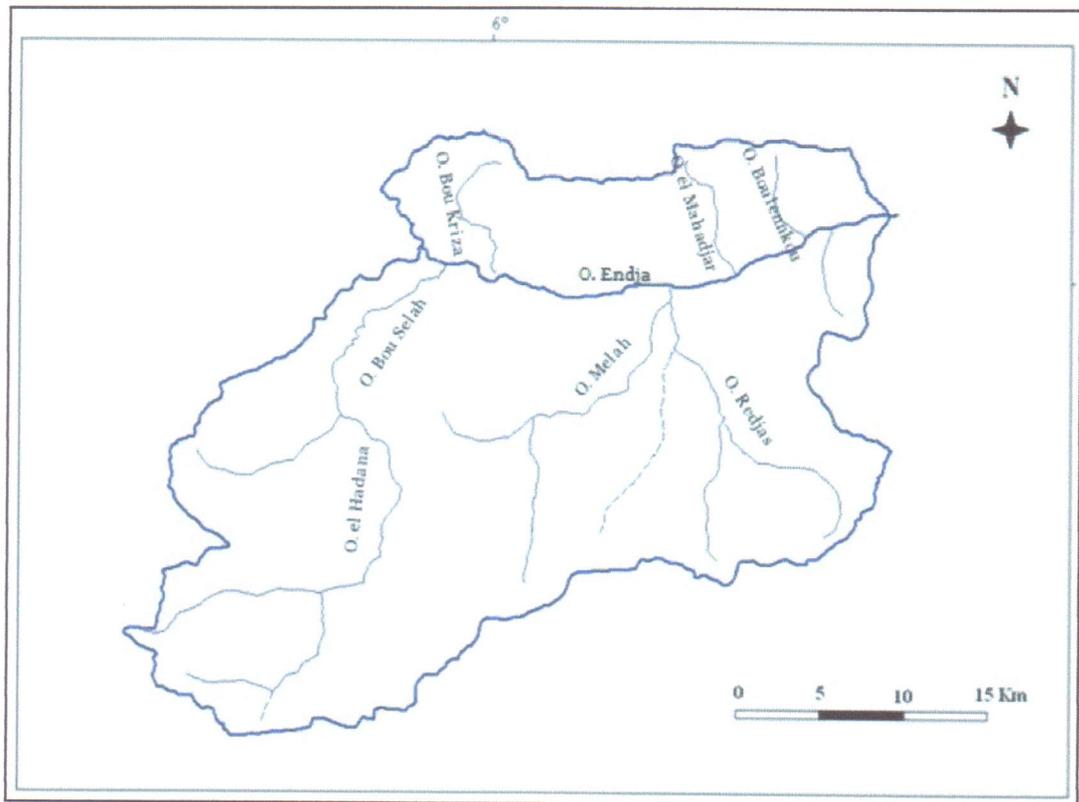


Figure. IV.4- Réseau hydrographique du sous bassin de Kébir Amont Endja
Carte topographique de Constantine. n° 50 (1/50.000).

III/ Analyse des caractéristiques hydroclimatiques :

Après avoir déterminé les caractéristiques morphométriques du bassin versant d'Oued Kébir Amont Endja, nous allons étudier les facteurs climatiques de cette région qui jouent un rôle important dans le glissement de terrains. L'étude sera clôturée par un essai de bilan d'eau.

Le site étudié 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 (Fig. IV.5).

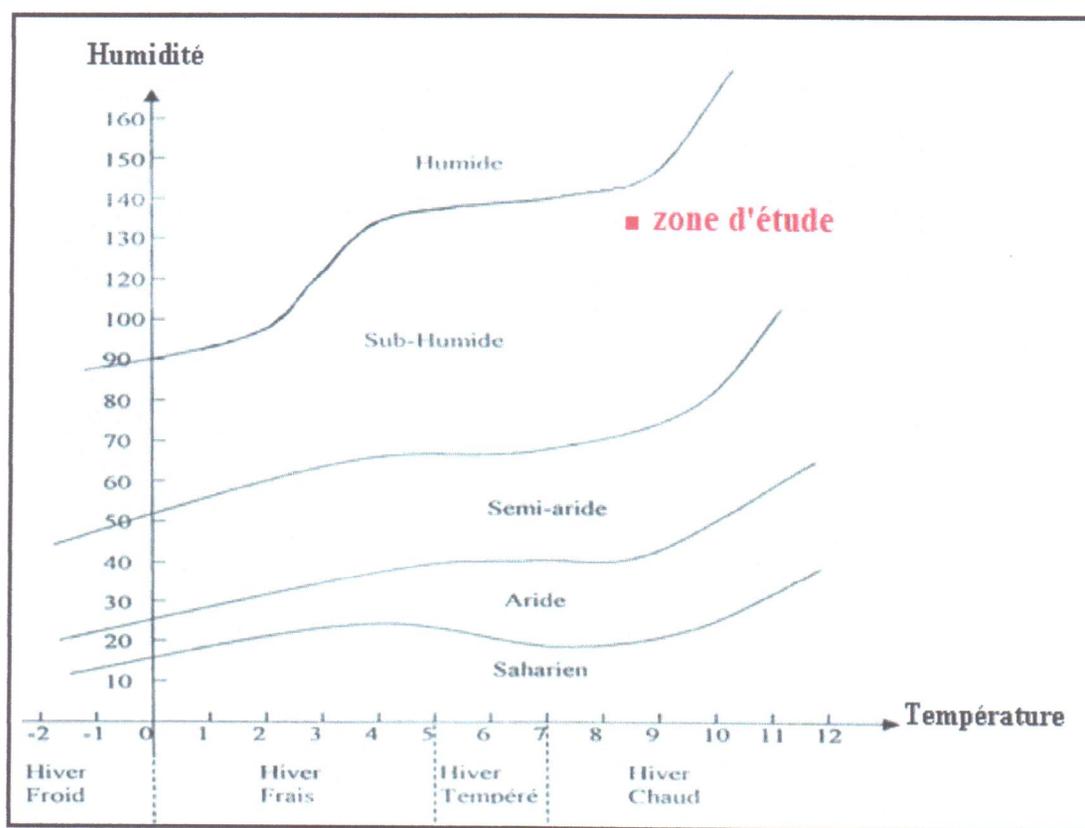


Figure IV.5- Climat du secteur étudié.

III.1/ La pluviométrie :

A l'échelle de l'Algérie, les cartes pluviométriques montrent une répartition géographique des précipitations caractérisées par une décroissance générale du Nord vers le Sud et de l'Est vers l'Ouest.

La pluviométrie varie entre 2000 mm/an sur les hauts reliefs en bordure de la mer méditerranéenne et jusqu'à moins de 600 mm/an au mois d'octobre sur les hautes plaines, puis décroît ensuite jusqu'à atteindre une valeur de 100 mm/an dans la région du Sahara centrale.

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

La wilaya de Mila se situe dans une zone où la pluviométrie moyenne inter-annuelle est entre 600 et 700 mm.

La station la plus proche du site est celle de Beni Haroun. Cependant, les données de cette station sont incomplètes, notamment celles concernant la période avant l'année 2003 (manque de saisie des données). Pour palier à ce manque, il a été tenu compte des données de la station de Hamala Grarem, plus représentatives en comparaison avec celle de Beni Haroun.

En général, les variations pluviométriques sont plus ou moins marquées d'une année à l'autre.

D'après les données récentes récoltées de la station de Beni Haroun (*Tableau.IV.3*) nous avons élaboré un graphique des précipitations moyennes mensuelles, sur une période de 5 ans (2003 à 2007). De ces données, il ressort que le mois le plus pluvieux est celui de décembre avec une moyenne de 160 mm, tandis que le mois le moins pluvieux est celui de juillet avec une moyenne de précipitation de l'ordre de 1 mm. En général, l'évolution des précipitations dans le temps est croissante d'août à décembre. Par comparaison, on remarque que les données de la station de Hamala Grarem donnent presque les mêmes résultats sur une période de 14 ans (1984 à 1997) on remarque que le mois le plus pluvieux est le mois de décembre avec une précipitation moyenne $P = 145$ mm et le mois le plus sec c'est juillet avec $P = 3$ mm (*Tableau. IV.4*).

Afin d'illustrer la pluviométrie moyenne mensuelle au niveau du bassin versant d'Oued Endja, on a élaboré les graphiques de pluviométrie saisonnière, on remarque que presque la moitié de la lame reçue par le bassin versant se manifeste en hiver (51% pour la station de Beni Haroun, 50% pour la station de Hamala Grarem).

Ces données de pluviométrie laissent apparaître que l'alimentation des cours d'eau et des nappes aquifères par les précipitations se fait principalement en hiver. Les précipitations moyennes inter-annuelles dans la région de Mila est de l'ordre de 613 mm (station de Beni Haroun) et de 675 mm (station de Hamala Grarem).

Tableau. IV.3 - Précipitations moyennes mensuelles en mm durant la période : 2003 - 2007 (Station de Beni Haroun).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Précipitations moyennes mensuelles	28	31	76	160	80	71	46	65	38	15	1	2
Moyenne saisonnière	135 mm = 22 %			311 mm = 51 %			149 mm = 24 %			18 mm = 3 %		

Tableau. IV.4 - Précipitations moyennes mensuelles en mm durant la période : 1984 - 1997 (Station de Hamala Grarem).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Précipitations moyennes mensuelles	27	55	67	145	120	72	76	62	33	11	3	4
Moyenne saisonnière	149 mm = 22 %			337 mm = 50 %			171 mm = 25 %			18 mm = 3 %		

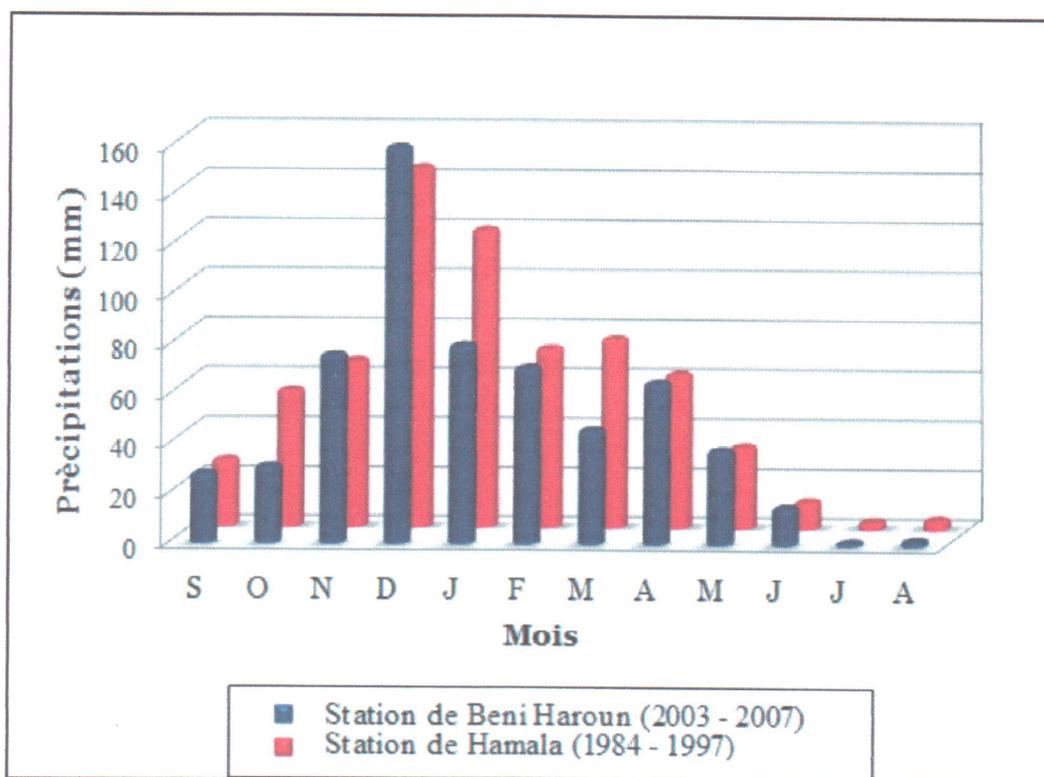


Figure. IV.6- Distribution des précipitations moyennes mensuelles.

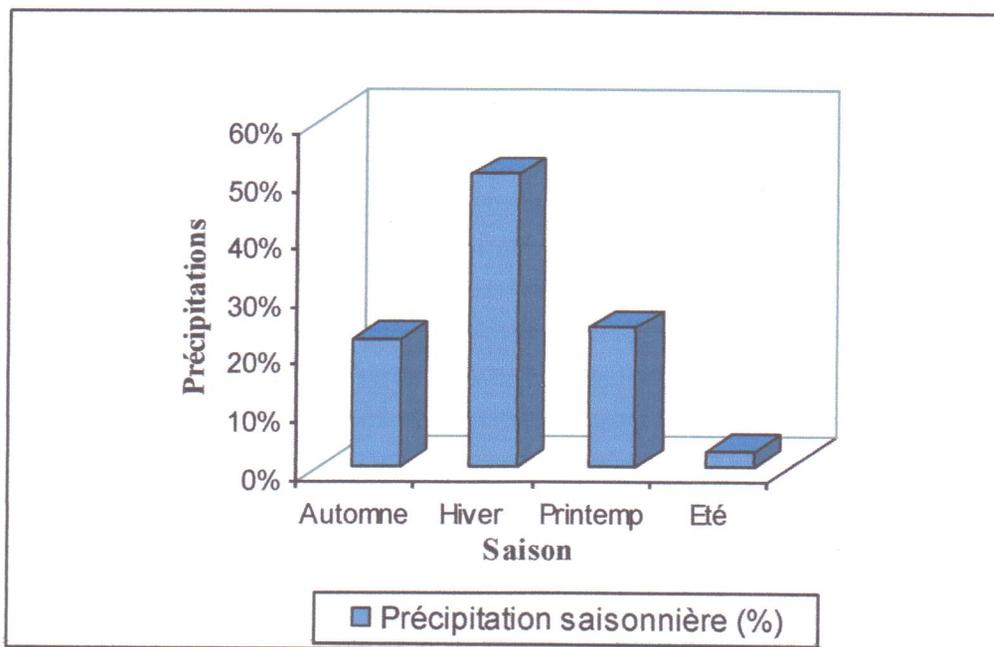


Figure. IV.7- Précipitations moyennes saisonnières (Période 2003 – 2007)(Station de Béni Haroun).

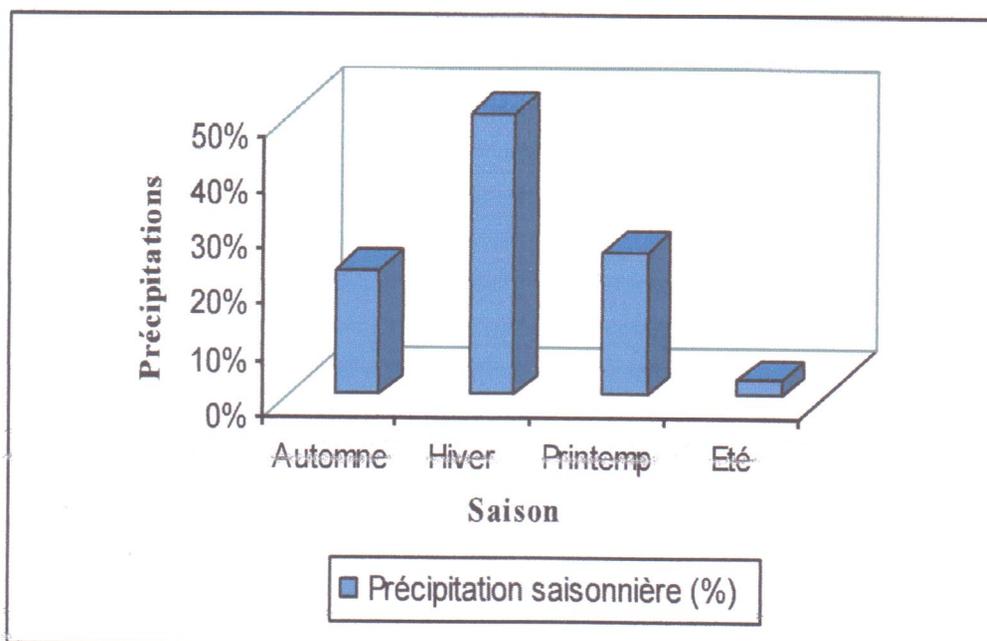


Figure. IV.8- Précipitations moyennes saisonnières (Période : 1984 – 1997) (Station de Hamala).

III.2 / La température :

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 à 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 des Tableaux : IV.5, IV.6 montre bien que la température moyenne inter-annuelle est de l'ordre de 18°C pour la station de Beni Haroun avec les mois de juin, juillet, août et septembre, comme mois les plus chauds (avec un maximum de température au mois de juillet : 28°C).

Pour les stations de Hamala, les données de température (Tableaux récapitulatifs : IV.6) indiquent les résultats suivants :

La température moyenne inter-annuelle est égale à 17°C avec les mois de juin, juillet, août et septembre comme mois les plus chauds (avec un maximum de température égal à 28°C au mois de juillet).

Tableau. IV.5- Températures moyennes mensuelles en °C (période : 2003 – 2007)
(Station de Beni Haroun).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Températures moyennes mensuelles	24	21	14	10	09	10	12	17	18	24	28	27

Tableau. IV.6- Températures moyennes mensuelles en °C (période : 1984 – 1997)
(Station de Hamala).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Températures moyennes mensuelles	23	19	13	10	09	11	13	15	18	23	28	27

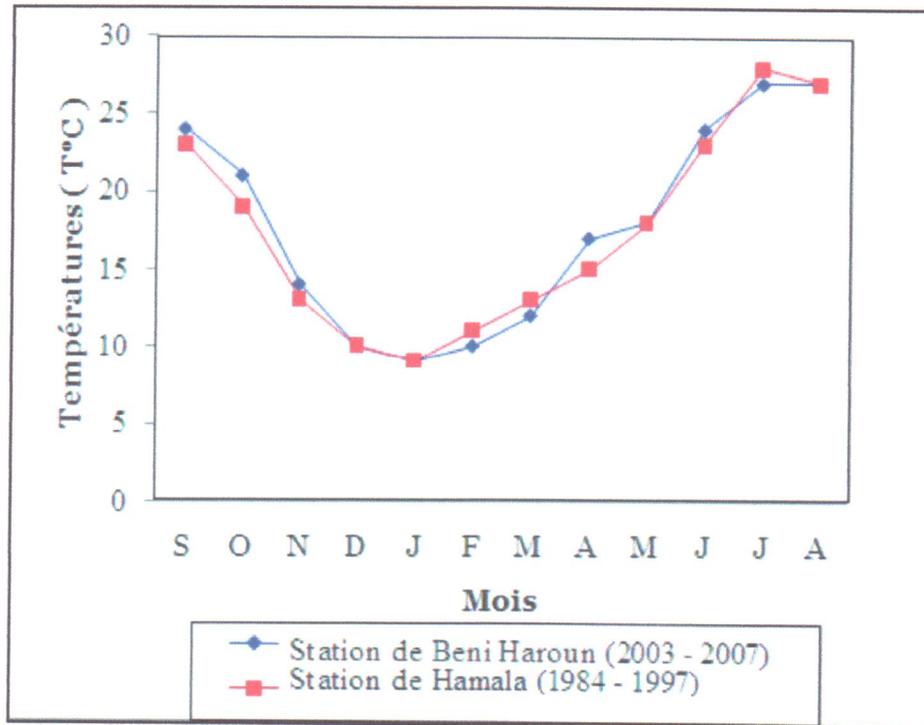


Figure. IV.9- Distribution des températures moyennes mensuelles.

III.3 / Graphe ombro-thermique :

D'après les graphes ombro-thermiques établis selon la règle de *Gaussen et Bernulet* on constate que :

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

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 ($P < 2T$).

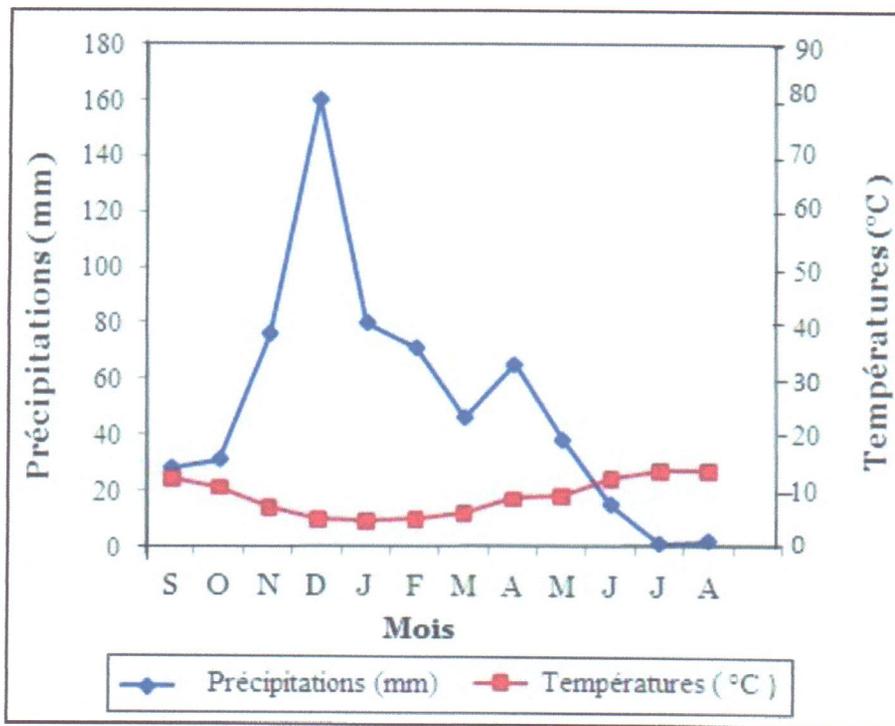


Figure. IV.10- Graphe Ombro-Thermique durant la période : 2003 - 2007 (Station de Beni Haroun).

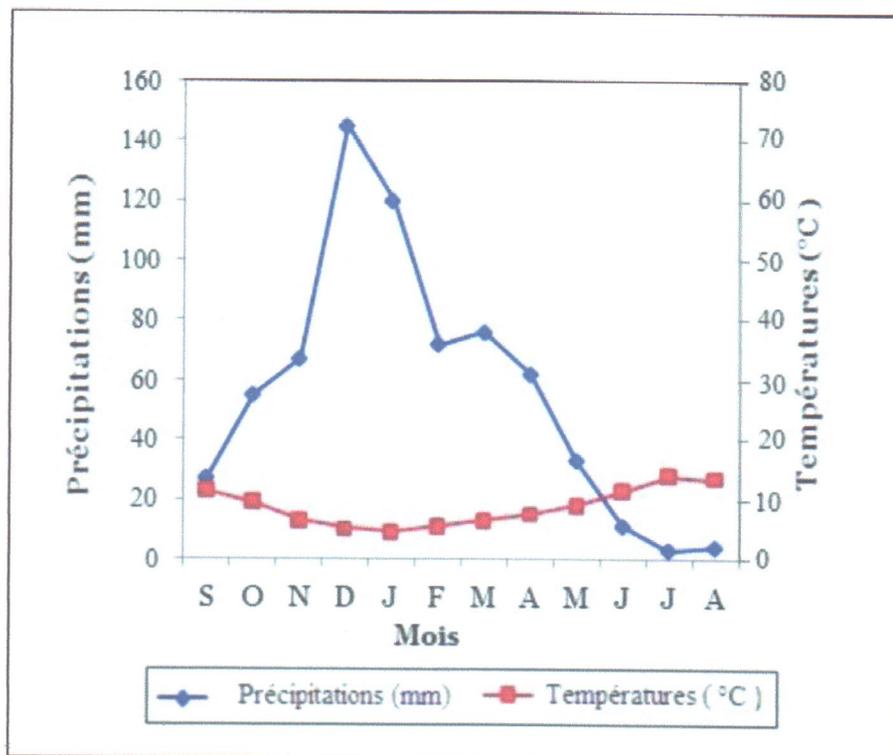


Figure. IV.11- Graphe Ombro-Thermique durant la période : 1984 - 1997 (Station de Hamala Grarem).

III.4 / L'aridité :

Elle permet d'évaluer le phénomène de désagrégation, d'érosion et par conséquent de l'instabilité des sites dans la région. Cet état est exprimé par l'indice d'aridité d'E. Mortonne, donné par la formule :

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

Avec : I : Indice d'aridité de E. Mortonne;
 P_{moy} : Précipitation moyenne annuelle (mm);
 T_{moy} : Température moyenne annuelle (°C).

Aux différentes valeurs de I, correspondent des types de climats

$I < 5$: le climat est hyper-aride;
 $5 < I < 7.5$: le climat est désertique;
 $7.5 < I < 10$: le climat est steppique;
 $10 < I < 20$: le climat est semi-aride;
 $20 < I < 30$: le climat est tempéré.

Pour la région de Beni Haroun :

$$I = \frac{613}{17.75 + 10} = 22$$

$I = 22$

La région de Hamala Grarem :

$$I = \frac{675}{17.41 + 10} = 37$$

$I = 37$

Donc la région de Mila est caractérisée par un climat tempéré.

III.5/ Appréciation du bilan hydrologique :

L'établissement d'un bilan hydrologique est indispensable pour l'évaluation des réserves d'eau transmises ou emmagasinées dans une région. Il est donné par la formule suivante (G. Réménieras, 1980) :

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

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

A/ Calcul de l'évapotranspiration potentielle (ETP) :

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

La formule utilisée pour le calcul d'ETP selon *Thornthwaite* est donnée comme suit :

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

Avec : ETP : Evapotranspiration potentielle en mm.

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

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

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

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

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

K : Coefficient de correction.

D'après les données de la station de : Beni Haroun : I = 86 et a = 2.

- Station de Hamala Grarem : I = 84 et a = 2.

B/ Calcul de l'évapotranspiration réelle (ETR) :

- 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.

1/ Calcul du bilan hydrologique pour la période : 2003 / 2007, Station de Béni Haroun (Tableau.IV.10) :

$$I = 86$$

$$a = 2$$

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

- **Estimation du ruissellement (R) :**

Selon *Thornthwaite* :

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

Avec : $P = 612.75 \text{ mm}$

$$ETP = 920.50 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow R = \frac{(612.75)^3}{3 \cdot [920.50]^2}$$

$$\Rightarrow \mathbf{R = 91 \text{ mm}}$$

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

$$R = \frac{90.50 \times 100}{612.75}$$

$$\mathbf{R = 15 \%}$$

Donc le ruissellement représente 14.77% des précipitations.

- **Calcul de l'infiltration (I) :**

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

Considérons : $Wa = 0$

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

$$I = 221.91 - 90.50 = 131.41 \text{ mm}$$

$$\mathbf{I = 131 \text{ mm.}}$$

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

$$I = \frac{131 \times 100}{612.75}$$

$$\mathbf{I = 21 \% \text{ de précipitations.}}$$

Au regard des résultats du bilan hydrique calculé, nous avons :

Le 15% des pluies tombées sur notre bassin partent sous forme de ruissèlement vers la mer, une plus faible quantité 21% des eaux tombés s'infiltré dans des formations semis- perméables, 64% des eaux restants partent sous forme d'évapotranspiration.

2/ Calcul du bilan hydrologique pour la période : 1984 / 1997, Station de Hamala Grarem (Tableau.IV.11) :

$$I = 84$$

$$a = 2$$

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

- **Estimation du ruissellement (R) :**

$$P = 675 \text{ mm}$$

$$ETP = 904 \text{ mm}$$

=> **R = 125 mm** selon la formule de Thornthwaite.

Soit : **R = 19 %** c-à-d le ruissellement représente 19 % des précipitations.

- **Calcul de l'infiltration (I) :**

$$P = ETR + R + I$$

$$I = P - ETR - R$$

$$= Ex - R$$

$$= 267.85 - 125.28$$

$$I = 142 \text{ mm.}$$

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

$$I = \frac{142.57 \times 100}{674.77}$$

$$I = 21\%$$

Au regard des résultats du bilan hydrique calculé, nous avons :

Le 19 % des pluies tombées sur notre bassin partent sous forme de ruissèlement vers la mer, une plus faible quantité 21 % de l'eau tombée s'infiltré dans des formations semis-perméables, 60% des eaux restants partent sous forme d'évapotranspiration.

Tableau. IV.7- Bilan hydrologique - Station de Beni Haroun
(Période : 2003 - 2007).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total
P	28	31	76	160	80	71	45	65	38	15	0.46	1.5	613
ETP	107	86	42	21	17	19	32	54	66	112	140	138	835
ETPC (mm)	110	83	36	18	15	17	32	60	80	137	174	160	921
P - ETPC	-82	-52	41	142	65	55	13	06	-42	-122	-174	-159	-
RFU	00	00	40	100	100	100	100	100	58	00	00	00	-
ETR	28	31	35	18	15	17	32	60	80	73	0.46	1.5	599
Ex = P - ETR	00	00	00	83	65	55	13	06	00	00	00	00	221.9
i	11	09	05	03	02	03	04	06	07	11	13	13	86
K	1.03	0.97	0.86	0.84	0.87	0.85	1.03	1.10	1.21	1.22	01.24	01.16	-
DA=ETPC - ETR	82	52	00	00	00	00	00	00	00	64	174	159	530

Tableau. IV.8- Bilan hydrologique - Station de Hamala Grarem
(Période : 1984 - 1997).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total
<i>P</i>	27	55	67	145	120	72	76	62	33	11	3	4	675
<i>ETP</i>	104	71	37	23	18	25	35	45	69	107	143	142	819
<i>ETPC (mm)</i>	107	68	32	19	16	21	36	50	83	130	178	164	90
<i>P - ETP</i>	-80	-13	35	126	104	50	41	12	-50	-119	-174	-161	-
<i>RFU</i>	00	00	35	100	100	100	100	100	50	00	00	00	-
<i>ETR</i>	27	55	32	19	16	21	36	50	83	61	03	04	407
<i>Ex = P - ETR</i>	00	00	00	61	104	50	41	12	00	00	00	00	268
<i>i</i>	10	07	04	03	02	03	04	05	07	10	13	13	84
<i>K</i>	1.03	0.97	0.86	0.84	0.87	0.85	1.03	1.10	1.21	1.22	01.24	01.16	-
DA=ETPC - ETR	79.79	13.4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	68.76	174.3	160.7	497.1

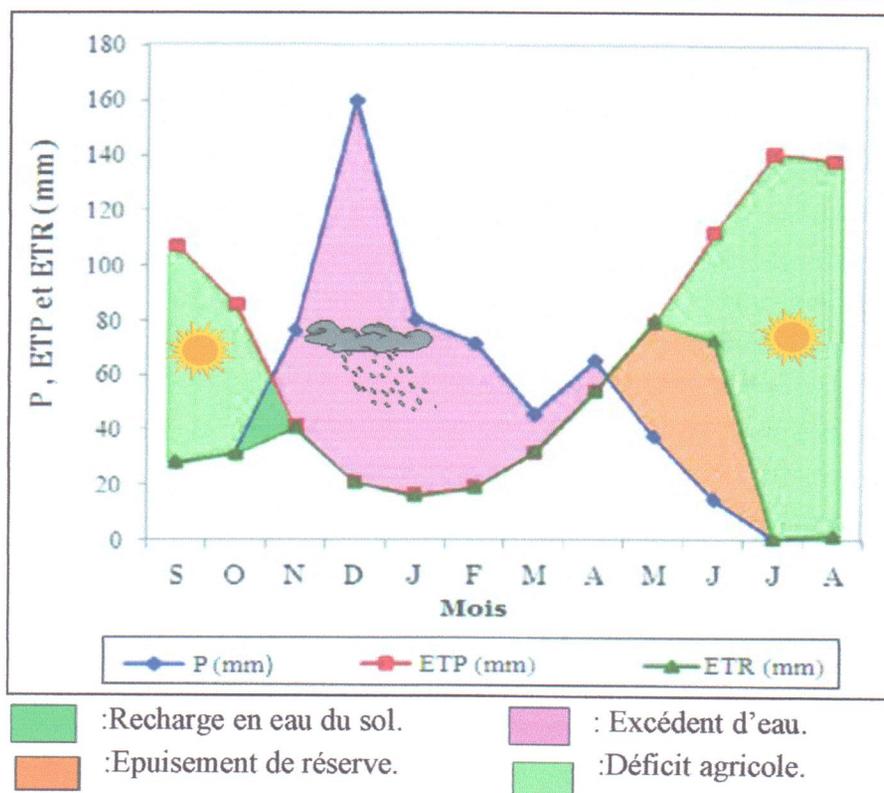


Figure. IV.12- Représentation graphique du bilan hydrologique pour la période : 2003 – 2007 (Station de Beni Haroun).

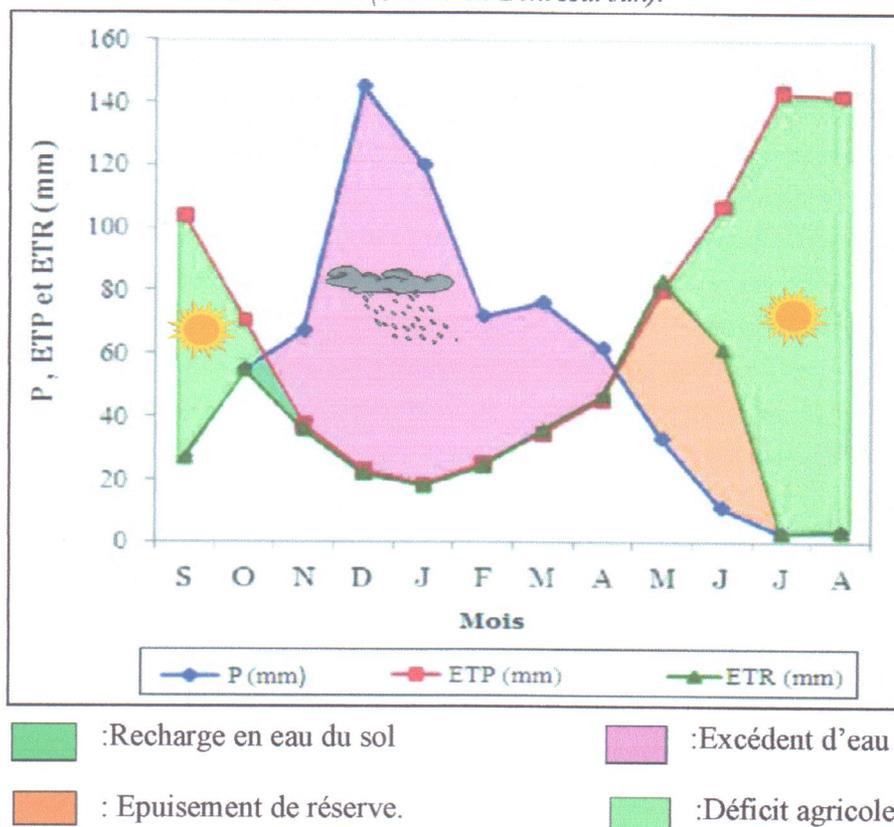


Figure. IV.13-- Représentation graphique du bilan hydrologique pour la période : 1984-1997 (Station de Hamala Grarem).

Interprétation du bilan hydrologique :

L'examen des données récapitulées dans les tableaux précédents et les résultats donnés par les graphiques des bilans hydrologiques permet d'en déduire les résultats suivants :

- Les précipitations atteignent leur maximum au mois de décembre (période durant laquelle l'évapotranspiration potentielle (ETP) atteint son minimum). Cette dernière atteint son maximum au cours de la période sèche plus précisément au mois de juillet.
- L'allure de la courbe représentant l'ETP donne une meilleure symétrie que celle des précipitations. Ceci peut être expliqué par l'homogénéité de ETP durant l'année, qui est due au fait qu'elle est en fonction de la température suivant une loi normale, par contre les précipitations sont hasardeuses et irrégulières d'un mois à un autre ou d'une année à l'autre.
- L'excédent d'eau est enregistré du mois de novembre au mois d'avril. L'augmentation du volume d'eau durant cette période (saturation du sol) dont le pourcentage de l'infiltration au niveau de la station de Béni Haroun est de l'ordre de 21 % rend l'instabilité du versant la plus grande.
- Le déficit agricole s'étend sur la période sèche de l'année où un épuisement des réserves est observé.
- La recharge du sol en eau commence à partir de la mi-octobre jusqu'à la mi-novembre. Les réserves sont saturées et les demandes pour l'irrigation sont satisfaites.

III.6 / Conclusion :

Les données hydroclimatiques du bassin versant d'Oued Kébir Amont Endja laissent apparaître que la région est caractérisée par un climat tempéré, marqué par des précipitations importantes. Ces précipitations jouent un rôle primordial dans l'accélération des mouvements de terrains surtout que 21 % des eaux de précipitations s'infiltrent dans le sous sol et atteignent les argiles marneuses à gypse et engendrent la diminution de leurs caractéristiques mécaniques (c et ϕ).

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

L'infiltration est très importante, elle est de l'ordre de 131mm. Elle joue un rôle très important dans l'instabilité du site, car d'une part les eaux d'infiltration saturent rapidement les terrains de couverture argileuse et lubrifient la surface de contact entre les argiles rouges quaternaires et les couches d'argiles marneuses sous jacentes plus imperméables et souvent encroûtées, ce qui favorise l'apparition de surface de glissement, d'autre part, la circulation des eaux d'infiltration le long des couloirs des grands accidents tectoniques fragilise les formations néogènes. En effet, la circulation des eaux le long des zones de faiblesse provoque la dissolution des roches solubles (carbonates, gypse et sel) et un intense soutirage de particules solides très fines (argiles), aboutissant à la désolidarisation des éléments détritiques dans le cas des formations conglomératiques et à la création des vides dans le cas des formations argilo-marneuses gypsifères, ce qui conduit à des effondrements et/ou affaissements en profondeur, accompagnés en surface par des déplacements en masse si la topographie est favorable.

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

IV/ Conditions hydrogéologiques du site :

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

Les unités hydrogéologiques ou systèmes aquifères bien nets apparaissent dans notre région d'étude. En effet ces deux systèmes sont :

- a. Système aquifère amont (supérieur).
- b. Système aquifère aval (inférieur).

a. Système aquifère amont :

On peut aussi l'appeler aquifère des roches à perméabilité en grand, ou réservoir à porosité de fractures. Il s'agit du réservoir qui constitue toute la partie amont de la région d'étude. Il constitue par les formations cristallophylliennes du socle Kabyle, les formations de type flysch (massylien). Ce type de réservoir se caractérise essentiellement par une grande perméabilité de ses différentes formations.

L'abondante fracturation (macrofissures, microfissures, et diaclases), les plans de schistosité, et les joints de stratification des différentes formations géologiques assurent un rôle hydrologique très important en ces lieux. Ils peuvent en certains endroits provoquer des pertes totales.

b. Système aquifère aval :

On peut aussi l'appeler réservoir à porosité inter-granulaire ou d'interstice, plaine ou nappe alluviale tout simplement. Il englobe toute la partie avale de la région d'étude. Les formations qui le constituent sont essentiellement de nature détritique (consolidées ou non), et que nous avons regroupé (pour l'essentiel) sous l'appellation de formations superficielles (formations post nappes, formations telliennes, et les formations quaternaires... etc).

Les formations de la nappe alluviale (graviers, sables, terrasses...) jouissent d'une bonne perméabilité, les eaux y circulent facilement.

V/ Conclusion :

Les conditions hydrologiques et hydrogéologiques du site étudié jouent un rôle très important dans le déclenchement des mouvements de terrain. Cette influence est liée principalement aux aspects suivants :

- La quantité importante des eaux d'infiltration au niveau du site étudié constitue le facteur principal de l'apparition des problèmes d'instabilité. Ces eaux d'infiltration saturent le terrain de couverture argileuse et lubrifient la surface de contact entre cette couverture et les formations marneuses encroûtées sous jacentes, ce qui conduit au déclenchement des glissements superficiels. Ces derniers se manifestent par des importantes coulées boueuses. Par ailleurs, ces infiltrations participent à l'apparition brusque de glissements profonds affectant les formations néogènes le long des couloirs des grands accidents tectoniques.
- La dégradation progressive du pied du versant par la nappe superficielle d'oued Endja engendrant la suppression de la butée de pied de ce versant et pouvait entraîner le déclenchement de glissements en amont.
- Les circulations des eaux souterraines le long des couloirs des grands accidents peuvent engendrer des phénomènes de dissolution des formations solubles (carbonates et gypse) et un soutirage des fines (argiles), ce qui entraînerait la fragilisation progressive des formations et la dégradation de leurs caractéristiques mécaniques.

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

I/ Introduction :

Dans le groupe des géosciences, la géotechnique est la techno-science consacrée à l'étude pratique de la sub-surface terrestre sur laquelle notre action directe est possible pour son aménagement et/ou son exploitation, lors d'opération de BTP (génie civil, bâtiment, carrières), d'eaux souterraines (exploitation, drainage) et de prévention des risques naturels.

Elle fait appel à la géologie pour définir la nature lithologique des différents terrains rencontrés, leurs positions spatiales relatives et leur évolution possible et permet ainsi un choix et une adaptation des ouvrages aux sites (*P. Antoine et al, 1980*).

Elle fait appel à la mécanique des sols et à la mécanique des roches pour la définition du modèle de comportement des matériaux rencontrés. Le but final étant la résolution d'un problème d'équilibre statique de déformation sous charges ou de dynamique posé par nos structures ou par la nature elle-même comme dans le cas de glissements de terrains (*D. Cordary, 1994*).

En effet, la géotechnique se propose pour confirmer les résultats des études préliminaires, elle permet de mesurer et de déterminer les propriétés physiques et chimiques des sols et des roches ainsi que leurs caractéristiques mécaniques (d'après les résultats des essais *in situ* et en laboratoire) et de déterminer les niveaux des nappes aquifères existantes et par conséquent le choix de la meilleure solution adoptée au problème de glissement rencontré (*P. Antoine et al, 1980*).

Dans la pratique, toute étude géotechnique doit commencer par une reconnaissance sur terrain permettant de vérifier en place la nature des sols et une reconnaissance par sondages, afin d'estimer la distribution des sols au sein de la surface d'étude et la détermination des caractéristiques physiques et mécaniques et leurs distributions (*M. Aoun, 2002*).

Les données géologiques du site mettent en évidence une composition lithologique représentée essentiellement par une tranche superficielle des graves calcaire à matrice argileuse repose sur une formation d'argile limoneuse et marne argileuse, telles formations présentent des caractéristiques médiocres et constituent généralement le siège de nombreux problèmes d'instabilité notamment les glissements éventuels. A cet effet, une campagne de reconnaissance géotechnique doit être ajoutée pour bien dimensionner les travaux de protection capables d'arrêter ou de réduire ces risques à un niveau acceptable.

II/ Méthodologie d'étude des glissements de terrain :

L'étude approfondie d'un glissement de terrain nécessite la combinaison d'une approche descriptive qualitative par plusieurs observations de terrain et d'une approche descriptive quantitative par des mesures réalisées in-situ ou en laboratoire.

II.1/ Repérage des zones instables du site étudié :

Les mouvements de terrain objet de ce mémoire sont localisés sur la route nationale n° 105 (RN105) reliant le village de Tassala à la ville de Mila, la figure V.1 représente la situation des deux glissements sur l'image spatiale (Google Earth, 2012).



Photo. V.1- Situation géographique du secteur d'étude sur l'image spatiale (Google earth année 2011).

II.2/ Exploitation des travaux de reconnaissance :

Les essais consacrés à la détermination des caractéristiques physiques et mécaniques des sols du site étudié ont été réalisés par deux laboratoires à savoir le laboratoire L.V.B ZEKKOUR et Eurl GEOCONSEIL pour les deux sites instables (photo V.2).



Photo. V.2 - Implantation des sondages carottés
a) sondages du 1^{er} glissement (PK9) ;
b) sondages du 2^{ème} glissement (PK18).

II.2.1/ Les moyens de reconnaissance in situ :

Quatre sondages carottés (Sc₁, Sc₂, Sc₃, Sc₄), ont été réalisés par laboratoire L.V.B ZEKKOUR pendant le mois de novembre 2009 pour les deux sites instables, ils ont été exécutés jusqu'à 25 m de profondeur au niveau des accotements droits et gauches de la route.

Les logs des sondages carottés sont représentés dans l'annexe B. Sur la base de nos observations sur terrain, de légères modifications relatives à la description lithologique des couches superficielles et à la stratigraphie ont été introduites.

II.2.2/ Les moyens d'étude au laboratoire :

Les essais de laboratoire ont pour but de déterminer les paramètres physiques et mécaniques du sol. Ces essais se font sur des échantillons prélevés à partir des carottes de sondages. Pour qu'un essai donne des résultats précis, l'échantillon doit représentatif et non remanié (*J. Costet et al, 1981*).

II.2.2.1/ Essais d'identification :

Il est habituel de caractériser les sols à l'aide d'essais relativement simples. Ces essais sont appelés "**essais d'identification**" (*B. Hubert et al, 2003*) les principaux sont les suivants:

- La teneur en eau.
- Les densités.
- Les limites d'Atterberg.
- La teneur en CaCO₃.

Dans le site étudié, quatre prélèvements intacts ont été effectués en novembre 2009 poursuivis jusqu'à 25 m de profondeur. D'autre part, deux tubes piézométriques ont été posés à côté des sondages carottés n°2 et n°4.

Les essais de laboratoire ont été consacrés à la mesure des poids volumiques secs et humides, la teneur en eau, la granulométrie et la sédimentométrie.

a/ La teneur en eau :

Elle définit le rapport en pourcentage (%) du poids d'eau W_w que le sol contient, au poids W_s de ses éléments secs. L'obtention des éléments secs s'obtient par dessiccation du sol pendant 24 heures dans une étuve à 106° (*P. Habib, 1997*).

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

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

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

b/ Les densités :

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

- **La densité humide γ_h :**

C'est le poids volumique du sol à l'état humide :

$$\gamma_h = W_h / V \quad \text{avec : } W_h : \text{ poids de l'échantillon humide.}$$

$$V : \text{ volume total.}$$

- **La densité sèche γ_d :**

C'est le poids volumique du sol à l'état sec :

$$\gamma_d = W_s / V \quad \text{avec : } W_s : \text{ poids des grains solides.}$$

$$V : \text{ volume total.}$$

Le tableau ci-après donne une classification des sols selon ces deux paramètres : (J. Costet et al, 1981).

Nature du sol	γ_h	γ_d
Sable	17 à 20 Kn/M ³	14 à 18 Kn/M ³
Argile	16 à 22 Kn/M ³	10 à 20 Kn/M ³
Tourbe	13 à 17 Kn/M ³	03 à 10 Kn/M ³

Dans le cas de site étudié, nous avons reportés dans les tableaux suivants, les teneurs en eau ainsi que les densités mesurées sur des échantillons prélevés à différentes profondeurs :

- 1^{er} glissement (PK9) :

Tableau. V.1- Essais exécutés en 2009 à partir du sondage SC1.

Sondage	SC1		
	8.20 - 8.50	11.70 - 12.00	20.40 - 20.90
Profondeur (m)			
Teneur en eau W (%)	19.55	17.39	11.95
Densité sèche γ_d (t/m ³)	1.668	1.827	1.041
Densité humide γ_h (t/m ³)	1.994	2.145	2.274

Tableau. V.2- Essais exécutés en 2009 à partir du sondage SC2.

Sondage	SC2		
	5.80 - 6.30	9.50 - 9.90	20.00 - 20.50
Profondeur (m)			
Teneur en eau W (%)	12.29	21.07	12.56
Densité sèche γ_d (t/m ³)	1.985	1.747	1.956
Densité humide γ_h (t/m ³)	2.229	2.114	2.201

➤ 2^{ème} glissement (PK18) :

Tableau. V.3- Essais exécutés en 2009 à partir du sondage SC3.

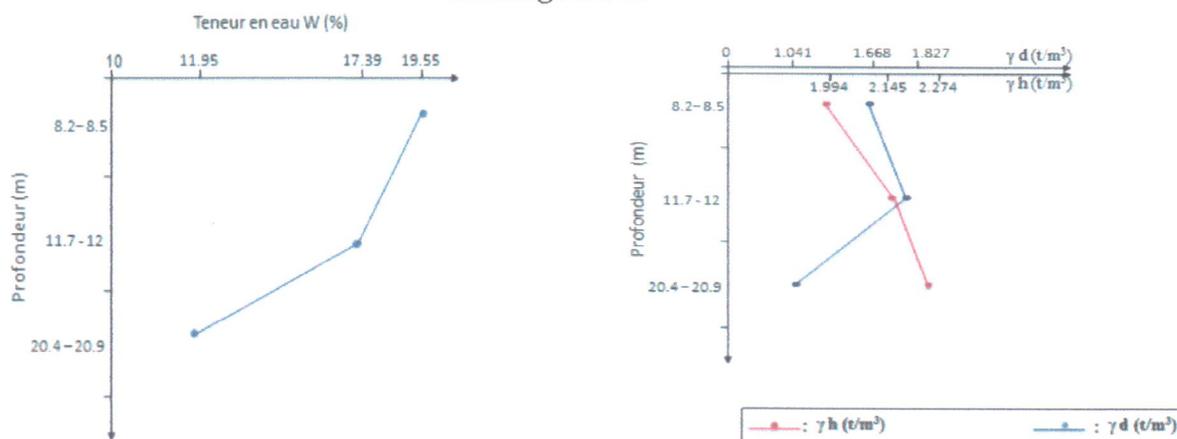
Sondage	SC3	
Profondeur (m)	12.00 - 12.50	16.00 - 16.5
Teneur en eau W (%)	25.20	14.87
Densité sèche γ_d (t/m^3)	1.699	1.781
Densité humide γ_h (t/m^3)	2.003	2.113

Tableau. V.4- Essais exécutés en 2009 à partir du sondage SC4.

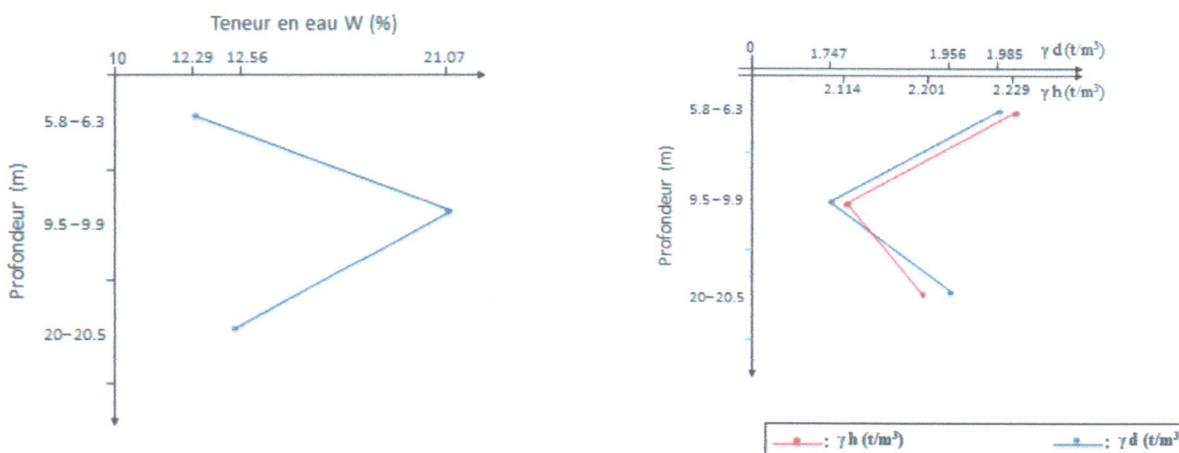
Sondage	SC4	
Profondeur (m)	12.50 - 13.00	16.50 - 17
Teneur en eau W (%)	10.09	18.26
Densité sèche γ_d (t/m^3)	2.020	2.739
Densité humide γ_h (t/m^3)	2.231	2.058

Pour faciliter la lecture de la variation de ces paramètres physiques du terrain d'étude en fonction de la profondeur, nous avons réalisé quelques profils synoptiques donnés ci-après :

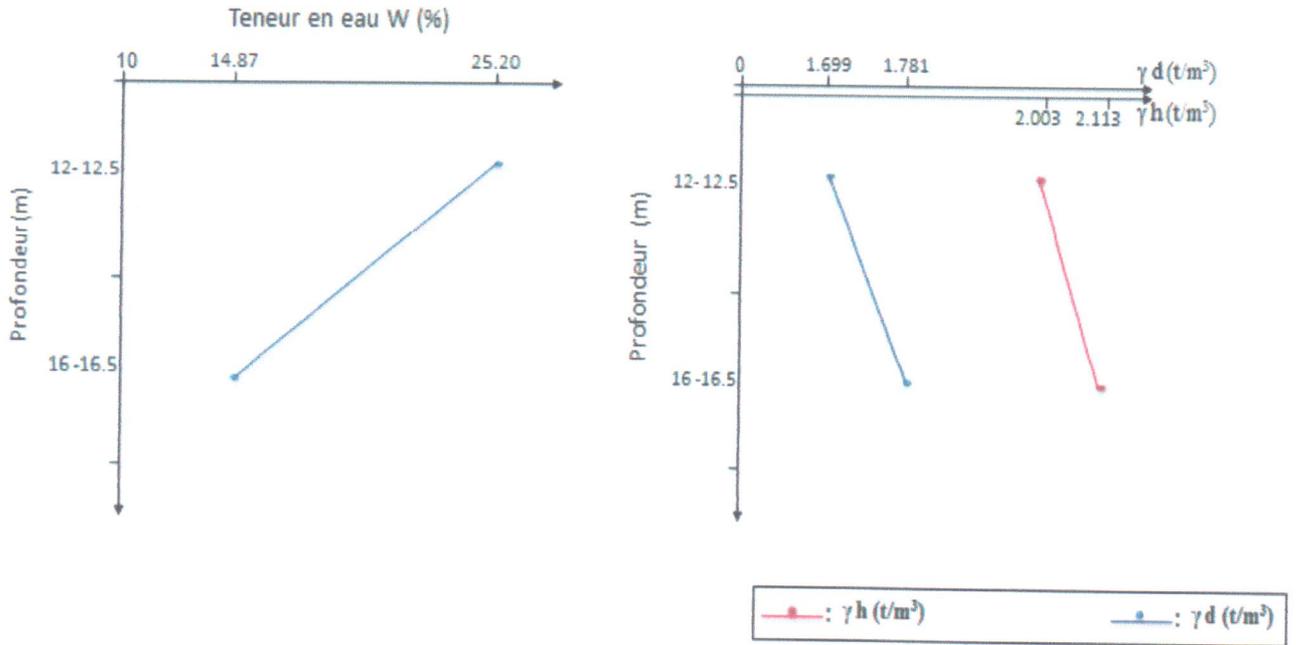
Sondage SC1 :



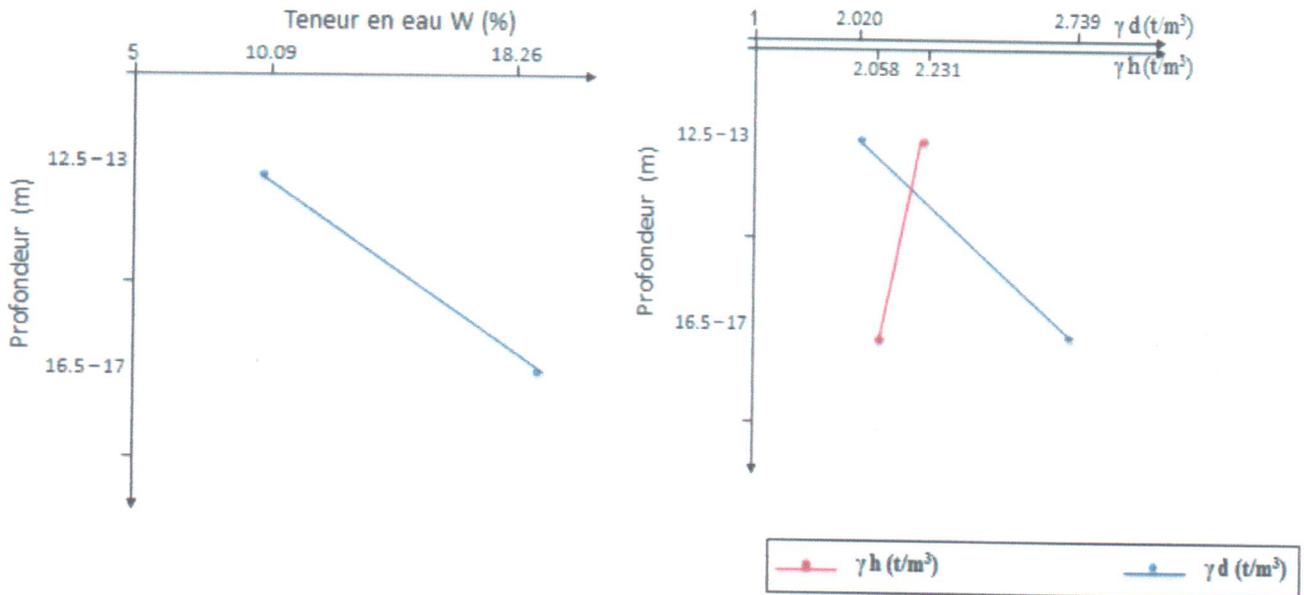
Sondage SC2 :



Sondage SC3 :



Sondage SC4 :



D'une manière générale, on observe qu'il y a à la fois une décroissance ou accroissement de l'humidité des formations en fonction de la profondeur et de l'endroit, bien que les valeurs obtenues de la teneur en eau W comprises entre 11.95 % et 21.07 % pour le 1^{er} glissement (PK9), et de 10.09 % à 25.20% pour le second (PK18) ce qui donne des formations légèrement humides à humides.

Les densités de l'ordre de 1.041 t/m³ à 1.985 t/m³ pour le sol du 1^{er} glissement, et de l'ordre de 1.699 t/m³ à 2.739 t/m³ pour le second glissement. Les poids volumiques secs et de l'ordre de 1.994 t/m³ à 2.274 t/m³ pour le 1^{er} glissement et de l'ordre de 2.003 t/m³ à 2.231 t/m³ pour le second pour les poids volumiques humides. De telles valeurs indiquent la présence de sols fins ou plus précisément des formations argileuses.

c / Les limites d'Atterberg :

Les limites d'Atterberg sont des teneurs en eau conventionnelles qui décrivent l'état du sol. On les mesure sur la fraction du sol passant au tamis de 0.5mm (P. Habib, 1997).

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

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

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



• Indice de plasticité I_p :

Il permet de mesurer l'étendue du domaine de plasticité d'un sol (J. Costet et al, 1981). $I_p = W_L - W_p$

À titre d'exemple, le tableau ci-dessous indique les degrés de plasticité d'un sol (FAER).

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

- **Estimation du gonflement des sols :**

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

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

Dans notre cas, nous avons reporté au tableau.V.5 les valeurs d' I_p avec estimation du gonflement potentiel du sol constituant le terrain :

Tableau. V.5 - Estimation du gonflement potentiel du sol étudié.

Sondage	Profondeur (m)	I_p (%)	Gonflement potentiel
SC1	8.20-8.50	40.15	Elevé
SC1	20.40-20.90	22.70	Moyen
SC2	5.80-6.30	21.97	Moyen
SC2	20.00-20.50	24.38	Moyen
SC3	12.00-12.50	12.67	Faible
SC3	16.00-16.50	18.92	Faible
SC4	12.50-13.00	26.24	Elevé
SC4	16.50-17.00	12.59	Faible

On constate donc que le sol en place est caractérisé par un gonflement moyen à élevé pour les sols du site étudié.

➤ **Indice de consistance I_c**

Pour apprécier le degré de consistance d'un sol, on a comme indication l'indice de consistance. $I_c = W_L - W / I_p$
avec : W : teneur en eau du sol naturel (B. Hubert et al, 2003).

➤ **Indice de liquidité I_L :**

Il est moins utilisé pour la classification, il est défini par (B. Hubert et al, 2003) :

$$I_L = W - W_p / I_p$$

Les classifications des sols les plus utilisées et les plus récentes sont celles qui tiennent compte de plusieurs paramètres en même temps, à titre d'exemple :
La classification LCPC des sols grenus et le diagramme de plasticité de Casagrande.

Les résultats des essais des limites d'Atterberg effectués au niveau du site étudié sont récapitulés dans le Tableau.V.6 :

Tableau. V.6- Résultats des essais de limites d'Atterberg effectués pour les sols du site étudié.

Sondage	Profondeur (m)	W _L (%)	W _P (%)	I _p (%)
SC1	8.20-8.50	83	42.85	40.15
SC1	20.40-20.90	39.20	16.47	22.70
SC2	5.80-6.30	48.80	26.83	21.97
SC2	20.00-20.50	47.90	23.52	24.38
SC3	12.00-12.50	29.85	17.18	12.67
SC3	16.00-16.50	37.14	18.22	18.92
SC4	12.50-13.00	52.34	26.10	26.24
SC4	16.50-17.00	30.67	18.08	12.59

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 40.15 à 21.97 % (1^{er} glissement ●) et 12.59 à 26.24 % (2^{ème} glissement ●).

On a reporté les valeurs trouvées de chaque couple (W_L et I_p) sur l'abaque de plasticité de Casagrande, on a trouvé que ces couples se situent au-dessus de la droite A : [I_p = 0.73 (W_L - 20)] ce qui nous indique que les formations en place sont des argiles peu plastiques (AP) à très plastiques (AT).

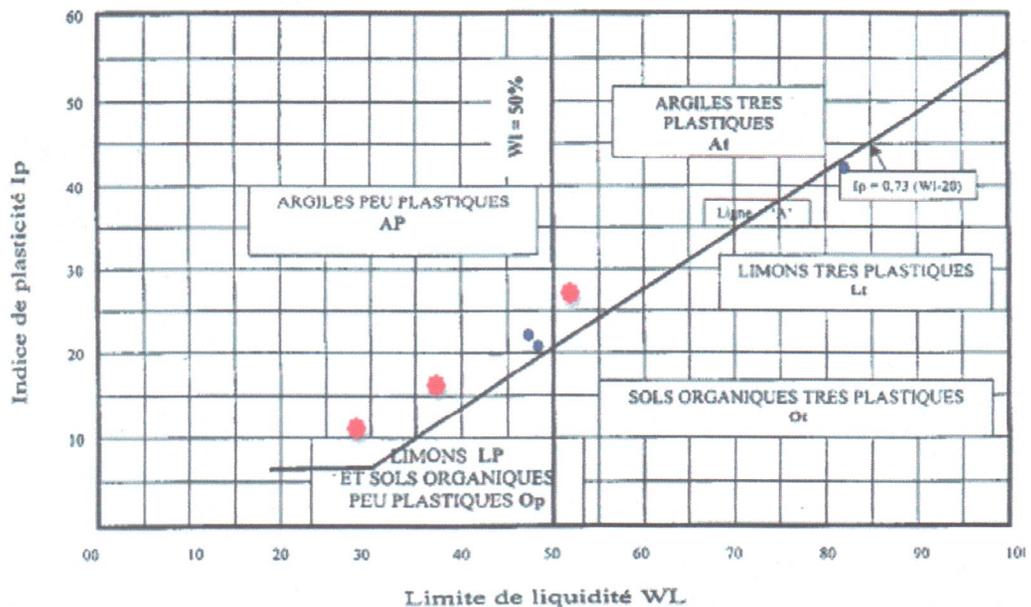


Figure. V.1- Classification des sols étudiés par l'abaque de Casagrande.

II.2.2.2 / Essais mécaniques :

➤ Essai de cisaillement :

Pour mesurer la résistance au cisaillement au laboratoire on note deux types d'essais, le cisaillement direct et l'essai triaxial.

Pour le cisaillement direct ou rectiligne ; l'appareil le plus souvent utilisé est celui de Casagrande. L'échantillon de sol est placé entre deux demi-boîtes pouvant glisser l'une sur l'autre, un effort normal au plan de glissement est appliqué par un piston et on mesure l'effort maximal de cisaillement en enregistrant une courbe effort-déformation (P. Habib, 1997). Le cisaillement rectiligne donne donc à la rupture un couple de valeur (σ_N, σ_T) qui définit un point dans la courbe intrinsèque déterminée par Coulomb.

L'angle de frottement interne ϕ du sol est l'angle que fait cette droite avec l'axe des abscisses tandis que la cohésion C est l'ordonnée à l'origine (P. Habib, 1997).

Dans l'essai triaxial, un échantillon cylindrique est soumis latéralement à la pression d'un fluide et axialement à la charge d'un piston. On enregistre la courbe (effort axial, déformation axiale). la rupture se matérialise par une déformation excessive ou par un plan de glissement. Cet essai permet de déterminer le cercle de Mohr de l'équilibre ultime, l'enveloppe des cercles de Mohr est la courbe intrinsèque à partir de cette dernière on peut retirer les caractéristiques mécaniques du sol C et ϕ (P. Habib, 1997).

Essai triaxial peut être effectué à cours ou à long terme, donc on peut distinguer trois types d'essais pouvant être effectués (P. Habib, 1997) :

- * Essai consolidé-drainé (CD).
- * Essai consolidé-non drainé (CU).
- * Essai non consolidé-non drainé (UU).

Dans le but de déterminer les caractéristiques mécaniques des sols rencontrés dans le site étudié, 10 essais de cisaillements non consolidés non drainés ont été réalisés par le laboratoire LVB ZEKKOUR en 2009. Les résultats obtenus sont reportés dans les Tableaux : V.7 et V.8

Tableau. V.7- Résultats des essais de cisaillement direct, 1^{er} glissement (2009)

Sondage	SC1			SC2		
Profondeur de prélèvement (m)	8.20-8.50	11.70-12.00	20.40-20.90	5.20-6.30	9.50-9.90	20.00-20.50
Cu (bars)	0.64	1.26	1.52	0.37	0.42	0.79
ϕ_u (°)	7	17	30	29	25	8

Tableau. V.8- Résultats des essais de cisaillement direct, 2^{ème} glissement (2009)

Sondage	SC3		SC4	
	12.00-12.50	16.00-16.50	12.50 – 13.00	16.50 – 17.00
Profondeur de prélèvement (m)				
Cu (bars)	0.64	1.05	0.90	0.95
ϕ_u (°)	11	12	14	7

Les cohésions mesurées à l'essai de cisaillement direct de type non consolidés non drainé sont relativement faible (pour les deux glissements). (0.37 bars < C < 1.52 bars) ce qui nous donne un sol très faiblement cohérent.

Les valeurs de l'angle de frottement interne indiquent que le sol présente une faible résistance au cisaillement ($7^\circ \leq \phi \leq 17^\circ$) pour l'ensemble des échantillons testés, à l'exception d'un échantillon au sondage Sc₁ et de deux autres échantillons dans le sondage Sc₂ ou on a enregistré les valeurs de 30° et (25°, 29°) respectivement. Sachant que la pente des deux versants étudiés varie entre 40 à 50 %.

II.2.2.3 / Caractéristiques chimiques des sols :

➤ Teneur en carbonates (CaCO₃) :

Cette teneur est un bon indice de résistance mécanique du sol et de leur sensibilité à l'eau, selon sa valeur, le comportement évolue de celui d'une argile vers celui d'une roche (D. Cordary, 1994). D'après la teneur en CaCO₃ on peut classer les formations selon les recommandations suivantes (G. Philipponnat, 1979) :

les argiles franches	CaCO ₃ < 10%
les argiles marneuses	10 % < CaCO ₃ < 30 %
les marnes	30 % < CaCO ₃ < 70 %
les calcaires marneux	70 % < CaCO ₃ < 90 %
les calcaires francs	CaCO ₃ > 90%

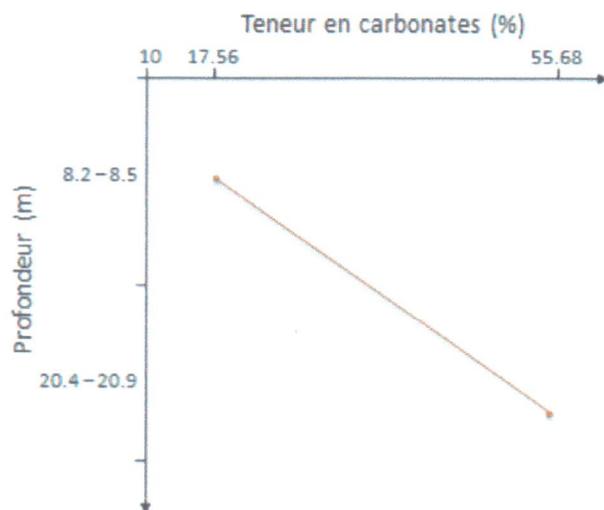
Dans le site étudié, un certain nombre d'échantillons de sol prélevés à différentes profondeurs des sondages a été soumis à des analyses chimiques afin de mesurer le potentiel d'ions agressifs dans le terrain. Les résultats des teneurs en carbonates obtenues sont reportés dans le Tableau. V.9 :

Tableau. V.9 - Résultats des teneurs en carbonates.

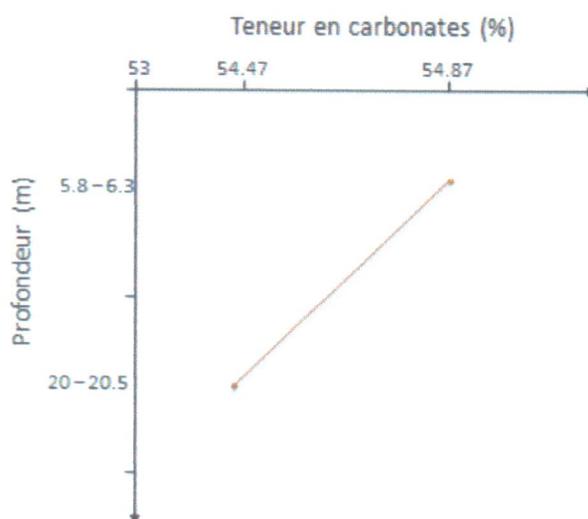
Sondages	Profondeurs (m)	Teneur en carbonates (%)
SC1	8.20 – 8.50	17.56
	20.40 – 20.90	55.68
SC2	5.80 – 6.30	54.87
	20.00 – 20.50	54.47
SC3	12.00 – 12.500	68.34
	16.00 – 16.50	48.23
SC4	12.50 – 13.00	68.92
	16.50 – 17.00	72.08

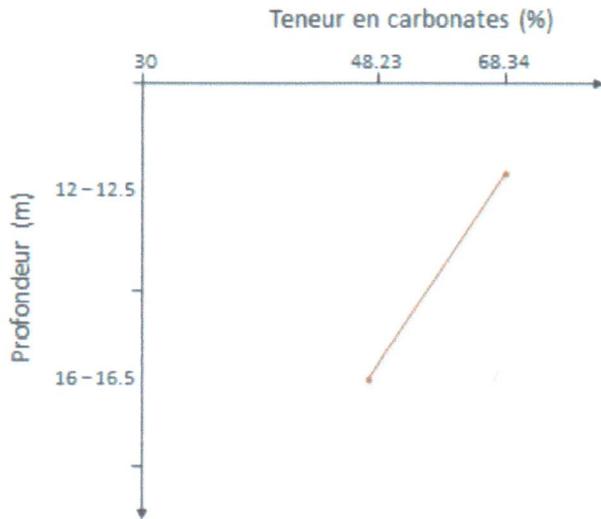
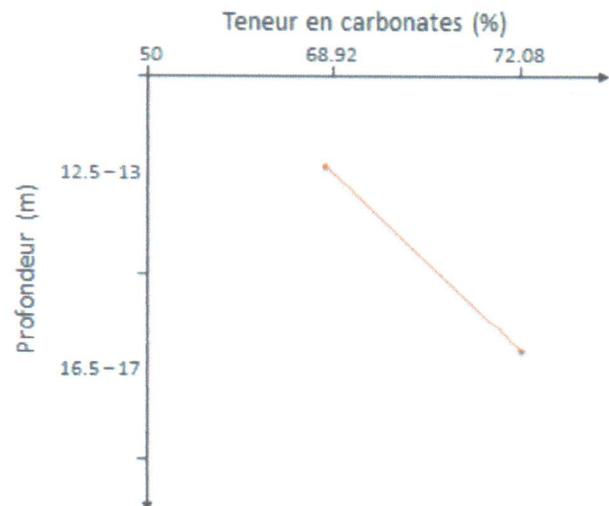
Pour bien observer la variation des teneurs en CaCO_3 en fonction de la profondeur, nous avons tracé quelques profils synoptiques donnés ci-après :

Sondages SC1 :



Sondages SC2 :



Sondages SC3 :**Sondages SC4 :**

Ces analyses montrent que les teneurs en CaCO_3 sont assez élevées permettant de classer ces sols dans leur majorité comme étant des marnes à gypse dont les valeurs en CaCO_3 sont comprises entre 17.56 % à 55.68 % pour le 1^{er} glissement et pour le second il est entre 48.23% à 72.08% .

II.3/ Lithologie du site et contexte géotechnique :

A partir des descriptions des logs de sondages carottés (annexe B) on a proposé un log type qui se présente comme suit :

Pour le site du glissement N °1 :

- Les graves calcaires à matrice d'argile limoneuse, lâche dont l'épaisseur varie entre 0 et 6m pour le sondage Sc_{1-1} et entre 0 à 3m et 3.7 à 6.5m pour le sondage Sc_{2-1} .
- Les argiles limoneuses avec quelques traces de graves, ferme, marron foncée dont l'épaisseur varie entre 6 et 8.2m pour le sondage Sc_{1-1} et entre 3 et 3.7m pour le sondage Sc_{2-1} .
- Les marnes argileuses avec quelques traces de graves, ferme beige dont l'épaisseur varier entre 8.2 et 25m pour le sondage Sc_{1-1} et entre 6.5 et 25m pour le sondage Sc_{2-1} .

Pour le site du glissement N °2 :

- Les argiles limoneuses avec des traces de sable et de grave lâche ou plastique, marron dont l'épaisseur varie entre 0 et 0.9 m pour le sondage Sc_{3-2} .
- Les graves calcaires à matrice d'argile limoneuse lâche, dont l'épaisseur varie entre 0.9 et 12 m et 13 et 16 m et entre 16.4 et parfois 22m pour le sondage Sc_{3-2} . pour le sondage Sc_{4-2} l'épaisseur varié, entre 0 et 12 m et 13 et 16 m et enfin entre de 17.3 et 21.4.

- Les marnes indurée à aspect schisteux, compact très ferme, grisâtre dont l'épaisseur varie entre 12 et 13m, 16 et 16.4m et parfois 22 et 25 m pour le sondage Sc₃₋₂. Dans le sondage Sc₄₋₂ l'épaisseur varie parfois entre 12 et 13m et 16 et 17.3m et parfois entre 21.4 et 25m.

Les figures (Figure. V.2) (Figure. V.3) représentent les coupes lithologiques réalisées à partir des logs de sondages carrotés au niveau des glissements 1 et 2.

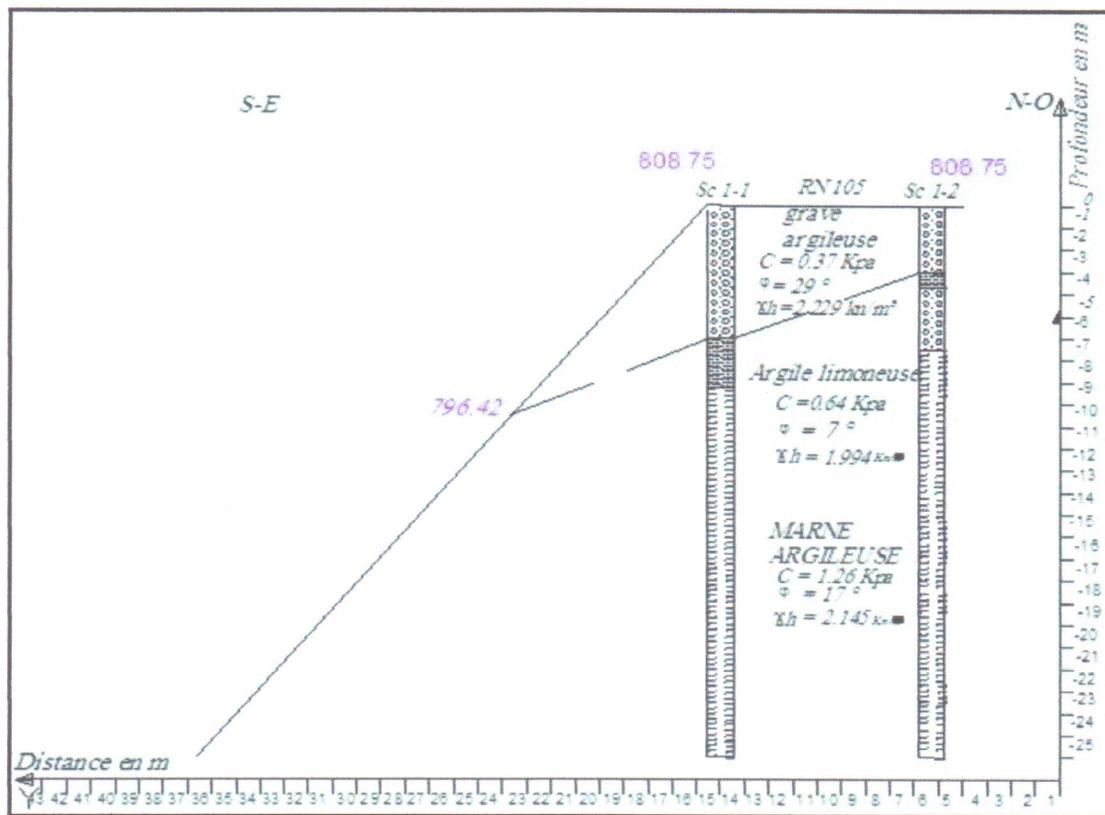


Figure. V.2- Corrélation entre les sondages carrotés Sc₁₋₁ et Sc₁₋₂ (glissement 1).

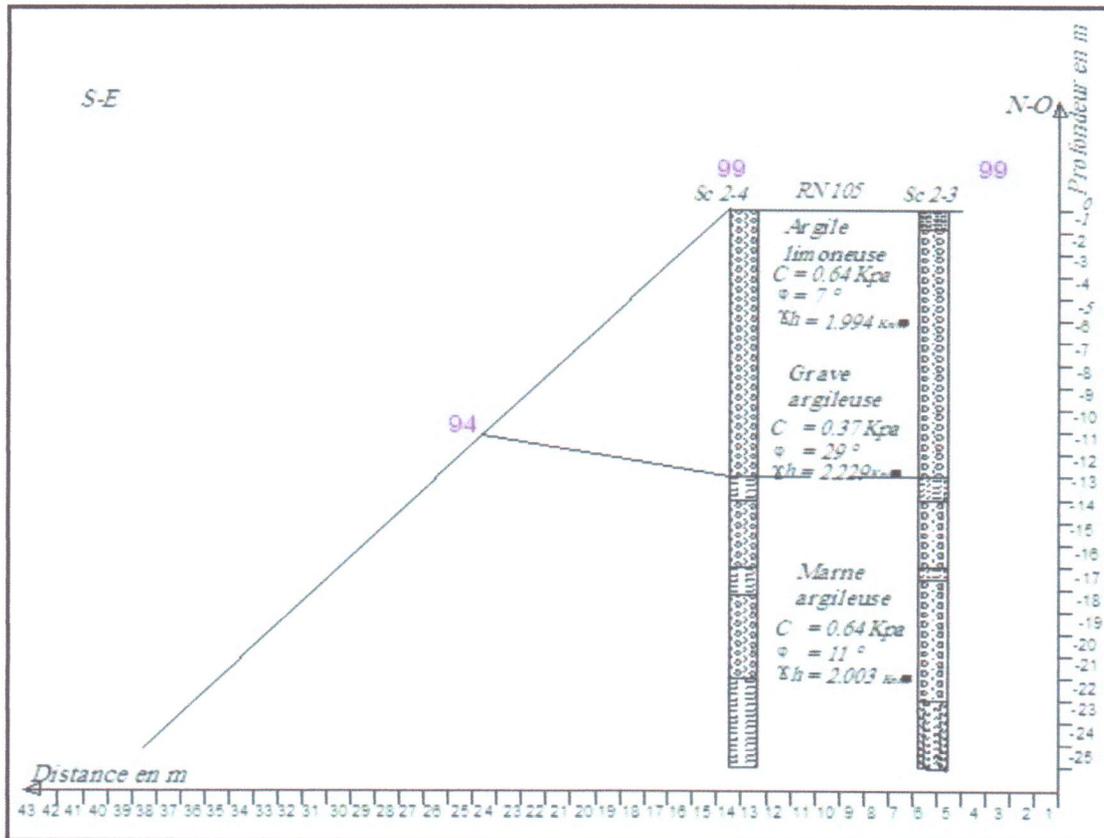


Figure. V.3- Corrélation entre les sondages carrotés $Sc_{2,3}$ et $Sc_{2,4}$ (glissement 2).

II.4 /Diagnostics et causes probables des glissements étudiés :

II.4.1/ Description des glissements étudiés :

1^{er} glissement au PK9 : Le glissement n°1 correspond au profil AA de la figure V.4, le talus de la partie supérieure de la plate forme routière présente une rupture circulaire détruisant la moitié de la chaussée.

- L'instabilité constatée lors de notre sortie sur terrain indique l'activité du mouvement de terrain malgré les solutions déjà mises en place. la pente du terrain naturel dépasse nettement les 50° ce qu'est important comme valeur.
- Les dégradations observées dans la photo V.3 sont principalement dans des formations d'argiles schisteuses et quartzite on constate que ce sont des flysch. On a constaté aussi l'existence d'un cours à l'aval du talus, et des bourrelets au niveau du pied avec des niches d'arrachement indiquant le sens des déplacements et l'instabilité du versant. L'escarpement observé été de l'ordre 1,5m en tête du talus.

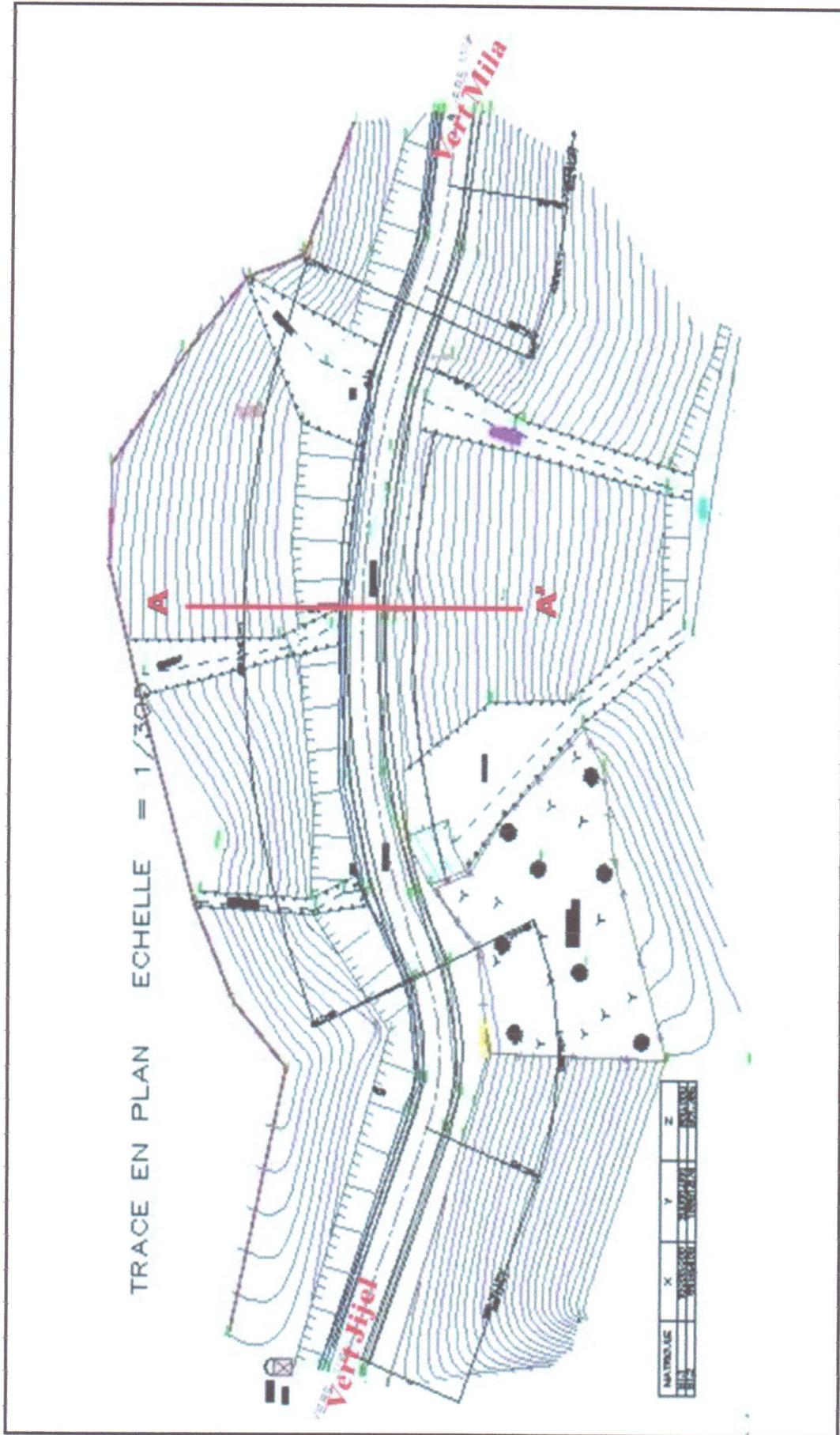


Figure. V.4- situation de 1^{er} glissement sur le levé topographique (LVB.ZEKKOUR 2009).

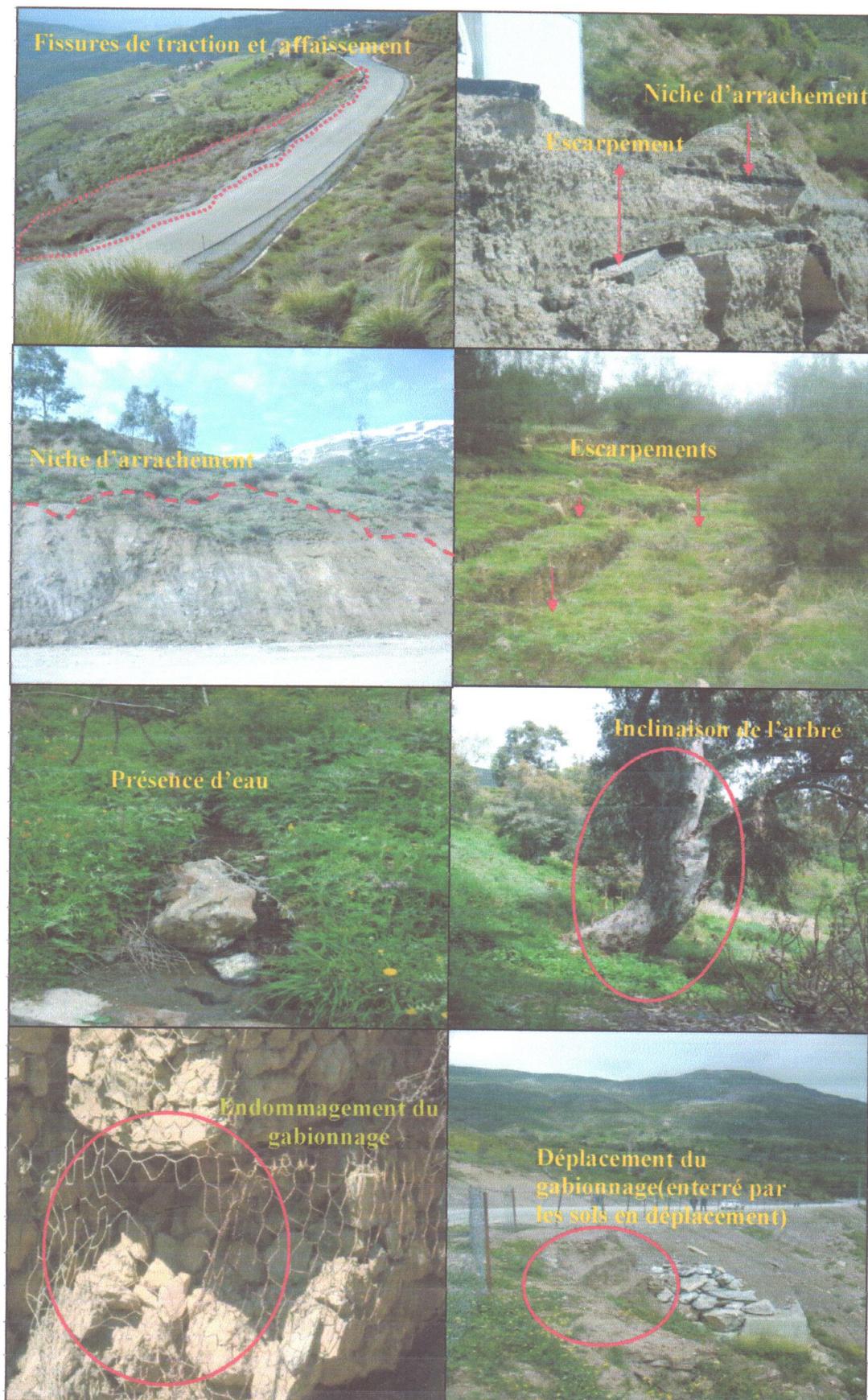


Photo. V.3- Désordres observés au niveau du site du 1^{er} glissement.

2^{ème} glissement au PK18 : le glissement n°2 correspond au profil BB de la figure V.5, une rupture circulaire affectant la plate forme routière et détruisant la moitié de la chaussée. Lors de notre sortie sur terrain, on a pu constater l'existence de deux sens de mouvement, l'un est transversal par rapport à l'axe de la route et l'autre représenté par la dépression qui s'est formée à l'amont et au milieu de la zone en mouvement signifiant son caractère rotationnel.

- L'observation de l'ensemble du mouvement indique qu'il s'agit à la fois d'une rupture rotationnelle circulaire et d'un mouvement de perturbation quelconque.
- D'autre part, on a observé des fissures au niveau de la couche de roulement ce qui facilite l'infiltration des eaux vers le corps de chaussée et le remblai routier.
- A l'heure actuelle le glissement a réduit la circulation à la de demi-chaussée du fait de l'effondrement de l'autre partie. Cette instabilité constatée lors de notre sortie sur terrain indique l'activité du versant malgré les solutions déjà mises en place. Ce qui est remarquable c'est que la pente du terrain naturel dépasse les 45°.

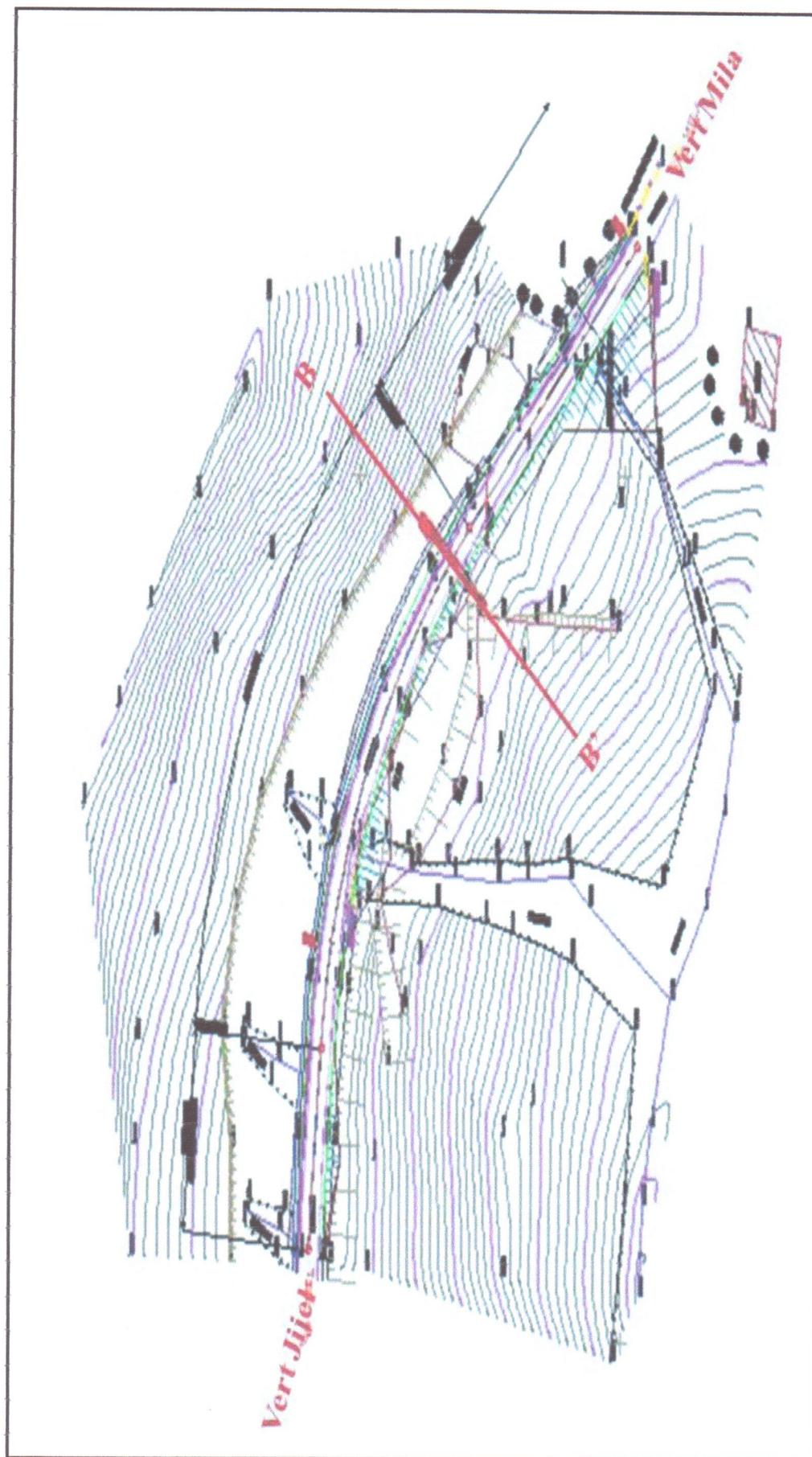


Figure. V.5- Situation de 2^{ème} glissement sur le levé topographique
(L.VB ZEKKOUR 2009).

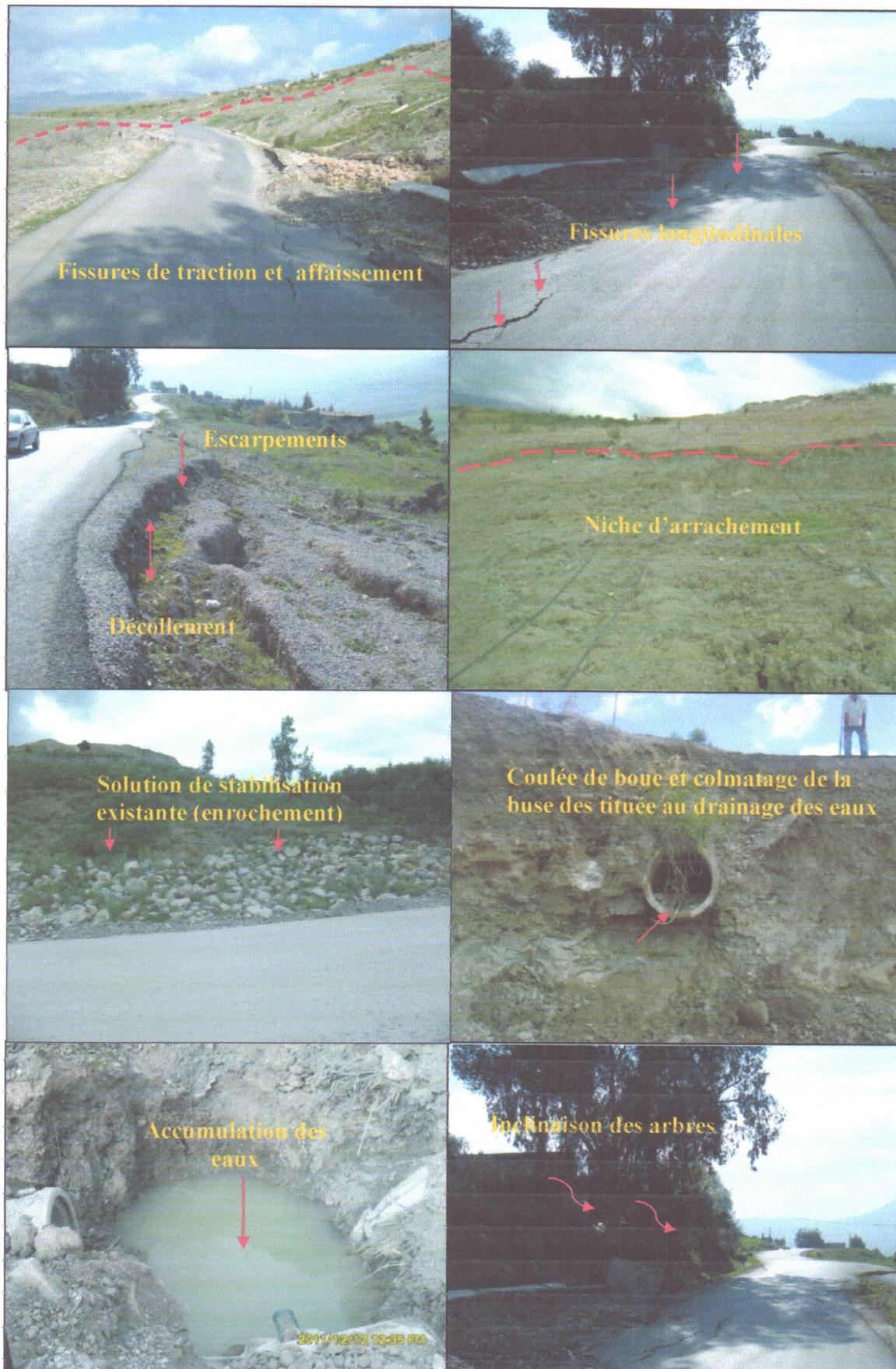


Photo. V.4- Désordre observés au niveau du site du 2^{ème} glissement.

II.4.2/ Causes probables des glissements étudiés :

Les glissements de terrain sont des phénomènes naturels. Ils sont provoqués le plus souvent par la présence des écoulements des eaux dans le sol. En effet, les glissements en question ont pour causes la conjonction de plusieurs paramètres, le plus important est la présence d'eau. Dans ce qui suit nous présenterons les causes probables qui ont contribué à la manifestation des instabilités des versants survenant dans le secteur d'étude, notamment :

-Les conditions hydrologiques du site dont les interactions sont complexes et régissent en grande partie le comportement de l'ensemble du terrain, probablement les périodes de précipitations prolongés habituellement enregistrées dans la région amplifiant la circulation des eaux et qui font par la suite entrainer une saturation des sols, une augmentation des pressions interstitielles et une chute des caractéristiques mécaniques des sols en question.

A ce propos, les plus grandes instabilités de terrain que connaît la route nationale 105 (RN 105) coïncident parfaitement avec la série de Chaâbas qui traversent le versant et aussi par les eaux d'infiltration.

- On note la Probabilité d'un mauvais compactage du remblai routier et d'un mauvais drainage des eaux superficielles (caniveaux, cunette, ouvrage busé).

- Les conditions géomorphologiques du relief peuvent avoir par leur effet des conséquences désastreuses sur la stabilité du secteur étudié, voir même contribuer directement au déclenchement des désordres observés sur la RN 105. En effet les versants montrent un paysage morphologique assez irrégulier, marqué par une pente raide de l'ordre de 45° à 50°.

- La Lithologie qui caractérise le secteur d'étude est de nature différente à prédominance des mame à gypse et d'argile faiblement à moyennement cohésifs et évolutifs une fois imbibée par les eaux d'infiltration favorise le glissement du sol.

- On note la présence de flysch très fracturés, cette fracturation est due à la présence probable d'une grande faille.

II.5/ Analyse de stabilité :

Il est clair que chacune des hypothèses simplificatrices énoncées dans les méthodes de calcul théorique peut être discutée. Avec un programme de calcul, on peut admettre des simplifications moins importantes et prendre en compte par exemple l'intercalation entre les différents paramètres, les surfaces de rupture non circulaires, voir même le calcul à trois dimensions.

L'usage de programmes informatiques facilite l'analyse de la stabilité des talus. Le principal avantage de l'outil informatique est la possibilité de tester à coût très faible, un très grand nombre de surfaces de ruptures en temps minimum et de déterminer celle qui est la plus critique.

On peut également faire varier les conditions géométriques, géotechniques et hydrauliques le long d'une même surface et comparer l'influence des différents facteurs. Cela permet, par exemple d'évaluer en modifiant les conditions aux limites, quels sont les résultats à attendre des travaux de stabilisation (Benaïssa, 2003).

II.5.1/ Simulation numérique par le logiciel Geo-Slope :

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

Les données utilisées par ce logiciel de calcul sont :

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

Pour chaque profil les caractéristiques géotechniques des sols introduits dans ce logiciel sont reportées dans les Tableaux : V.10, V.11. Pour des raisons de sécurité et de commodité le choix de ces valeurs a été fait dans la logique de prendre les situations les plus défavorables.

Tableau.V.10 - Profil du 1^{er} glissement.

Matériaux	γ_h (Kn/m ³)	C (Kpa)	φ (°)
Grave argileuse	2.229	0.37	29
Argile limoneuse	1.994	0.64	7
Marne argileuse	2.145	1.26	17

Tableau.V.11 - Profil du 2^{ème} glissement.

Matériaux	γ_h (Kn/m ³)	C (Kpa)	φ (°)
Remblai	19	0	21
Argile limoneuse	1.994	0.64	7
Grave calcaire	2.229	0.37	29
Marne argileuse	2.003	0.64	11

Les résultats de l'analyse de stabilité effectuée sur les deux talus dans leurs états actuels montrent un facteur de sécurité $F_s < 1$ (voir le Tableau V.12), donc les deux talus sont instables. Les cercles critiques des différents profils adoptés pour cette étude sont présentés dans la figure V.7.

Tableau. V.12- Valeurs facteur de sécurité F_s état actuel.

Fs/méthode de calcul	1 ^{er} glissement(a)	2 ^{ème} glissement(b)
Ordinary	0.392	0.623
Bishop	0.368	0.628
Janbu	0.361	0.614

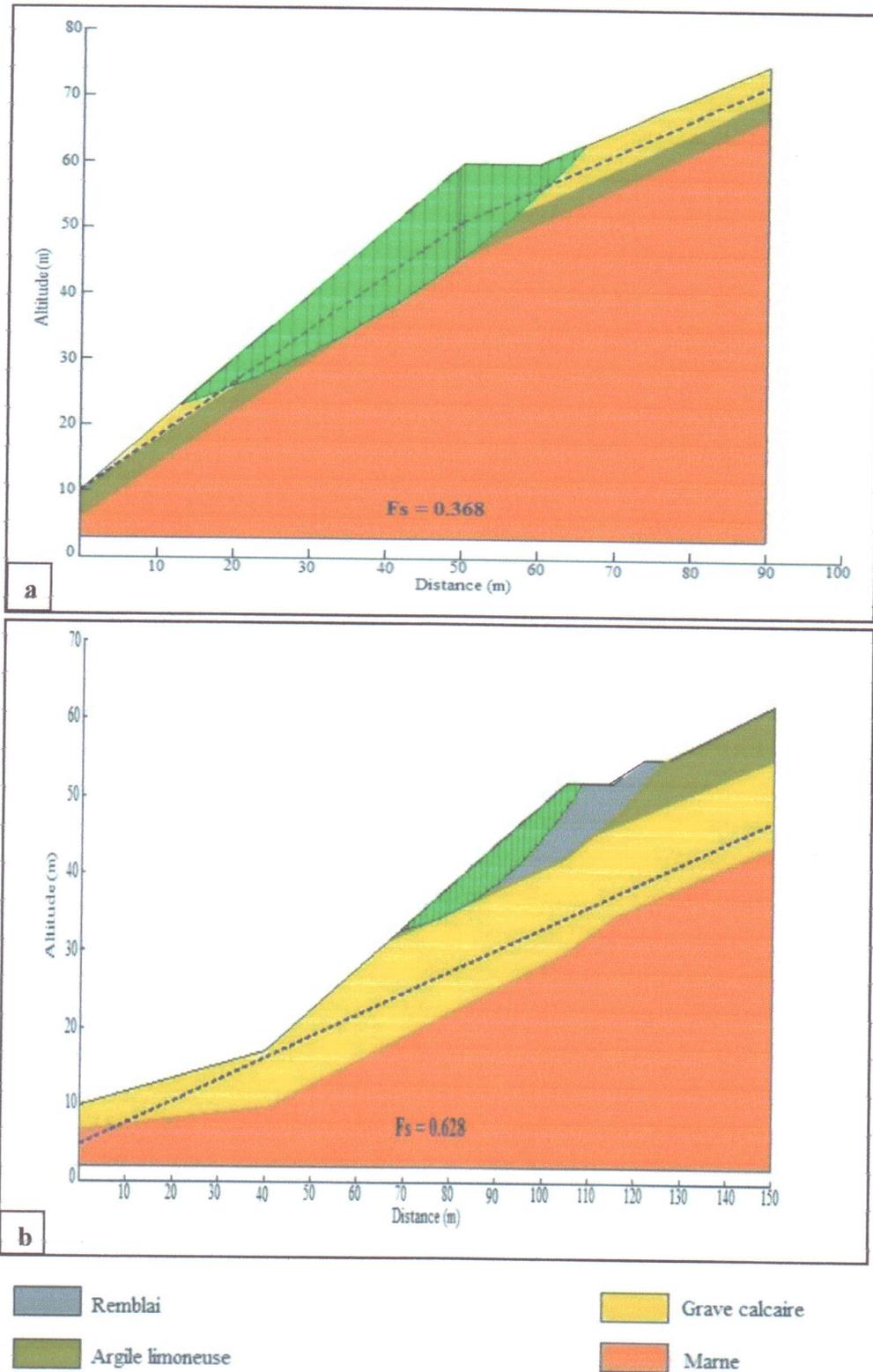


Figure. V.6- Etude de stabilité des deux talus étudiés (actuellement les deux versants sont instables).

II.5.2/ Techniques de confortement :

Dans le but de proposer une solution fiable techniquement et raisonnable économiquement, on a établi une comparaison de plusieurs variantes pour en choisir la solution adéquate. Trois types d'action sont proposés, à partir d'un état initial donné, pour améliorer la stabilité générale du talus en question ; elles portent sur :

II.5.2.1/ Actions sur la géométrie par reprofilage :

C'est la modification du profil topographique du versant avec dégagement de la masse glissante. Il s'agit d'améliorer la stabilité du talus en réduisant sa pente moyenne et en substituant la masse instable par des enrochements.

II.5.2.2/ Action sur la butée en pied du talus :

Masques drainants : Plusieurs ouvrages sont connus pour répondre à cette action telle que les palplanches, murs de soutènement, le gabionnage, les enrochements, etc. Dans notre cas d'étude, la solution qui a conduit à la stabilisation des glissements 1 et 2 avec un F_s satisfaisant a été la mise en place d'un enrochement (masque drainant).

Les masques drainants sont des ouvrages en matériaux granulaires grossiers mis en place comme parement sur le talus. Leur rôle est d'annuler la pression interstitielle dans la portion correspondante du terrain, mais leurs caractéristiques mécaniques élevées (angle de frottement) apportent également un gain considérable de stabilité.

Le masque drainant proposé est constitué de matériaux drainant (enrochement 200- 800 mm) mise en place sur le talus sous forme de butée faiblement ancrée d'une hauteur de 2 m disposé au pied du talus (coté amont de la route).

D'autre part, le drainage à l'interface masque-sol se fait à l'aide d'un tapis drainant constitué de deux couches, la couche inférieure réalisée de 20 cm de sable alluvionnaire propre ($ES > 65\%$) et la couche supérieure de 20 cm en tout venant 0/50 mm propre ($ES > 65\%$).

Tab. V.13- Valeur du facteur de sécurité F_s après confortement.

Fs/méthode de calcul	1 ^{er} glissement	2 ^{ème} glissement
Ordinary	0.454	1.006
Bishop	0.424	0.959
Janbu	0.409	0.954

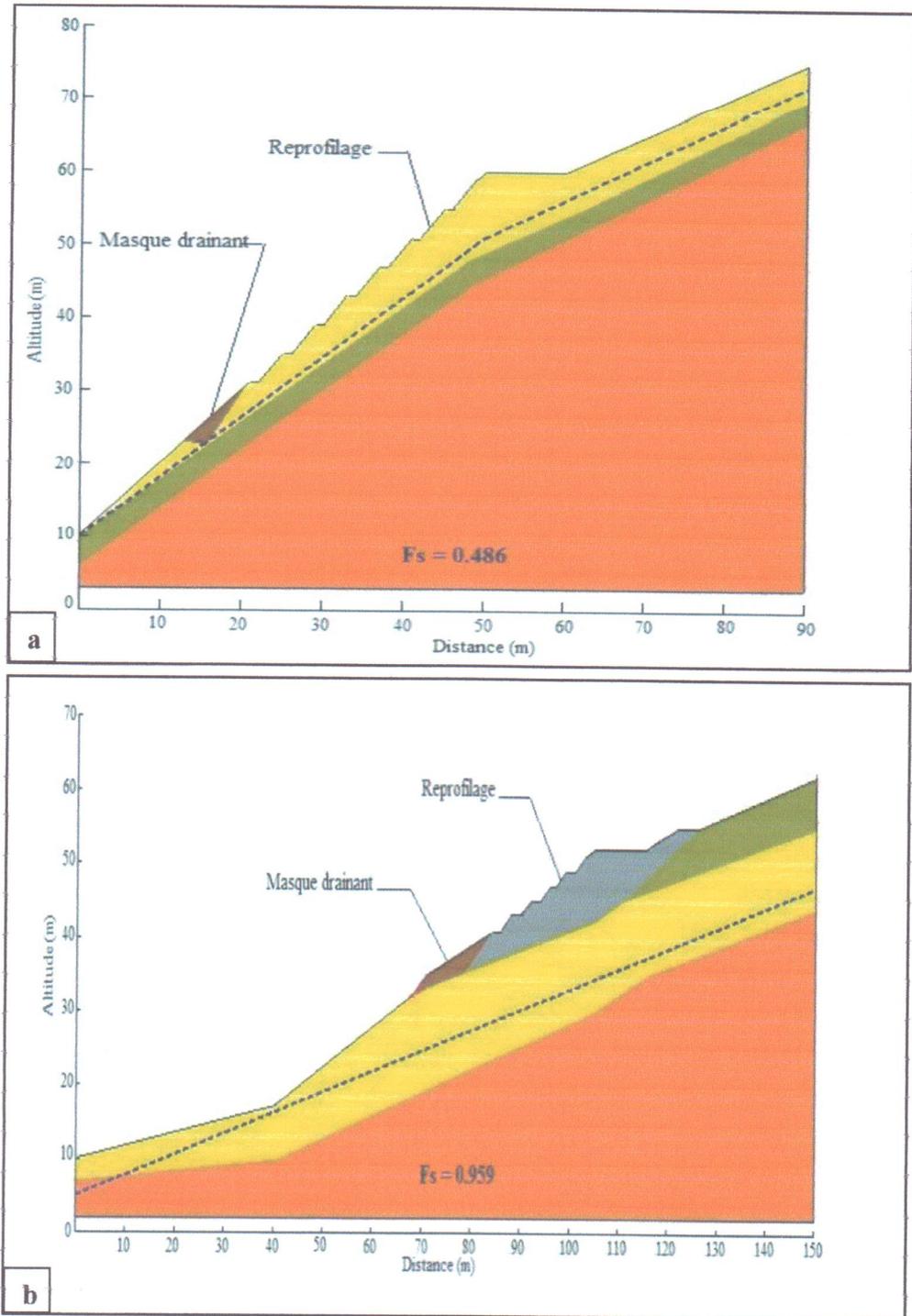


Figure. V.7- Etude de stabilité après confortement.

On remarque l'insuffisance on matière stabilité après l'application de la première série de solution.

II.5.2.3/ Actions sur le régime hydraulique :

-**Tranchées drainantes** : dans la plus part des glissements de terrain, l'eau joue un rôle moteur déterminant, ce qui est le cas dans notre site étudié. Pour limiter l'effet des eaux d'infiltration on a opté pour l'utilisation d'une tranchée drainante de 1m de largeur et de 4m (1^{er} glissement) et 1m de largeur et 6m de profondeur (2^{ème} glissement) disposée perpendiculairement aux lignes de pentes. Pour que cette dernière réponde aux règles de filtre, elle sera constituée de matériaux drainants à savoir des graviers (15/25) ayant comme caractéristiques ($\gamma_d = 18 \text{ kN/m}^3, C = 0 \text{ kPa}$ et $\varphi = 42^\circ$) surmontant un drain en buse perforé de 200mm de diamètre. Ce système de drain est enveloppé dans un géotextile non tissé.

-On propose de réaliser des tranchées drainantes dans la partie supérieure de la route (au pied du talus en déblai) afin d'empêcher les infiltrations des eaux dans le remblai routier. (Figure. V.8).

- d'autre part nous recommandons la construction du dalot endommagé et la réalisation des caniveaux bétonnés.

-Le détail de la jonction du drain en buse perforée avec le puisard en béton armé est illustré (Figure. V.9).

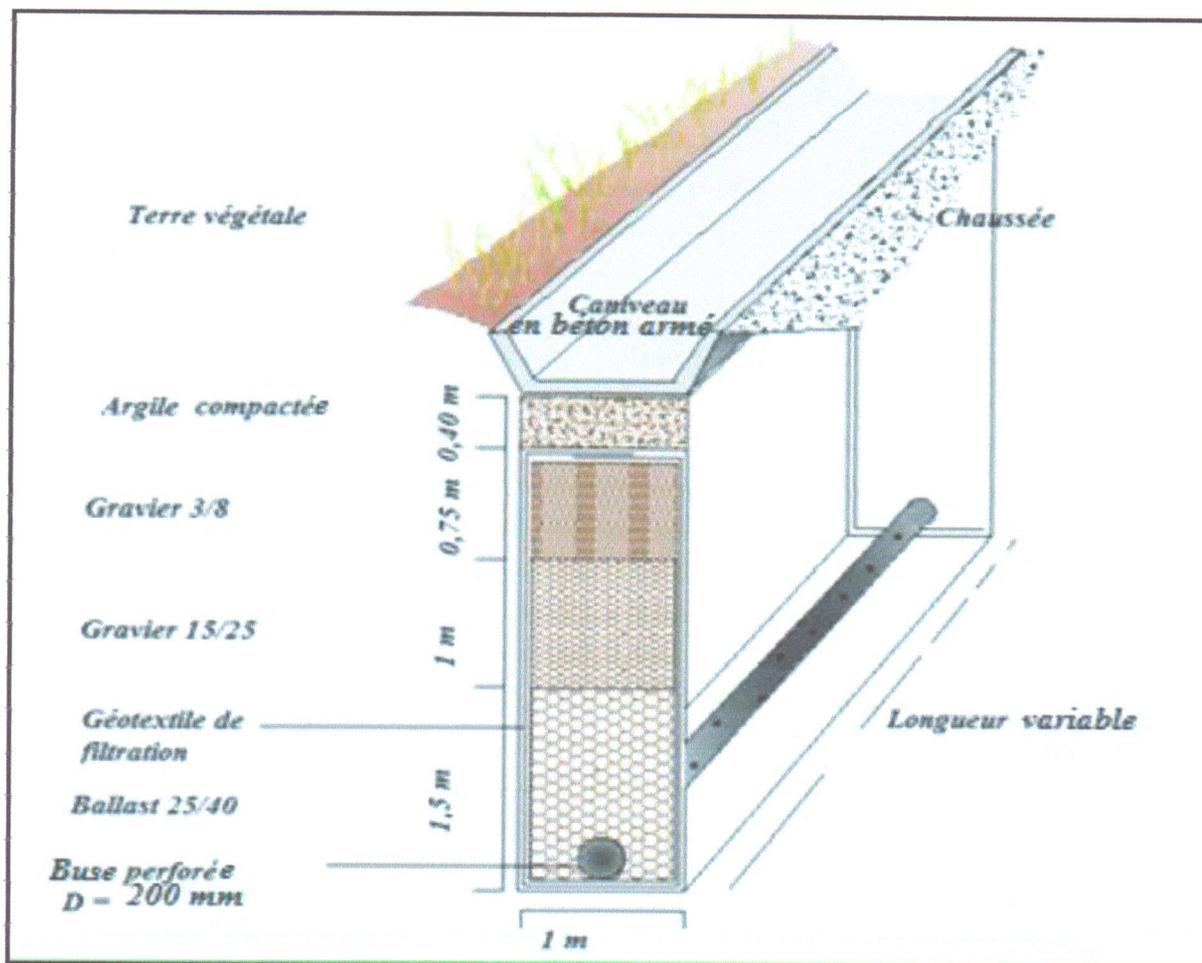


Figure. V.8- Schéma de la tranchée drainante proposée.

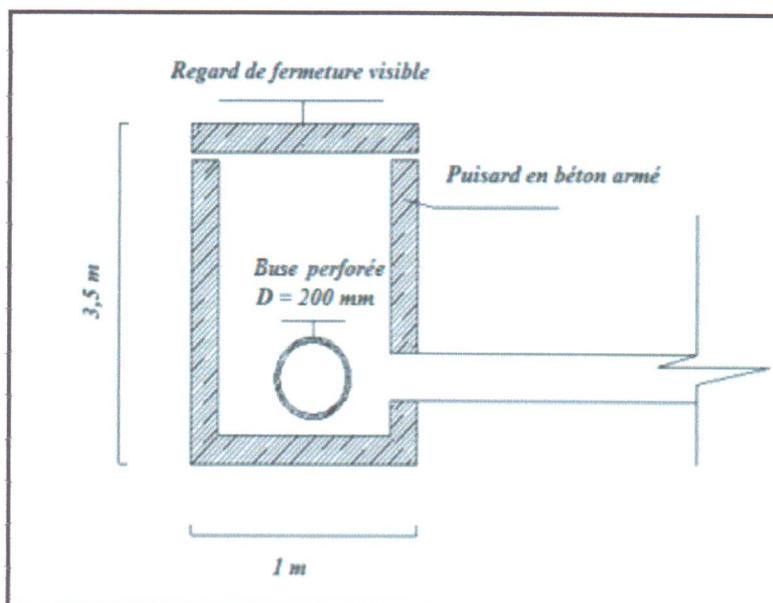


Figure. V.9- Détail de la jonction du drain en buse perforée de la tranchée drainante avec le puisard.

II.5.2.4/ Les tirants d'ancrages :

➤ Définition :

C'est un élément axial placé dans un trou de forage et scellé dans le terrain par injection.

Le concept de base consiste à transférer la force de traction résistante générée dans l'inclusion vers le sol à travers le frottement (ou adhérence) mobilisé aux interfaces. Ce système permet aux ingénieurs d'utiliser efficacement les sols in-situ dans les conditions des supports structurales vertical ou latéral.

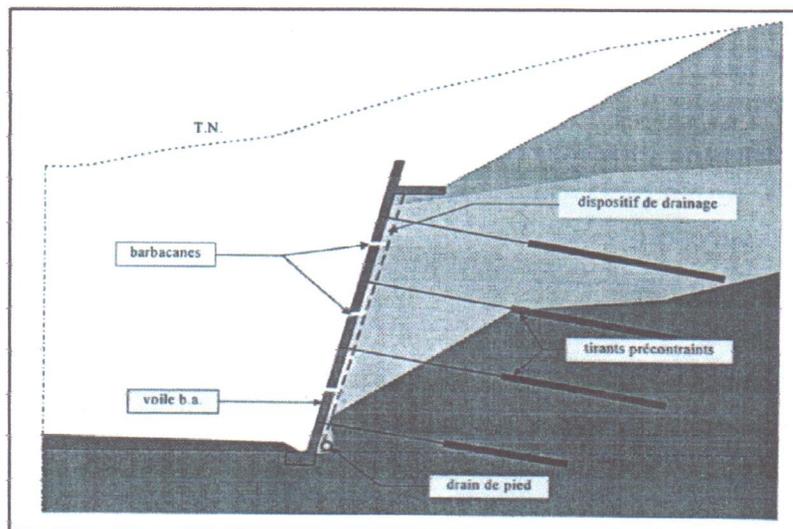
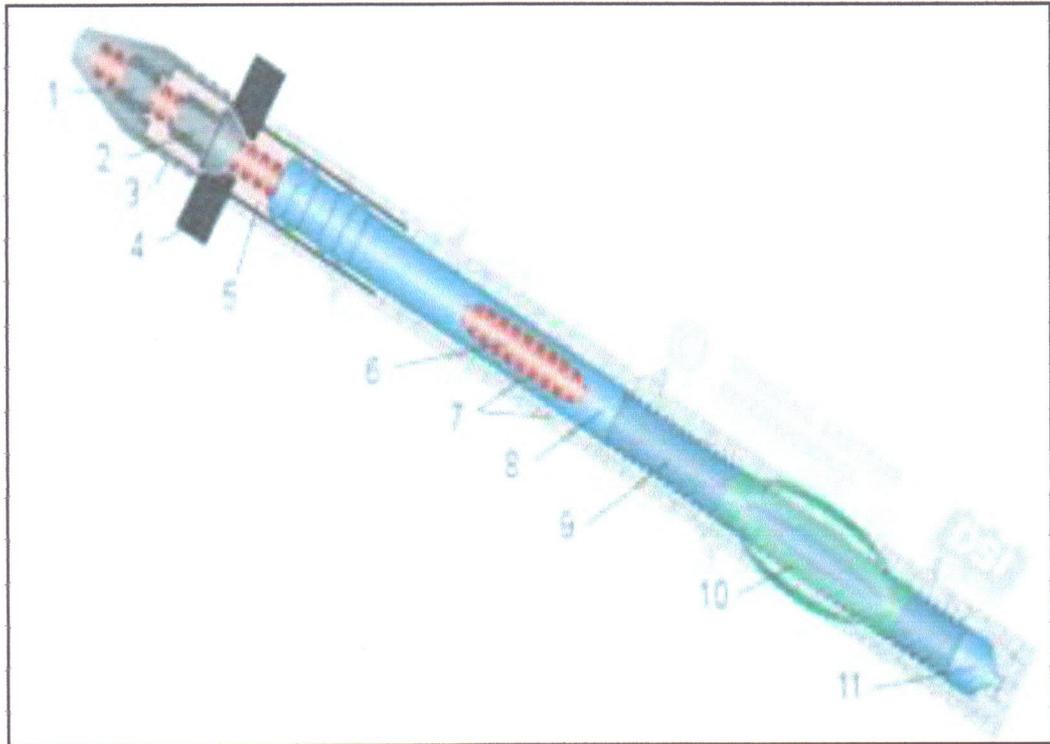


Figure. V.10-Exemple d'un Voile ancré.

➤ Mode de fonctionnements :

Les tirants d'ancrage précontraints sont des éléments de construction dont la fonction est de transmettre des efforts au sol, sol meuble ou rocher, par l'intermédiaire d'armatures actives. Ils comportent trois parties principales :

- la longueur de scellement qui transmet l'effort au sol à la profondeur définie par l'auteur du projet. La transmission de l'effort s'effectue par le corps d'ancrage réalisé par injection du terrain au coulis de ciment. La longueur de scellement indiquée dans les documents de soumission est choisie par les responsables des études sur la base de valeurs d'expérience ou d'essais antérieurs. La longueur de scellement nécessaire est déterminée sur la base d'essais de traction exécutés préalablement ou au début des travaux d'ancrage. Pour assurer la résistance ultime interne du tirant (transmission de l'effort des torons au coulis d'injection), la longueur de scellement ne doit pas être inférieure à 3 m.
- la longueur libre qui permet l'allongement du tirant lors de sa mise en tension. Dans le but de limiter les pertes de force d'ancrage au cours de la durée d'utilisation de l'ouvrage, il peut être opportun de choisir une longueur libre supérieure à la longueur théorique calculée. En règle générale, la longueur libre ne devrait pas être inférieure à 7 m.
- La tête d'ancrage qui maintient le tirant tendu et transmet l'effort du câble à la structure ancrée.



- | | |
|--------------------------------|-------------------------|
| 1-écrou en plastique | 7- coulis de ciment |
| 2-écrou à embase sphérique | 8-graine lisse |
| 3-capot | 9-graine nervurée |
| 4-plaque d'ancrage | 10-distanceur corbeille |
| 5-produit souple anticorrosion | 11-coiffe de pied |
| 6-barre nervurée | |

Figure. V.11-Tirant permanent.

➤ **Choix du tirant d'ancrage:**

Le tirant d'ancrage proposé pour le renforcement au niveaux des deux site étudiés est du type *DYWIDAG Barre*, leur caractéristiques sont regroupées dans le Tableau V.14.

Tableau. V.14- Caractéristiques du tirant d'ancrage proposé.

Type	Classe d'acier	Désignation	Diamètre nominal	Longueurs	Section	Limite élastique	Traction admissible permanente
DYWIDAG BARRE	950/1050	26 WR	2.6 cm	15 m	552 mm	525 KN	0.60 KN

II.5.2.5/ Les murs de soutènements :

Les ouvrages de soutènements sont ceux qui retiennent des terrains (sols, roches ou remblais). Le matériau est retenu par l'ouvrage s'il est maintenu à une pente plus raide que celle qu'il adopterait éventuellement si aucun ouvrage n'était présent. Les ouvrages de soutènement comprennent tous les types de murs et de systèmes d'appui dans lesquels des éléments de structure subissent des forces imposées par le matériau soutenu (figure V.12).

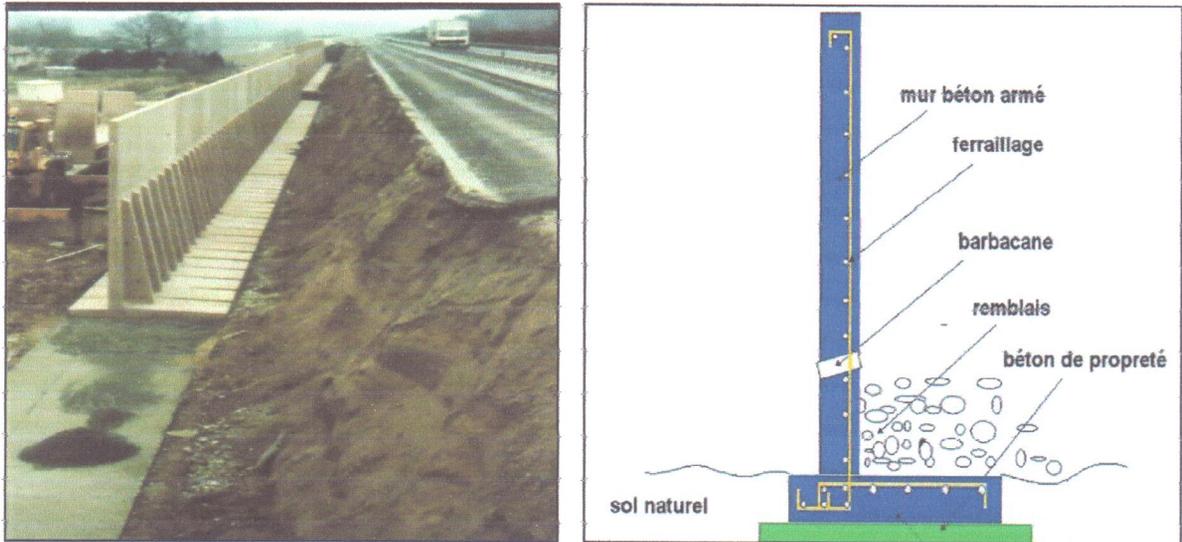


Figure. V.12- Exemple d'un Mur de soutènement.

➤ Mode de fonctionnements :

Les murs de soutènement sont conçus pour créer une dénivelée entre les terres situées à l'amont de l'ouvrage, c'est à dire soutenues par celui-ci, et les terres situées à l'aval. Cette dénivelée peut être réalisée en procédant à la mise en place de remblais derrière l'ouvrage ou par extraction des terres devant celui-ci. En pratique il est assez fréquent que l'on ait à procéder à la fois à un apport de remblai derrière l'ouvrage et à une extraction de terre devant celui-ci.

➤ Le mur de soutènement proposé pour le site étudié :

Le mur de soutènement proposé pour le renforcement au niveau du site étudié est en béton armé, les caractéristiques géométriques de cet ouvrage de soutènement sont regroupées dans le Tableau V.15.

Tableau. V.15- Caractéristiques du mur de soutènement proposé.

longueur du talon aval	longueur du talon amont	Hauteur du mur	Epaisseur du mur	Poids spécifique du béton	Cohésion	Angle de frottement Du béton
0.7 m	1.5 m	2 m	0.3 m	25 Kn/m ³	200 Kpa	50°

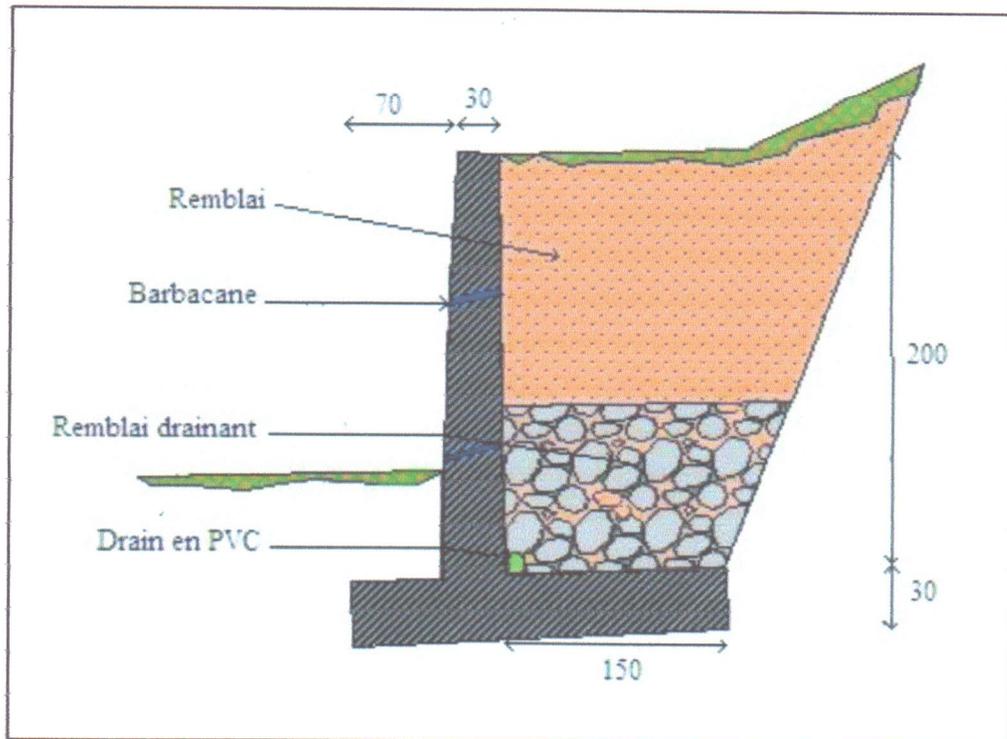


Figure. V.13- Caractéristiques du mur de soutènement utilisé.

Tableau. V.16- Valeur de facteur de sécurité F_s après confortement (mur de soutènement+tirant d'ancrage).

Fs/méthode de calcul	1 ^{er} glissement (a)	2 ^{ème} glissement(b)
Ordinary	1.342	1.139
Bishop	1.550	1.546
Janbu	1.167	1.259

On remarque que les facteurs de sécurité sont satisfaisants pour les solutions proposées (Figure. V.14).

D'autre part, nous précisons que le suivi de ces solution sur le terrain est indispensable pour suivre l'évolution du mouvement des terres dans le temps (exemple installation d'inclinomètre et de quelque repaires topographiques au niveau des deux sites).

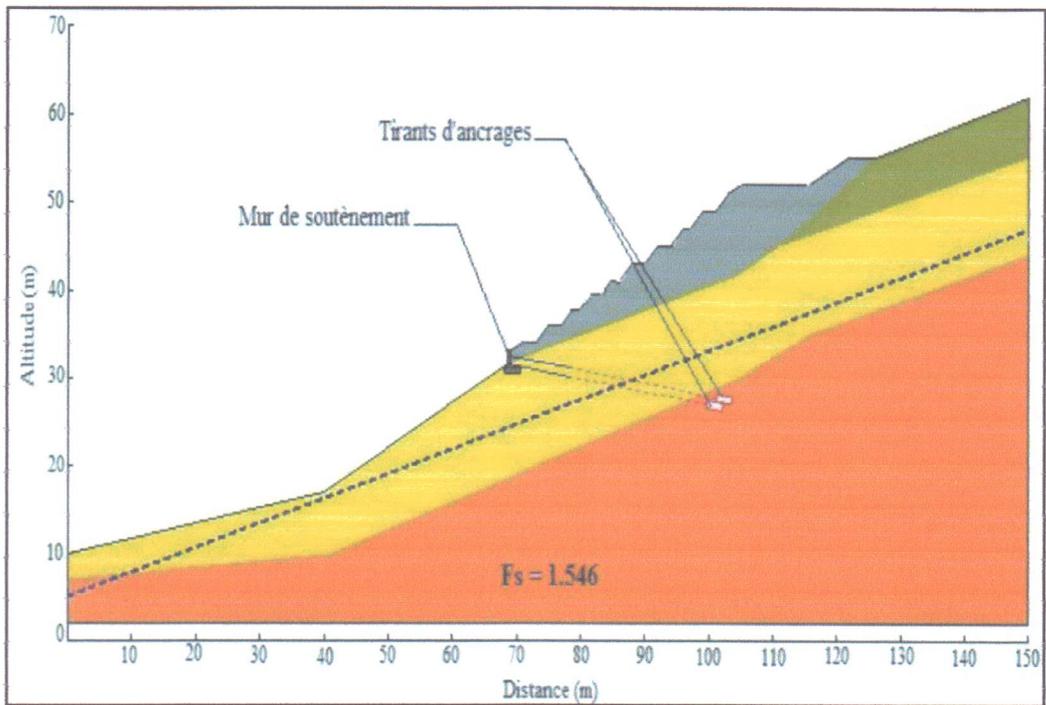
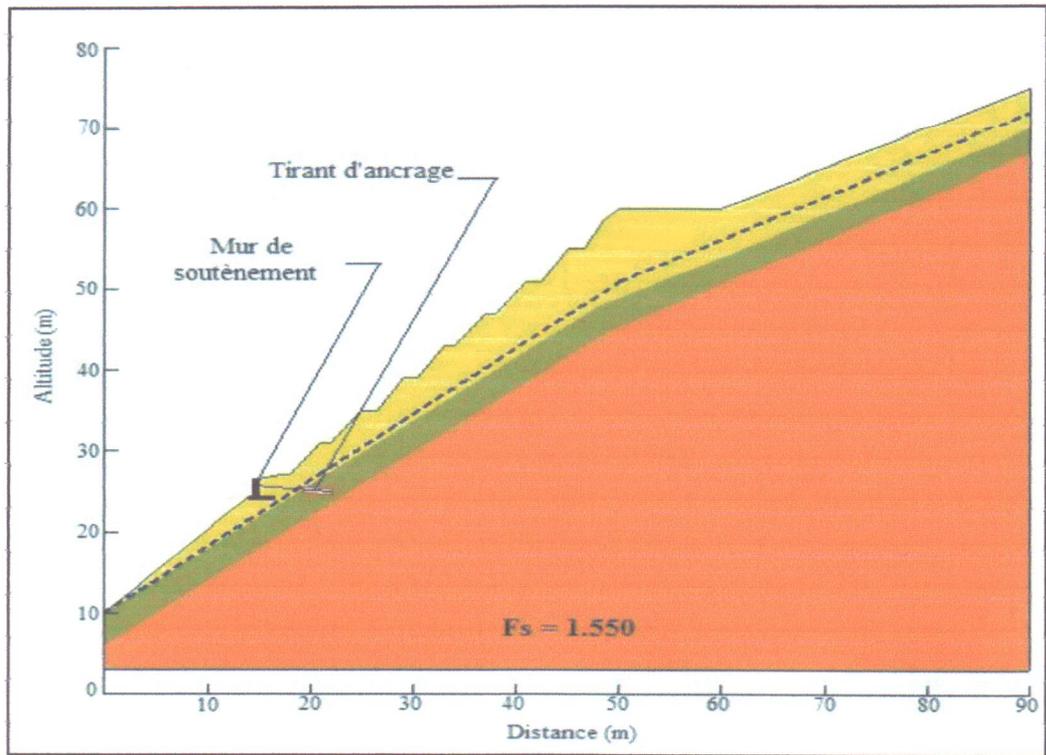


Figure. V.14- la deuxième série de solutions proposées pour la stabilisation des talus étudiés.

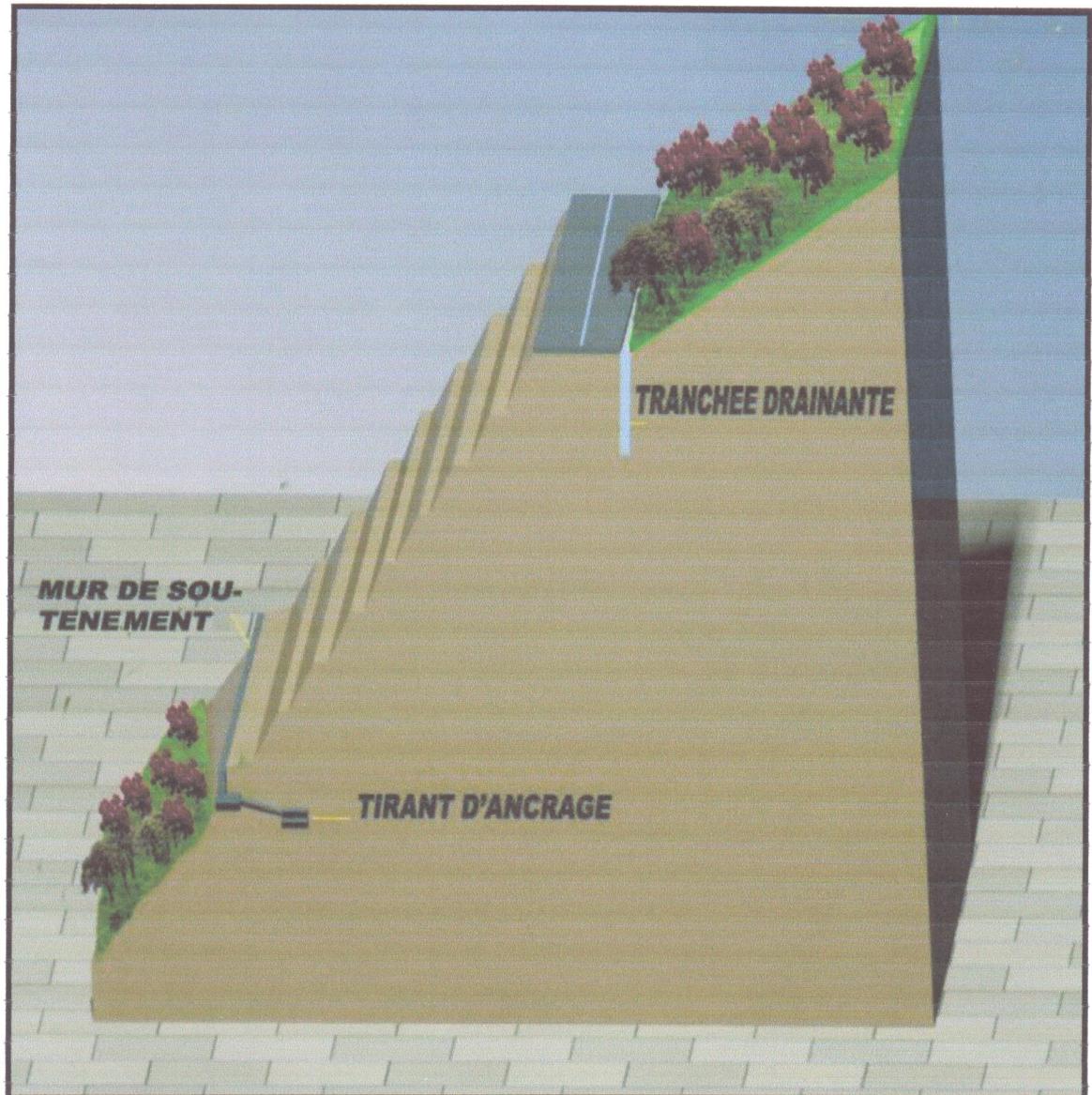


Figure. V.15- Schéma récapitulative des solutions proposé (1^{er} glissement).

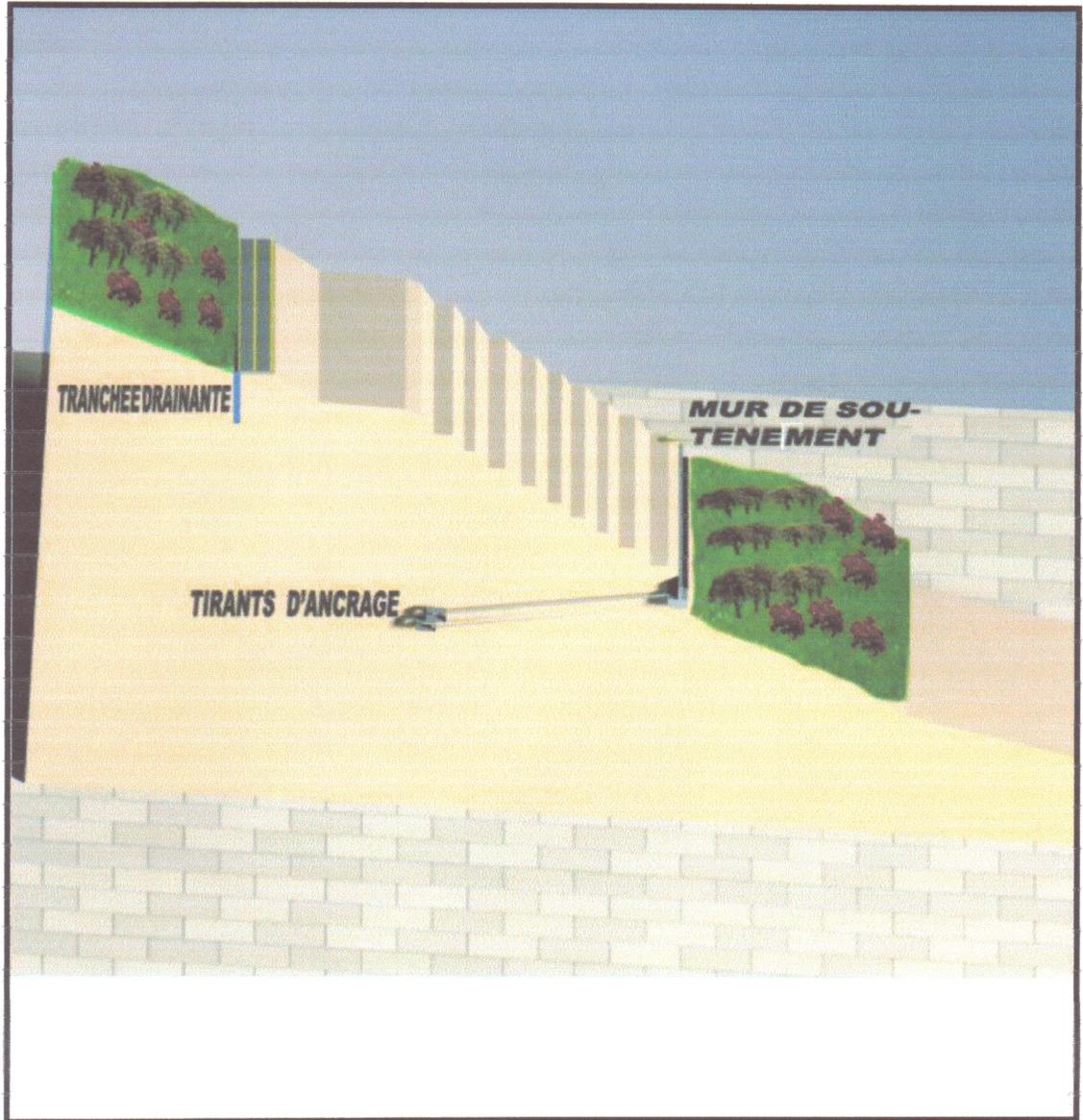


Figure. V.16- Schéma récapitulative des solutions proposé (2^{ème} glissement).

Conclusion générale et recommandations

L'étude que nous proposons dans ce travail concerne les glissements survenus sur la route nationale (RN 105). Elle a été faite dans l'esprit de contribuer à un meilleur diagnostic de cet aléa et à l'identification des facteurs qui en sont à l'origine. Cette étude s'est basée sur la combinaison des données géologiques, hydrologiques et géotechniques.

A l'issue de cette étude et d'après les résultats de calculs de stabilité nous avons constaté que les glissements de terrain étudiés sont amplifiés suite à plusieurs facteurs qui peuvent être scindés en deux groupes :

➤ Facteurs passifs ou hérités en relation avec les caractéristiques propres du site à savoir :

- la nature lithologique de la masse en mouvement qui est constituée essentiellement de flysch massylien du crétacé inférieur dans le premier glissement et des marnes à gypse du miocène supérieur pour le deuxième.
- le paysage géomorphologique assez irrégulier marqué par la présence de plusieurs Chaâbats et des pentes très fortes dont les valeurs variant entre 40 à 50°.
- la structure tectonique.

➤ Facteurs actifs ou facteurs déclenchant en relation avec des agents externes qui, par leurs actions, déstabilisent les talus. Parmi ceux la on distingue :

- Le climat : en particulier les précipitations, comme le montre les données pluviométriques qui contribuent amplement à diminuer la résistance au cisaillement du sol.
- Il est difficile de différencier la part de responsabilité de chacune au moment du mouvement, néanmoins comme nous l'avons déjà indiqué, l'eau reste l'agent prépondérant, et le moteur et le catalyseur de la plupart des actions des autres facteurs.

La proposition des solutions pour remédier à ce mouvement de terrain doit impérativement prendre en considération ces facteurs.

Cependant Suite à notre étude on recommande ce qui suit :

- Réaliser un réseau de drainage sur le talus et les alentours afin d'évacuer les eaux d'infiltration et superficielle et de diminuer ainsi les pressions interstitielles ;
- Réalisation des ouvrages poids : masque drainant ;
- Reboisement ;
- Reprofilage du talus ;
- Tirants d'ancrages ;
- Mur de soutènement.

- **Antoine P. et Fabre D.**, (1980). Géologie appliquée au génie civil. *Ed. Masson. Paris*, 291p.
- **Aoun M.**, (2002). Problèmes géologiques et géotechniques dans le bassin de Mila : leur impact sur les ouvrages d'art. Thèse Magister. Université. Tébessa, 156p.
- **Benaïssa A.**, (2003). Glissement de terrain, calcul de stabilité. Ed. O.P.U. (Alger), 95p.
- **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.* pp 7-117.
- **Bouillin J.P. et Glacon G.**, (1973). Découverte de Crétacé et d'Eocène de type tellien charrié sur le socle de petite Kabylie aux environs d'El Milia (Constantinois, Algérie). *C.R.Acad. Sc. Paris*, pp. 1517-1519.
- **Bouillin J.P.**, (1977). Géologie alpine de la petite Kabylie dans la région de Collo et d'El Milia (Algérie). Thèse doctorat. Université. P. et M. Curie., 511p.
- **Bouroudi N. et Boussioud A.**, (2011). Diagnostic des glissements de terrain Du chemin de wilaya 135 entre chekfa et taher – jijel – (Algérie nord orientale). Mémoire d'ingénieur d'état. Université. Jijel.
- **Coiffait Ph.A.**, (1992). Un bassin post-nappe dans son cadre structural l'exemple du bassin de Constantine (Algérie orientale). Thèse sc. Université. Nancy., 502p.
- **Cordary D.**, (1994). Mécanique des sols. Ed. Lavoisier Tec et Doc. Paris, 380p.
- **Costet J. et Sanglerat G.**, (1981). Cours pratique de mécanique des sols Tome 1 - Plasticité et calcul des tassements. Ed. Dunod. Paris. 285p.
- **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 doctorat. Université. Paris, 206p.
- **Durand Delga M.**, (1955). Etude géologique de l'Ouest de la chaîne Numidique. *Bull. Serv. Carte géol. Algérie.* 24, 533p.
- **Durand Delga M.**, (1969). Mise au point sur la structure du Nord-Est de la Berbérie. *Bull. Serv. Carte géol. Algérie.* 39, pp. 89-131.
- **FAER.** Sites expérimentaux de remblais sur sols mous et suivi d'ouvrages réels. *Fiche d'Action Elémentaire de Recherche n° 06.16.*
- **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, 222p.
- **Hubert B. et Philipponnat G.**, (2003). Fondations et ouvrages en terre. Ed. Eyrolles. Paris, 548p.
- **Lahonder J.C.**, (1979). Datation des grès numidiens d'Algérie orientale conséquences structurales. *C.R.Acad. Sc. Paris. T 289. (D). 4*, pp. 383-386.
- **Mebarki A.**, (1982). Le bassin de Kébir-Rhumel - Hydrologie de surface et aménagement des ressources en eau. Thèse doctoart. 3^{ème} cycle, Université. Nancy II, 304p.
- **Mébarki A.**, 2005. Hydrologie des bassins de l'Est Algérien : Ressources en eau, aménagement et environnement. Thèse de doctorat d'état. Université, Mentouri-Constantine, 360p.
- **Michel J.P.**, (2000). Les techniques du béton compacte au rouleau. *Journée technique du 07 juin 2000, barrage de Beni Haroun*, pp. 01-06.
- **Philipponnat G.**, (1979). Fondations et ouvrages en terre. Ed. Eyrolles. Paris, 402p.
- **Raoult J.F.**, (1969). Relations entre la Dorsale Kabyle et les Flyschs sur la transversale du Dj Rhédir, phases tangentiels 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). *Memoire. Soc. Géol. Fr. ns. Paris. 21*, 163p.
- **Raoult J.F.**, (1975). Evolution paléogéographique et structurale de la chaîne Alpine entre le golf de Skikda et Constantine (Algérie orientale). *Bull. Soc. Géol. Fr. XVII. Paris, 3*, pp.394-409.
- **Réméniéras G.**, (1980). L'hydrologie de l'ingénieur. Ed. Eyrolles. Paris, 456p.
- **Vila J.M.**, (1980). La chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins algéro-tunisiens. Thèse Doctorat. Université. P. et M. Curie. Paris. 3 Vol, 665p.
- **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.
- **ZEBOUCHI H.**, (2005). Étude géologique et géotechnique des zones instables du versant Est du barrage de Beni Haroun - W.MILA. Mémoire de Magister Université. Jijel.

Précipitations moyennes mensuelles en mm durant la période : 2003 - 2007
(Station de Beni Haroun).

Année	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU	Total
2003	30.10	50.00	38.20	190.6	-	-	-	-	-	-	-	-	308.90
2004	35.30	32.10	145.60	212.9	83.40	32.20	50.20	81.60	60.70	44.00	00.90	00.00	778.90
2005	12.20	19.20	86.90	84.20	128.6 0	149.10	50.00	103.30	06.20	00.00	00.50	01.70	641.90
2006	35.30	24.10	34.90	151.8	97.80	85.30	37.30	10.60	46.70	00.00	00.00	2.80	526.60
2007	-	-	-	-	10.30	19.10	-	-	-	-	-	-	29.40
Total	112.9	125.4	305.60	639.5	320,1	285.70	137.50	195.50	113.60	44.00	01.40	04.50	2285.70
Moyenne mensuelle	28.22	31.35	76.40	159.8	80.02	71.42	45.83	65.16	37.86	14.66	00.46	01.50	612.75
Moyenne saisonnière	135.97 mm = 22.19 %			311.31 mm = 50.80 %			148.85 mm = 24.29 %			16.62 mm = 2.71 %			

Températures moyennes mensuelles en °C durant la période : 2003 - 2007
(Station de Beni Haroun).

Année	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU	Moyenne
2003	-	21.00	15.50	09.70	-	-	-	-	-	-	-	-	15.40
2004	23.90	21.00	12.46	10.60	09.90	11.90	13.10	14.00	17.00	24.00	26.70	28.00	17.71
2005	23.50	19.60	12.76	09.80	06.70	06.20	10.36	13.50	19.70	24.60	28.10	26.30	16.76
2006	-	22.70	16.69	-	08.60	09.40	13.73	22.10	-	-	-	-	15.53
2007	-	-	-	-	10.40	10.90	-	-	-	-	-	-	10.65
Total	47.40	84.30	57.41	30.10	35.60	38.40	37.19	49.60	36.70	48.60	54.80	54.30	76.05
Moyenne mensuelle	23.70	21.07	14.35	10.03	08.90	09.60	12.39	16.53	18.35	24.30	27.40	27.15	15.21

Précipitations moyennes mensuelles en mm durant la période: 1984 - 1997 (Station de Hamala Grarem).

Année	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU	Total
1984	45.00	200	13.10	380	120	43.00	160	47.90	38.00	00.00	11.00	00.00	1058
1985	47.00	26.50	49.50	63.20	200	80.00	120	37.70	08.00	07.50	00.00	00.00	639.40
1986	14.90	50.80	120.3 0	157.8 0	105.70	230	94.00	58.80	40.00	00.00	00.00	00.00	639.40
1987	11.30	25.80	53.30	23.30	110.70	105	100	48,24	20.00	20.50	00.00	00.00	518.14
1988	24.40	0.00	40.30	300	100	64.00	62.00	107	16.00	00.00	00.00	05.70	717.50
1989	36.70	102.1	50.40	27.00	140	00.00	34.00	55.00	60.90	00.00	10.00	12.50	528.60
1990	0.00	08.00	150.0	250	78.50	100	95.00	76.00	60.40	00.00	00.00	00.00	817.90
1991	11.50	96.20	42.00	20.00	100	74.00	82.00	170	72.00	14.00	15.50	00.00	697.20
1992	21.50	20.00	35.00	250	110	95.50	50.00	41.70	60.50	08.00	04.96	10.00	702.20
1993	19.00	00.00	40.50	225	100	28.98	8.00	00.00	00.00	00.00	00.00	00.00	421.48
1994	41.50	79.80	92.00	84.80	200	40.00	90.00	35.00	04.60	58.80	00.00	00.00	726.50
1995	43.20	40.30	96.70	47.80	85.80	35.00	91.00	81.50	50.40	13.12	00.00	00.00	541.82
1996	32.00	50.00	49.20	60.00	140	30.00	18.00	28.50	15.90	16.00	00.00	16.50	456.10
1997	30.00	70.00	160.0	140	87.47	80.00	63.00	76.00	18.00	17.90	03.00	05.00	750.37
Total	378.00	769.5	992.3	2028	1678.1	931.4	1067	863.3	464.7	155.8	44.46	49.70	9214.61
Moyenne mensuelle	27.00	54.96	67.30	144.9	119.86	71.82	76.21	61.67	33.19	11.13	03.17	03.55	674.78
Moyenne saisonnière	149.26 mm = 22.11 %			336.60 mm = 49.88 %			171.07 mm = 25.35 %			17.85 mm = 02.64 %			

*Températures moyennes mensuelles en °C durant la période : 1984 – 1997**(Station de Hamala).*

Année	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU	Moyenne
1984	22.94	18.74	13.70	09.78	09.98	11.00	11.95	14.71	18.07	22.89	27.41	26.80	17.25
1985	22.84	18.49	14.00	09.98	08.23	10.88	12.16	14.99	18.97	23.59	27.90	27.50	17.46
1986	22.19	18.29	13.25	09.93	08.48	10.72	11.97	14.50	18.27	23.89	28.00	27.97	17.28
1987	24.09	19.64	13.30	10.33	10.17	09.90	11.82	14.46	18.98	23.29	27.60	28.12	17.64
1988	22.94	18.89	13.75	10.18	08.78	10.80	12.93	14.30	18.97	23.84	27.62	27.32	17.52
1989	22.49	18.94	13.25	10.63	08.48	11.17	12.96	14.36	18.67	23.34	27.16	27.42	17.40
1990	23.74	18.89	12.65	09.83	09.98	10.60	12.56	14.46	17.92	24.14	26.66	26.33	17.33
1991	23.79	18.69	13.70	09.75	08.53	09.87	12.70	14.31	18.82	22.54	26.76	27.00	17.20
1992	23.69	18.74	12.25	09.98	08.23	10.72	12.76	14.06	17.97	22.69	27.16	26.80	17.08
1993	23.64	18.64	13.20	10.80	08.88	10.92	13.98	16.51	18.02	23.59	27.11	27.42	17.72
1994	22.64	18.54	13.00	09.78	08.93	10.97	12.50	14.52	19.02	23.54	30.76	28.60	17.73
1995	22.70	18.92	13.20	10.50	08.70	11.00	12.60	15.59	18.59	24.20	27.30	27.15	17.53
1996	23.49	18.60	13.50	09.81	09.01	10.87	13.96	15.01	18.40	23.80	27.00	27.25	17.57
1997	22.50	18.50	12.84	10.50	09.88	10.60	13.37	14.20	18.01	23.51	27.50	28.00	17.45
Total	323.68	262.51	185.59	141.78	126.26	150.02	178.22	205.98	258.68	328.85	385.94	383.68	244.12
Moyenne mensuelle	23.12	18.75	13.26	10.14	09.01	10.71	12.73	14.71	18.47	23.48	27.57	27.40	17.437

Glissement 1 : Sc₁

Prof (mm)	Log	La nature du sol	Recup ataat	type	Outil tub	Ech	Piezo
0							
1			33%				
2				CR1			
3		Graves calcaire à matrice d'argile limoneuse, lâche.					
4	70%		CR2				
5							
6							
7		Argile limoneuse, traces de graves, marron foncée.					
8	43%		CR3				
9							
10		Marne argileuse, traces de graves, ferme, marron foncée.					
11	100%		CR4				
12							
13		Marne argileuse, traces de sable, ferme, marron.	33%				
14		Marne argileuse, traces de sable, plastique, marron.		CR5			
15							
16			50%				
17		Marne argileuse, traces de sable, ferme, marron.		CR6			
18							
19							
20			66%				
21		Marne argileuse, traces de sable, plastique, marron.					
22							
23				CR10			
24		Marne argileuse, traces de sable et de graves, plastique, marron.	33%				
25							

Annexe B.1- Sondage carotté Sc₁ (glissement 1) d'après L.V.B ZEKKOUR (réinterprété pour la description lithologique des couches superficielles et la stratigraphie).

Glissement 1 : Sc₂

Prof (mm)	Log	La nature du sol	Recup at	type	Outil tub	Ech	Piezo
0							
1		Graves calcaire à matrice d'argile limoneuse, lâche.	33%	CR1	Coronage diamanté 101		
2							
3							
4		Argile limoneuse, traces de graves, marron foncée.	33%	CR2			
5		Grave calcaire à matrice d'argile limoneuse, lâche.					
6							
7			75%	CR3			
8							
9		Marne argileuse, traces de graves, ferme, beige.					
10			100%	CR4			
11							
12							
13			66%	CR5			
14		Marne argileuse, traces de sable, ferme, marron.					
15							
16			75%	CR6			
17							
18							
19		Marne argileuse, ferme, marron.					
20			66%	CR7			
21							
22							
23		Marne argileuse, traces de sable, plastique, marron.		CR10	Tubage 122		
24		Marne argileuse, traces de sable, ferme, marron.	80%				
25							

Annexe B.2- Sondage carotté Sc₂ (glissement 1) d'après L.V.B ZEKKOUR (réinterprété pour la description lithologique des couches superficielles et la stratigraphie).

Glissement 2 : Sc₃

Prof (mm)	Log	La nature du sol	Recup ataat	type	Outil tub	Ech	Piezo
0		Argile limoneuse, traces de graves et de sable, plastique, marron.					
1			50%	CR1	Crownage diamantée 101		
2		Grave de plaquette de marne à matrice d'argile limoneuse, lâche.					
3							
4		Grave de plaquette de marne de grès à matrice d'argile sableuse, lâche.	66%	CR2			
5		Graves calcaire et plaquette de marne matrice d'argile sableuse, lâche grisâtre.					
6							
7		Graves calcaire et plaquette de marne grisâtre.	66%	CR3			
8							
9							
10		Marne récupérée en morceaux.	66%	CR4			
11							
12		Marne indurée, compacte, très ferme, grisâtre.					
13							
14			100%	CR5			
15		Marne indurée, récupérée en morceaux, grisâtre.					
16							
17		Marne indurée à aspect schisteux, compacte, très ferme, grisâtre.	50%	CR6			
18							
19		Marne indurée, récupérée en morceaux, grisâtre.					
20			30%	CR7			
21							
22							
23			46%	CR10			
24		Marne indurée à aspect schisteux, compacte, très ferme, grisâtre.	50%				
25							

Annexe B.3- Sondage carotté Sc₃ (glissement 2) d'après L.V.B ZEKKOUR (réinterprété pour la description lithologique des couches superficielles et la stratigraphie).

Glissement 2 : Sc₄

Prof (mm)	Log	La nature du sol	Recup at	type	Outil tub	Ech	Piezo
0							
1		Grave de grés à matrice sableuse, lâche.	33%		Coronage diamanté 101		
2				CR1			
3							
4		Grave et plaquette de marne à matrice d'argile sableuse, lâche, grisâtre.	33%	CR2			
5							
6							
7		Grave à matrice d'argile sableuse, lâche, grisâtre.	33%		Coronage diamanté 101		
8				CR3			
9							
10		Grave et plaquette de marne à matrice d'argile sableuse, lâche, grisâtre.	33%	CR4			
11		Grave et plaquette de marne à matrice d'argile sableuse, lâche, grisâtre.	33%				
12							
13		Marne altérée, plastique, grisâtre.			Tubage 124		
14			70%	CR5			
15		Marne indurée, récupérée en morceaux, grisâtre.					
16		Marne indurée à aspect schisteux, compacte, très ferme, grisâtre.	50%	CR6			
17							
18							
19		Marne indurée, récupérée en morceaux, grisâtre.			Tubage 124		
20			50%	CR7			
21							
22		Marne indurée à aspect schisteux, compacte, très ferme, grisâtre.	46%	CR10			
23							
24			50%				
25							

Annexe B.4- Sondage carotté Sc₄ (glissement 2) d'après L.V.B ZEKKOUR (réinterprété pour la description lithologique des couches superficielles et la stratigraphie).