

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

جامعة محمد الصديق بن يحيى
كلية علوم الطبيعة و الحياة
المكتبة
رقم الجرد : 1657

Université de Jijel
جامعة جيجل

Géol. 08/10

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



كلية العلوم الدقيقة
و علوم الطبيعة و الحياة
قسم علوم الأرض و الكون

MEMOIRE

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

Thème

**Étude géologique et géotechnique des zones instables du
versant Est du Barrage de Beni Haroun
- Wilaya de Mila -**

Présenté par :
- Taleb Hakim.
- Boulebtina Fawzi.

Soutenu publiquement le : 13/07/2010.

Devant le jury composé de :

Président : Ben zaïd Riad
Examineur : Kissassera Fares
Rapporteur : Bouftouha Youcef
Co-encadreur : Zebouchi Hind



Année Universitaire 2009/ 2010

Remerciements :

Nous tenons en premier lieu à remercier le bon dieu tout puissant de nous avoir aidé à surmonter toutes les difficultés lors de nos études et ce ne sont pas ces quelques mots qui exprimeront nos sentiments les plus sincères.

Nous tenons à remercier sincèrement M^{elle} **H.Zebouchi**, qui, en tant que Co-encadreur de mémoire, s'est toujours montré à l'écoute et très disponible tout au long de la réalisation de ce mémoire, ainsi pour l'inspiration, l'aide et le temps qu'elle a bien voulu nous consacrer et sans qui ce mémoire n'aurait jamais vu le jour.

Nos remerciements s'adressent également à Monsieur **Y.Bouftouha**, encadreur de mémoire, pour sa générosité et la grande patience dont il a su faire preuve malgré ses charges académiques et professionnelles.

Je tiens à exprimer mon profond respect et ma reconnaissance à monsieur **F.Kissassera**, et monsieur **R.benzaïd**, qui ont bien voulu examiner ce travail et d'être membre de ce jury.

Nous remercions également toute l'équipe de l'Agence Nationale des Barrages (A.N.B.T) de la wilaya de Mila qui ont beaucoup aidé dans nos travaux en répondant à nos questions et en nous autorisant l'accès aux différents documents, nous leur exprimons nos très vifs remerciements et nos profond respect.

Nos sincères remerciements vont également à tous les enseignants du département des sciences de la terre et à tous nos camarades étudiants collègues de notre promotion ingénieur et master2.

Enfin, nous nous saurions passer sous silence les nombreux amis (es), qui de près ou de loin, nous ont apporté leur soutien de quelque manière que ce soit. Que tous vous retrouviez ici l'expression de notre sincère gratitude. Nous n'oublions pas nos parents pour leur contribution, leur soutien et leur patience.

Dédicace :

Je dédie ce modeste travail :

A mes très chers parents, à qui je dois tout.

-A ma très chère mère, que dieu l'accepte à sa sainte paradis. A toi mon père.

-A celui qui n'a cessé de procurer son aide durant mes années d'étude :

-A mes frères et sœurs, en particulier chouïb et aissam

-A mes très cher amis : Isaac Boukrouh, Mouhamed, Nacerddine et Nabil.

-A tous mes amis dès l'enfance à l'adolescence.

-A tous mes collègues de promotion 2009-2010 et sur tout M^{elle} bensakhria nawel.

- Aux enseignants du département des Sciences de la Terre et de l'Univers

- A ceux qui sacrifie son temps pour le progrès scientifique.

Hakim Taleb

Dédicace :

Je dédie ce modeste travail :

A mes très chers parents, à qui je dois tout.

-a ma très **chère mère**, qui à toujours été là pour mon soutien moral.

-A celui qui n'a cessé de procurer son aide durant mes années d'étude :

A toi Mon père.

-A mes frères et mes sœurs et en particulier mon petit frère abd elbaki –**badi**-

-A tous mes amis : d'enfances et de tous les périodes d'études de primaire jusqu'à l'université sans exception.

-A tous mes collègues de promotion 2009-2010 et sur tout bensakhria nawel.

-A mes proches :radia,fouaz,mohammed,hicham,wahiba, hamid et affef

Fawzi boulebtina

Sommaire

Sommaire

Introduction générale	1
Chapitre I : Cadre géographique et géologique	
I/ Situation géographique du secteur étudié	2
II/ Climat et végétation	2
III/ Réseau hydrographique	3
IV/ Orographie	4
V/ Sismicité de la région	4
VI/ Cadre géologique local	4
VI.1/ Présentation géologique du bassin néogène de Mila	4
VI.2/ Synthèse lithostratigraphique du bassin de Mila	4
VI.2.1/ Les formations triasiques	5
VI.2.2/ Les formations du jurassique	5
VI.2.3/ Les formations du Crétacé inf et sup	5
VI.2.4/ Les formations du Paléogène	5
VI.2.5/ Les dépôts Néogènes	6
VI.2.6/ Les dépôts Quaternaires	6
VII / Géologie du secteur étudié	6
VII.1/ Les marnes du Paléocène	8
VII.2/ Les calcaires de l'Eocène attribués à l'Yprésien	8
VII.3/ Les marnes de l'Eocène (d'âge Lutétien)	8
VII.4/ Les microconglomérats et grés sableux	8
VII.5/ Les argiles marneuses à gypse	9
VII.6/ Les conglomérats	10
VII.7/ Les calcaires lacustres	10
VII.8/ Les dépôts Quaternaires	10
VIII / Aspect tectonique du secteur étudié	11
VIII.1/ Tectonique cassante	11
VIII.2/ Tectonique souple	12
Chapitre II : Synthèse hydrologique et hydrogéologique	
I/ Introduction	16
II/ Analyse morphométrique du bassin versant	16
II.1/ Situation géographique	16
II.2/ les caractéristiques morphométriques	17
III/ Analyse des caractéristiques climatiques	18
III.1/ Facteurs climatiques du secteur étudié	18
III.2/ La pluviométrie	18
III.3/ La température	20
III.4/ Graphe ombro-thermique	21
III.5/ L'aridité	21
III.6/ Appréciation du bilan hydrologique	22
A/ Calcul de l'évapotranspiration potentielle (ETP)	22
B/ Calcul de l'évapotranspiration réelle (ETR)	23
III.7/ Conclusion	26
IV/ Conditions hydrogéologiques du site	27
IV.1/ Campagne piézométrique effectuée au niveau du site étudié	27

IV.2/ Conclusion	28
Chapitre III : Reconnaissances géotechniques du site.	
I/ Introduction	30
II/ Exploitation des travaux de reconnaissance	30
II.1/ les essais de laboratoire	30
II.1.1/ Essais d'identification	30
A/ L'analyse granulométrique	30
B/ La teneur en eau	32
C/ Les densités	32
D/ Les limites d'Atterberg	34
II.1.2/ Essais mécaniques	35
A/ Essai de cisaillement	35
B/ Essai oedométrique	37
II.1.3/ Propriétés chimiques des sols	38
A/ Teneur en carbonates (CaCO_3)	38
B/ La teneur en sulfates (SO_4^{-2})	38
II.2/ Les essais insitu	39
A/ Les sondages mécaniques	39
D/ Essai inclinométrique	42
Chapitre IV : Mouvements de terrains et analyse de stabilité	
I/ Introduction	46
II/ Description des zones instables du versant Est du barrage de Beni Haroun	46
II.1/ Historique des glissements de Sibari	46
II.2/ Description des glissements de Sibari	46
A/ Premier axe de glissement	47
B/ Deuxième axe de glissement	47
C/ Troisième axe (zone) de glissement	48
V.3/ Causes directes du glissement étudié	49
III/ Calcul de stabilité	49
III.1/ Méthodes de calcul	50
III.2.1/ Méthode des tranches de Fellenius	50
III.2/ Calcul manuel	51
III.3/ Calcul par le logiciel	58
IV/ Confortement et remèdes spéciaux	60
Conclusion et perspectives	62
Résumé	63
Références bibliographiques	64

Liste des figures :

Fig.I.1 : Localisation géographique de la région d'étude	2
Fig.I.2 : Réseau hydrographique du secteur étudié	3
Fig.I.3 : Carte sismique de l'Algérie selon le R.P.A version 2003 (C.G.S)	4
Fig.I.4 : Carte géologique synthétique du bassin constantinois	7
Fig.I.5 : Colonne lithostratigraphique du versant Est du barrage de Beni Haroun	13
Fig.I.6 : Coupe géologique (modifiée) N – S du secteur étudié	14
Fig.I.7 : Coupe géologique (modifiée) E – W du secteur étudié	15
Fig.II.1 : Découpage du bassin versant de Kébir Rhumel (ANRH)	16
Fig.II.2 : Climat du secteur étudié	18
Fig.II.3 : Répartition de précipitations moyennes saisonnières durant la période : 2004- 2009 (Station de Beni Haroun)	20
Fig.II.4 : Graphe Ombro-Thermique durant la période : 2004 - 2009 (Station de Beni Haroun)	21
Fig.II.5 : Représentation graphique du bilan hydrologique pour la période : 2004 - 2009 (Station de Beni Haroun)	24
Fig.III.1 : Résultats des mesures obtenues des essais de limites d'Atterberg	35
Fig.III.2 : Boite de cisaillement de Casagrande et expression des résultats.	36
Fig.III.3 : Coupe lithologique 01 (H.Zebouchi, 2008).	41
Fig.III.4 : Coupe lithologique 02 (H.Zebouchi, 2008).	41
Fig.III.5 : Coupe lithologique 03 (H.Zebouchi, 2008).	42
Fig.III.6 : Illustration d'un sondage inclinométrique	43
Fig.IV.1 : Découpage en tranches d'un talus	51
Fig.IV.2 : Forces agissant sur la tranche n	51
Fig.IV.3 : Cercle critique obtenu selon le profil choisi (niveau actuel de la retenue)	52
Fig.IV.4 : Cercle critique obtenu selon le profil choisi (niveau max de la retenue)	52
Fig.IV.5 : Cercle critique obtenu selon le profil choisi (niveau actuel de la retenue)	59
Fig.IV.6 : Cercle critique obtenu selon le profil choisi (niveau max de la retenue)	59

Liste des photos :

Photo.I.1 : Illustration d'un calcaire à nodules de silex.	8
Photo.I.2 : Illustration des bancs de grès de couleur beige affleurent au pied du versant	9
Photo.L3 : Illustration d'un affleurement d'Argiles marneuses à gypse	9
Photo.L4 : Illustration d'un conglomérat du site étudié	10
Photo.L5 : Un front de taille illustrant la superposition des différents termes lithologiques du secteur étudié	11
Photo.IV.1 : Illustration des coulées boueuses observées au pied du versant	47
Photos.IV.2 : illustrant les niches d'arrachement observées au contrebas de la RN 27, au dessous de la base vie ANB	48
Photos.IV.3 : illustrant le basculement et la ruine de constructions situées au dessous de la RN 27	48
Photo.IV.4 : illustrant l'effondrement de la RN 27 suite à un intense glissement de terrain déclenché en 2003 suivant l'axe de l'accident tectonique orienté E – W	49
Photo.IV.5 : illustrant un basculement de constructions accompagné par inclinaison de certains arbres	49

Liste des tableaux :

Tableau.II.1 : Caractéristiques morphométriques du sous bassin de Kébir-Maritime	18
Tableau.II.2 : Précipitations moyennes mensuelles en mm durant la période : 2004 - 2009 (Station de Beni Haroun)	19
Tableau.II.3 : Températures moyennes mensuelles en °C durant la période : 2004 - 2009 (Station de Beni Haroun)	20
Tableau.II.4 : Bilan hydrologique - Station de Beni Haroun (Période : 2004 - 2009)	25
Tableau.II.5 : Données piézométriques de l'année 2002	27
Tableau.II.6 : Mesures piézométriques effectuées entre 09.11.2002 et 12.07.2003	28
Tableau.III.1 : Pourcentages des passants à différents diamètres de tamis des échantillons prélevés dans les puits : P1, P2 et P3	31
Tableau.III.2 : Pourcentages des fractions granulaires des échantillons prélevés dans les puits : P1, P2 et P3	31
Tableau.III.6 : Résultats des essais exécutés à partir des sondages (2001) et des puits (2003)	33
Tableau.III.8 : Estimation du gonflement potentiel du sol étudié	34
Tableau.III.9 : Résultats des essais de limites d'Atterberg effectués dans le site étudié	35
Tableau.III.10 : Résultats des essais triaxiaux et de cisaillement à la boîte 2001-2003	36
Tableau.III.13 : Résultats des essais oedométriques (2003)	37
Tableau.III.14 : Résultats des teneurs en carbonates	38
Tableau.III.15 : Résultats des teneurs en sulfates	39
Tableau.IV.3 : Paramètres géotechniques introduits dans le calcul	58

Listes des Planches :

Planche .II.1 : Carte piézométrique du Versant Est du Barrage de Beni Haroun.	29
Planche .III.2 : représentation d'axe (2 ^{ième} axe) des coupes lithologiques réalisées.	40

Introduction générale

Introduction générale:

L'intérêt donné aux phénomènes d'instabilité des sols s'est fortement accru ces dernières décennies, surtout en raison des dégâts occasionnés par divers événements ; qui sont parfois catastrophiques. Cette augmentation des dégâts et des couts 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 jugé marginales ou inadéquats pour la construction d'ouvrages intensifie le nombre d'infrastructures exposées aux risques d'instabilité des terrains. Il est donc primordial, pour établir des plans d'aménagement, non seulement d'identifier ces phénomènes, mais également de mieux cerner leur comportement afin d'anticiper des dégâts probables.

Dans la région de Sibari, ces instabilités constituent un défi majeur au développement, grâce aux sinistres occasionnés par cette alea notamment sur les habitations de cette région et les infrastructures routières telles que la RN 27 reliant Jijel à Constantine. Ces glissements se sont déclenchés suivant plusieurs axes principaux localisés le long des couloirs de grands accidents tectoniques orientés principalement Est Ouest.

L'effet de ces glissements est continu malgré les nombreux travaux de confortement portés. Ces remèdes sont parfois inappropriés car le traitement est symptomatique et ne prend pas en considération les propriétés intrinsèques des sols.

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 appropriées aux problèmes posés. Pour cela, nous allons axer notre démarche sur une double approche :

- **Une approche géologique** : à partir de laquelle les caractéristiques lithologiques, structurales, géomorphologiques, hydrologiques et hydrogéologiques sont déterminées.
- **Une approche géotechnique** : selon laquelle une caractérisation géotechnique des zones instables du versant a été réalisée à partir du traitement et d'interprétation des données géotechniques relatives au site, accompagnée d'un calcul de la stabilité du versant. Ce dernier se fait manuellement suivi d'un traitement informatique par le logiciel : Geoslope afin d'apprécier la marge de sécurité de ce versant.

Chapitre I
Cadre
géographique et
géologique

IV/ Orographie :

La région étudiée se particularise par un aspect orographique important. En effet, elle est marquée par un relief très accidenté, montrant des contrastes topographiques remarquables, avec notamment des massifs culminants à des hauteurs très élevées et de profonds ravins et talwegs. Par ailleurs, elle montre des pentes variant entre 35 à 60 %.

V/ Sismicité de la région :

Comme le montre la *Fig. I.3*, le Règlement Parasismique Algérien (version 2003) divise le territoire national en cinq zones de sismicité croissante, La zone étudiée est classée en zone de sismicité moyenne, bien que située dans une région ayant subie une histoire tectonique complexe marquée par un réseau de failles.

Le séisme répertorié comme le plus important sur un rayon de 50 km autour du site est celui de 27/10/85 de magnitude 5.9 (Mm) et dont l'épicentre est situé au NE de Constantine.

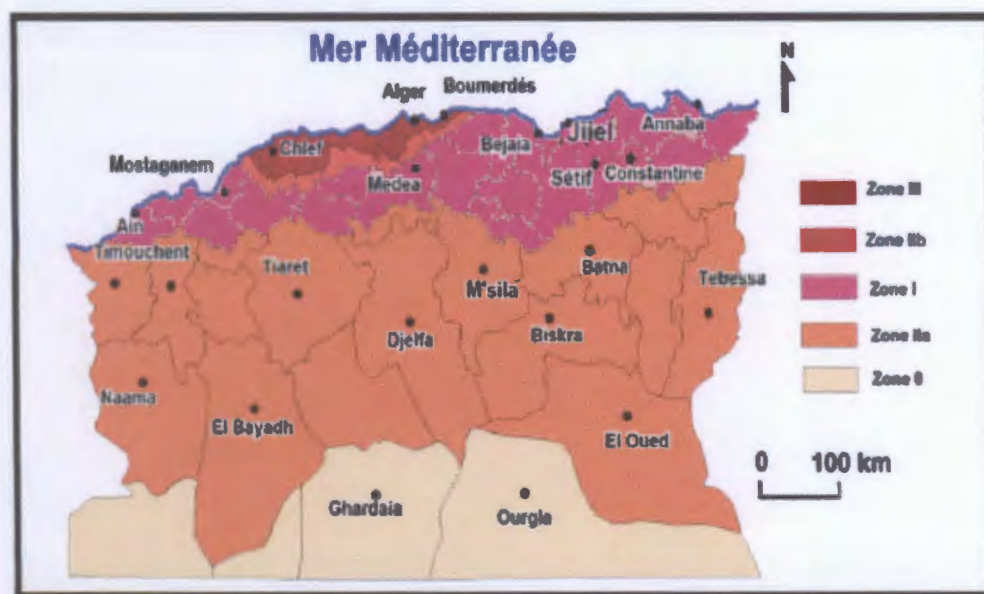


Fig.I.3 : Carte sismique de l'Algérie selon le R.P.A version 2003 (C.G.S).

VI/ Cadre géologique local :

VI.1/ Présentation géologique du bassin néogène de Mila :

Le bassin néogène de Mila, dont fait partie le secteur étudié, constitue la partie occidentale du bassin néogène de Constantine. Il est limité au Nord par l'arête montagneuse du M'cid Aïcha et du Sidi Driss, au Sud par les massifs du Djebel Osmane et Djebel Grouz, à l'Est par les massifs du Djebel Akhal, de Chettaba et de Kheneg, et à l'Ouest par Djebel Boucheref et Oukissane (*Fig.I.4*).

VI.2/ Synthèse lithostratigraphique du bassin de Mila :

Les différents ensembles lithostratigraphiques représentés dans le bassin de Mila peuvent être résumés comme suit :

VI.2.1/ Les formations triasiques :

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

Ces formations affleurent au pied de Djebel Chettaba, au Sud de Djebel Akhal et à l'Ouest de Sidi Merouane. Elles affleurent généralement à la faveur de grands accidents tectoniques régionaux, notamment visibles le long de la transversale Nord-Sud El Milia - Beni Haroun où les affleurements triasiques se localisent principalement au niveau des nœuds de grandes failles affectant les formations telliennes (M. Durand Delga, 1955 et Y. Bouftouha, 1989).

VI.2.2/ 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 compactés 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. Ces calcaires sont affectés par un phénomène de dolomitisation très important, notamment au Djebel Kheneg.

VI.2.3/ 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 calcaires néritiques au Sud Est. Elles affleurent également au Djebel Akhal et dans la région de Sidi Merouane (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.

VI.2.4/ 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 yprésiens affleurant à l'Ouest de Sidi Merouane 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 conférant à cette dernière un aspect flyschöide. Ces marnes sont très perturbées par la tectonique. Elles sont observées souvent en contact des calcaires Yprésien et parfois redressées à la verticale, notamment au niveau des

limites du bassin. 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).

VI.2.5/ Les dépôts Néogènes :

Les dépôts néogènes du bassin de Mila sont essentiellement représentés par des dépôts détritiques (graviers, sables, conglomérats, et argiles), 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.E. Coiffait, 1992).

Dans le bassin de Mila, ces dépôts sont largement dominés par des dépôts laguno-marins (argile, marne et évaporites). La mise en place de ces dépôts est datée du Miocène moyen (Serravallien) à Pliocène (Ph.E. Coiffait, 1992).

VI.2.6/ 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.E. 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.

VII / Géologie du secteur étudié :

Dans le secteur étudié, les formations du substratum n'affleurent qu'au niveau de la limite septentrionale du bassin de Mila. Elles sont essentiellement représentées par des marnes noires du paléocène surmontées par des calcaires et des marnes de l'Eocène. Sur ces formations du substratum, les dépôts néogènes du bassin de Mila débutent par une base comportant des microconglomérats, de grés sableux beiges surmontés par des argiles marneuses à gypse, des conglomérats et des calcaires lacustres. Ces formations sont recouvertes par des dépôts Quaternaires (H. Zebouchi, 2008).

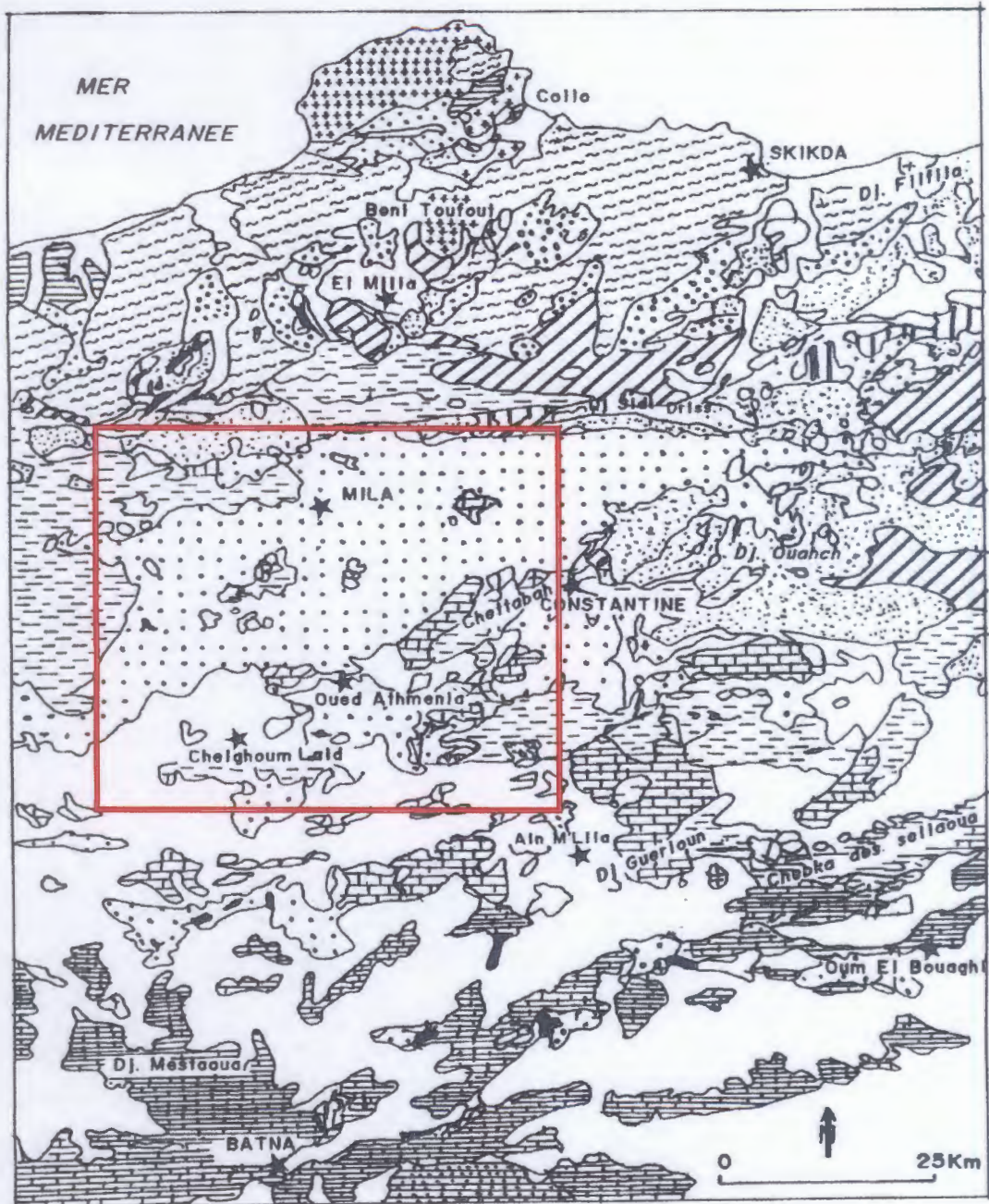


Fig.I.4 : Carte géologique synthétique du bassin constantinois (J.M. Vila, 1980).

VII.1/ Les marnes du Paléocène :

Ces marnes noires sont fortement feuilletées et se débitent en plaquettes, elles affleurent sur les deux rives d'Oued El Kébir, elles ont été reconnues par plusieurs forages lors des premières campagnes de reconnaissance. Ces marnes montrent localement des traces de gypse et de calcite en remplissage des joints. Dans leur partie supérieure, on trouve sur 5m une alternance de marnes et de bancs de calcaires constituant la transition avec les couches supérieures (H. Zebouchi, 2008).

VII.2/ Les calcaires de l'Eocène attribués à l'Yprésien :

Dans l'ensemble, ces roches se présentent en couches décimétriques à métriques de calcaires à grains fins, gris foncé à noir, durs et résistants. Certains lits de calcaires sont très durs car dolomitiques voire siliceux, alors que d'autres contiennent du silex noir. Le silex se présente sous forme de petits nodules (de diamètre 1 à 3cm) et de bandes minces (épaisseurs de 2 à 15cm). (Photo.I.1).



Photo.I.1 : Illustration d'un calcaire à nodules de silex.

VII.3/ Les marnes de l'Eocène (d'âge Lutétien) :

Les marnes éocènes sont presque identiques à celle des marnes du Paléocène, elles sont fortement déformées et altérées et se présentent à l'affleurement avec une couleur gris foncé à noir.

Les formations néogènes comportent de bas en haut les termes suivants :

VII.4/ Les microconglomérats et grés sableux :

Des microconglomérats et des grés sableux de couleur beige avec des niveaux argilo-sableux (Photo.I.2). Ces grés affleurent au pied du versant Est du barrage de Beni Haroun, cette assise de grés est très perturbée par la tectonique.



Photo.I.2 : Illustration des bancs de grés de couleur beige affleurant au pied du versant.

VII.5/ Les argiles marneuses à gypse :

Les argiles marneuses à gypse recouvrent la majeure partie du secteur étudié, elles sont souvent gris bleutées ou vertes mais peuvent avoir une teinte ocre à jaunâtre ou brunâtre. Ces argiles marneuses admettent en intercalation des passées de gypse d'épaisseur centimétrique à décimétrique (Photo.I.3). Les parties superficielles de ces assises montrent souvent des encroûtements calcaires. Les données de sondages montrent que l'épaisseur de cette assise d'argiles marneuses gypsifère est de l'ordre de 30 à 50m.



Photo.I.3 : Illustration d'un affleurement d'Argiles marneuses à gypse.

VII.6/ Les conglomérats :

Les 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 grès (Photo.I.4). Ces formations sont largement affectées par un réseau de failles et de décrochements de direction N - S et E - W. Ces conglomérats affleurent dans la partie supérieure du versant Est du barrage de Beni Haroun, où ils sont traversés par la RN 27.



Photo.I.4 : Illustration d'un conglomérat du site étudié.

VII.7/ Les calcaires lacustres :

Les calcaires lacustres surmontent les conglomérats précédemment décrits et se trouvent en intercalation avec des niveaux d'argiles rouges. L'épaisseur de ces calcaires peut atteindre une dizaine de mètres.

VII.8/ Les dépôts Quaternaires :

Les dépôts quaternaires sont largement représentés dans le versant Est du barrage de Beni Haroun, ils sont constitués pour l'essentiel par des argiles rouges partiellement recouvertes par une tranche de terre végétale.

La superposition des différents termes lithologiques précédemment décrits est bien représentée dans le front de taille indiqué dans la Photo. I.5.

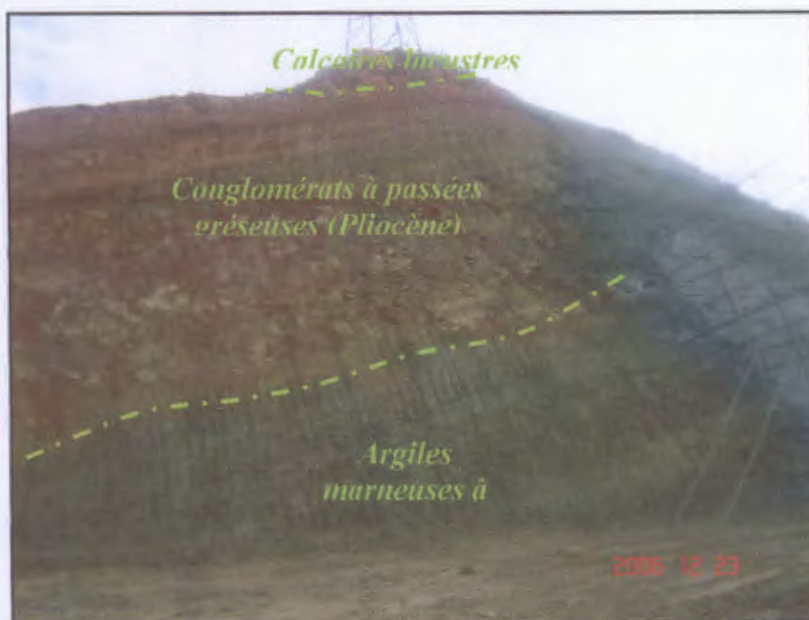


Photo.L5 : Un front de taille illustrant la superposition des différents termes lithologiques du secteur étudié. (H.Zebouchi).

VIII / Aspect tectonique du secteur étudié :

L'aspect morphostructural du secteur étudié montre l'empreinte d'une tectonique complexe dont les déformations principales responsables de sa configuration structurale actuelle ont eu lieu entre le Crétacé et le début du Quaternaire.

Une phase tectonique particulièrement importante s'est développée au Miocène inférieur. Elle est caractérisée par une période de distension suivie d'une période de compression et qui a fait apparaître, le long de la marge du bassin constantinois, une série de failles inverses de direction N60°E à N110°E. Le chevauchement de Sidi Merouane, identifié à l'Est de l'oued El Kébir, est lié à cette période de compression.

Les différents aspects de la tectonique récente dans le bassin de Mila peuvent être résumés comme suit :

VIII.1/ Tectonique cassante :

La partie septentrionale du bassin de Mila dont fait partie le secteur étudié est affectée par de grands accidents tectoniques d'ampleur régionale, animés par des déplacements verticaux (failles) et des déplacements horizontaux (décrochements). L'activité tectonique à rejeu continu dans le temps affecte aussi bien les formations du substratum que les dépôts Mio-Plio-Quaternaires (Ph.E. Coiffait, 1992).

L'étude du système de fracturation laisse apparaître que la région a été soumise à une tectonique cassante, marquée par un réseau de fracturation dominé par quatre directions : Est - Ouest, Nord - Sud, Nord Est - Sud Ouest et Nord Ouest - Sud Est (H. Zebouchi, 2008).

Pour les accidents de direction Est - Ouest on peut citer l'accident qui marque la limite septentrionale du bassin néogène de Constantine et autres parallèles à ce dernier qui affectent les calcaires lacustres et leur base conglomératique dans la région de Sibari (*Fig.I.6*), cette série d'accidents est parallèle à la faille de oued Dib (M. Durand Delga, 1977), cette faille a rejoué durant le Pliocène terminal et probablement au début du Quaternaire. Ce système de faille est généralement de direction N75°E à N85°E.

Ces accidents sont recoupés par une série de failles de direction Nord - Sud (*Fig.I.7*) et dont la principale est empruntée par l'oued El Kébir. Les mesures de directions effectuées au niveau de ces plans de failles donnent les valeurs suivantes : N0°E à N5°E et N175°E à N180°E, à ces deux séries de failles se conjuguent deux autres familles de failles de directions NW - SE et NE - SW. Ces deux dernières sont généralement d'orientations N40°E à N45°E, elles sont surtout des décrochements sénestres affectant le versant et constituant un grand danger sur le barrage de Beni Haroun.

Dans le secteur étudié l'ensemble de ces failles montre un double jeu :

Un jeu vertical : ayant engendré la mise en contact des argiles marneuses à gypse avec les conglomérats qui les surmontent.

Un jeu latéral : matérialisé par des stries et des traces de décrochements dans les formations compétentes de microconglomérats, les grés et les calcaires lacustres.

L'étude du système de fracturation qui affecte les formations au niveau du versant Est du barrage de Beni Haroun permet de relever un réseau très dense de fractures, caractérisé par l'intersection de plusieurs directions. Les zones d'intersection de ces failles abouties à la formation de nœuds tectoniques, ces nœuds tectoniques forment des zones très favorables aux instabilités de terrain. En effet, on peut relever une grande correspondance entre ces accidents tectoniques et les mouvements de terrain observables dans le secteur étudié (H. Zebouchi, 2008).

VIII.2/ Tectonique souple :

La tectonique souple n'est matérialisée que par des ondulations observées dans les formations d'argiles marneuses à intercalation de niveaux de gypse.

Les différentes formations lithologiques du secteur étudié sont résumées sur le log lithostratigraphique donné dans la Fig.I.5.

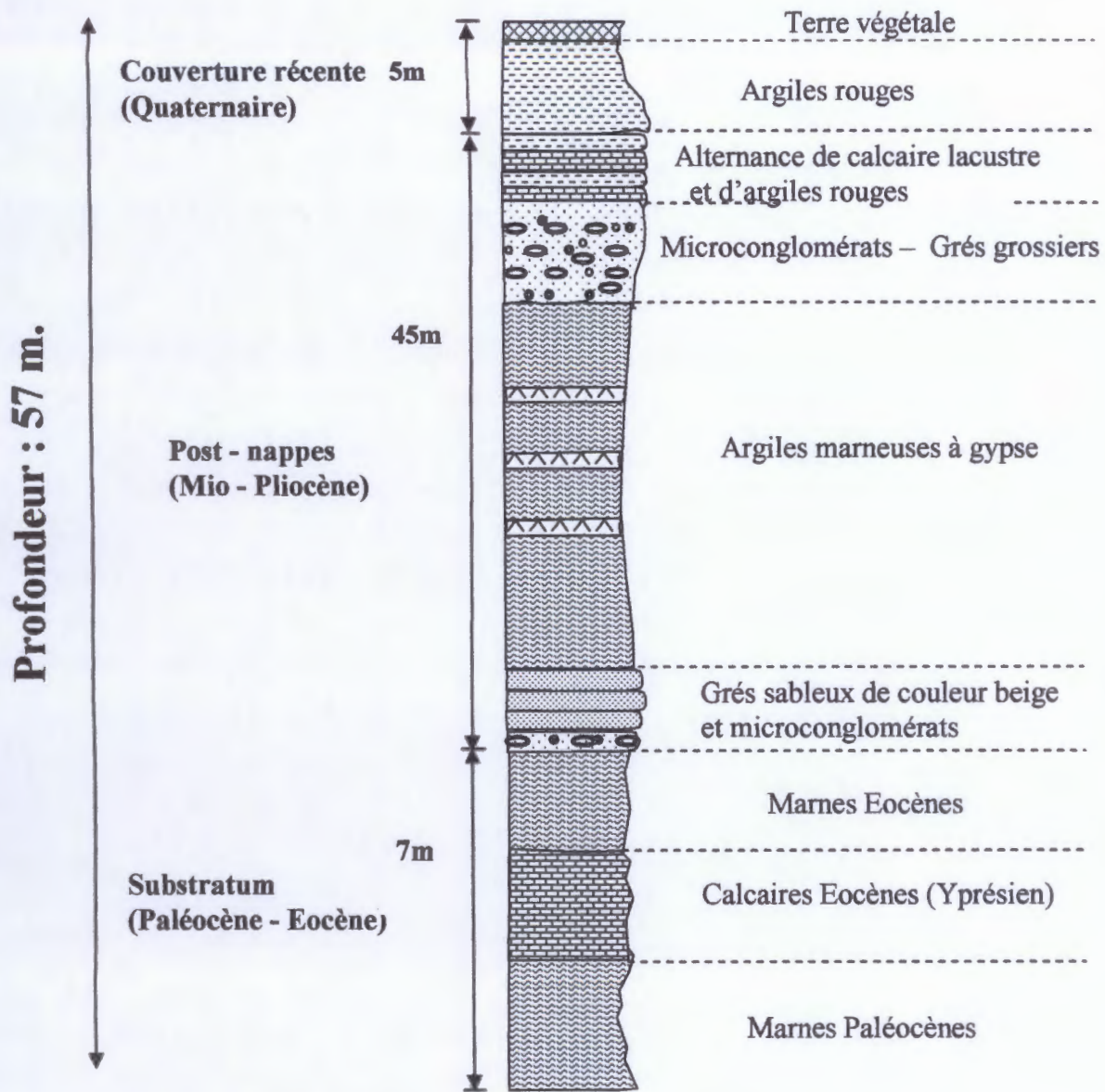
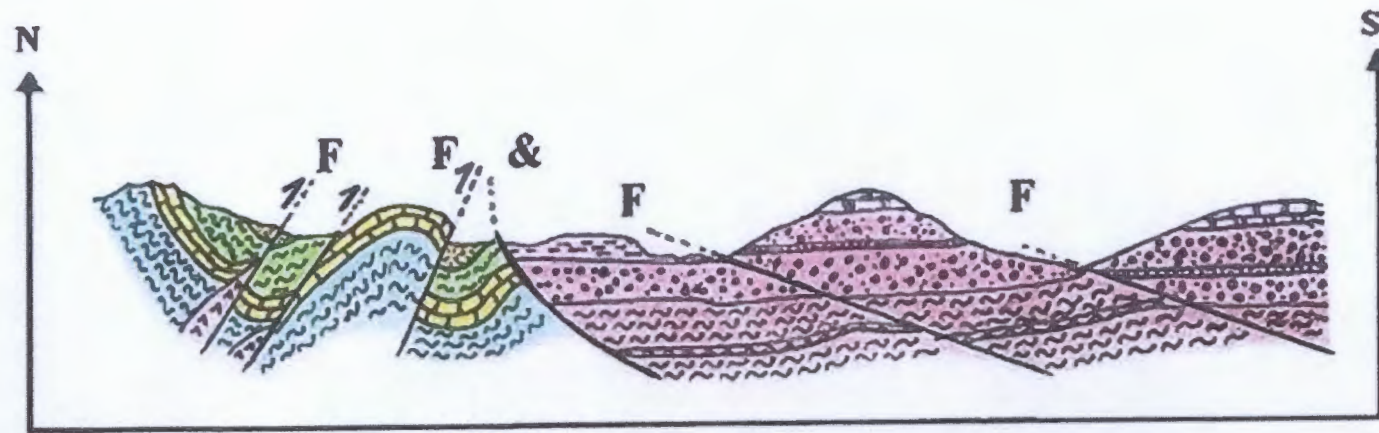









Fig.I.5 : Colonne lithostratigraphique du versant Est du barrage de Beni Haroun (H. Zebouchi, 2008).



- | | | | |
|---|-------------------------------|--|-----------------------------|
|  | Quaternaire (argiles rouges). |  | Yprésien (calcaires). |
|  | Mio-pliocène. |  | Paléocène (marnes). |
|  | Oligocène (grès numidien). |  | Trias (dépot évaporitique). |
|  | Lutétien (marnes). | | |

Echelle: 0 50 100 m

F : Faille.
& : Contact anormal.

Fig.I.6 : Coupe géologique (modifiée) N-S du secteur étudié. (H.Zebouchi, 2008)

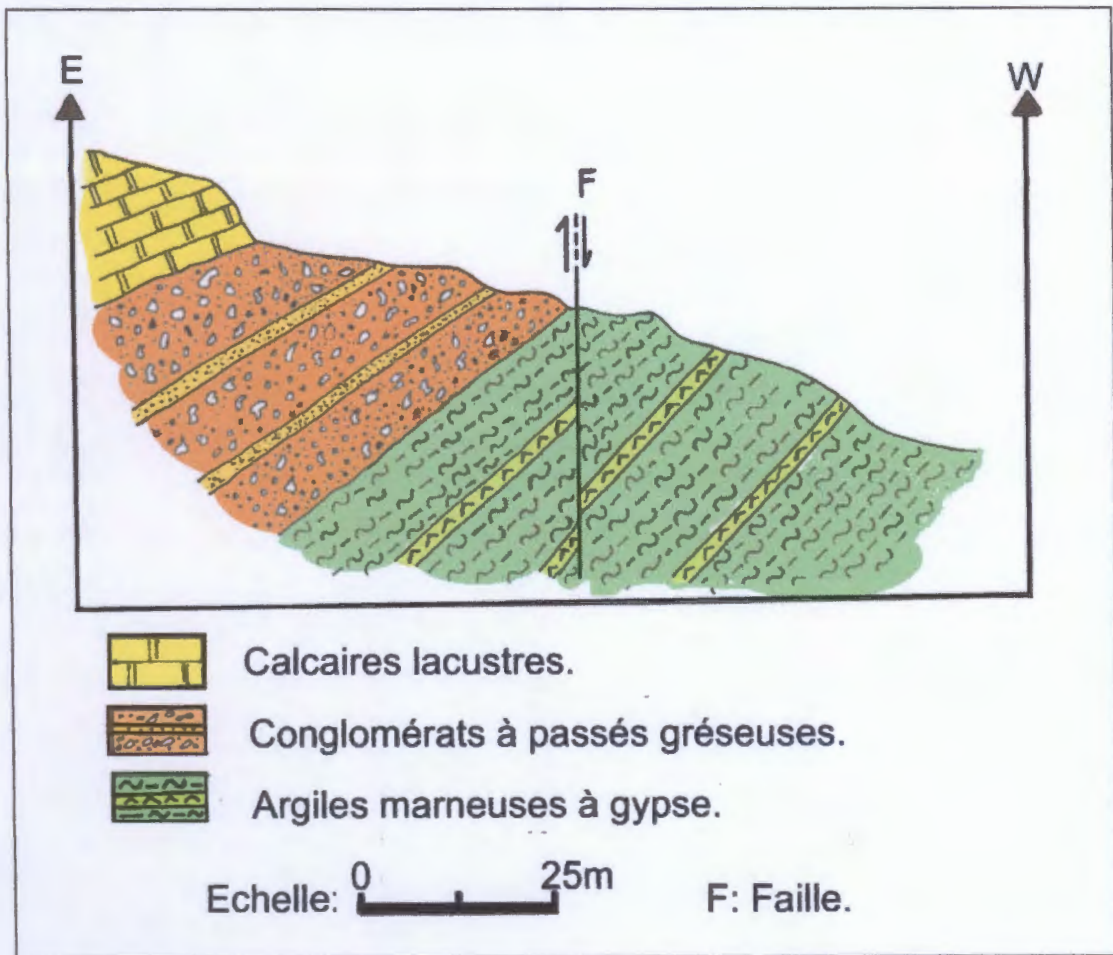


Fig.L.7 : Coupe géologique (modifiée) E-W du secteur étudié (H.Zebouchi, 2008).

Chapitre II
Synthèse
hydrologique et
hydrogéologique

I/Introduction :

Il est évident que L'eau joue un rôle important dans le déclenchement des mouvements de terrain, notamment aux saisons de pluies et/ou de neiges. Cette influence se présente par 02 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.

à cet effet, nous essayerons dans la présente étude ; de donner les principales caractéristiques hydroclimatiques de la région de Beni Haroun.

II/Analyse morphométrique du bassin versant :

II.1/ Situation géographique :

Le bassin versant de l'assiette du Barrage de Béni Haroun fait partie intégrante du grand Bassin versant du Kébir Rhumel. Ce dernier est subdivisé en plusieurs sous bassins. La zone étudiée fait partie du sous bassin de Kébir-Maritime.

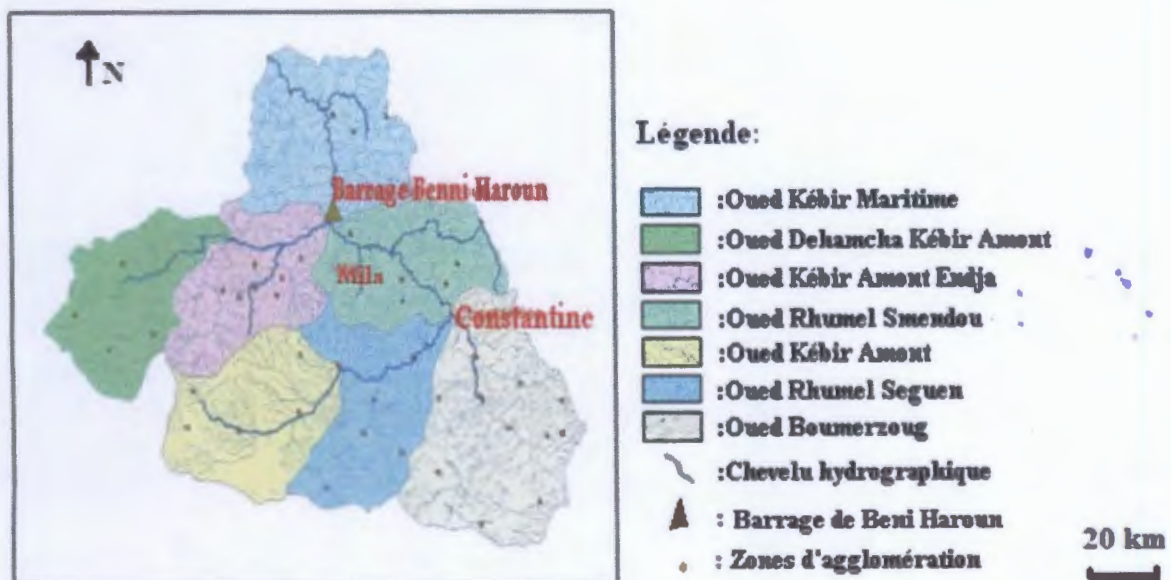


Fig.II.1 : Découpage du bassin versant de Kébir Rhumel (A.N.R.H).

Le sous bassin de oued Kébir-Maritime est limité au Nord par la mer méditerranée, au Sud par les sous bassins : oued Rhumel Smendou et oued Kébir Amont Endja, à l'Est et à l'Ouest par le bassin versant de côtières constantinois (A. Mebarki, 1982).

II.2/Les caractéristiques morphométriques :

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

-La superficie (S) :

La superficie planimétrique du sous bassin de Kébir-Maritime est de l'ordre de 1339 km² (ANRH).

-Le périmètre (P) : P= 169 km.

-Indice de forme (Indice de Gravilius) : (c)

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

$$C = 0.28 P / \sqrt{S} \quad \text{avec : } P : \text{Périmètre du bassin versant (km).}$$

$$S : \text{Superficie du bassin versant (km}^2\text{).}$$

$$\text{Donc : } C = 1.29$$

Il ressort de ces données que le $C = 1.29$ c'est-à-dire supérieur à 1. Ceci indique que le bassin versant de kébir-maritime est de forme allongée et non circulaire ($C = 1$).

-Le rectangle équivalent :

C'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.

Calculer par la formule suivante (O.N.M) :

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

Avec : L : longueur du rectangle équivalent en km.

On obtient : L = 62.76 km.

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

$$S = L.I \Rightarrow I = S / L \Rightarrow I = 21.33 \text{ km.}$$

Les caractéristiques morphométriques du bassin versant étudié sont résumés au tableau suivant:



Caractéristiques morphométriques du bassin versant	Valeur correspondante
Superficie (S) en km ²	1339
Périmètre (P) en km	169
Indice de Gravilius (C)	01.29
Longueur du rectangle équivalent (L) en km	62.76
Largeur du rectangle équivalent (I) en km	21.33

Tableau. II.1 : Caractéristiques morphométriques du sous bassin de Kébir-Maritime.

III/ Analyse des caractéristiques climatiques :

III.1/Facteurs climatiques du secteur étudié :

Le secteur étudié faisant partie du versant Est du Barrage de Béni Haroun, se trouve à la jonction de deux domaines climatiques différents,

-un climat tempéré et humide au Nord qui se caractérise par un été sec et chaud et un hiver doux et humide avec des précipitations annuelles comprises entre 900 et 1200 mm.

-un climat semi aride au Sud caractérise par un été chaud où la température peut atteindre 40°C, et un hiver froid distingué par un décroissement de température jusqu'à 0°C et des précipitations de l'ordre 600 à 700 mm/an.

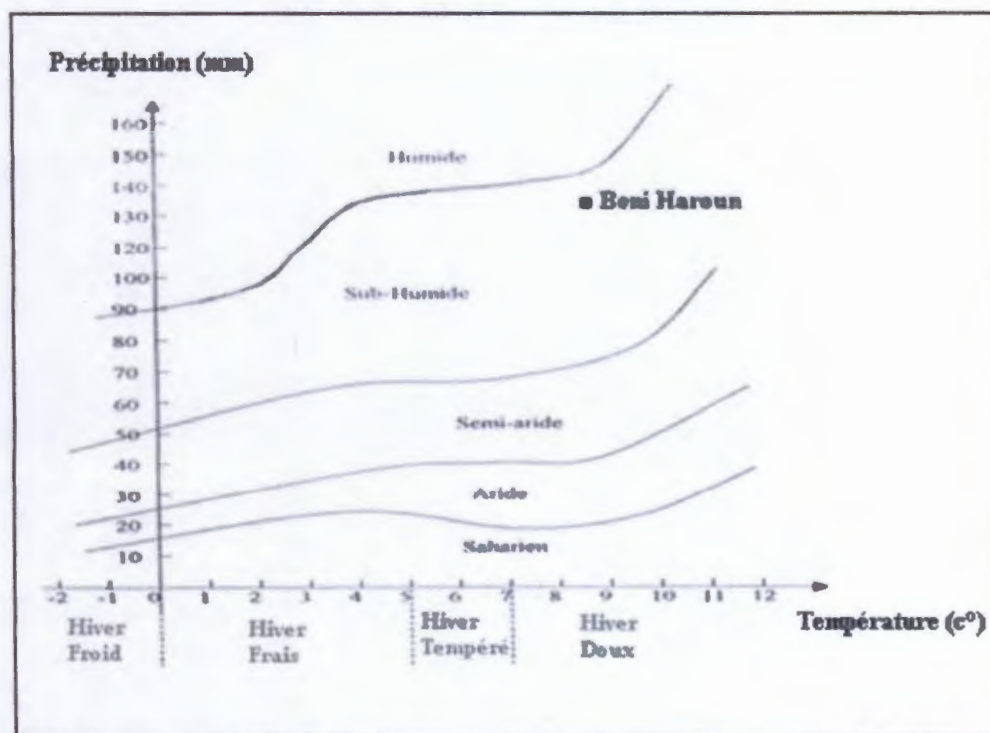


Fig.II.2 : Climat du secteur étudié.

III.2/La pluviométrie :

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

La région étudiée se caractérise par des précipitations présentent des variations inter-annuelles importantes, la pluviométrie atteint son maximum au mois de décembre et son minimum au mois de juillet.

D'après les données récoltées à partir de la station du Barrage de Beni Haroun (tableau N°), nous avons élaboré un graphe des précipitations moyennes mensuelles ; sur une période de 8 ans (2003-2010). De ces données ; il semble que le mois le plus pluvieux est celui de décembre avec une moyenne de 131.37mm, tandis que le mois le moins pluvieux est celui de juillet avec une moyenne de 01.18 mm.

A fin d'illustrer la pluviométrie moyenne mensuelle enregistrée au niveau de la station du Barrage de Béni Haroun. Nous avons élaboré le graphe de pluviométrie saisonnière. L'observation de ce dernier permet d'en déduire que la lame reçue par le bassin versant de Beni Haroun se manifeste beaucoup plus en hiver.

Année	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aut	Total
2004	35.3	32.1	145.6	228.3	83.40	32.2	50.2	81.6	60.7	44.0	00.9	00.0	794.3
2005	12.2	19.2	86.9	84.2	167.6	154.3	50.0	103.3	06.2	00.0	00.5	01.7	686.1
2006	35.3	28.0	34.9	151.8	94.8	85.3	37.3	10.6	45.9	0.4	00.0	2.8	527.1
2007	33.9	66.7	72.6	134.3	10.3	58.2	175.1	46.1	16.4	11.3	00.0	10.5	635.4
2008	25.2	25.8	120.0	50.0	15.2	16.6	120.0	50.8	47.8	06.3	05.4	04.3	487.4
2009	157.2	65.1	52.5	80.7	158.0	71.5	86.1	108.8	36.0	05.5	00.3	07.0	828.7
Total	299.1	236.9	512.5	729.3	529.3	418.1	518.7	401.2	213	67.5	07.1	26.3	3959
Moyenne mensuelle	49.85	39.48	85.41	121.55	88.21	69.68	86.45	66.86	35.5	11.25	01.18	04.38	659.8
Moyenne saisonnière	174.74mm =26.48%			279.44mm =42.35%			188.81mm = 28.61%			16.81mm =2.54%			

Tableau.II.2 : Précipitations moyennes mensuelles en mm durant la période : 2004 - 2009 (Station de Beni Haroun).

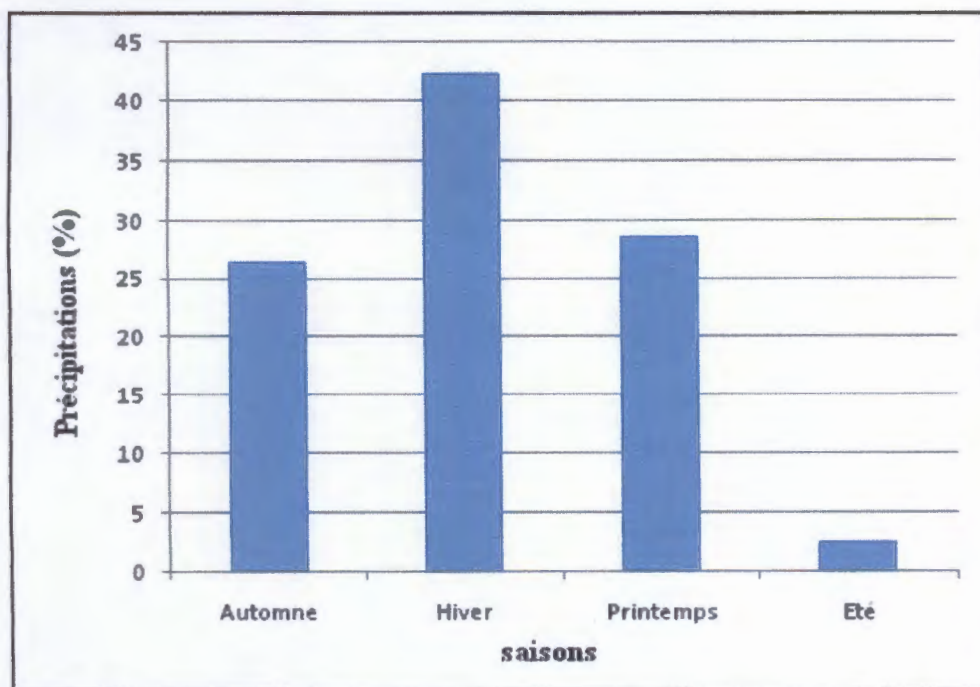


Fig.II.3 : Répartition de précipitations moyennes saisonnières durant
La période : 2004 – 2009 (Station de Beni Haroun).

III.3/La température :

Il est évident que les écarts de la température jouent un rôle négatif et destructeur sur le comportement des sols et des roches. En effet ces contrastes engendrent la désagrégation des roches.

Les tableaux ci-dessous montrent que la température moyenne inter-annuelle est de l'ordre de 20.23°C.

Année	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	moyenne
2004	27.7	26.00	15.9	13.83	13.4	13.9	14.7	16.00	19.8	25.9	29.4	31.8	20.69
2005	24.9	22.6	16.6	11.8	09.8	08.9	18.00	19.3	22.2	24.8	28.4	27.6	19.57
2006	25.6	24.3	18.00	13.7	09.9	11.3	14.2	19.5	23.4	26.3	29.8	27.7	20.30
2007	26.4	21.7	15.9	11.9	13.6	14.8	13.9	17.8	21.8	25.9	29.3	30.2	20.10
2008	27.2	23.4	16.7	13.1	13.00	12.2	13.8	17.2	22.00	23.4	30.00	31.6	20.30
2009	25.7	21.9	16.9	14.7	12.6	12.3	15.4	15.4	22.5	26.8	31.1	30.1	20.45
total	157.5	139.9	100	79.03	72.3	73.4	90	105.2	131.7	153.1	178	179	121.41
Moyenne mensuelle	26.25	23.31	16.66	13.17	12.05	12.23	15	17.53	21.95	25.51	29.66	29.83	20.23

Tableau.II.3 : Températures moyennes mensuelles en °C durant la période : 2004 – 2009
(Station de Beni Haroun).

III.4/Graphe ombro-thermique :

D'après les graphes ombro-thermiques établis selon la règle de Gaussen et Bagnoulis on peut déduire que :

-Dans la période entre la fin d'avril et la fin d'octobre la courbe thermique et au dessus de celle de la pluviométrie, c'est la période sèche (chaude).

-Dans la période comprise entre le mois de novembre et la fin d'avril la courbe de pluviométrie se trouve au dessus de la courbe thermique, c'est la période humide (froide).

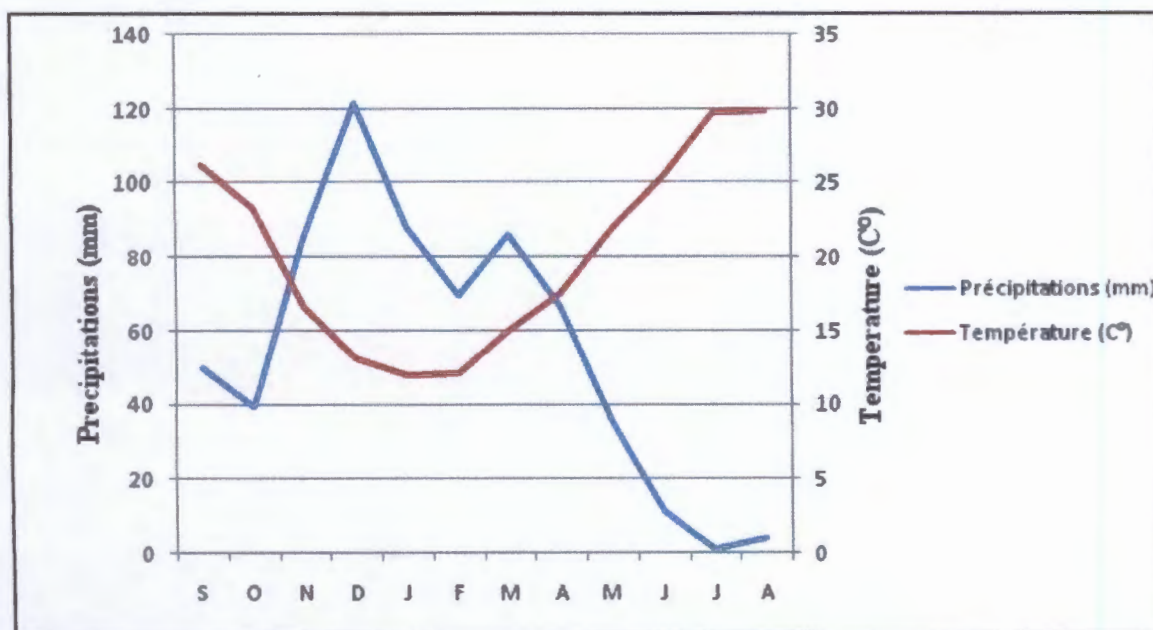


Fig.II.4 : Graphe Ombro-Thermique durant la période : 2004 - 2009

(Station de Béni Haroun).

III.5/L'aridité :

L'aridité permet d'évaluer le phénomène de désagrégation, d'érosion, et d'instabilité des sites dans la région, Cet état est exprimé par l'indice d'aridité de 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).

Ce tableau donne les valeurs de I correspondent aux types de climats :

Aridité (I)	(00-05)	(05-10)	(10-20)	(20-30)	(30-55)
Type de climat	Régions hyperarides	Régions arides	Régions semi-arides	Régions semi-humides	Régions humides

$$I = \frac{659.8}{20.23+10} = 21,82.$$

$$I = 21,82.$$

Donc on peut déduire que la région de Mila est caractérisée par un climat semi- humide.

III.6/Appréciation du bilan hydrologique :

L'élaboration d'un bilan hydrologique est indispensable à l'évaluation des réserves d'eau transmises ou emmagasinées dans une région. il est représenté par la formule suivante (G. Réménieras, 1980) :

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

Avec : P : Précipitation moyenne annuelle (mm).

ETR : Evapotranspiration réelle (mm).

I : Infiltration (mm).

R : Ruissellement (mm).

Wa : variation des réserves (souvent négligeable).

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

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

$$ETP = 16 \left(\frac{10T}{I} \right)^a$$

Avec : ETP : Evapotranspiration potentielle en mm.

T : Température moyenne mensuelle en °C.

I : indice thermique annuel = \sum des indices mensuelles des 12 mois de l'année.

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

a : exposant climatique : $a = 0,016 \times I + 0,5$

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

K : Coefficient de correction.

D'après les données de la station de Béni Haroun : $I = 103.24$ et $a = 2.15$.

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 :

$$\text{a) Si } P + RFU > ETP \Rightarrow ETR = ETP$$

$$\text{b) Si } P + RFU < ETP \Rightarrow ETR = P + RFU$$

Ruissellement et infiltration :

Ruissellement(R) :

Selon Thornthwaite :

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

Avec : $P = 659.8 \text{ mm}$, $ETP = 996.69 \text{ mm}$

$$R = \frac{(659.8)^3}{3 \cdot (996.69)^2} = 197.25 \text{ mm.}$$

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

$$R = \frac{197.25 \times 100}{659.8} \quad \text{donc : } R = 29.89\%. \text{ Le ruissellement représente } 29.89\% \text{ des}$$

précipitations.

Calcul d'Infiltration (I) :

À partir de la formule du bilan hydrologique $P = ETR + R + I + W_a$ on peut estimer la valeur de I ;

Considérons: $W_a = 0$

$$P = ETR + R + I$$

$$I = P - ETR - R = Ex - R$$

$$I = 325.53 - 197.25 = 128.28 \text{ mm.}$$

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

$$I = 19.44\% \text{ de précipitations.}$$

$$\text{L'évapotranspiration} = 100 - (I + R) = 50.67 \%$$

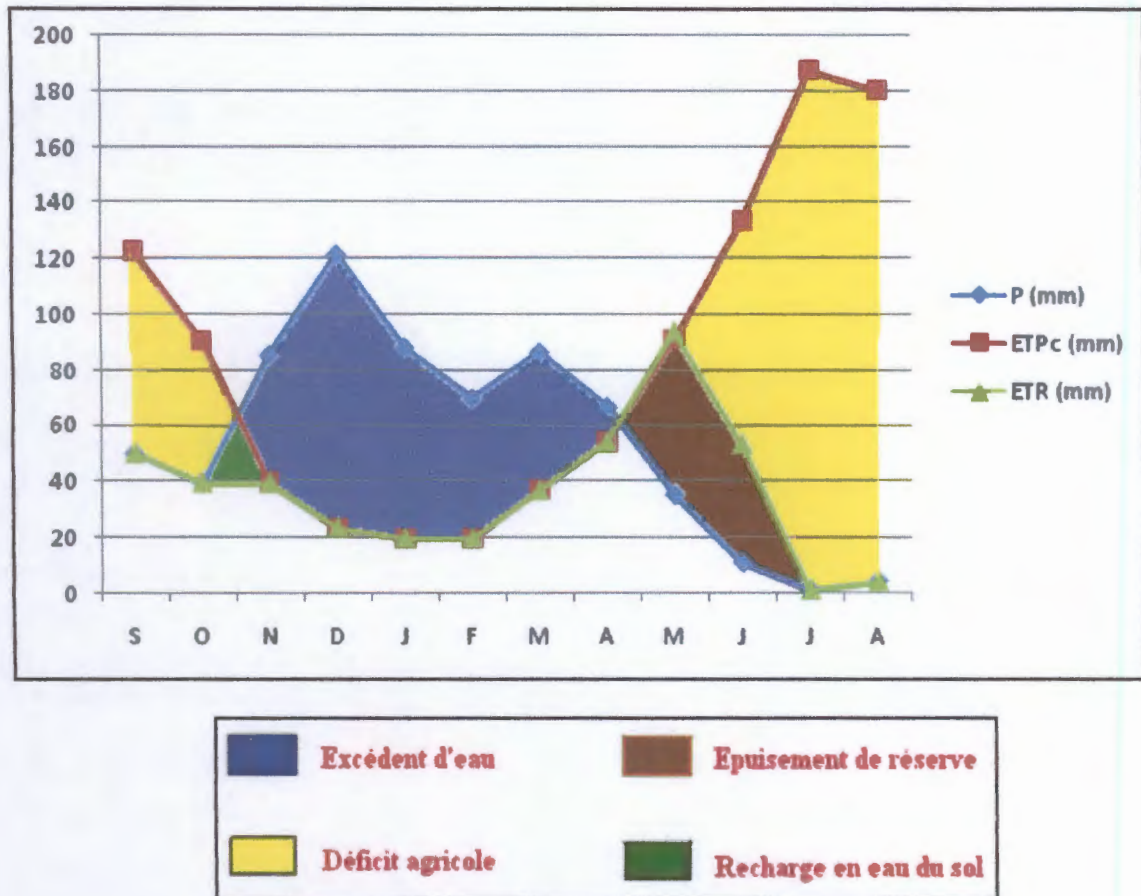


Figure II.5 : Représentation graphique du bilan hydrologique pour la période :
2004-2009 (Station de Beni Haroun)

Tableau.II.4: Bilan hydrologique - Station de Beni Haroun (Période : 2004 - 2009).

Mois	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU	Total
T (°C)	26.25	23.31	16.66	13.17	12.05	12.23	15	17.53	21.35	25.51	29.66	29.83	-
i	12.31	10.28	06.18	04.33	03.78	03.87	05.27	06.58	09.00	11.79	14.81	14.94	103.24
ETP (mm)	118.98	92.16	44.76	27.00	22.30	23.03	35.72	49.94	76.30	111.88	154.70	156.62	913.39
K	01.03	00.98	00.88	00.87	00.89	00.86	01.03	01.08	01.19	01.19	01.21	01.15	-
ETPC (mm)	122.54	90.31	39.38	23.49	19.84	19.80	36.79	53.93	90.79	133.13	187.18	180.11	996.69
P (mm)	49.85	39.48	85.41	121.55	88.21	69.68	86.45	66.86	35.5	11.25	01.18	04.38	650.94
P - ETPC (mm)	-72.69	-50.83	46.03	98.06	68.37	49.88	49.66	13.53	-55.29	-121.88	-186	-175.73	-
RFU (mm)	00.00	00.00	100	100	100	100	100	100	00.00	00.00	00.00	00.00	-
ETR (mm)	49.85	39.48	39.38	23.49	19.84	19.80	36.79	53.93	135.5	11.25	01.18	04.38	434.87
DA = ETPC - ETR	72.69	50.83	00.00	00.00	00.00	00.00	00.00	00.00	55.29	121.88	186	175.73	662.42
Ex = P - ETR	00.00	00.00	46.03	98.06	68.37	49.88	49.66	13.53	00.00	00.00	00.00	00.00	325.53

Interprétation du bilan hydrologique :

Les résultats de l'analyse hydrologique permettent de constater les résultats suivants :

- Les précipitations atteignent leur maximum au mois de décembre (période où l'évapotranspiration potentielle (ETP) atteint son minimum). Cette dernière atteint son maximum au mois de juillet.
- L'allure de la courbe représentant l'ETP présente une bonne symétrie que celle des précipitations. Ce qui manifeste 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 irrégulières d'un mois à un autre ou d'une année à l'autre.
- L'excédent d'eau comprise entre le mois de novembre et 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 Beni Haroun est de l'ordre de 31.94 % 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.7/Conclusion :

Les données hydroclimatiques du bassin versant de Beni Haroun montrent que la région est caractérisée par un climat humide, marqué par des précipitations importantes. Celles-ci jouent un rôle non négligeable dans l'accélération des glissements de terrains à raison que 19.44 % des eaux de précipitations s'infiltrent dans le sous sol par une moyenne de 128.28 mm en gonflant les argiles marneuses à gypse ce qui diminue leurs caractéristiques mécaniques. 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, s'ajoute l'érosion des pieds de talus par les eaux de ruissellements.

L'eau et le contraste thermique engendrent la désagrégation mécanique et chimique des roches de la région étudiée. Ainsi que 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.

Cette influence peut fragiliser 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 conglomeratiques et à la création des vides dans le cas des formations argilo-marneuses gypsifères, en provoquant des affaissements en profondeur et des déplacements en surface.

IV/Conditions hydrogéologiques du site :

D'après les données hydrogéologiques, Le secteur étudié caractérise par trois nappes :

-Une nappe superficielle encaissée dans les alluvions grossières à intercalations de sables fins et d'argile de la terrasse de l'oued el Kébir. Elle s'écoule vers l'Est.

-Une nappe captive située dans les grés sableux qui sont recouverts par des formations imperméables représentées par les argiles marneuses à gypse. S'écoule vers l'Est.

-Une nappe des eaux de fractures (fissures) qui provoquent des forces interstitielles notamment sur les parois des fractures et déclenchent souvent des glissements de terrains.

IV.2/Campagne piézométrique effectuée au niveau du site étudié :

A fin de bien comprendre le régime des systèmes aquifères dans le secteur étudié une campagne de piézomètres a été effectuée dans les trous de sondages sur le versant instable du barrage en 2002, les résultats obtenues sont représentées dans le tableau ci-dessous

Piézomètre/Sondage	X	Y	Z	Profondeur de la nappe (m)	La cote (NGA)
PZ1	3450.000	50650.000	199.00	10.00	189.00
PZ2	3430.000	50300.000	176.00	10.00	166.00
PZ3	3535.000	50560.000	220.00	00.00	220.00
G ₁	3468.483	50655.034	199.00	04.00	195.00
G ₂	3266.370	50610.500	133.00	08.20	124.80
G ₃	3316.588	50540.561	145.00	04.20	140.80
G ₄	3408.936	50551.842	184.00	18.30	165.70
G ₅	3343.220	50319.400	153.00	08.00	145.00
G ₆	3433.638	50261.249	176.00	01.60	174.40
G ₇	3574.507	50184.751	212.00	07.20	204.80
G ₈	3366.530	50125.686	187.00	04.40	182.60
G ₁₁	3535.000	50310.000	204.00	01.40	202.60
G ₁₂	3320.000	50600.000	148.00	03.00	145.00
PRA1	-	-	198.50	03.80	194.70

Tableau II.5 : Données piézométriques de l'année 2002.

Pour les piézomètres : PRA1, PZ1, PZ2, PZ3, G₁₁ et G₁₂ les résultats des mesures piézométriques effectuées entre 09.11.2002 à 12.07.2003 sont reportés au tableau suivant :

Piézomètre/Sondage	PRA1	PZ1	PZ2	PZ3	G11	G12	
Cote du terrain naturel (NGA)	198.50	199.00	176.00	220.00	204.00	148.00	
Profondeur du trou de sondage(m)	35.00	30.00	30.00	30.00	35.00	50.00	
Dates de mesures	09.11.2002	-	198.70	172.24	220.50	199.50	-
	16.11.2002	-	198.10	172.10	220.50	199.45	-
	23.11.2002	-	198.10	173.10	220.50	197.05	-
	28.11.2002	185.70	198.10	173.09	217.47	197.03	-
	30.11.2002	186.00	198.07	173.06	220.43	197.03	-
	08.12.2002	185.85	198.08	173.07	220.42	197.01	-
	14.11.2002	194.70	198.80	173.70	220.80	200.60	-
	21.12.2002	194.65	198.76	173.67	220.77	200.56	-
	28.12.2002	194.61	198.71	173.60	220.70	200.39	-
	30.12.2002	194.60	198.60	173.60	220.80	198.60	-
	15.01.2003	193.10	198.50	173.90	221.50	198.70	-
	18.01.2003	193.00	199.70	173.70	220.80	201.80	-
	22.02.2003	192.70	199.30	174.70	221.60	201.40	-
	08.03.2003	192.60	199.50	174.60	221.40	200.90	145.00
	10.05.2003	192.80	198.90	174.50	221.00	202.60	-
	17.05.2003	192.70	199.50	174.12	220.90	199.50	-
	24.05.2003	191.50	199.70	173.80	220.90	196.10	-
	31.05.2003	191.60	199.70	173.90	220.89	196.20	-
	07.06.2003	191.70	Endommagé	173.89	220.80	196.40	-
	14.06.2003	191.50	-	173.90	220.20	196.20	-
21.06.2003	191.10	-	173.80	220.00	195.50	-	
28.06.2003	190.60	-	173.70	220.00	195.50	-	
07.07.2003	-	-	-	-	Endommagé	142.80	
12.07.2003	194.20	-	174.30	-	-	142.20	

Tableau II.6 : Mesures piézométriques effectuées entre 09.11.2002 et 12.07.2003.

IV.3/Conclusion : l'analyse hydrologique et hydrogéologique du site montre que les eaux se considèrent comme un facteur catalyseur des mouvements de terrain. Cela fait par :

- Les eaux d'infiltration circulent dans les diaclases en provoquant une pression de courant et une dissolution des roches et des formations évaporitiques ou s'infiltrent aux fissures de retrait, en gonflant les sols argileuses et engendrent leur ramollissement qui se manifeste 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.

-L'érosion du pied du versant par la nappe superficielle de l'oued el Kébir en provoquant la suppression de la butée de pied de ce versant et pouvait entraîner le déclenchement de glissements en amont.

L'influence des conditions hydrogéologiques sur les mouvements de terrain de ce versant est importante ce qui nous demande une attention particulière et Une approche multidisciplinaire et multiscale concernant les sites retenus.

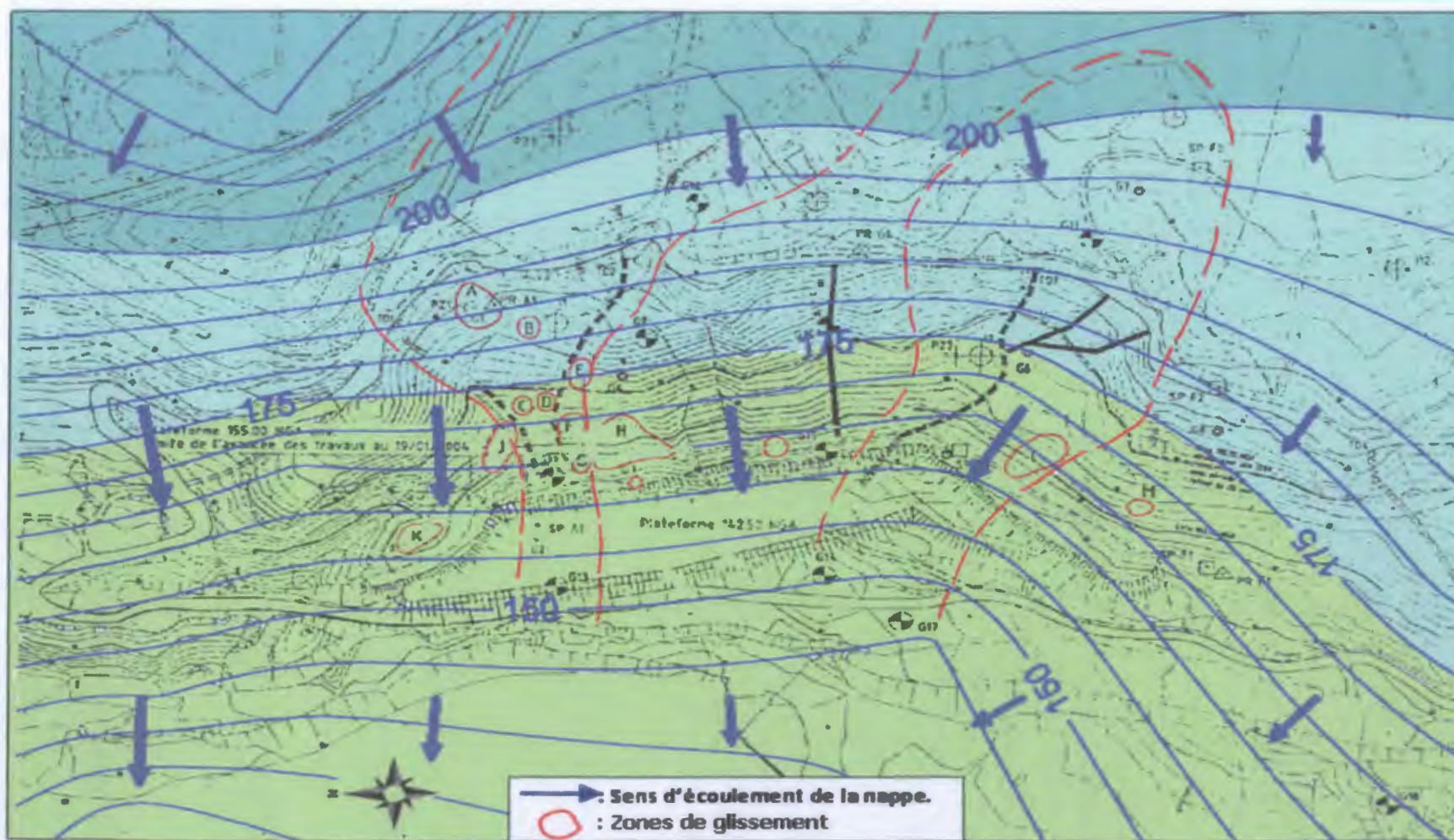


Planche .II.1 : Carte piézométrique du Versant Est du Barrage de Beni Haroun.

Chapitre III
Reconnaitances
géotechniques du
site

I/ Introduction :

La géotechnique est la discipline qui étudie le comportement des terrains en relation ou non avec les ouvrages. Pour cela, elle doit s'appuyer entre autre sur les différentes disciplines des sciences de la terre telles que : la géologie, l'hydrologie, la mécanique des sols et la mécanique des roches (D. Cordary, 1994).

II/ Exploitation des travaux de reconnaissance :

Dans le but de contrôler les travaux de confortement du glissement de Sibari, le bureau d'étude français EDF et les laboratoires des travaux publics de l'Est unité de Constantine, d'Annaba et de Mila ont été sollicités pour l'exécution des essais géotechniques sur les échantillons prélevés à partir des sondages carottés effectués dans le secteur étudié.

II.1/ les essais de laboratoire :

Les essais de laboratoire ont pour but de déterminer les paramètres physiques et mécaniques du sol, ils se font sur des échantillons prélevés à partir des carottes paraffinés de sondages.

Les échantillons prélevés doivent être représentatifs pour qu'ils donnent des résultats précis.

II.1.1/ essai d'identification :

Identifier le sol, c'est déterminer un ensemble de propriétés physiques, mécaniques ou chimiques qui permettent de le caractériser, ces propriétés sont déterminées par des essais simples et rapides appelés « essais d'identification » les principaux sont les suivants :

-l'analyse granulométrique ; la teneur en eau ; les densités (sèches et humides) ; les limites d'atterbergs ; l'équivalent de sable ; la teneur en CaCO_3 .

Dans le secteur étudié trois prélèvements intacts à la boîte, ont été réalisés en juillet 2003 par LTPE unité d'Annaba. Ces échantillons ont été extraits à partir d'une tranchée creusée à la pelle sur une profondeur suffisante, ils sont répartis comme suite :

-puit n°01 à coté du sondage carotté G_2 .

-puit n°02 à coté du sondage carotté G_5 .

-puit n°03 à coté du sondage pressiometrique PRF1 et sondage pénétrometrique SPF1

Les essais de laboratoire comprenant 30 essais d'identification effectués en 2001 par SGEOMIN et 16 essais réalisés par LTPE entre 2002 et 2003. Concernant la mesure des poids volumiques secs et humides, la teneur en eau, la granulométrie et la sédimentometrie.

A/l'analyse granulométrique :

L'analyse granulométrique a pour but de déterminer les proportions de grains de différentes tailles dans le sol. Elle se réalise par (B. Hubert et al, 2003) :

- Tamisage pour les grains d'un diamètre supérieur à $80\mu\text{m}$.

- Sédimentométrie pour les grains les plus fins.

Les résultats obtenus sont représentés sous forme d'une **courbe granulométrique** qui nous permet à tirer deux coefficients qui servent à la détermination de certaines propriétés du matériau.

Le coefficient d'uniformité (Hazen) : $C_U = D_{60}/D_{10}$.

Si : $C_U > 5$ la granulométrie est dite étalée ; $C_U < 2$ la granulométrie est dite étroite.

Le coefficient de courbure : $CC = (D_{30})^2/(D_{10} \cdot D_{60})$.

Pour un sol bien gradué : $C_U > 5$ et $1 < C_C < 3$.

Les formes et les volumes des grains du sol nous informent sur les facteurs d'altération et de transport affectant ces grains.

Interprétation des résultats :

Les courbes granulométriques obtenues par tamisage des échantillons prélevés dans les puits n°01, 02, 03 sont présentées en Annexes.

Les pourcentages des passants à différents diamètres résultants à partir des courbes granulométriques sont reportés dans le tableau ci-dessous :

Puits		P1	P2	P3
Profondeur (m)		00.00-03.00	00.00-03.00	00.00-03.00
% des passants :	2 mm	55.83	77.50	100
	80 µm	54.10	62.80	99.58
	20 µm	20.83	32.90	84.16
	2 µm	13.32	20.94	46.68

Tableau.III.1 : Pourcentages des passants à différents diamètres de tamis des échantillons prélevés dans les puits : P1, P2 et P3.

Les pourcentages des fractions granulaires sont représentés dans le tableau ci-après :

Puits	Profondeur (m)	Graviers (%)	Gros sables (%)	Sables fins (%)	Limons (%)	Argiles (%)
P1	0.00-3.00	22	03	35	04	36
P2	0.00-3.00	10	13	43	06	28
P3	0.00-3.00	00	00	14	21	65

Tableau.III.2 : Pourcentages des fractions granulaires des échantillons prélevés dans les puits : P1, P2 et P3.

Après avoir interpréter les courbes granulométriques obtenues on peut constater que les sols formant le terrain du site étudié sont représentés par des sols fins, tel type de formation constitue généralement le siège de mouvements de terrains notamment les glissements de terrains.

B/La teneur en eau :

Elle est définie par le rapport du poids d'eau W_w contenu dans le sol au poids d'éléments secs W_s . 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 : poids des grains solides dans l'échantillon.

La connaissance de la teneur en eau d'un sol est très importante car elle permet avec d'autres paramètres d'apprécier l'état dans lequel se trouve ce sol comme le montre le tableau qui suit :

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

C/Les densités :

L'essai de la densité permet de définir 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. Obtenue par la formule suivante :

$$\gamma_h = W / V$$

La densité sèche γ_d :

C'est le poids volumique du sol à l'état sec. Obtenue par la formule suivante :

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

V : volume total.

W : poids de l'échantillon humide.

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

Nature de 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 Les valeurs obtenues de la teneur en eau et les densités sont reportées aux tableaux suivants :

Sondage	I₂			
Profondeur (m)	14.00 - 14.50	19.20- 19.40	28.50 - 29.00	
Teneur en eau W (%)	12.60	13.30	14.90	
Densité sèche γ_d (t/m³)	1.92	1.92	1.89	
Densité humide γ_h (t/m³)	2.16	2.18	2.17	
Sondage	I₃			
Profondeur (m)	04.00	07.50 - 07.70	13.70 - 14.10	15.00 - 15.50
	-			
	04.40			
Teneur en eau W (%)	21.00	24.30	22.20	28.90
Densité sèche γ_d (t/m³)	1.63	1.61	1.66	1.48
Densité humide γ_h (t/m³)	1.97	2.00	2.03	1.91
Sondage	I₄			
Profondeur (m)	02.00	04.20	13.50	20.00 - 20.30
	-	-	-	
	02.30	04.50	13.90	
Teneur en eau W (%)	18.80	19.00	15.90	14.40
Densité sèche γ_d (t/m³)	1.70	1.77	1.92	2.00
Densité humide γ_h (t/m³)	2.02	2.11	2.23	2.29
Sondage	PZ2			G₁₀
Profondeur (m)	03.50	05.00	14.50	02.30 - 02.70
	-	-	-	
	03.80	05.50	15.10	
Teneur en eau W (%)	23.80	20.80	20.10	22.80
Densité sèche γ_d (t/m³)	1.58	1.69	1.66	1.63
Densité humide γ_h (t/m³)	1.96	2.04	1.99	2.00
Puit	P1		P2	
Profondeur (m)	00.00	-	00.00	-
	03.00		03.00	
Teneur en eau W (%)	16.60		15.10	
Densité sèche γ_d (t/m³)	1.87		1.77	
Densité humide γ_h (t/m³)	2.18		2.04	
Degré de saturation Sr (%)	100		77	

Tableau.III.6 : Résultats des essais exécutés à partir des sondages (2001) et des puits (2003)

Interprétation des résultats :

D'après les résultats reportés aux tableaux précédents, on peut observer que les teneurs en eau sont comprises entre 12.6% et 28.9%, ce qui nous indique que le sol en place est humide à légèrement humide.

Les teneurs en eau mesurées à partir des puits P1 et P2 sont très faibles comparées à certaines limites plus importantes trouvées et à certaines densités du poids sec γ_d qui sont faibles, Cette anomalie peut s'expliquer du fait qu'il y a eu un dessèchement des échantillons.

Les valeurs obtenues de degré de saturation S_r sont comprises entre (77 % et 100 %) mesurées sur P1 et P2 (Tableau III.7. P32), ce qui nous permet de conclure que les matériaux en place sont fortement saturés en eau.

Les densités sont très importantes de l'ordre de 1.48 t/m³ à 2.00 t/m³ pour les poids volumiques secs et de l'ordre de 1.91 t/m³ à 2.29 t/m³ pour les poids volumiques humides. ces valeurs nous indiquent que les sols en place sont des sols fins (argileux).

D/Les limites d'Atterberg :

Les limites d'Atterberg sont des teneurs en eau conventionnelles qui décrivent l'état du sol.

Elles sont représentées par : la limite de liquidité (W_L), La limite de plasticité (W_P) et la limite de retrait (W_r). On les mesure sur la fraction du sol passant au tamis de 0.5 mm (P. Habib, 1997). Elles permettent à calculer certains paramètres qui sont :

Indice de plasticité I_p :

Il permet de mesurer l'étendue du domaine de plasticité d'un sol (J. Costet et al, 1981).

$$I_p = W_L - W_p.$$

Les valeurs de I_p et l'estimation du gonflement potentiel du sol étudié sont représentées au tableau ci-dessous :

Puit	Profondeur (m)	I_p (%)	Gonflement potentiel
P1	00.00 - 03.00	24	Moyen
P2	00.00 - 03.00	26	Elevé
P3	00.00 - 03.00	34	Elevé

Tableau.III.8 : Estimation de I_p et du gonflement du sol étudié.

A partir de ces résultats on peut déduire que le sol en place représenté par des argiles marneuses à gypse est caractérisé par un gonflement moyen à élevé.

Indice de consistance I_c :

Il est calculé par la formule suivante : $I_c = W_L - W / I_p$

Indice de liquidité I_L :

Il est défini par la formule suivante : $I_L = W - W_p / I_p$

Avec : W : teneur en eau du sol naturel.

Les résultats des essais des limites d'Atterberg effectués au niveau de site étudié sont récapitulés dans le *Tableau ci-après* :

Puit	W _L (%)	W _P (%)	I _p (%)	I _c
P1	46	22	24	1.22
P2	49	23	26	1.30
P3	64	30	34	-

Tableau.III.9:Résultats des essais de limites d'Atterberg effectués dans le site étudié.

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

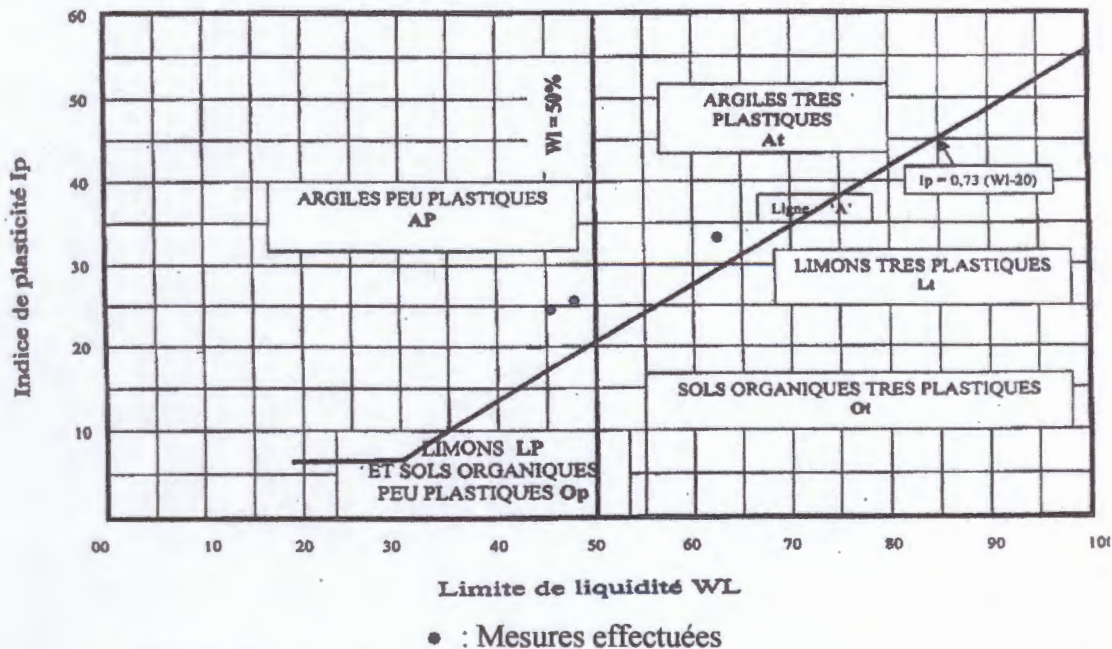


Figure.III.1 : Résultats des mesures obtenues des essais de limites d'Atterberg.

II.1.2/ Essais mécaniques :

A/ Essai de cisaillement :

Pour mesurer la résistance au cisaillement on utilise deux types d'essais : le cisaillement direct et l'essai triaxial.

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).

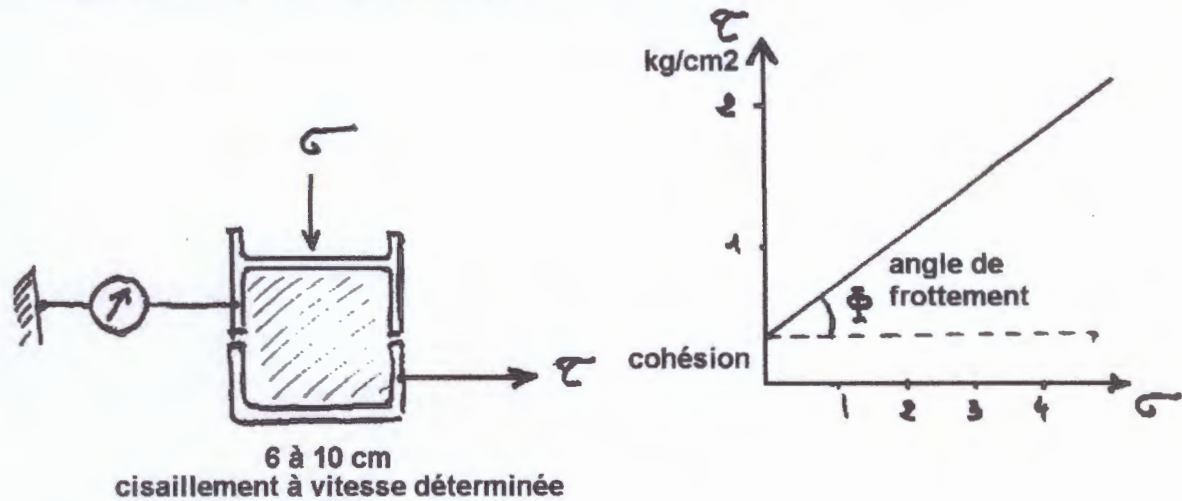


Figure .III.2 : Boite de cisaillement de Casagrande et expression des résultats.

10 essais de cisaillements non consolidés non drainés (07 à la boite de Casagrande et 03 au triaxial) ont été réalisés par SGEOMIN (2001). Trois autres essais de cisaillement rectiligne ont été rajoutés par LTPE en 2003. Les résultats obtenus sont récapitulés dans les tableaux suivants :

Sondage	G1		G6			G7	
Profondeur de prélèvement (m)	9.60		10.10			10.96	
Echantillon	Argile		Marne			Argile marneuse	
Cu (bars)	0.04		1.05			0.56	
ϕ_u (°)	13		20			9.60	
Sondage	G2	G3	G4	G5	G6	G8	
Profondeur de prélèvement (m)	10	6.3	6.8	8.5	18.10	18.60	20.7
Echantillon	Argile rougeâtre	Argile tendre	Argile rouge tendre	Argile marneuse	Marne	Argile marneuse	Marne grise compacte
Cu (bars)	1.90	1.06	0.60	0.32	0.80	0.10	1.17
ϕ_u (°)	07	30	15	25	20	26	17
Puits	P1		P2			P3	
Profondeur de prélèvement (m)	00.00-03.00		00.00-03.00			00.00-03.00	
Echantillon	Argile marneuse		Argile marneuse			Argile marneuse	
Cu (bars)	0.10		0.10			0.20	
ϕ_u (°)	13		25			29	

Tableau.III.10 : Résultats des essais triaxiaux et de cisaillement à la boite 2001-2003.

Les cohésions trouvées à la boîte de Casagrande et l'essai triaxial sont très faibles ($0.04 \text{ bars} < C < 1.90 \text{ bars}$) ce qui nous donne un sol très faiblement cohérent.

La détermination de l'angle de frottement interne par l'essai de cisaillement à la boîte de Casagrande et l'essai triaxial indique que le sol en place est faiblement résistant au cisaillement ($7^\circ < \varphi < 30^\circ$), connaissant que la pente du versant instable est variée de 35 à 60 % (19.29° à 30.96°), cette pente suppose un frottement interne au minimum supérieur à 19.29° pour garder leur stabilité.

B/ Essai oedométrique :

L'essai de compressibilité permet de suivre la consolidation au cours du temps et de déterminer les relations entre les charges et les déformations obtenues sous ces charges après consolidation (J.P. Tisot, 1983).

Il permet d'établir deux courbes ; la courbe de consolidation, la courbe de compressibilité. A partir de celles-ci on peut tirer : le coefficient de consolidation C_v , l'indice de compressibilité C_c , l'indice de gonflement C_s et la contrainte de préconsolidation σ'_p (B. Hubert et al, 2003).

On présente ci-après une classification du sol donnée selon leur indice de compressibilité C_c (G. Philipponnat, 1979) :

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

Les résultats obtenus sont représentés au *Tableau VI.13* :

Puit		P1	P2	P3
Profondeur (m)		00.00 - 03.00	00.00 - 03.00	00.00 - 03.00
Caractéristiques oedométriques	σ'_p (bars)	1.20	1.05	0.746
	C_c	0.116	0.200	0.214
	C_s	0.049	0.042	0.034

Tableau.III.13 : Résultats des essais oedométriques (2003).

D'après la classification donnée par G. Philipponnat (1979) les indices de compressibilité C_c sont comprises entre 0.116 et 0.214 donc le sol en place est moyennement compressible à fortement compressible.

Les coefficients de gonflement C_s varient entre 0.034 et 0.049 ce qui nous montre que le sol en place peut gonfler en présence d'eau.

II.1.3/ Propriétés chimiques des sols :**A/ Teneur en carbonates (CaCO_3) :**

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 CaCO_3 on peut avoir les formations suivantes (G. Philipponnat, 1979) :

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

Dans le site étudié les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau ci-dessous :

Sondage	Profondeur (m)	Teneur en carbonates (%)
I₂	14.00 - 14.50	25.56
	19.20 - 19.40	21.80
	28.50 - 29.00	30.07
I₃	04.00 - 04.40	27.82
	07.50 - 07.70	30.82
	13.70 - 14.10	25.56
	15.00 - 15.50	27.06
I₄	02.00 - 02.30	30.83
	04.20 - 04.50	20.67
	13.50 - 13.90	22.55
	20.00 - 20.30	22.55
PZ2	03.50 - 03.80	28.95
	05.00 - 05.50	31.95
	14.50 - 15.10	26.69
G₁₀	02.30 - 02.70	21.80

Tableau.III.14 : Résultats des teneurs en carbonates.

Ces valeurs permettent de classer les sols étudiés comme étant des argiles marneuses ou les valeurs en CaCO_3 allant de 20.67 % à 28.95 %, on signale aussi la présence des formations marneuses dans certains profondeurs ou la teneur en CaCO_3 dépassent 30 %.

B/ La teneur en sulfates (SO_4^{-2}) :

Les teneurs en sulfates des eaux signalées dans le versant instable du Barrage de Beni Haroun sont reportés au tableau ci-dessous :

Prélèvement	SO1	SO2	SO3	SO4	SO5	SO6
Source	Source dans les marnes	Eau stagnante	Source dans les talwegs	Eaux superficielles	Source	Eau stagnante dans le talweg
Teneur en sulfates (mg/l)	2100	2700	94	170	420	720

Tableau.III.15 : Résultats des teneurs en sulfates.

Ces résultats montrent bien que les teneurs en So_4^{-2} sont très élevées cette élévation en So_4^{-2} est liée en principe à la présence de gypse dans les formations marneuses.

II.2/ Les essais in-situ :

Une campagne de reconnaissance in situ a été effectuée dans le site étudié, elle consiste à la réalisation de plusieurs sondages carottés, essais inclinométriques, essais pénétrométriques et essais pressiométriques leur implantation est figurée sur *la planche.III.1* voir Annexes.

A/ Les sondages mécaniques :

Dans le but de mieux cerner le problème des mouvements de terrain du versant Est du barrage de Beni Haroun, plusieurs campagnes de prospection par sondages carottés ont été réalisées par LTPE unité d'Annaba et le bureau d'étude SGEOMIN. Ces campagnes ont permis la mise en évidence des différents termes lithologiques de la zone concernée par les mouvements de terrains et la précision de leur épaisseur et leur étendue latérale.

Les profondeurs d'investigation de ces sondages carottés varient de 30 à 60 m.les coupes lithologiques des sondages carottés montrent que le terrain étudié est constitué généralement par des argiles marneuses à filonnets de gypse, occupant la majorité du versant et cela jusqu'à une profondeur assez importante allant jusqu'à 45 m.

Un recouvrement quaternaire, représenté par des argiles rouges à cailloutis de grés et de calcaires, surmonte les formations d'argiles marneuses à gypse et recouvre la partie supérieure du versant avec une épaisseur allant de 5 à 12.50 m, cette formation est surmontée par une mince pellicule de terre végétale.

L'ensemble des formations précédentes repose sur un substratum profond (au-delà de 57m) formé par des marnes grises très compactes.

03 coupes lithologiques ont été réalisées selon le deuxième axe de glissements de Sibari à travers différents sondages carottés :

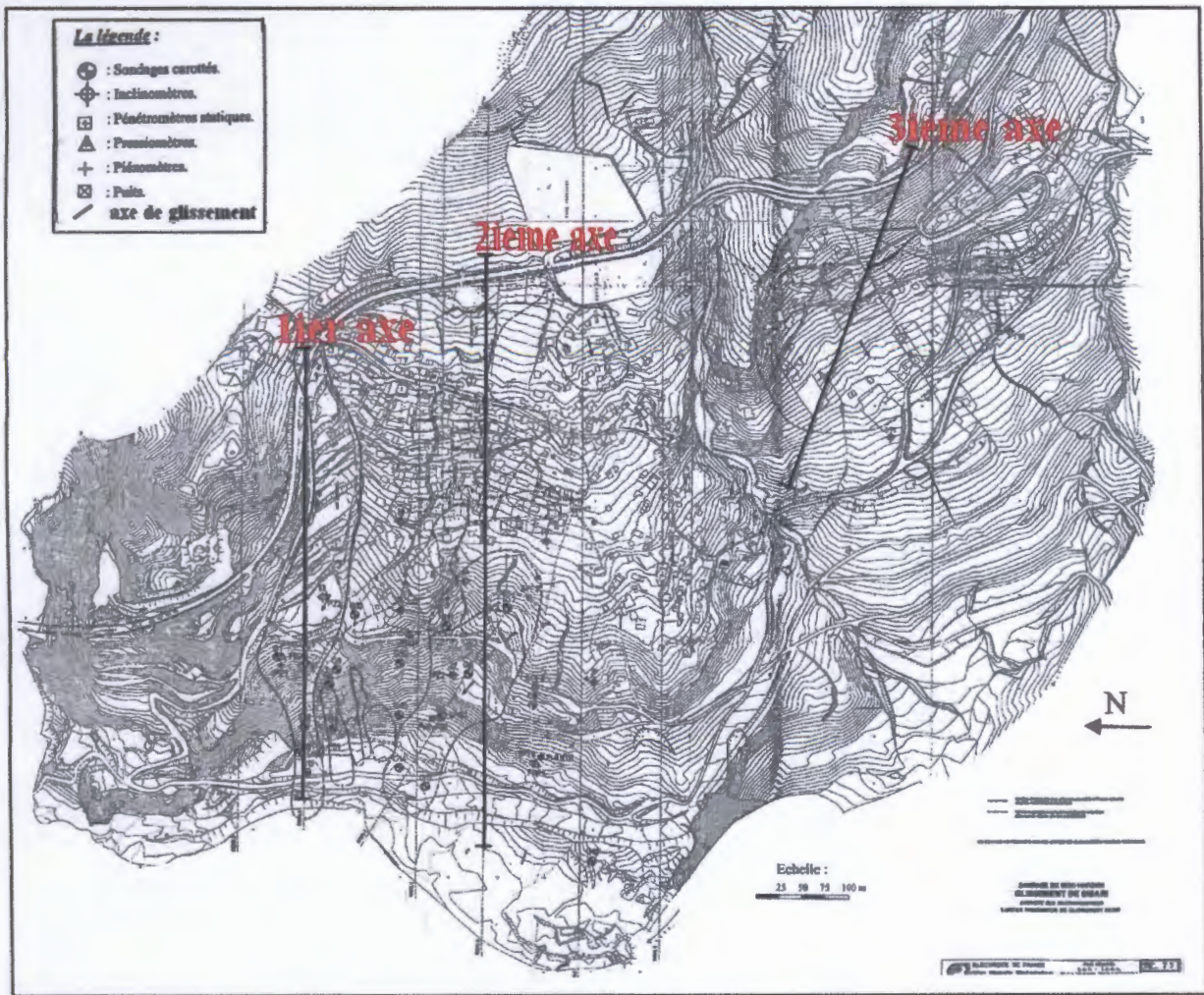
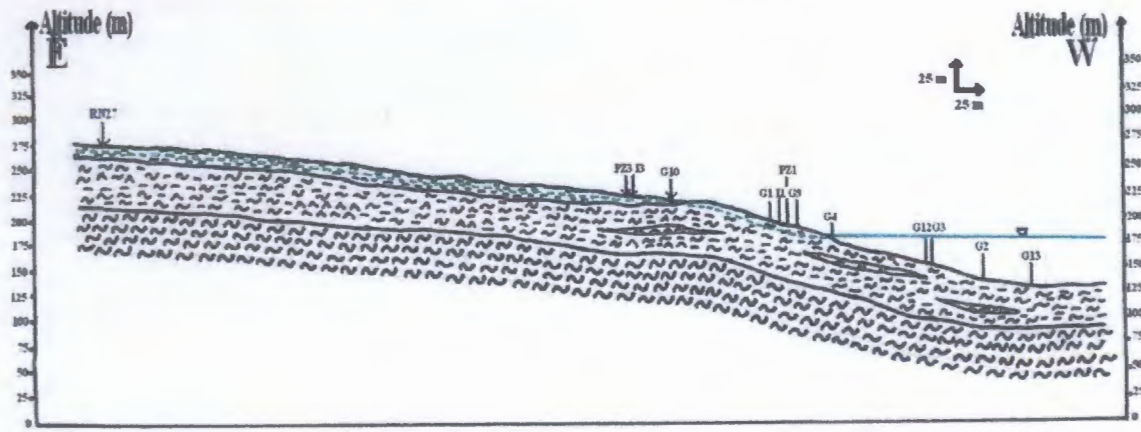


Planche .III.2 : représentation d'axe (2^{ème} axe) des coupes lithologiques réalisées.



Légende:

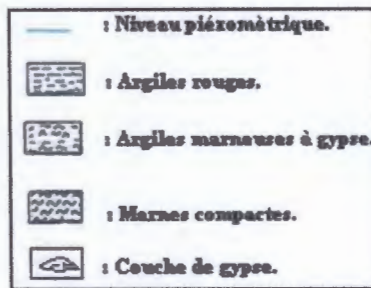
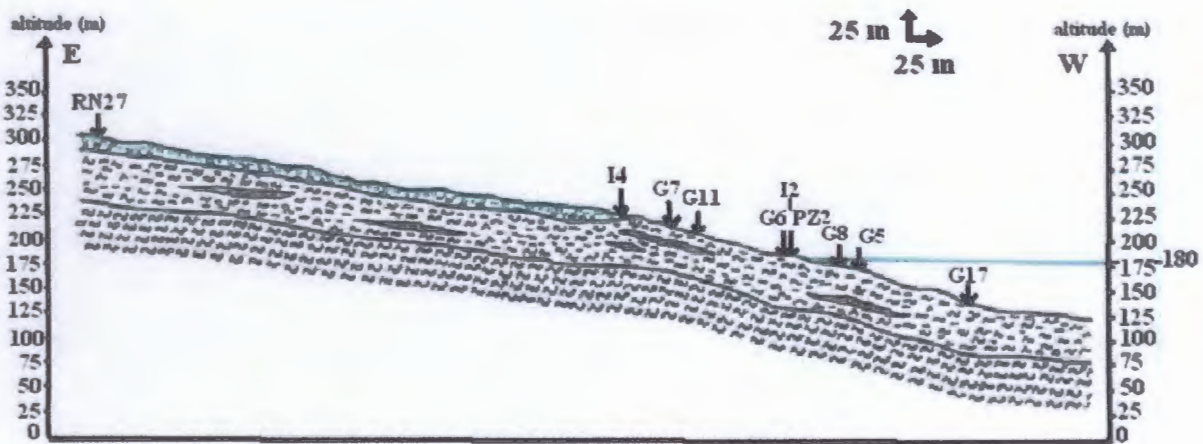


Figure.III.3 : Coupe lithologique 01 (H.Zebouchi, 2008).



Légende:

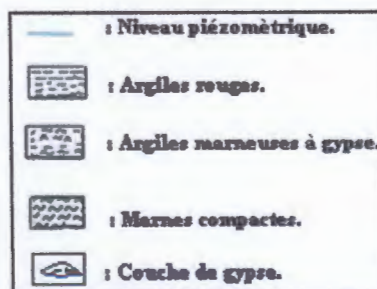


Figure.III.4 : Coupe lithologique 02 (H.Zebouchi, 2008).

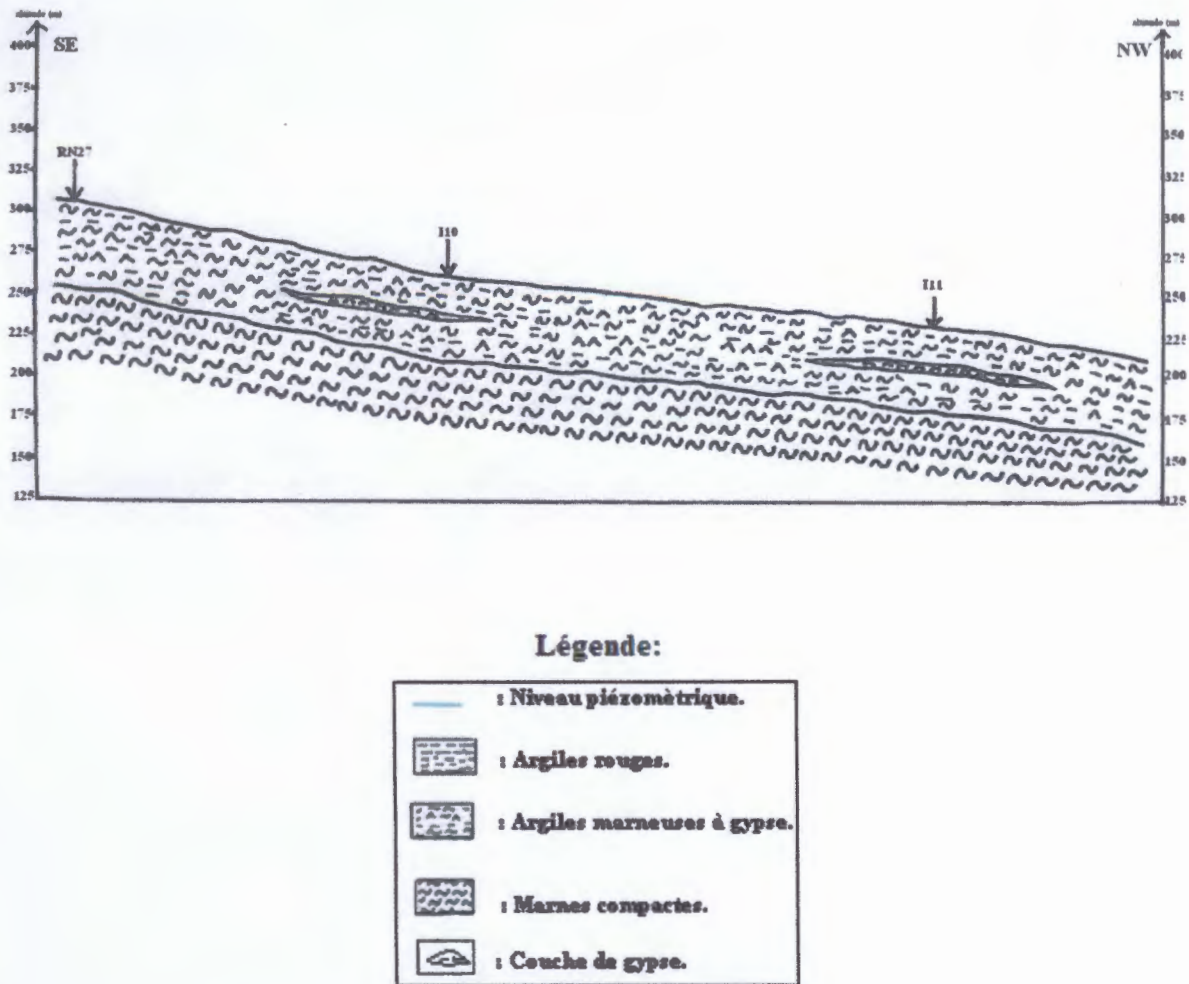


Figure.III.5 : Coupe lithologique 03 (H.Zebouchi, 2008).

B/ Essai inclinométrique :

L'essai inclinométrique consiste à placer un tube déformable dans un trou de forage de faible diamètre, une sonde de mesure est descendue à l'intérieur. Celle-ci fournit, à toute profondeur, l'inclinaison du tubage sur la verticale, et les mesures espacées dans le temps permettent de repérer le/ou les surfaces de glissement.

L'interprétation des relevés effectués permet d'analyser complètement les phénomènes en cours, en évaluant (A. Benaissa, 2003) :

- Le volume des terrains en mouvement.
- La vitesse du glissement.
- La direction du déplacement.

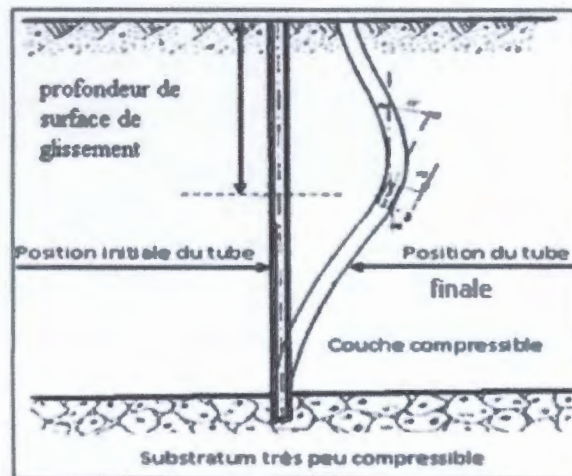


Figure.III.6 : Illustration d'un sondage inclinométrique.

11 inclinomètres ont été installés ; dans le versant Est du Barrage de Beni Haroun (EDF - CIH, 2002) :

- 03 inclinomètres ont été installés dans le premier axe du glissement à savoir I_1 , I_3 et I_5 placés selon un profil orienté EW, l'inclinomètre I_5 est placé au sommet de cet axe de glissement.
- 02 inclinomètres ont été installés dans le deuxième axe du glissement à savoir I_2 et I_4 , le premier a été installé dans la partie médiane de cette zone de glissement et le deuxième au sommet de celle-ci.
- 02 autres inclinomètres à savoir I_6 et I_8 sont implantés entre les deux grands axes de glissements précédents et placés sur l'alignement des sondages G_{14} , G_{15} et G_{16} .
- 03 autres inclinomètres ont été installés ultérieurement : I_9 a remplacé les inclinomètres I_2 et I_4 qui ont été cisailés en avril 2003 après un intense mouvement de terrain, I_{10} et I_{11} sont installés plus au sud dans le troisième axe de glissement

Les deux premiers inclinomètres seront abandonnés dès que la cote de la retenue maximale (200 NGA) dépassera leur cote d'implantation. Le deuxième inclinomètre I_2 a déjà été abandonné car la cote de la retenue actuelle (180 NGA) dépasse leur cote d'implantation, mais ceci permet de mieux définir les mouvements potentiels dans la période avant et pendant la mise en eau (EDF - CIH, 2002).

Les mesures inclinométriques ont été effectuées conformément à la norme NF P94 - 156, selon deux axes A et B orientés successivement Nord Ouest - Sud Est et Nord Est - Sud Ouest. La surveillance de déplacement de ces inclinomètres permet de distinguer plusieurs courbes de déformations inclinométriques, les courbes les plus représentatives sont données en annexes.

Interprétation des résultats :**1/Inclinomètre (I₂) implanté durant la période (16/12/02 à 26/04/03) :**

A partir des courbes de mesures de I₂ on distingue des déplacements discontinus liés à une succession de surfaces de glissement, parmi celles-ci on note une qui se localise à 12.50 m de profondeur avec un déplacement de 90 mm au sommet du tube selon l'axe A et 50 mm selon l'axe B et l'autre à 48 m de profondeur. Une surface supérieure relevée montre bien la présence d'un glissement superficiel des argiles rouges du Quaternaire sur les formations sous jacentes, ce qui engendre le cisaillement de cet inclinomètre à cette profondeur, par contre, en profondeur (à 48 m) le glissement affecte les marnes gypseuses, il s'agit donc d'un glissement profond.

2/Inclinomètre (I₃) implanté :**.Durant la période (16/12/02 à 12/07/03) :**

Selon les courbes de mesures de I₃ selon les deux axes de déplacement A et B on remarque une surface de glissement à 5 m de profondeur suivant l'axe A avec une déformation de tube assez importante et à 07 m de profondeur selon l'axe B. ainsi que deux déplacements profonds détectés à 30 et 38 m ce qui confirme la présence d'une série de glissements profonds emboîtés les uns dans les autres.

.Durant la Période 16/12/02 à 09/05/04 :

A partir des courbes de mesures selon les axes A et B on remarque bien l'existence de trois glissements :

-glissement superficiel à environ de 05 m de profondeur.

-glissements profonds à 28 et 34 m suivant l'axe A à 30 et 37.5 m suivant l'axe B.

3/inclinomètre (I₄) implanté durant la période (16/12/02 à 05/01/03):

D'après les courbes de mesures de (I₄) on peut déduire un glissement profond à 40 m de profondeur selon l'axe A et à 37 m selon l'axe B.

D'après le bureau d'étude français EDF cet inclinomètre a été cisailé à 8m de profondeur en avril 2003 ce qui confirme l'activité réelle d'un glissement superficiel une activité plus ou moins intense.

4/inclinomètre (I₅) implanté durant la période (23/06/03 à 12/07/03) :

Selon les courbes de I₅ on note deux déplacements de 05 mm et 10 mm respectivement suivant les Axes A et B. et un glissement profond survenu à 47 m de profondeur suivant les deux Axes.

5/inclinomètre (I₇) implanté durant la période (23/06/03 à 28/06/03) :

Un glissement superficiel est observé à 10 m de profondeur suivant l'axe B, ou un petit déplacement de 05 mm est marqué au sommet de tube inclinométrique durant 5 jours.

6/inclinomètre (I₉) implanté durant la période 25.04.04 à 09.05.04 :

Après le cisaillement de deux inclinomètres I₂ et I₄ en avril 2003 sous l'effet un glissement de terrain, ils sont remplacés par I₉, ces résultats montrent bien un déplacement de 0 à 10 m de profondeur avec une déformation de l'ordre de 03 mm suivant l'Axe A .

Le déplacement selon l'Axe B accroit de la base jusqu'au sommet avec des discontinuités marquées à 07 m, 21.50 m et 38.5 m de profondeur. Ce qui confirme la succession d'une série de glissements.

7/inclinomètres I₁₀ et I₁₁ implantés durant la période (04/04/04 à 09/05/04) :**- Inclinomètre I₁₀ :**

On remarque un déplacement continu et progressif suivant l'Axe A localisé entre 33 m jusqu'à 0 m de profondeur avec quelques discontinuités remarquables. Pour l'Axe B le mouvement est apparu à 21.5 m de profondeur, avec un déplacement de 06 m.

- Inclinomètre I₁₁ :

Cet inclinomètre est marqué par des déplacements qui augmentent de la base de tube inclinométrique jusqu'au sommet ou s'atteindre sa valeur maximale avec un déplacement égal à 08 mm selon l'axe A et 45 mm selon l'axe B, en notant aussi une petite discontinuité à 21.5 et 20 m de profondeur, selon successivement les axes A et B.

D'après les données inclinométriques obtenues au niveau du site étudié, deux types de glissements de terrain peuvent être distingués :

- **Glissements superficiels :** affectent principalement la tranche de terrain comprise entre 0 et 12.5 m, représentée essentiellement par des argiles rouges d'âge quaternaire et qui se manifestent par d'importantes coulées boueuses et loupes de glissements. Ces coulées et loupes de glissement sont observées généralement entre 5 à 12.5 m de profondeur.
- **Glissements profonds :** observés entre 21.5 à 48 m de profondeur et affectent des formations très sensibles surtout en présence d'eau représentées par les argiles marneuses à gypse.

Chapitre IV
Mouvements de
terrains et analyse
de stabilité

I/Introduction :

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

II/ Description des zones instables du versant Est du barrage de Beni Haroun :

II.1/ Historique des glissements de Sibari :

Le versant Est du barrage de Beni Haroun est marqué par une série de glissements de terrain, déclenchés suivant plusieurs axes principaux localisés le long des couloirs de grands accidents tectoniques orientés principalement Est Ouest. D'après les informations recueillies, l'instabilité de ce versant est antérieure au début des premiers travaux du barrage. Cependant, ces derniers peuvent jouer un rôle important dans l'aggravation du phénomène. Par ailleurs, les circulations et les infiltrations des eaux dans des formations sensibles et susceptibles d'avoir des problèmes d'instabilité et qui sont représentées essentiellement par les argiles rouges du Quaternaire et les argiles marneuses à gypse ont sûrement accentué le phénomène.

En effet, plusieurs indices d'instabilité sont visibles en surface au niveau du versant de Sibari, elles sont représentées principalement par importantes niches d'arrachements, des déplacements en masse, des basculements de constructions et d'importantes inclinaisons des arbres et des poteaux électriques.

II.2/ Description des glissements de Sibari :

Trois grands axes principaux de glissements marquent la localité de Sibari, ces glissements sont du Nord au Sud (EDF - CIH, 2003) :

- Le premier axe de glissement au Nord, où une importante niche d'arrachement est signalée au cours des travaux de décapage qui ont été réalisés en 2003 confirmant l'activité réelle de la partie superficielle de ce glissement.
- Le deuxième axe de glissement au Sud, où deux inclinomètres I_2 et I_4 ont été cisailés après une période des fortes pluies de l'hiver (2003), confirmant là aussi l'activité réelle de ce glissement.
- Le glissement de la partie supérieure du village de Sibari situé au Sud de deuxième axe de glissement confirmé par les nombreux indices visibles en surface et collectés lors de l'enquête sur les habitations, mais dont l'extension en profondeur n'est pas aujourd'hui connue avec précision, en raison du manque des données géotechniques au niveau de cette zone de glissement.

L'implantation de ces zones de glissement est illustrée sur la Figure.IV.1 présentée en annexes.

A/ Premier axe de glissement :

Ce glissement présente une largeur maximale de 250 à 300 m, il est particulièrement actif et montre une série de niches d'arrachement emboîtées les unes dans les autres dont la langue principale du glissement est centrée sur un talweg plus important qui reçoit en plus des eaux de pluies, les écoulements permanents des eaux de rejets provenant principalement de la moitié Nord du village de Sibari. En outre, certains arbres et poteaux électriques sont inclinés, ainsi que des fissures importantes sont visibles sur quelques maisons (EDF - CIH, 2002).

Ce glissement actif semble être contrôlé par la tectonique. En effet, il est localisé le long d'un couloir d'un grand accident tectonique orienté Est Ouest et il matérialise la zone de contact des dépôts néogènes avec leur substratum formé dans cette zone par les marnes et les calcaires à silex de l'Eocène. Sans oublier aussi le rôle néfaste de terrassement de différentes plates formes qui ont été réalisées sans précaution particulière pendant les travaux de réalisation du barrage (le mauvais compactage de remblais, le rejet d'eau... etc.) et l'existence des sources d'eau qui ont été signalées en amont de ce glissement (EDF - CIH, 2002).

Cette zone de glissement était active depuis long temps. Elle se manifestait par des coulées boueuses charriant des paquets de gypses et des arbres ce qui causait souvent le blocage de l'ancienne RN 27 (Photo IV.1).



Photo.IV.1 : Illustration des coulées boueuses observées au pied du versant.

B/ Deuxième axe de glissement :

Cet axe de glissement est situé au Sud du premier axe de glissement. Ce glissement qui s'est manifesté au pied du versant a affecté les anciennes installations et accès destinés à recevoir les installations de criblage et concassage réalisées par une entreprise chinoise, pendant les travaux de construction du barrage de Beni Haroun.

Ce glissement présente une largeur maximale comprise entre 100 et 200 m. Il montre une série de niches d'arrachement emboîtées les unes dans les autres dont la langue principale du

glissement est centrée sur un talweg important qui reçoit les écoulements des eaux usées provenant de la partie centrale du village de Sibari (EDF - CIH, 2002).

Au contrebas de la RN 27 et sur une superficie de 1500 m², un glissement spectaculaire avec plusieurs niches d'arrachement emboîtées, est déclenché en 2000 et a été réactivé en 2005 provoquant la ruine de quelques habitations (Photos.IV.2 et IV.3).

La partie inférieure de cet axe de glissement n'a connu de mouvement qu'en 2003, où deux inclinomètres (I₂ et I₄) ont été cisailés en hiver après une période de fortes pluies.

Le déclenchement de ce glissement est provoqué par l'action conjuguée d'un rechargement en tête par la mise en dépôt provisoire de stocks de TVO lors des travaux de réalisation de la RN 27 et de la diminution des caractéristiques mécaniques de la partie basse du versant par l'érosion de son pied sous l'effet de la retenue (EDF - CIH, 2002).

L'axe de ce glissement correspond également d'un grand accident tectonique de direction Est Ouest. Les mouvements de terrains le long de cet axe se manifestent par des coulées boueuses, des fissurations et basculement des constructions.



Photo.IV.2 : illustrant les niches d'arrachement observées au contrebas de la RN 27, au dessous de la base vie ANB. (H.Zebouchi 2007).



Photo.IV.3 : illustrant le basculement et la ruine de constructions situées au dessous de la RN 27. (H.Zebouchi 2007).

C/ Troisième axe (zone) de glissement :

Une Troisième zone de glissement très importante existe au Sud des bases de vie de l'ANB et de Dragados. Cette zone montre les mouvements de terrain les plus critiques du versant de Sibari. En effet, cette zone correspond à un nœud de trois grands accidents de direction N-S, E-W et NW-SE, qui affectent les différentes formations lithologiques (microconglomérats, grès, argiles marneuses à gypses et calcaires lacustres).

Les premiers mouvements de terrain dans cette zone ont débuté dans la partie inférieure du versant, où plusieurs maisons ont été déplacées et basculées en une seule nuit de décembre 1998 lors d'une période pluvieuse (EDF - CIH, 2003).

La partie supérieure du versant n'a connu de mouvement qu'à partir de 2003. Les travaux de stabilisation effectués au niveau de la RN 27 seraient à l'origine de l'aggravation de la

situation, car ils auraient contribué à la déstabilisation de la zone, en créant des surcharges supplémentaires sur les terrains qui ont glissés. Ce glissement a provoqué un effondrement d'une partie de la RN 27 (Photo.IV.4) et qui s'est accompagné par des bombements en aval avec enfoncement de près de 25 maisons et inclinaison de certains arbres et poteaux électriques. Ce mouvement de terrain paraît assez complexe (Photo.IV.5) (EDF - CIH, 2003).



Photo.IV.4 : illustrant l'effondrement de la RN 27 suite à un intense glissement de terrain déclenché en 2003 suivant l'axe de l'accident tectonique orienté E - W.



Photo.IV.5 : illustrant un basculement de constructions accompagné par inclinaison de certains arbres. (H.Zebouchi 2007).

II.3/ Causes directes du glissement étudié :

La combinaison de plusieurs facteurs est à l'origine du déclenchement des glissements de Sibari telle que :

- La nature lithologique du site (présence des formations argilo-marneuses).
- La présence avérée des failles (failles de directions : N-S, E-W et NW-SE).
- L'érosion du pied du talus par oued el Kébir et par la retenue de Beni Haroun.
- La perte de butée en pied de talus par glissement aval dans la pente entraînant un glissement amont.
- L'écoulement non contrôlé des eaux superficielles (eaux de pluie, fuite du réseau AEP, rupture de canalisation,... etc).
- La circulation des eaux le long des zones de broyage.
- Les travaux de stabilisation effectués au niveau de la RN 27 qui aggravent la situation, car ils ont contribué à déstabiliser un peu plus la zone, en créant des surcharges supplémentaires sur des terrains glissants.
- Travaux d'excavation au sein du village.

III/ Calcul de stabilité :

Le calcul de stabilité a pour but d'apprécier la marge de sécurité qui sépare l'état actuel du site de l'état d'équilibre. Il donne un grand intérêt, car il permet de repérer les causes qui jouent

un rôle décisif dans l'apparition du glissement et de définir les dispositifs de confortements nécessaires pour limiter le risque.

III.1/ Méthodes de calcul :

III.1.1 / Méthode des tranches de Fellenius :

C'est la méthode la plus simple pour l'analyse de stabilité des talus, considérons un talus constitué d'un certain nombre de couches de sols de caractéristiques différentes : c_i , φ_i et γ_i (Fig.IV.1) Fellenius suppose que la ligne de glissement est circulaire, on veut vérifier la stabilité de ce talus vis-à-vis du risque de glissement par le calcul de leur coefficient de sécurité.

La méthode consiste à découper le volume du sol concerné (compris dans l'arc EMF) en un certain nombre de tranches limitées par des plans verticaux. Le découpage des couches se fait de telle façon que l'intersection du cercle de glissement et d'une limite de couches (points G et H sur la Fig.IV.1) correspond à une limite entre deux tranches.

Nous prenons comme exemple, l'étude d'équilibre de la tranche ($ABCD$), les forces agissant sur cette tranche sont les suivantes :

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

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

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

Le coefficient de sécurité est donné par le rapport :

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

En considérant la somme des moments sur tout l'arc EF , on constate que la somme des moments des forces intertranches est nulle. Fellenius a fait une hypothèse qui simplifie considérablement les calculs, à savoir que la seule force agissant sur l'arc AB est le poids W , qui est décomposé en deux forces, l'une normale à AB (N_n) et l'autre tangentielle (T_n).

L'expression du coefficient de sécurité F_s sera :

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

avec : m : nombre total de tranches,

c_i et φ_i : caractéristiques mécaniques de la couche dans laquelle est situé AB.
 Avec les notations définies sur la Fig.V.2.b, la formule (3) peut

$$s'écire : F_s = \frac{\sum_{n=1}^{n=m} \left(c_i \frac{b}{\cos \alpha} + W \cos \alpha \tan \varphi_i \right)}{\sum_{n=1}^{n=m} W \sin \alpha}$$

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

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

Avec : $u = Z_w \cdot \gamma_w$ u : pression interstitielle,
 Z_w : hauteur d'eau,
 γ_w : poids volumique d'eau.

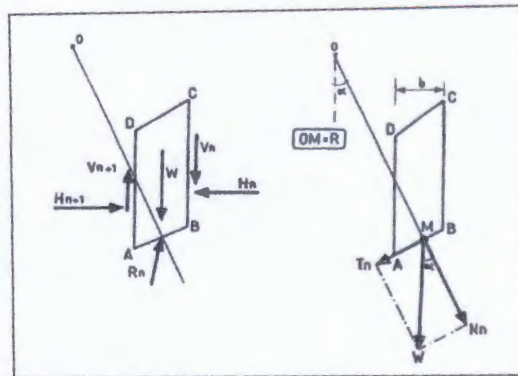
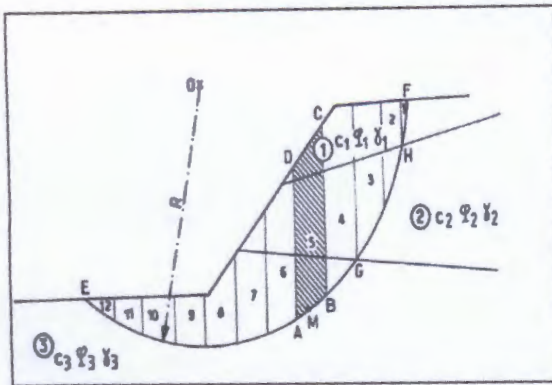


Fig.IV.1 : Découpage en tranches d'un talus. a) Décomposition complète b) Hypothèse de Fellenius (B. Hubert et al, 2003).

Fig.IV.2 : Forces agissant sur la tranche n. (B. Hubert et al 2003)

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

III.2/Calcul manuel :

Le calcul de la stabilité a été effectué là où le glissement s'est produit par la méthode de Fellenius. Dans ce calcul, nous avons proposé deux niveaux de la nappe, le premier niveau correspond au niveau actuel du barrage de Beni Haroun (180NGA) et le deuxième correspond au niveau maximum du barrage (200NGA). Pour des raisons de disponibilité de données géotechniques, notre étude a principalement portée sur le deuxième axe de glissement.

Pour simplifier le calcul, nous avons supposé que le versant instable est constitué principalement de trois couches homogènes représentées par :

- **Les argiles rouges** : elles se trouvent en surface, avec une épaisseur varie de 0 à 12.50 m.
- **Les argiles marneuses à gypse** : situées sous les argiles rouges avec une épaisseur moyenne de 30 à 50 m.
- **Les marnes compactes** : situées sous les formations précédentes, on les trouve généralement à des profondeurs très importantes (au-delà de 50 m).

Les résultats obtenus par le calcul manuel sont présentés comme suit :

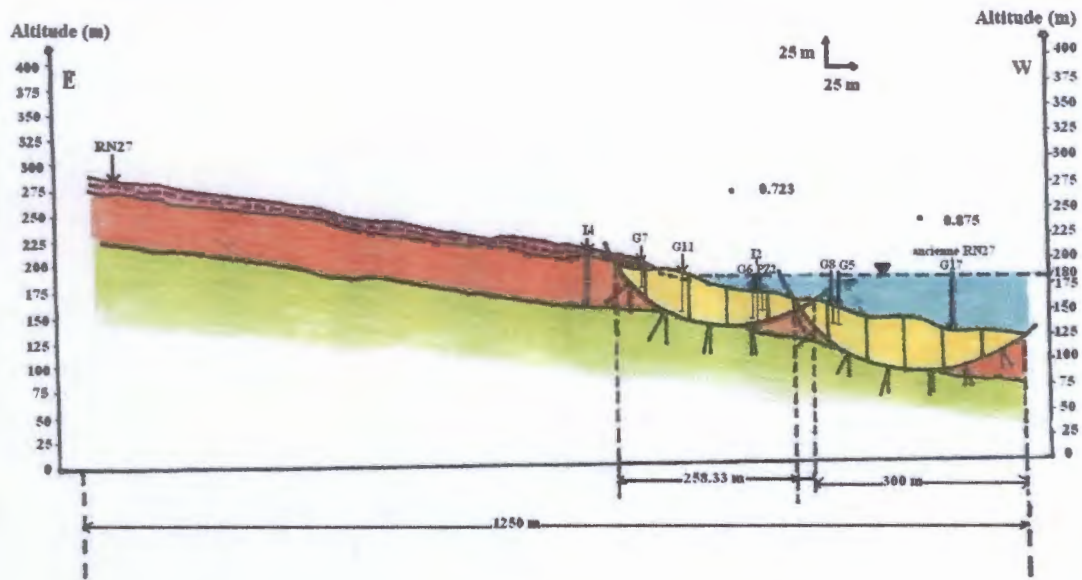


Fig.IV.3 : Cercle critique obtenu selon le profil choisi (niveau actuel de la retenue).

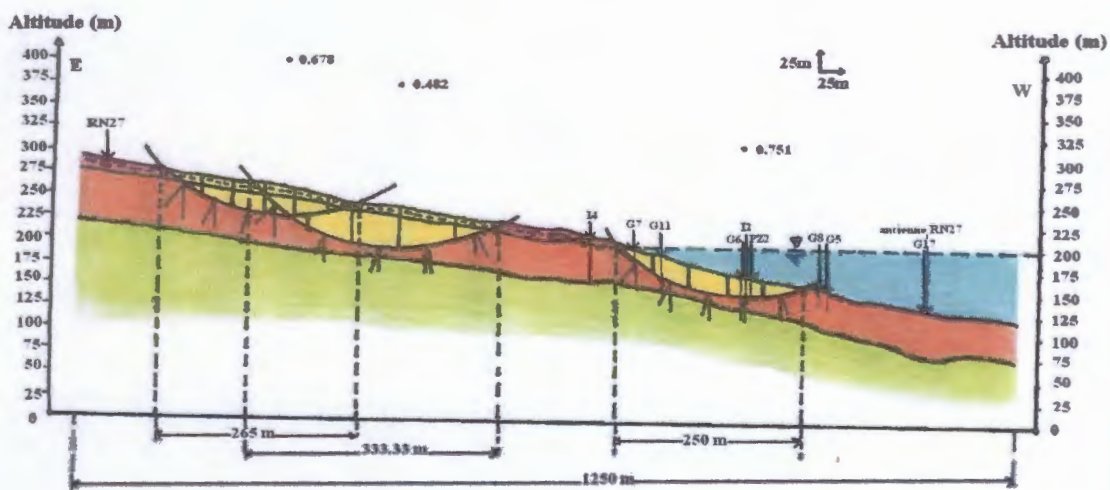


Fig.IV.4 : Cercle critique obtenu selon le profil choisi (niveau max de la retenue).

Profil étudié (niveau max de la retenue):

Cercle n° 01 (Cercle de talus) :

Les coordonnées relatives du ce cercle sont :

$$\left\{ \begin{array}{l} X_1 = 416\text{m.} \\ Y_1 = 307.5\text{m.} \\ R_1 = 176.25\text{m.} \\ L_1 = 265\text{m.} \\ b_1 = 44.16\text{m.} \end{array} \right.$$

Tranche n°	W (t)	α (°)	$\sin \alpha$	$T = W \cdot \sin \alpha$	$\cos \alpha$	$N = W \cdot \cos \alpha$	$li = b / \cos \alpha$	U (t/m ²)	$U \cdot b / \cos \alpha$	$W \cdot \cos \alpha - U \cdot b / \cos \alpha$	C_i (t/m ²)	Φ_i (°)
01	1269.27	-35.5	-0.58	-736.17	0.814	1033.18	54.25	10.50	0569.63	0463.55	1	2
02	3356.39	-25.0	-0.422	-1416.39	0.906	3040.88	48.74	30	1462.25	1578.63	1	2
03	4168.09	-10.0	-0.173	-213.77	0.984	4101.40	44.87	36	1615.60	2485.8	1	2
04	4111.07	02.0	0.034	139.77	0.999	4106.95	44.20	35	1547.14	2559.81	1	2
05	3290.75	15.0	0.258	849.01	0.965	3175.57	45.76	31	1418.61	1756.96	1	2
06	1210.87	21.0	0.358	433.49	0.933	1129.74	47.33	15	0709.96	0419.78	1	2
				$\sum T = -944.06$								

$$F_s = \frac{\sum_{n=1}^{n=6} \left[c_i \frac{b}{\cos \alpha} + \left(W \cos \alpha - \frac{u \cdot b}{\cos \alpha} \right) \tan \varphi_i \right]}{\sum_{n=1}^{n=6} W \sin \alpha}$$

$F_s = 0.678$

Profil étudié (niveau max de la retenue):
Cercle n° 02 (Cercle de talus) :

Les coordonnées relatives du ce cercle sont :

$$\left\{ \begin{array}{l} X_2 = 3433.33\text{m.} \\ Y_2 = 381.25\text{m.} \\ R_2 = 181.25\text{m.} \\ L_2 = 333.33\text{m.} \\ b_2 = 66.66\text{m.} \end{array} \right.$$

Tranche n°	W (t)	α (°)	$\sin \alpha$	$T = W \cdot \sin \alpha$	$\cos \alpha$	$N = W \cdot \cos \alpha$	$li = b / \cos \alpha$	U (t/m ²)	U.b/cos α	$W \cdot \cos \alpha - U \cdot b / \cos \alpha$	Ci (t/m ²)	Φ_i (°)
01	3729.37	-34	-0.559	-2084.71	0.829	3091.64	80.41	20.00	1608.20	1483.44	1	2
02	8866.87	-25	-0.422	-3741.81	0.906	8033.88	73.57	45.00	3310.92	4722.96	1	2
03	9429.37	05	0.087	820.35	0.996	9391.65	66.92	50.00	3346.38	6045.27	1	2
04	7554.37	10	0.173	1306.90	0.984	7433.50	67.74	40.00	2709.75	4723.75	1	2
05	2960.62	26.5	0.446	1320.43	0.894	2646.79	74.56	10.00	0745.63	1901.16	1	2
				$\sum T = -$ 2378.84								

$$F_s = \frac{\sum_{n=1}^{n=6} \left[c_i \frac{b}{\cos \alpha} + \left(W \cos \alpha - \frac{u \cdot b}{\cos \alpha} \right) \tan \phi_i \right]}{\sum_{n=1}^{n=6} W \sin \alpha}$$

$F_s = 0.482$

Profil étudié (niveau max de la retenue):
Cercle n° 03 (Cercle de talus) :

Les coordonnées relatives du centre de ce cercle sont :

$$\begin{cases} X_2 = 916.66\text{m.} \\ Y_2 = 312.5\text{m.} \\ R_2 = 168.75\text{m.} \\ L_2 = 250\text{m.} \\ b_2 = 50\text{m.} \end{cases}$$

Tranche n°	W (t)	α (°)	$\sin \alpha$	$T = W \cdot \sin \alpha$	$\cos \alpha$	$N = W \cdot \cos \alpha$	$li = b / \cos \alpha$	U (t/m ²)	U.b/cos α	W.cos α - U.b/cos α	Ci (t/m ²)	Φ_i (°)
01	1942.95	-40	-0.642	-1247.37	0.766	1488.29	65.27	50.00	3263.7	-1775.41	5.6	9.6
02	1996.66	-24	-0.406	-810.64	0.913	1795.56	55.92	35.00	1916.75	-121.19	5.6	9.6
03	2080.07	-11	-0.190	-395.21	0.981	2040.54	51.54	49.00	2497.45	-456.91	5.6	9.6
04	1580.69	02	0.034	53.74	0.999	1579.10	50.05	52.50	2627.62	-1052.74	5.6	9.6
05	710	24	0.406	288.26	0.913	648.23	50.40	47.5	2601.31	-1953.08	5.6	9.6
				$\Sigma T = -2111.2$								

$$F_s = \frac{\sum_{n=1}^{n=6} \left[c_i \frac{b}{\cos \alpha} + \left(W \cos \alpha - \frac{u \cdot b}{\cos \alpha} \right) \tan \varphi_i \right]}{\sum_{n=1}^{n=6} W \sin \alpha}$$

$F_s = 0.751$

Profil étudié (niveau actuel de la retenue) :
Cercle n° 04 (Cercle de talus) :

Les coordonnées relatives du ce cercle sont :

$$\left\{ \begin{array}{l} X_2 = 900\text{m.} \\ Y_2 = 281.25\text{m.} \\ R_2 = 131.25\text{m.} \\ L_2 = 258.33\text{m.} \\ b_2 = 51.66\text{m.} \end{array} \right.$$

Tranche n°	W (t)	α (°)	$\sin \alpha$	T = W.sin α	$\cos \alpha$	N = W.cos α	li = b/cos α	U (t/m ²)	U.b/cos α	W.cos α - U.b/cos α	Ci (t/m ²)	Φ_i (°)
01	1964.28	-46	-0.719	-1412.31	0.694	1363.21	74.43	12.50	0930.47	0432.73	5.6	9.6
02	5084.89	-29	-0.484	-2461.08	0.874	4444.19	59.10	34.37	2031.52	2412.66	5.6	9.6
03	2305.01	-09	-0.156	-359.58	0.987	2275.04	52.34	50.00	2617.02	-341.97	8.0	2.0
04	1728.67	06.5	0.113	195.33	0.993	1716.56	52.02	50.00	2601.20	-884.63	8.0	2.0
05	672.23	26.5	0.446	299.81	0.894	600.97	57.78	40.62	2347.23	-1746.26	8.0	2.0
				$\Sigma T = -3737.8$								

$$F_s = \frac{\sum_{n=1}^{n=6} \left[c_i \frac{b}{\cos \alpha} + \left(W \cos \alpha - \frac{u \cdot b}{\cos \alpha} \right) \tan \varphi_i \right]}{\sum_{n=1}^{n=6} W \sin \alpha}$$

F_s = 0.723

Profil étudié (niveau actuel de la retenue):

Cercle n° 05 (Cercle de pied de talus) :

Les coordonnées relatives du ce cercle sont :

$$\left\{ \begin{array}{l} X_2 = 1141.66\text{m.} \\ Y_2 = 243.75\text{m.} \\ R_2 = 143.75\text{m.} \\ L_2 = 300\text{m.} \\ b_2 = 50\text{m.} \end{array} \right.$$

Tranche n°	W (t)	α (°)	$\sin \alpha$	$T = W \cdot \sin \alpha$	$\cos \alpha$	$N = W \cdot \cos \alpha$	$li = b/\cos \alpha$	U (t/m ²)	U.b/cos α	$W \cdot \cos \alpha - U \cdot b/\cos \alpha$	Ci (t/m ²)	Φ_i (°)
01	929.68	-46	-0.719	-668.43	0.694	645.19	72.04	31.25	2251.44	-1606.24	3.2	2.5
02	2231.25	-27	-0.453	-1010.75	0.891	1988.04	56.11	62.50	3507.29	-1519.25	3.2	2.5
03	2789.06	-12	-0.207	-577.33	0.978	2727.70	51.12	75.00	3834.35	-1106.6	3.2	2.5
04	2696.08	02	0.034	91.66	0.999	2693.38	50.05	82.50	4129.12	-1435.74	3.2	2.5
05	1952.34	17.5	0.300	585.02	0.953	1860.58	52.46	75.00	3934.94	-2074.36	3.2	2.5
06	0743.75	34	0.559	415.75	0.829	616.56	60.31	43.75	2638.72	-2022.15	3.2	2.5

$$\sum T = -1164.08$$

$$F_s = \frac{\sum_{n=1}^{n=6} \left[c_i \frac{b}{\cos \alpha} + \left(W \cos \alpha - \frac{u \cdot b}{\cos \alpha} \right) \tan \phi_i \right]}{\sum_{n=1}^{n=6} W \sin \alpha}$$

$$F_s = 0.875$$

Interprétation des résultats :

Le calcul de la stabilité par le logiciel *Geo-Slope* donne un très grand nombre de coefficient de sécurité, leurs valeurs minimales trouvées correspondant aux cercles critiques ont été données comme suit :

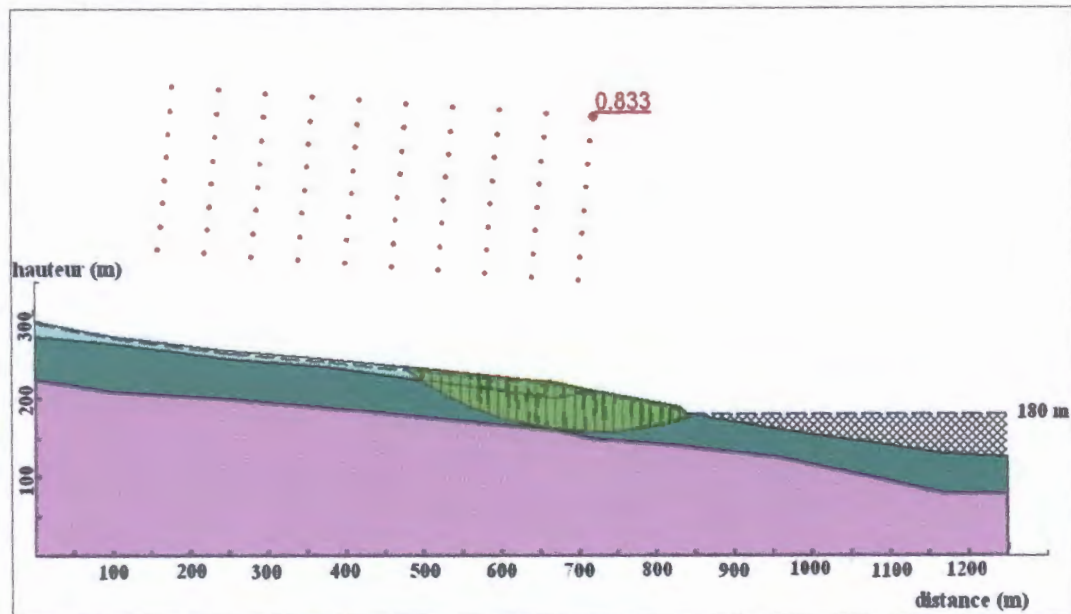


Fig.IV.5 : Cercle critique obtenu selon le profil choisi (niveau actuel de la retenue).

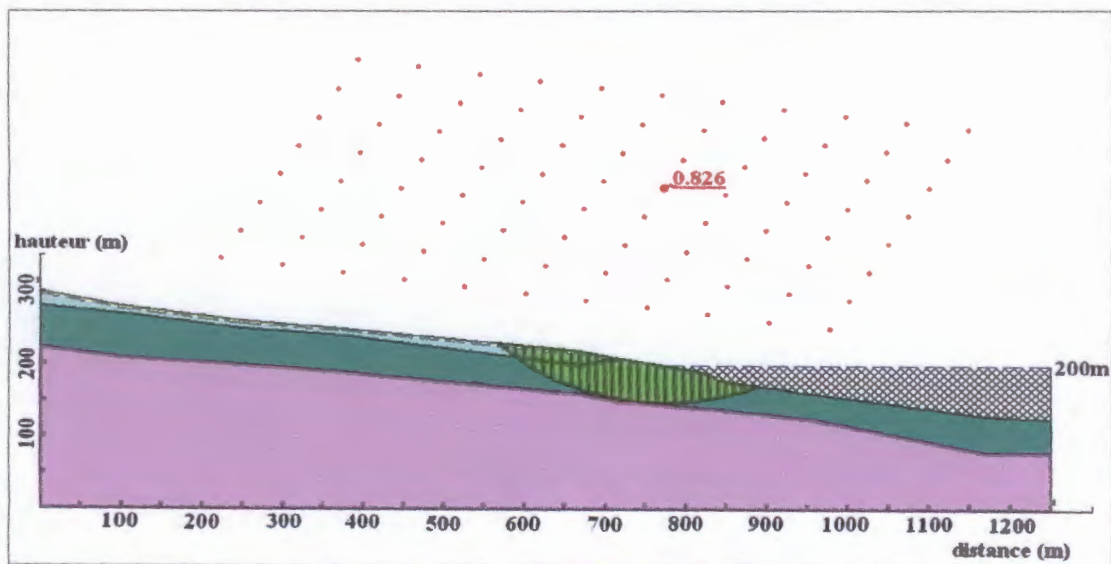


Fig.IV.6 : Cercle critique obtenu selon le profil choisi (niveau max de la retenue).

L'observation de ces cercles permet d'en déduire que les glissements de Sibari affectent principalement les formations d'argiles marneuses à gypse avec des profondeurs très importantes et très variables qui peuvent être données comme suit : 60 m (niveau actuel de la retenue) et 66 m (niveau max de la retenue).

Tableaux des résultats de Fs voir Annexes.

Les profondeurs de glissements obtenues par le logiciel selon le profil étudié sont très proches à celles obtenues par les inclinomètres, ces profondeurs doivent être mises en considération lors de l'exécution de tous système de confortation afin d'assurer leur efficacité.

IV/ Confortement et remèdes spéciaux :

Des études ont été menées en 2002 visant à déterminer les meilleures techniques à adopter et économiquement acceptables pour permettre la stabilisation du talus. Ces travaux comportent les techniques suivantes :

- **Le reprofilage** : Un reprofilage par décapage des zones de glissements a été effectué dans le versant étudié pour diminuer la pente et pour enlever les zones instables en tête de glissement (EDF - CIH, 2002).

- **Le drainage des eaux superficielles** : un système de drainage constitué de quatre tranchées drainantes a été réalisé dans le versant de Sibari dans le but de drainer les eaux superficielles qui s'écoulent sur le versant.

- Décapage superficiel le long de l'axe de la tranchée drainante au niveau des talwegs existants.

- Mise en place d'un géotextile mince de 03 mètres de largeur.
- Pose sur la couche sableuse de 10 cm d'un drain souple de type Bonhomme en diamètre 200 mm et avec cannelures.
- Mise en place d'une couche sableuse d'épaisseur totale de 50 cm.
- L'ensemble sera recouvert d'une grave-sableuse jusqu'au terrain naturel.

Ce système de drainage est complété par des caniveaux types bétons préfabriqués de forme trapézoïdale, présentant une profondeur de 30 cm, une largeur en crête de 90 cm et une largeur en base de 40 cm. Et des buses de 600 mm de diamètre ont été aussi installées permettant le passage de l'eau collectée sous les pistes.

- **La surcharge du pied** : cette technique a été effectuée dans les deux zones de glissements, pour la troisième zone de glissement et malgré qu'elle présente le glissement le plus dangereux dans le versant, aucun travail confortatif n'a été réalisé en l'absence de l'étude géotechnique dans cette zone.

Il apparaît que les travaux de confortement effectués par EDF ne semblent pas cerner la totalité du versant de Sibari. Ils recouvrent principalement la partie inférieure du versant. En effet, ils apparaissent efficaces pour stabiliser le bas du talus et non sa partie supérieure. Dans ces conditions, des travaux de confortement supplémentaires seront nécessaires pour garantir la stabilité de la totalité du versant. Pour cela, nous recommandons les techniques suivantes :

- Collecte et canalisation des eaux de surface.
- Drainage des eaux souterraines (tranchées drainantes, drains subhorizontaux, masques et éperons drainants et drains verticaux)
- Le reboisement.

Les techniques de protection précédemment décrites sont capables de stabiliser les deux premiers axes de glissement, Tandis que, pour la troisième zone de glissement qui constitue le glissement le plus critique à signaler dans le versant de Sibari, il n'existe aucune technique de protection capable de stabiliser cette zone seuls les travaux de reboisement et de drainage des eaux par création des rigoles peuvent diminuer leur risque.

Conclusion

CONCLUSION :

Le bassin de Mila dont fait partie le secteur étudié, constitue la partie occidentale de la dépression Miocène de Constantine. Les données géologiques montrent que les formations néogènes de ce secteur sont représentées par des microconglomérats et des grès beiges surmontés par des argiles marneuses à gypse, des conglomérats et des calcaires lacustres. Ces formations sont recouvertes par des argiles rouges d'âge Quaternaire.

D'après les caractéristiques géologiques et géotechniques du versant Est du barrage de Beni Haroun et d'après le calcul de stabilité du ce versant deux types de glissements de terrains peuvent être distingués :

- **Glissements superficiels** : affectent les formations d'argiles rouges quaternaires et se manifestent par d'importantes coulées boueuses et loupes de glissements, leur profondeur est variée entre 5 et 12.5 m de profondeur. Le déclenchement de ces glissement est lié principalement aux eaux d'infiltration car ces dernières saturant rapidement les terrains de couverture argileuse et lubrifient la surface de contact entre cette couverture et les formations sous jacentes, représentées par les argiles marneuses plus imperméables et souvent encroûtées, ce qui favorise l'apparition des surfaces de glissement.

- **Glissements profonds** : d'après les données inclinométriques ces glissements sont observés entre 21.5 à 48 m de profondeur, ils affectent principalement des formations très sensibles en présence d'eau représentées par les argiles marneuses à gypse

Généralement, le versant Est du barrage de Beni Haroun est marqué par une série de glissements circulaires emboîtés les un dans les autres et déclenchés suivant plusieurs axes principaux. La répartition spatiale de ces mouvements laisse apparaître une étroite liaison avec les nœuds et les couloirs des grands accidents tectoniques orientés principalement E – W. La circulation des eaux le long de ces couloirs tectoniques fragilise les formations néogènes et provoque la dissolution des roches solubles (carbonates, gypse et sel) cette dernière s'accompagne également par un intense soutirage de matière 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 et gypsifères, ce qui conduit à des effondrements et/ou affaissements en profondeur, accompagnés en surface par des déplacements en masse.

La proposition de solutions pour remédier à ces mouvements doit impérativement prendre en considération ces facteurs.

Résumé

Résumé :

Le versant Est du barrage de Beni Haroun montre plusieurs zones instables engendrées par d'importants mouvements de terrains. La combinaison de plusieurs facteurs est à l'origine du déclenchement de ces mouvements telle que : la nature lithologique, la topographie, la pluviométrie et l'activité anthropique (excavation au sein du village, terrassements routiers, terrassements liés au confortement du barrage au pied du versant et surcharge des constructions et des remblais).

Ces mouvements de terrains ont causé de graves préjudices à l'infrastructure routière (RN 27) et aux constructions de la localité de Sibari sur la rive droite du barrage de Beni Haroun. Ils présentent également un grand problème d'envasement du barrage.

La caractérisation géologique et géotechnique des zones instables du versant Est du barrage de Beni Haroun permet de distinguer deux types de mouvements :

- Des mouvements superficiels, liés aux facteurs lithologiques, pluviométriques et topographiques. Ce type de mouvement est caractérisé par des glissements superficiels d'une dizaine de mètres de profondeur et des coulées boueuses.
- Des mouvements de grande ampleur, localisés le long des grands accidents tectoniques. Ces mouvements semblent être en liaison directe avec la circulation des eaux le long des zones de broyage. En effet, les phénomènes de dissolution causés par les infiltrations des eaux dans ces zones de broyages s'accompagnent par une fragilisation de la base des formations superficielles, chose qui se traduit par des effondrements et des tassements en profondeur accompagnés en surface par des déplacements en masse.

Le bon diagnostic de ces mouvements permet l'adoption de solutions mieux appropriées.

Mots clés : *versant de Sibari, Barrage de Beni Haroun, zones instables, mouvements de terrains, confortement, glissements, coulées boueuses, accidents tectoniques.*

خلاصة

خلاصة

خلاصة :

يبين الجانب الشرقي من سد بني هارون العديد من المناطق المضطربة الناتجة عن الانهيارات الارضية الكبيرة. مزيج من العوامل هي التي تسبب ظهور هذه الحركات ، مثل : علم الصخور ، والطوبوغرافيا وطول الأمطار والنشاط البشري (الحفر داخل التربة ، وأعمال الحفر على الطرق ، أعمال الحفر المرتبطة بتميز السد عند سفح المنحدر الرائد والمباني والجسور).

وتسببت هذه الانهيارات الارضية بأضرار واسعة النطاق على البنية التحتية للطرق (أر 27) والمباني في بلدة سبياري على الضفة اليمنى للسد بني هارون. وهي تطرح أيضا مشكلة كبرى من ترسب الطمي من السد.

ويمكن للصفة الجيولوجية والجيوتقنية للمناطق غير مستقرة من الجانب الشرقي من سد بني هارون التمييز بين نوعين من الحركات :

-- الحركات السطحية ، والعوامل المتصلة علم الصخور وطول الأمطار والطوبوغرافيا. ويتميز هذا النوع من الحركة بانزلاقات سطحية من صق عشرة أمتار ، والتفتقات الطينية.

-- حركات واسعة النطاق ، منحصرة على طول المناطق التي عرفت حركات تكيفية كبيرة. هذه الحركات على ما يبدو في اتصال مباشر مع حركة المياه على طول المنطقة طحن. والواقع أن ظاهرة انحلال الناجمة عن تسرب المياه في هذه المناطق طحين برافقه ضعف أساس السطح ، الأمر الذي يؤدي إلى الانهيار وصق برافقه جيوط سطح السفر الشامل. التفويض الصحيح من هذه الحركات يسمح باعتماد حلول أكثر ملائمة.

كلمات البحث : سبياري، مستجمعات المياه ، سد بني هارون ، والمناطق غير المستقرة ، والحركات الارضية ، وتميز وانهيارات الارضية والتفتقات الطينية ، الحركات التكوينية.

Abstract

Abstract:

The east side of Beni Haroun Dam shows several areas of instability caused by extensive landslides. The combination of factors is causing the onset of these movements such as: lithology, topography, rainfall and human activity (excavation within the village, road earthworks, earthworks associated with reinforcement of the dam at the foot Slope overload and buildings and embankments).

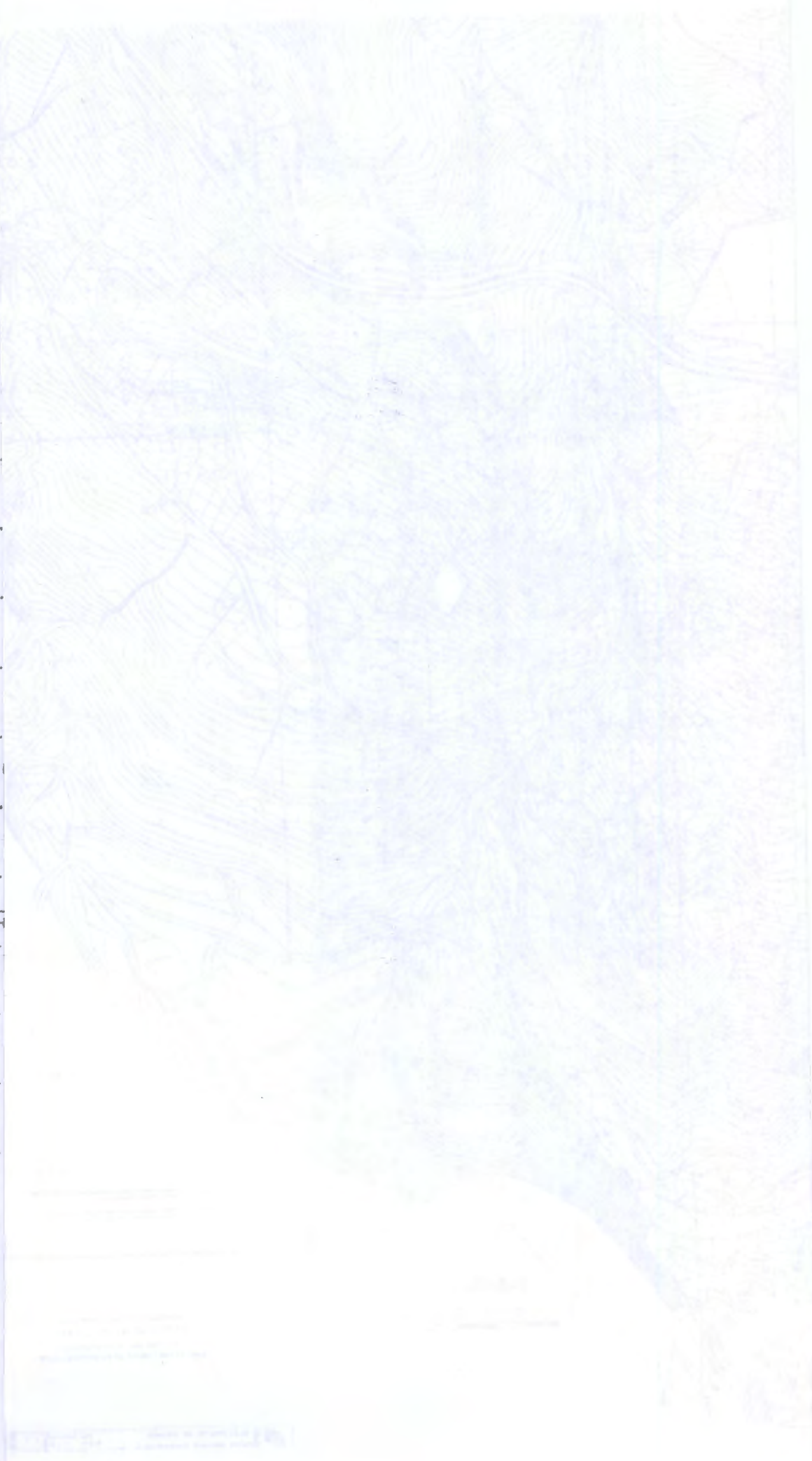
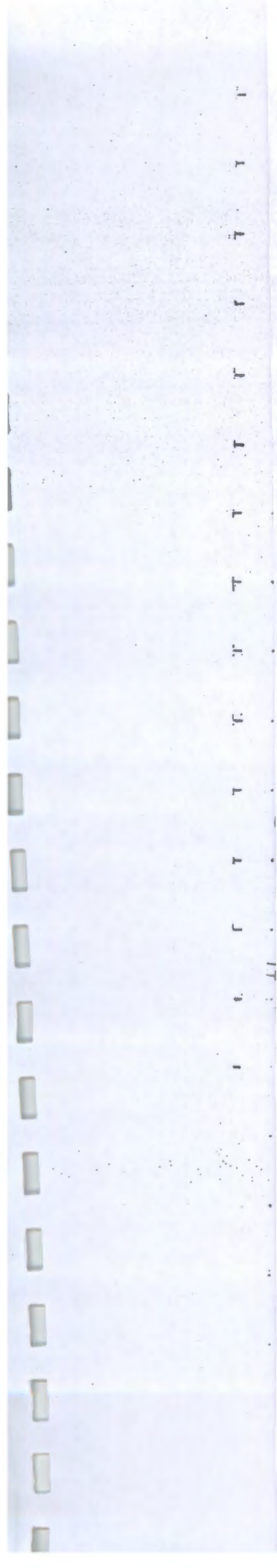
These landslides have caused extensive damage to road infrastructure (RN 27) and buildings of the town of Sibari on the right bank of the Beni Haroun dam. They also present a major problem of siltation of the dam.

The geological and geotechnical characterization of unstable areas of the east side of the Beni Haroun dam can distinguish two types of movements:

- The surface movements, factors related to lithology, rainfall and topography. This type of movement is characterized by shallow landsliding than ten meters deep and mud flows.
- The movement of large-scale, localized along major tectonic features. These movements appear to be directly connected with the movement of water along the grinding zone. Indeed, the dissolution phenomena caused by seepage of water in these areas grindings accompanied by a weakening of the basis of surface, something that results in collapse and subsidence depth accompanied by surface travel mass.

Proper diagnosis of these movements allows the introduction of more appropriate solutions.

Keywords: Watershed Sibari, Beni Haroun Dam, unstable areas, landslides, confortement, landslides, mudflows, tectonic.



Faint, illegible text or markings located at the bottom of the page, possibly a footer or a stamp.

***Références
bibliographiques***

Références bibliographiques :

- Aoun, M., (2002). *Problèmes géologiques et géotechniques dans le bassin de Mila : leur impact sur les ouvrages d'art*. Mémoire magister. Université. Tébessa, 156 p.
- Benaïssa, A., (2003). *Glissement de terrain, calcul de stabilité*. Ed. O.P.U. (Alger), 95 p.
- Benokba, M., (2000). *Etude de stabilité du versant : viaduc d'accès Oued Dib*. Mémoire. Ingéniorat. Université. Jijel, 145 p.
- Bouazi, R., et Khelifi, S., (2005). *Contribution à l'étude géologique et géotechnique des mouvements de terrain du versant Est du barrage de Beni Haroun (Mila)*. Mémoire. Ingéniorat. Université. Jijel, 63 p.
- Bouftouha, Y., (1989). *Etude des skarns et des indices métallifères de l'auréole métamorphique du massif granitique des Beni Toufout (Kabylie de Collo)*. Mémoire magister Université. Constantine, 189 p.
- Bouillin, J.P., (1977). *Géologie alpine de la petite Kabylie dans la région de Collo et d'El Milia (Algérie)*. Thèse doctorat. Université. Pierre et Marie Curie, 511 p.
- C.G.S. *Aléa sismique en Algérie et microzonage, cas de l'Algérie*.
- Coiffait, P.E., (1992). *Un bassin post-nappe dans son cadre structural l'exemple du bassin de Constantine (Algérie orientale)*. Thèse ès Sciences, Université H. Poincaré, Nancy I, France, 502 p.
- Cordary, D., (1994). *Mécanique des sols*. Ed. Lavoisier Tec et Doc. Paris, 380 p.
- Costet, J., et Sanglerat, G., (1981). *Cours pratique de mécanique des sols Tome 1 - Plasticité et calcul des tassements*. Ed. Dunod. Paris. 285 p.
- Costet, J., et Sanglerat, G., (1983). *Cours pratique de mécanique des sols Tome 2 - Calcul des ouvrages*. Ed. Dunod. Paris. 447 p.
- Desvarreux, P., (1987). *Conférences sur les glissements de terrain*. Document. LTPE. Université. Constantine, 53 p.
- Durand Delga, M., (1955). *Etude géologique de l'Ouest de la chaîne Numidique*. Thèse. Sc. Paris. Bull. Serv. Carte géol. Algérie. 24, 533 p.
- 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.

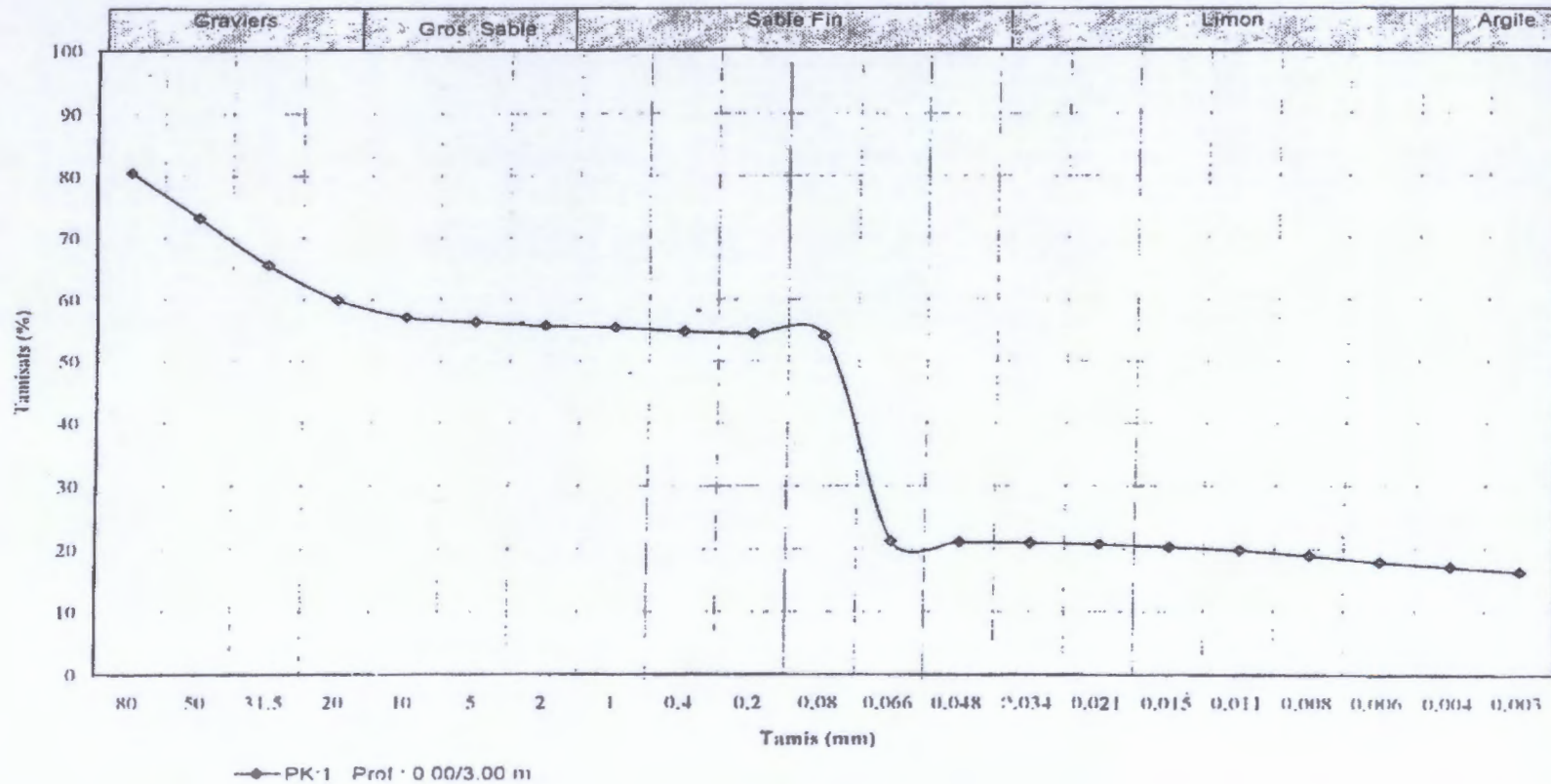
- Eden, W.J., (1973). *Glissement de terrains argileux*. Article CBD-143-F, 01 p.
- EDF - CIH., (2002). *Analyse de stabilité de la rive droite de la retenue de Beni Haroun à l'aval du village de Sibari*. Rapport ANB inédit, 16 p.
- EDF - CIH., (2002). *Barrage de Beni Haroun - Etude du glissement de Sibari - Définition des travaux de protection du pied du versant instable de Sibari*. Rapport ANB inédit, 25 p.
- EDF - CIH., (2002). *Barrage de Beni Haroun - Glissement de Sibari - travaux de protection préliminaires*. Rapport ANB inédit, 25 p.
- EDF - CIH., (2002). *Expertise et étude du glissement de Sibari - Rapport partiel n° 02 : Reconnaissances - Spécifications techniques (Révision 1)*. Rapport ANB inédit, 45 p.
- EDF - CIH., (2003). *Barrage de Beni Haroun - Glissement de Sibari - Expertise - Analyse de stabilité de la rive droite de la retenue à l'aval du village*. Rapport ANB inédit, 39 p.
- EDF - CIH., (2003). *Barrage de Beni Haroun - Glissement de Sibari - Expertise*. Rapport ANB inédit, 13 p.
- EDF - TEGG., (2003). *Barrage de Beni Haroun - Glissement de Sibari - Coupes interprétatives et surfaces potentielles de glissement*. Rapport ANB inédit, 10 p.
- EDF - TEGG., (2003). *Barrage de Beni Haroun - Glissement de Sibari - Synthèse des reconnaissances (ANNEXES)*. Rapport ANB inédit, 51 p.
- EDF - CIH., (2004). *Expertise et étude du glissement de Sibari - Rapport partiel n° 12 : Expertise des désordres constatés suite à la crue du 04.01.2004*. Rapport ANB inédit, 09 p.
- EDF - CIH., (2004). *Expertise et étude du glissement de Sibari - Rapport partiel n° 14 : Compte rendu de la mission effectuée du 03 au 05.10.2004*. Rapport ANB inédit, 31 p.
- Habib, P., (1997). *Génie Géotechnique - Applications de la mécanique des sols et des roches*. Ed. Ellipses AUPELF/UREF. Paris, 222 p.
- Hubert, B., et Philipponnat, G., (2003). *Fondations et ouvrages en terre*. Ed. Eyrolles. Paris, 548 p.
- Mebarki, A., (1982). *Le bassin de Kébir-Rhumel - Hydrologie de surface et aménagement des ressources en eau*. Thèse doctorat. 3^{ème} cycle, Université. Nancy II, 304 p.
- Philipponnat, G., (1979). *Fondations et ouvrages en terre*. Ed. Eyrolles. Paris, 402 p.

- Réménieras, G., (1980). *L'hydrologie de l'ingénieur*. Ed. Eyrolles. Paris, 456 p.
- TEDH, (2001). *Barrage de Beni Haroun : Etude du confortement du glissement de Sibari*. Note technique inédite n° 57, 07 p.
- Tisot, J.P., (1983). *Les essais de laboratoire en mécanique des sols*. Ecole nationale supérieure de géologie appliquée et de prospection minière de Nancy.
- Zebouchi, H., (2008). *Etude géologique et géotechnique des zones instables du versant Est du Barrage de Beni Haroun (Mila)* Mémoire magister .Université Jijel 151 p.

Annexes

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DE L'EST
UNITE DE CONSTANTINE - SERVICE GEOTECHNIQUE /ROUTES

GLISSEMENT SIBARI BENI HAROUN



: Puit n° 01

Planche.III.1 : Courbe granulométrique obtenue à partir de puit n° 01.

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DE L'EST
 UNITE DE CONSTANTINE - SERVICE GEOTECHNIQUE /ROUTES

GLISSEMENT SIBARI BENI HAROUN

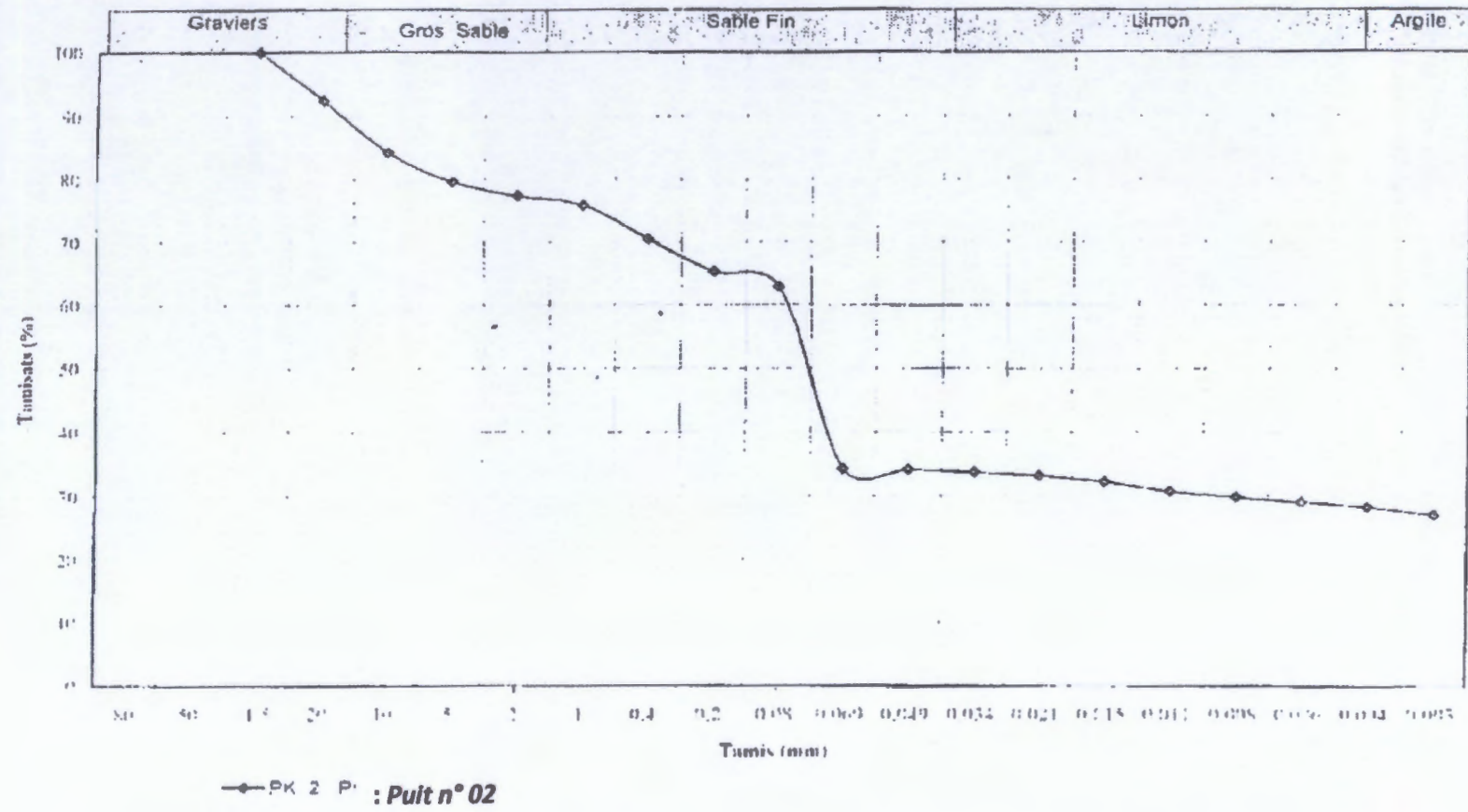
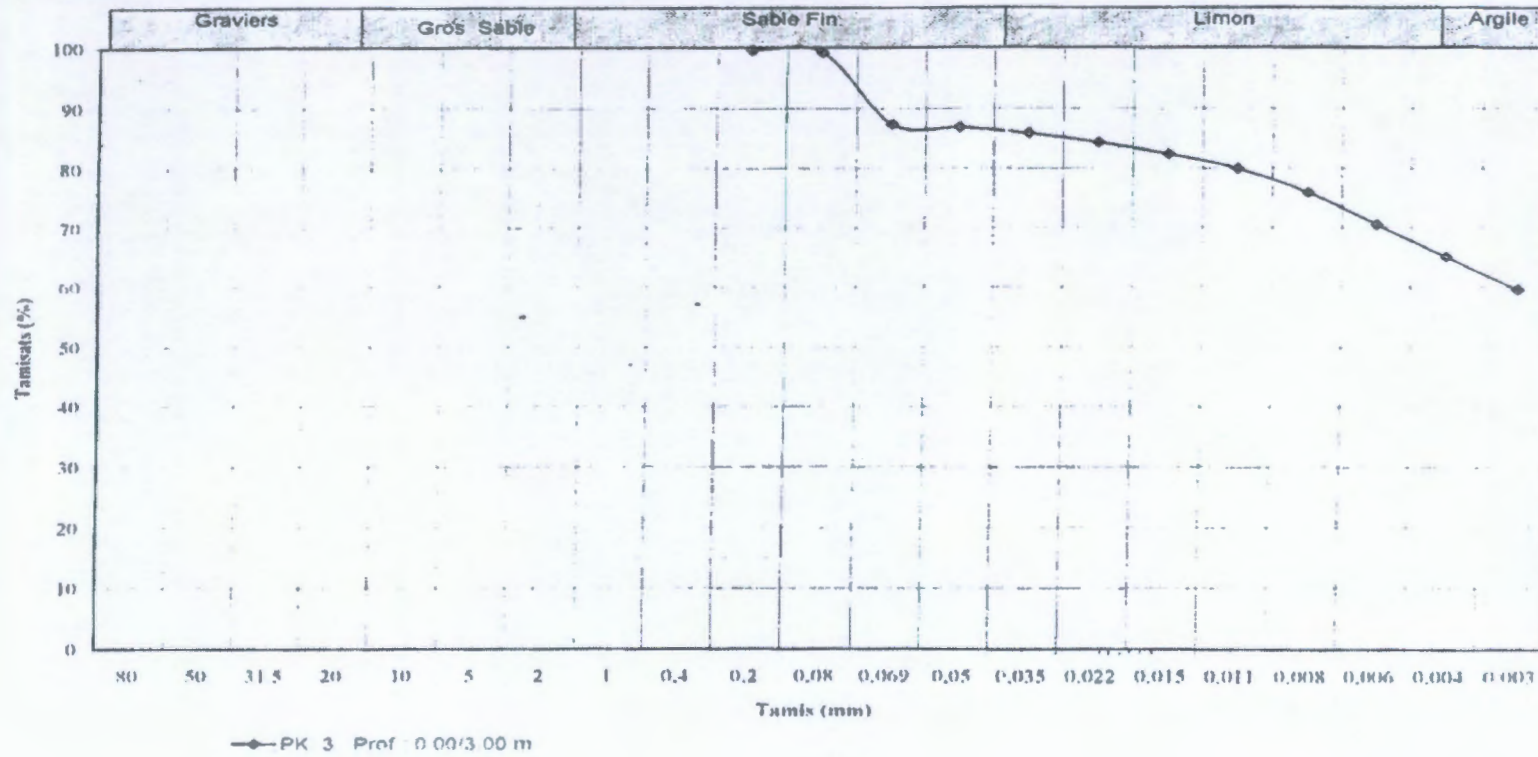


Planche.III.2 : Courbe granulométrique obtenue à partir de puit n° 02.

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DE L'EST
 UNITE DE CONSTANTINE - SERVICE GEOTECHNIQUE /ROUTES

GLISSEMENT SIBARI BENI HAROUN



: Puit n° 03

Planche.III.3 : Courbe granulométrique obtenue à partir de puit n° 03.

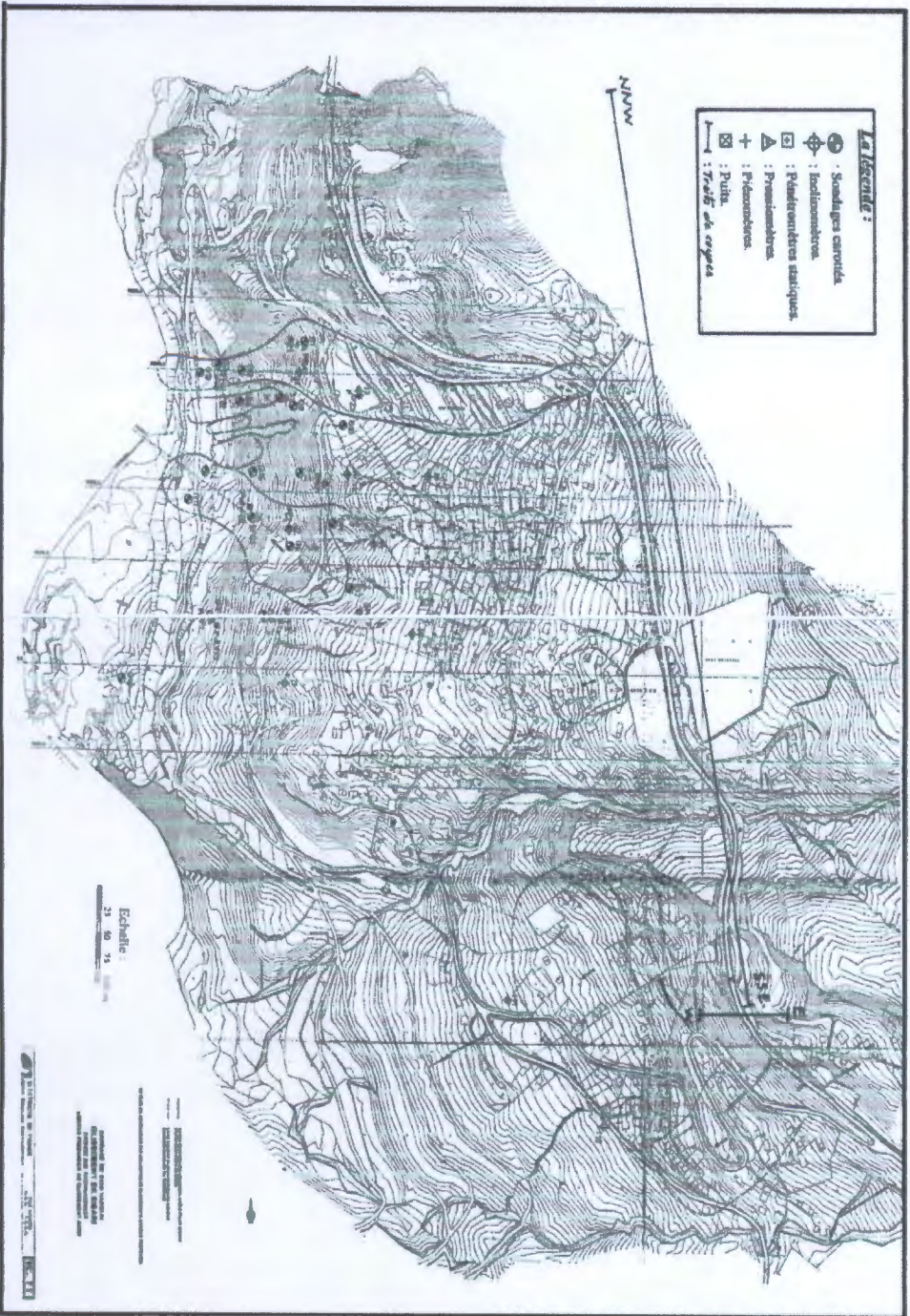
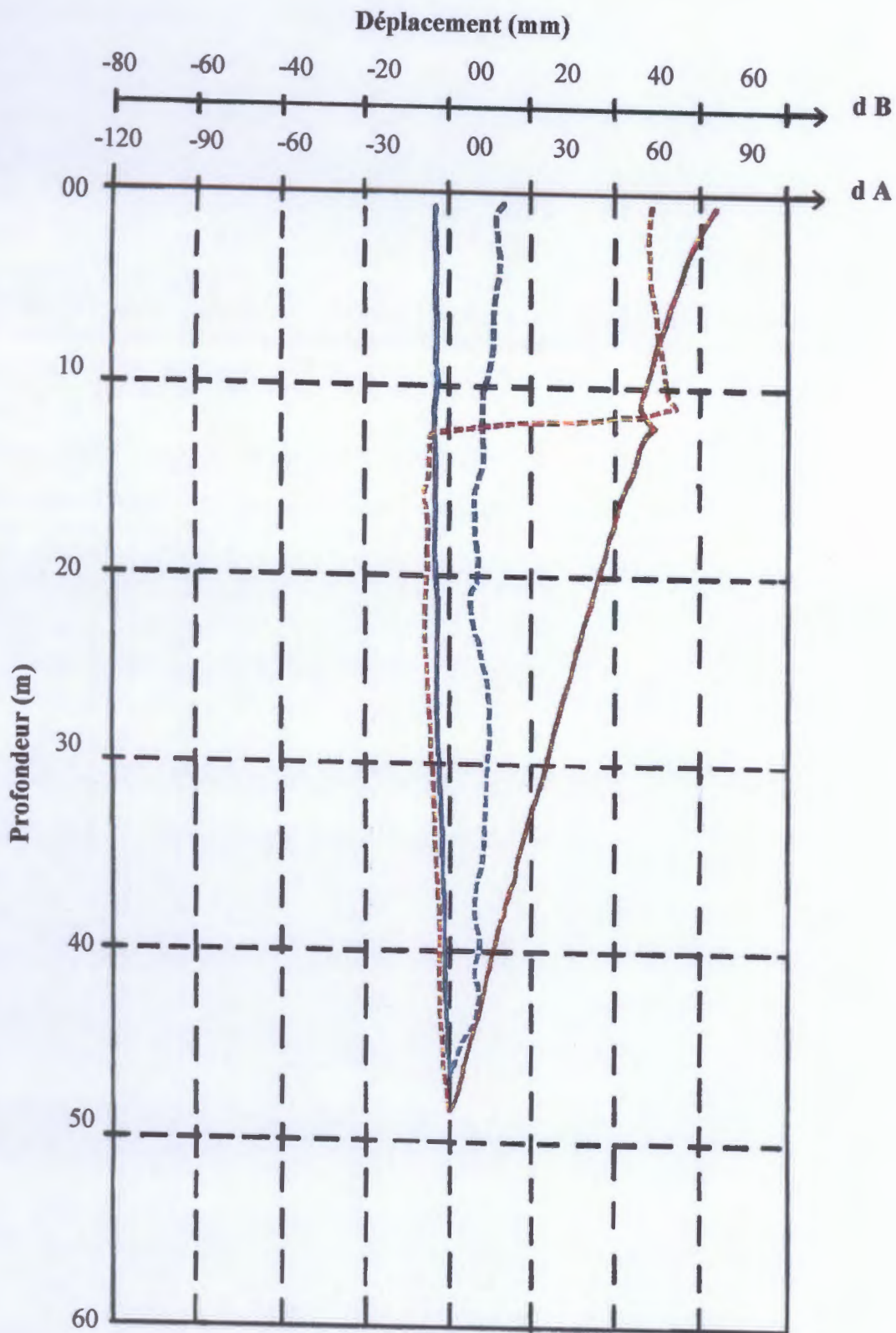


Planche VI.4 : Plan d'implantation des traits de coupes.



Planche IV.1 : Plan d'implantation des axes de glissement.



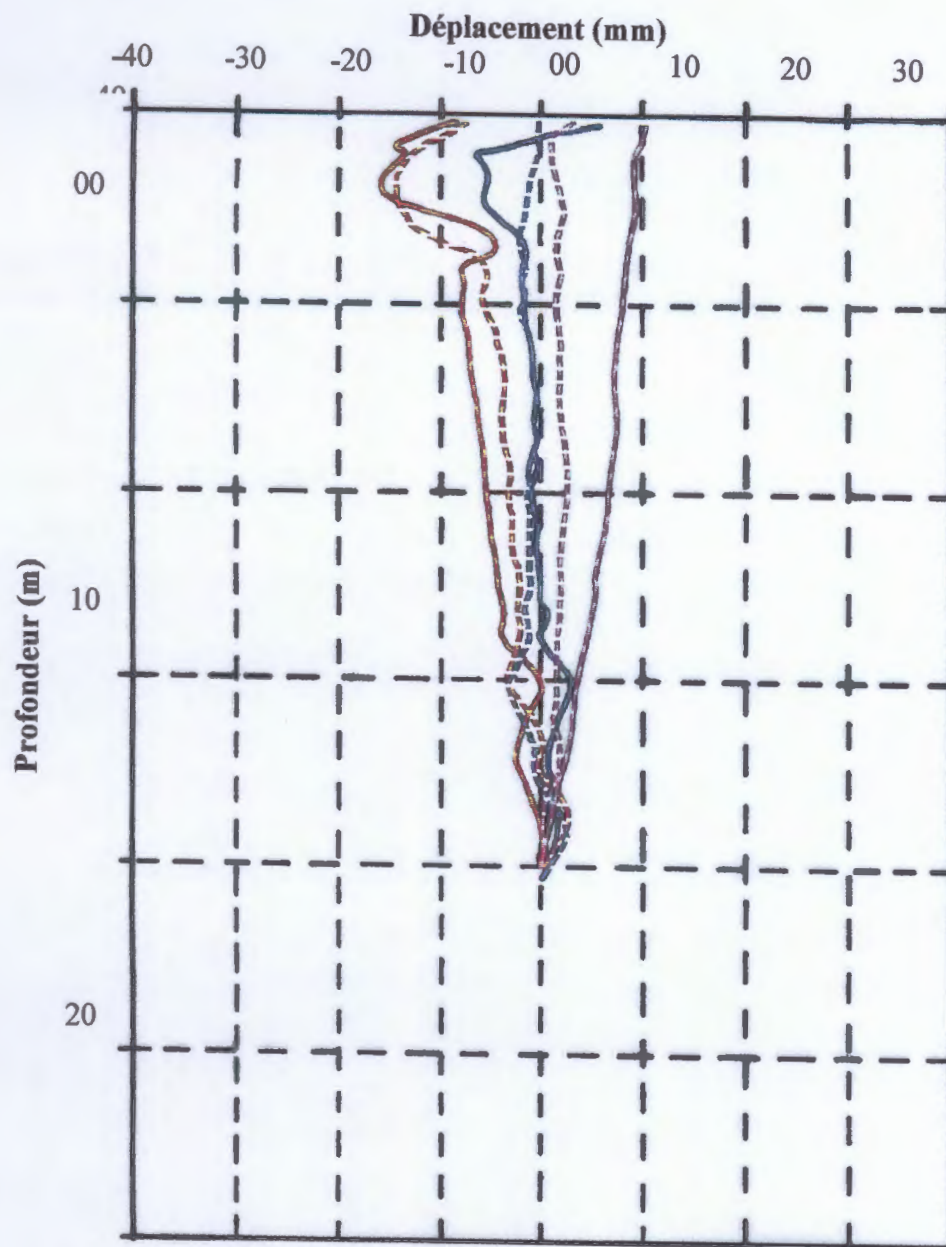
— I₂ 16/12/02 à 26/04/03 d A.

- - - I₂ 16/12/02 à 26/04/03 d B.

— I₅ 23/06/03 à 12/07/03 d A.

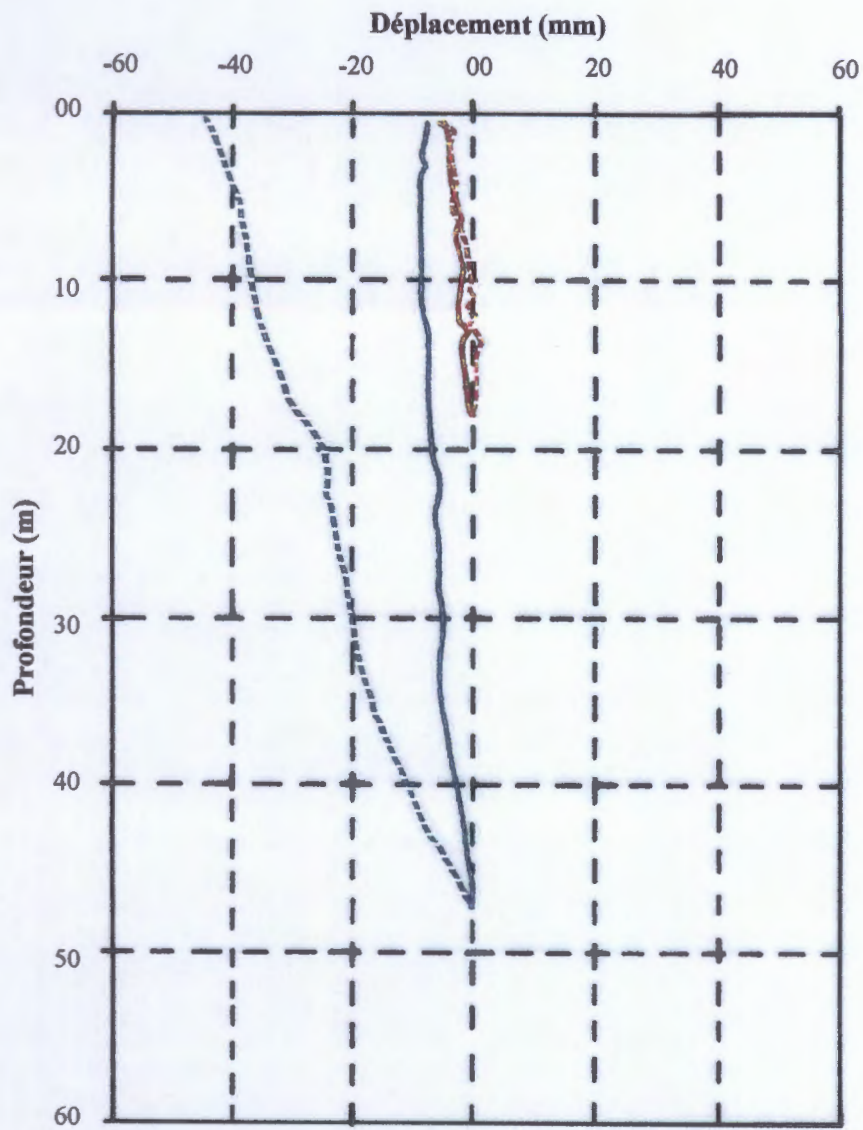
- - - I₅ 23/06/03 à 12/07/03 d B.

Fig.III.1 : Courbes inclinométriques I₂ et I₅.



- I₃ 16/12/02 à 09/05/04 d A.
- - I₃ 16/12/02 à 09/05/04 d B.
- I₃ 16/12/02 à 12/07/03 d A.
- - I₃ 16/12/02 à 12/07/03 d B.
- I₄ 16/12/02 à 05/01/03 d A.
- - I₄ 16/12/02 à 05/01/03 d B.

Fig.III.2 : Courbes inclinométriques I₃ et I₄



- I₇ 23/06/03 à 28/06/03 d A.
- - I₇ 23/06/03 à 28/06/03 d B.
- I₁₁ 04/04/04 à 09/05/04 d A.
- - I₁₁ 04/04/04 à 09/05/04 d B.

Fig.III.3 : Courbes inclinométriques I₇ et I₁₁.

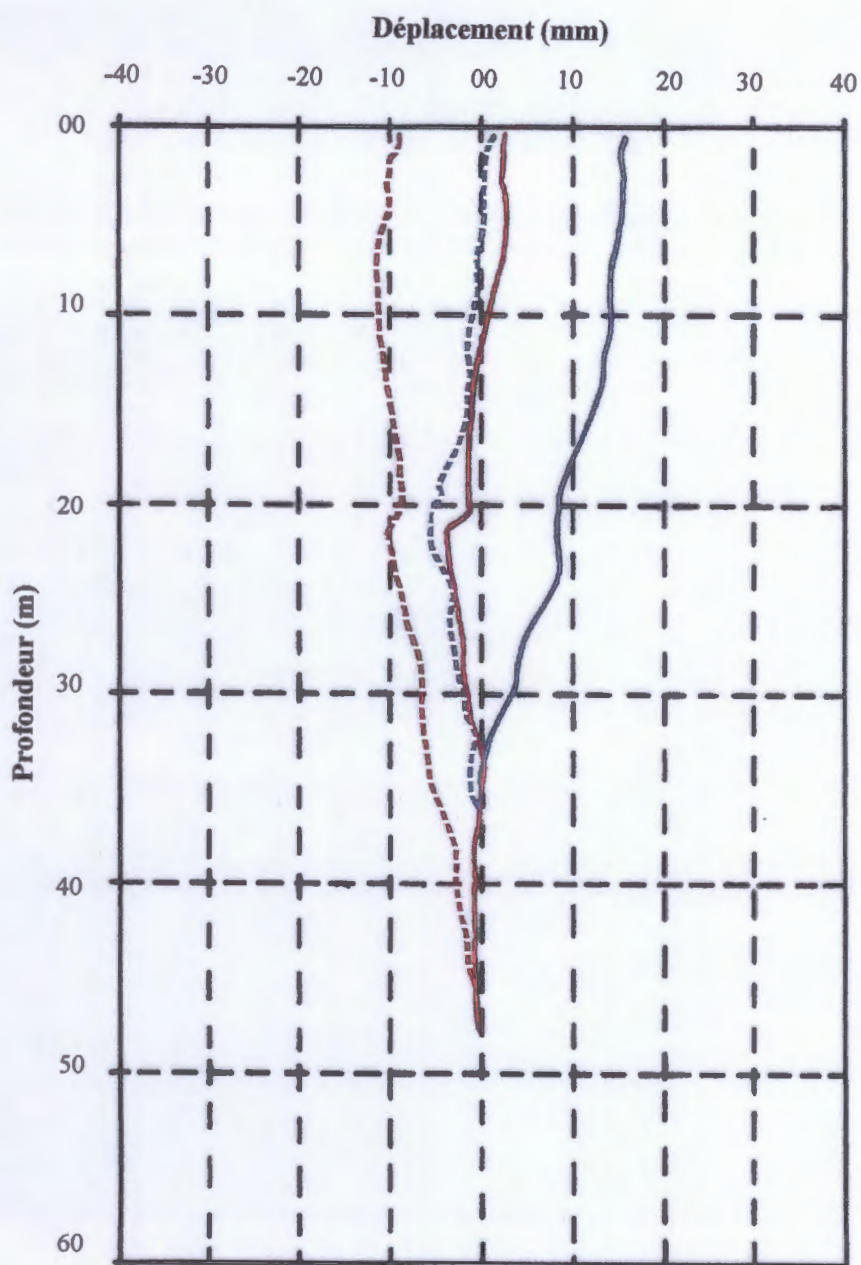


Fig.III.3 : Courbes inclinométriques I_7 et I_{11} .

- I_9 25/04/04 à 09/05/04 d A.
- - - I_9 25/04/04 à 09/05/04 d B.
- I_{10} 04/04/04 à 09/05/04 d A.
- - - I_{10} 04/04/04 à 09/05/04 d B.

Fig.III.4 : Courbes inclinométriques I_9 et I_{10} .

Le calcul de la stabilité par le logiciel *Geo-Slope* donne un très grand nombre de coefficient de sécurité, leurs valeurs minimales trouvées correspondant aux cercles critiques ont été données comme suit :

F_s					
1.109	1.064	1.019	0.990	0.926	0.841
1.098	1.057	1.019	0.970	0.922	0.833
1.090	1.052	1.014	0.970	0.901	
1.077	1.040	1.013	0.967	0.898	
1.076	1.040	1.007	0.961	0.875	
1.074	1.033	0.997	0.938	0.873	
1.071	1.030	0.997	0.932	0.854	

Tableau.VII.3 : Coefficients de sécurité obtenus par le logiciel *Geo-Slope* selon le Profil choisi (niveau actuel de la retenue).

F_s					
1.296	1.264	1.245	1.219	1.142	0.852
1.295	1.263	1.242	1.218	1.132	0.826
1.285	1.263	1.239	1.209	1.116	
1.284	1.260	1.238	1.202	1.082	
1.278	1.259	1.235	1.202	1.047	
1.278	1.253	1.225	1.189	0.967	
1.272	1.252	1.219	1.177	0.949	

Tableau.VII.4 : Coefficients de sécurité obtenus par le logiciel *Geo-Slope* selon le Profil choisi (niveau max de la retenue).