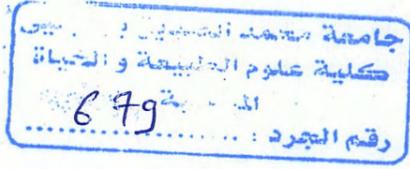


République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de L'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique
Université de Jijel
جامعة جيجل

Faculté des Sciences
Département des Sciences de la Terre

كلية العلوم
قسم علوم الأرض

060.11/05



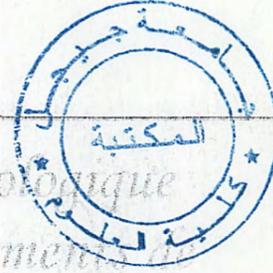
02
/02

Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme
d'ingénieur d'état en géologie

Option : Géologie de l'Ingénieur

Thème

Contribution à l'étude géologique
et géotechnique des mouvements de
terrain du versant Est du barrage de
Ben Haroun (Mifla)



Jury :
Président : M. MABROUK.
Examineur : M. TEKOUK
Rapporteur : M. BOUFTOUHA



Présenté par :
KHLIFI Samah
BOUAZI Rokia

Soutenu le : 22 Septembre 2005

Année universitaire : 2004/ 2005

Remerciement

Nous tenons à remercier en premier lieu et avant toute personne Monsieur Bouftouha Youcef pour nous avoir dirigé, guidé, pour son assistance, son effort et surtout sa compréhension, tout en lui exprimant nos profonds respects.

Nous remercions tous les enseignants pour leurs efforts et leurs aides : Benzaïed, Zenir, Tekkouk, Boufaa, Bouzenoune, Kaoula, Mebrouk et Latli.

Un grand remerciement à Mrs Berkani, Aliouache, Belletrache, Bourtal (barrage de Beni Haroun) et Mrs Cherkij Salah, Abdetaweb Samir (bureau d'études Dar Elhandassa) pour tout ce qu'ils ont fait pour nous.

Un remerciement très spécial à Melle Boukaka (barrage de Beni Haroun).

Vifs remerciements aux membres de jury, à tous les membres du département et à toute la promotion Géologie de l'ingénieur 2005. En fin, nous remercions tous les amis et toute personne ayant contribué de près ou loin à l'élaboration de ce modeste travail.



Dédicace

Je dédie ce modeste travail

A mes chères parents

A mes frères et sœurs

A mes neveux DADI et HAMA

A tous mes amis (es) et mes collègues

A tous ceux que j'aime et qui

m'aiment.

Rokia

Sommaire	Page
Chapitre I : Introduction	01
I-1- Situation géographique de la région étudié	01
I-2- Problématique et méthodologie de travail	03
Chapitre II : cadre géologique régional X	04
II-1- Introduction	04
II-2- Le domaine interne	04
II-2-1- Socle Kabyle	04
II-2-2- La couverture sédimentaire du socle kabyle	05
II-2-2-1- La dorsale Kabyle ou chaîne calcaire	05
II-2-2-1-1- La dorsale interne	05
II-2-2-1-2- La dorsale médiane	05
II-2-2-1-3- La dorsale externe	05
II-2-2-2- L'Oligo – Miocène Kabyle	06
II-2-3- Les Ollistostromes	06
II-3- Le domaine externe	06
II-3-1- Les flyschs	06
II-3-1-1- Le flysch maurétanien	06
II-3-1-2- Le flysch massylien ou flysch schisto – gréseu	07
II-3-1-3- Le flysch numidien	07
II-3-2- Les formations telliennes et de l'avant pays	07
II-3-2-1- Les formations telliennes	07
- Une série ultra – tellienne	08
- Une série méso – tellienne	08
- Une série peni – tellienne	08
II-3-2-2- Les formations de l'avant pays	08
- L'avant pays allochtone	08
- L'avant pays autochtone	08
II-4- Les formations post nappes	08
II-5- Position du bassin néogène du Constantine dans le dispositif structural de la partie Nord orientale de la chaîne Alpine en Algérie	10
Chapitre III : Cadre géologique local X	11
III-1- Présentation géologique du bassin de Mila	11
III-2- Les caractéristiques lithostratigraphiques du bassin de Mila	11
III-2-1- Les formations Triasiques	11

III-2-2- Les formations du Jurassique	11
III-2-3- Les formations du Crétacé	13
III-2-4- Les formations du Paléogène	13
III-2-5- Les dépôts néogènes	14
III-2-6- Les dépôts Quaternaires	14
Chapitre IV : Géologie du secteur étudié	16
IV-1- Géologie du secteur étudié	16
IV-1-1- Grès beige	16
IV-1-2- Argile marneuse à gypse	16
IV-1-3- Conglomérats	16
IV-1-4- Calcaires lacustres	18
IV-1-5- Les dépôts Quaternaires	18
IV-2- Aspect tectonique du secteur étudié	21
IV-2-1- Tectonique cassante	21
IV-2-2- Tectonique souple	23
Chapitre V : Etude hydrologique et hydrogéologique	24
V-1- Hydrologie	24
V-1-1- Facteur climatiques	24
V-1-1-1- Précipitations	24
V-1-1-2- Conclusion	24
V-2- Hydrogéologie	27
Chapitre VI : Etude géotechnique du site	30
VI-1- Caractéristiques géotechniques du secteur étudié	30
VI-2- Caractérisation géotechniques du secteur étudié	37
VI-2-1- Les essais in situ	37
VI-2-1-1- Les sondages mécaniques	37
VI-2-1-2- Essais pressiométriques	37
VI-2-1-3- Essais de pénétromètre statique	41
VI-2-1-4- Essais de pénétromètre dynamique	41
VI-2-2- Essais de laboratoire	43
VI-2-2-1- Les essais d'identification et de classification des sols	43
1- L'analyse granulométrique par tamisage	43
2- Caractéristiques physiques des sols	43
- Poids volumique sec (d)	43
- Poids volumique humide (h)	45
- La teneur en eau (w)	45
- Les limites d'Atterberg	45

VI-2-2-2- Les essais mécaniques	46
- Les essais de résistance au cisaillement	46
VI-3- Résultats et interprétation	48
VI-3-1- Résultats des sondages	48
VI-3-2- Résultats des essais in situ	50
VI-3-2-1- Sondage pressiométriques	50
VI-3-2-2- Sondage pénétrométrique	50
VI-3-3- Résultats des essais de laboratoire	52
VI-3-3-1- Essais d'identification	52
VI-3-4- Propriétés mécanique du sol	55
VI-4- Mesures inclinométriques	57
VI-4-1- Interprétation des mesures entre 16 Décembre 2002 et 23 Juillet 2003	57
VI-4-2- Interprétation des mesures entre 25 Avril 2004 et 09 Mai 2004	57
Chapitre VII : Conclusion et recommandation	60
VII -1- Résumé et conclusion	60
VII -2- Recommandation	61

Résumé

Le secteur étudié, correspondant au versant Est du barrage de Beni Haroun. Il est situé dans la zone de failles marquant la limite septentrionale du bassin néogène de Constantine. Ce versant connaît actuellement de nombreuses zones instables engendrées par des mouvements causant de graves préjudices à l'infrastructure routière et aux constructions de la localité de Sibari.

Deux types de mouvements de terrains peuvent être distingués :

1- Des mouvements de terrain superficiels, liés aux facteurs lithologique, pluviométriques et topographiques. Ce type de mouvement est caractérisé par des glissements superficiels d'une dizaine de mètres de profondeur et des coulées boueuses.

2- Des mouvements de terrains de grande ampleur, localisés le long des grands accidents tectoniques. Ces mouvements de terrain semblent être en liaison directe avec la circulation des eaux le long des zones de broyage. En effet, les phénomènes de dissolution et de soutirage de matière causés par les eaux dans ces zones de broyages s'accompagnent par une fragilisation de la base des formations superficielles, chose qui se traduit par des affaissements, des tassements accompagnés en surface par des déplacements en masse si la topographie est favorable.

Introduction

I-1- Situation géographique de la région étudiée :

La localité de " Sibari " est rattachée administrativement à la commune de Annouche Ali, Daira de Grerem, Wilaya de Mila, à l'Ouest de Constantine, cette localité est située sur le versant Est du barrage de Beni Haroun, elle s'étend sur une superficie de 14 Hectares et comprend environ 420 habitations occupées par 3200 habitants, la localité de Sibari est limitée au Nord et à l'Ouest par l'assiette du barrage, à l'Est par la RN 27 et au Sud par le village de Annouche Ali (fig.1).

I-1-1- Climat :

Le secteur étudié se trouve à la jonction de deux domaines climatiques différents, un climat tempéré au Nord caractérisé par un été chaud et sec et un hiver doux et humide avec une précipitation annuelle entre 900 et 1200mm et un climat semi aride au Sud marqué par un écart de température assez important où les températures en été sont très élevées, elles avoisinent les 40° C, en hiver, elles peuvent descendre en dessous de 0° C, les précipitations sont en moyenne 400 mm/an.

I-1-2- Géomorphologie :

Le secteur étudié situé sur le versant Est de la retenue du barrage de Beni Haroun se caractérise par des pentes variant entre 35 et 60%.

I-1-3- Hydrographie :

Le secteur étudié situé sur le versant Est du barrage de Beni Haroun est drainé par un certain nombre de Chaabas.

Les écoulements des eaux de surface se font de l'Est vers l'Ouest.

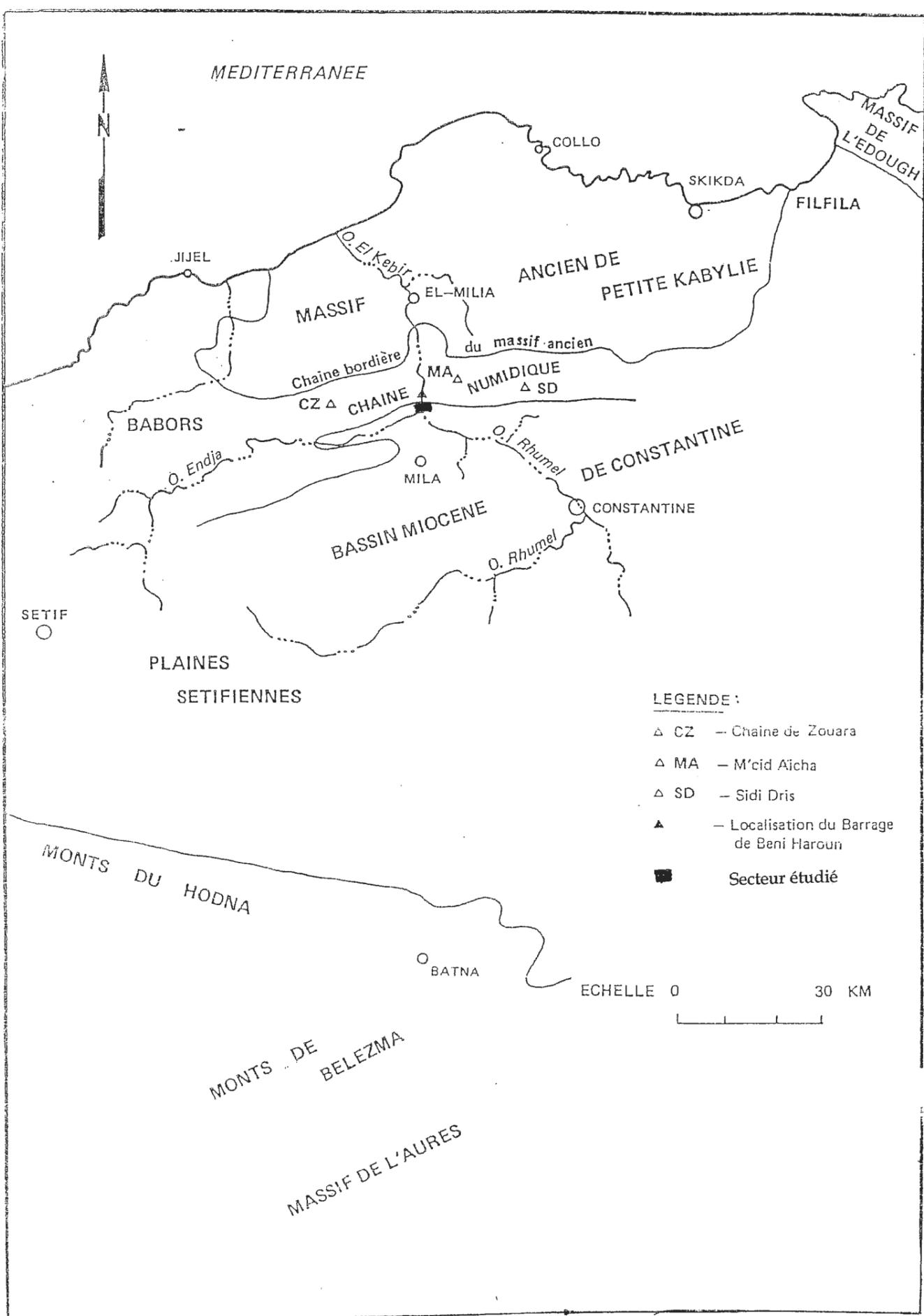


fig. 01 : situation géographique du secteur étudié

I-2- Problématique et méthodologie de travail :

Le versant Est du barrage de Beni Haroun connaît de nombreuses zones instables engendrées par des mouvements de terrain.

Ces mouvements de terrain ont causés de graves préjudices à l'infrastructure routière et aux constructions de la localité de Sibari et présentent également un gros problème d'envasement du barrage de Beni Haroun.

L'étude qui nous a été confié dans le cadre de la préparation de notre mémoire de fin d'études vise une caractérisation géologique et géotechnique de cette région dans le but d'une contribution à une meilleure compréhension de ces mouvements de terrain et la proposition de solutions pour la réalisation de cette étude, le plan adopté comporte les parties suivantes :

- une première partie sera réservée à la caractérisation géologique, hydrologique de cette zone.
- une deuxième partie sera réservée à la caractérisation géotechnique.
- une troisième partie sera la conclusion et les recommandations.

Chapitre II

II-1- Introduction :

Le secteur étudié, fait partie intégrante du grand bassin néogène constantinois, il se localise dans la partie Nord-orientale de l'Algérie. Cette dernière appartient à la branche Sud de la chaîne Alpine qui s'étend sur environ 2000 Km, entre le détroit de Gibraltar à l'Ouest et la Sicile et la Calabre à l'Est. En Algérie, la branche Sud de la chaîne Alpine est subdivisée en deux grands domaines (fig. 2) :

- le domaine interne : situé au Nord, il comporte les formations cristallophylliennes du socle Kabyle et sa couverture sédimentaire. Cet ensemble est largement charrié vers le sud.
- Le domaine externe : situé plus au Sud, il comporte les formations des flyschs et les formations telliennes. Ces formations telliennes reposent partiellement sur l'autochtone Saharien (Bouillin, 1977).

II-2- Le domaine interne :

Il comporte le socle Kabyle et sa couverture sédimentaire.

II-2-1- Le socle Kabyle :

Il est représenté par des formations cristallophylliennes formant trois pointements amygdalaires au Nord de l'Algérie.

Ces pointements sont le massif du Chenoua à l'Ouest d'Alger, le massif de la grande Kabylie au centre et le massif de la petite Kabylie à l'Est. Les formations cristallophylliennes du socle Kabyle comportent deux grands ensembles :

- un ensemble supérieur :

Cet ensemble est formé essentiellement de Schistes, de micaschistes et de phyllades.

Cet ensemble est surmonté en discordance par des formations siluriennes (Durant Delga, 1955) comportant de bas en haut :

- des schistes noirates.
- Des psammites.
- Des grès calcaires
- Des calcaires à orthocérés.

- Un ensemble inférieur :

Gneissique, constitué de para gneiss, d'ortho gneiss et de gneiss granulitique à intercalation de marbres et d'amphibolites.

En petite Kabylie, les formations cristallophylliennes du socle Kabyle sont largement charriées vers le Sud sur les formations de type flysch et les formations telliennes (Durant Delga, 1955, Boullin, 1977).

II-2-2- La couverture sédimentaire :

II-2-2-1- La dorsale Kabyle ou chaîne calcaire :

C'est la couverture calcaire du socle Kabyle qui marque la limite entre ce dernier au Nord et les zones telliennes au Sud. Elle est d'âge Jurassique à Eocène.

A l'Est de la petite Kabylie la dorsale Kabyle forme les reliefs de Sidi Maarouf, de Sidi Driss et El Kentour.

Les séries formant la dorsale Kabyle permettant de la subdiviser en 3 termes (J. F. Raoult, 1969 – 1974) :

II-2-2-1-1- La dorsale interne :

Elle montre sur un soubassement paléozoïque une série complète du permotrias au Néocomien (les dépôts carbonatés sont représentés par des calcaires), surmontés en discordance par des calcaires néritiques massifs riches en microfaunes benthiques (algues et foraminifères) permettant de dater l'Yprésien et le Lutétien terminal.

II-2-2-1-2- La dorsale médiane :

Elle est caractérisée par des dépôts mamo-calcaires à micro-faunes pélagiques du Turonien au Lutélien inférieur et une lacune stratigraphique au Crétacé moyen.

II-2-2-1-3- La dorsale externe :

Elle est caractérisée par un Crétacé supérieur et un Eocène détritique et lacuneux, elle comporte des calcaires silicifiés, surmontée en discordance par des conglomérats du Campanien. Ces dernières soulignent une intense érosion au Sénonien. La dorsale externe repose en discordance sur les flyschs.

II-2-2- L'Oligo-Méocène Kabyle :

L'Oligo-Méocène Kabyle constitue la couverture sédimentaire transgressive et discordante du socle Kabyle. Il est formé de grès micacés admettant des conglomérats à leurs bases et des sélexites au sommet, d'âge Oligocène supérieur à Aquitaniens. A cet Oligo-Méocène Kabyle succèdent des Olistostromes (Raoult 1974-1975, Bouillin 1977).

II-2-3- Les Olistostromes :

Ce sont des formations tectono-sédimentaires à débris de flyschs intercalés dans des passées grés-mécacés. L'âge de ces formations est supposé Aquitaniens à Burdigalien inférieur probable (Bouillin et Raoult, 1971, Bouillin et al 1973 et Bouillin 1977).

II-3- Le domaine externe :

Il comporte les formations de type flyschs et les formations telliennes.

II-3-1- Les flyschs :

En Algérie, ces formations occupent une position allochtone. Elles sont subdivisées en 3 types principaux :

- Flysch maurétanien.
- Flysch massilien.
- Flysch mumidien.

II-3-1-1- Le flysch maurétanien :

Ce terme a été proposé pour la première fois par Gelard (1969). Le flysch maurétanien comporte des terrains allant du Néocomien au Lutétien. Il montre de bas en haut :

- Un preflysch calcaire du Tithonique – Néocomien, constitué d'une alternance de marnes grises et de turbidites calcaires.
- Un ensemble de grès épais (300 m) à cassure verte (flysch de Gerrouch) attribué à Albo-Aptien.
- Des phtanites rouges et blanches du Cénonien supérieur.

- Des micros brèches à ciment spathique riches en quartz détrique et parfois des micros conglomérats du Sénonien.
- Au sommet des conglomérats puis de grés micacés tertiaires (Eocène à Oligocène).

II-3-1-2- Le flysch Massylien ou flysch Schisto-gréseux :

Le terme de flysch massylien a été proposé par Raoult (1969), pour caractériser les formations détritiques Schisto-quartzitiques. Ce flysch comporte une série allant du Néocomien (?) au Lutétien terminal et regroupe trois ensembles qui sont de bas en haut :

- Argile et grés quartzitiques, des grés légèrement calcaireux et localement des niveaux conglomératiques de l'Albo-Aptien.
- Marne et calcaires fins du Vraconien, des micros brèches et des conglomérats du sénonien inférieur et moyen auxquels sont associées des phanites noires.
- Bancs calcaires à microfaune pélagique du Turonien-Cénomaniens.

II-3-1-3- Le flysch numidien :

Le flysch numidien forme une entité géologique à part. Généralement il occupe la position structurale la plus haute dans l'édifice alpin. Ce flysch numidien comporte de bas en haut (Bouillin 1977) :

- Des argiles sous numidiennes, vari colores de teinte rouge, verte ou violacée à turbatomaclum d'âge oligocène supérieur.
- Des grés numidiens en bancs épais à quartz bien roulé datés Aquitanien à Burdigalien inférieur (Lahandère 1979).
- Des formations supranumidiennes comportant des argiles et des marnes à intercalation de sélexites du Burdigalien basale.

II-3-2- Le formations telliennes et de l'avant pays :

II-3-2-1- Les formations telliennes :

Le domaine tellien correspond aux zones situées sur la paléo marge africaine. Il est caractérisé par la prédominance de faciès de marno-calcaires, qui s'étalent du Néocomien au Lutécien (Bouillin 1977).

Les séries telliennes sont constituées par un empilement de trois grandes séries qui sont d'après Durant-Delga (1969) du Nord au Sud :

- **une série ultra-tellienne :**

Cette série comporte les formations marneuses et marno-calcaires d'âge Crétacé à Eocène (Durant Delga, 1969).

- **Une série méso-tellienne :**

Cette série correspond aux formations carbonatées du Jurassique. Elle est considérée comme la couverture de la plate forme constantinoise (Vila, 1980).

- **Une série peni-tellienne :**

Cette série se distingue par des formations Jurassico-Crétacées, caractérisées par des faciès intermédiaires entre les faciès de la plate forme (calcaire et marno-calcaire du néritique) et des faciès de bassin (marne du domaine tellien).

II-3-2-2- Les formations de l'avant pays :

Il correspond aux formations calcaires et marneuses de la plate forme constantinoise et du domaine atlasique. Il comporte l'avant pays allochtone et l'avant pays autochtone (Vila, 1980).

- **L'avant pays allochtone :**

Il regroupe trois grandes unités :

- L'unité Sud Sétifienne.
- L'unité néritique constantinoise.
- L'unité de type sellaoua.

- **L'avant pays autochtone :**

Il est représenté par des séries sédimentaires mésozoïques épaisses et très plissées. Ces séries sont principalement localisées au niveau de l'Atlas Tunisien, de l'Atlas Saharien, des monts du Hodna, des monts de Batna et des monts des Aurès.

II-4- Les formations post-nappes :

Les formations post-nappes sont constituées de dépôts marins d'âge Burdigalien dans le Nord et des dépôts continentaux d'âge Miocène à Pléocène dans le bassin de Constantine (Bouillin , 1977 et Coiffait, 1992). Les formations post-nappes déposées en discordance sur toutes les formations précédentes, comportent deux cycles sédimentaires :

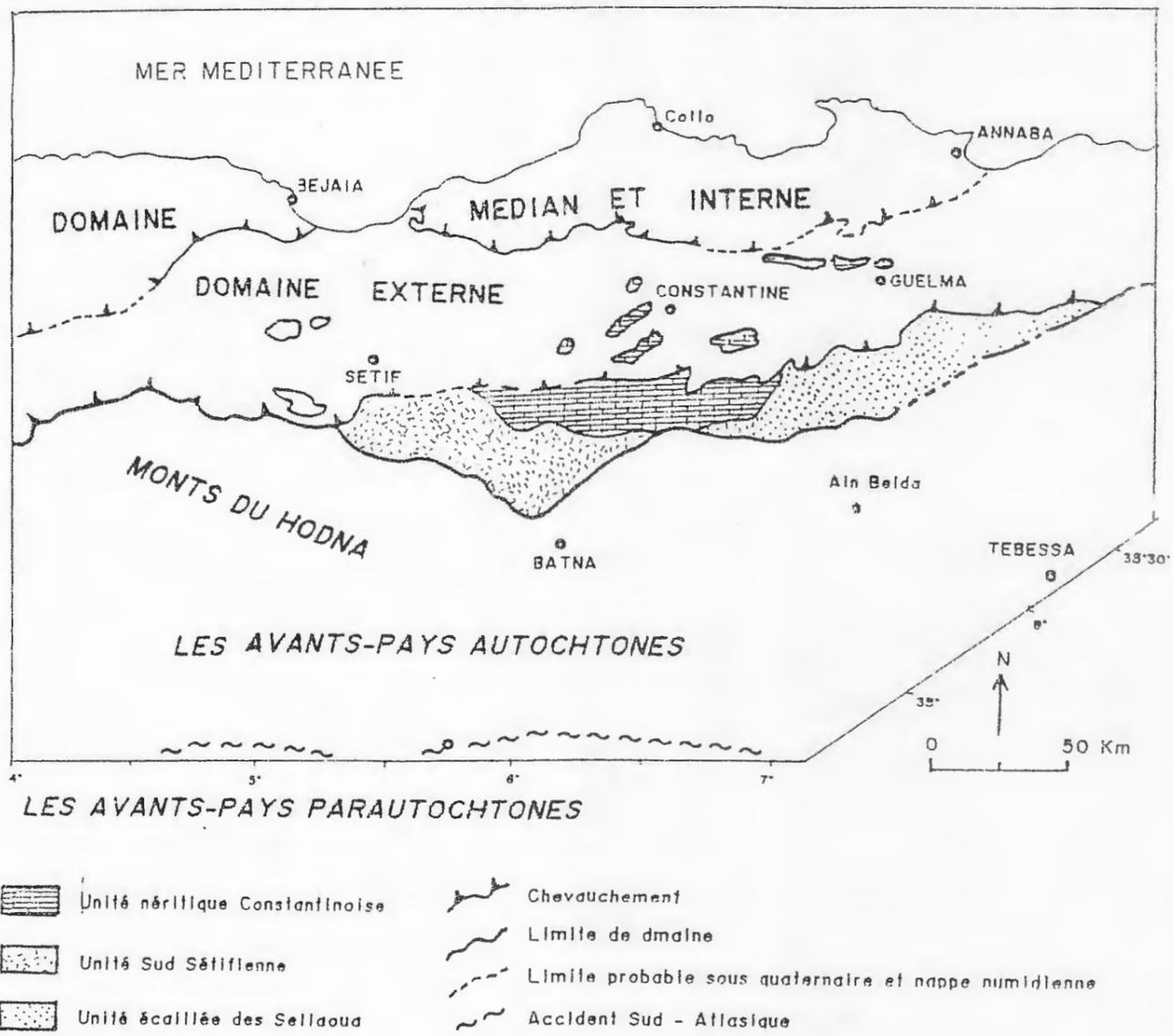


fig. 02 : ESQUISSE STRUCTURALE DU NORD-EST ALGERIEN

(d'après W. WILDI , 1983)

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

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

II-5- Position du bassin néogène de Constantine dans le dispositif structural de la partie Nord orientale de la chaîne Alpine en Algérie :

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

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

Chapitre III

Chapitre III : Cadre géologique local.

III-1- Présentation géologique du bassin de Mila :

Le bassin de Mila dont fait partie le secteur étudié, constitue la partie occidentale du grand bassin néogène constantinois.

Le bassin de Mila est limité au Nord par l'arête montagneuse du M'Cid Aicha et du Sidi Dress, au Sud par les massifs du Djebel Osmane et Djebel Grouz, à l'Est par les massifs du Djebel Akhal, de Chetaba et de Khneg, et à l'Ouest par Djebel Boucheref et Oukissane.

Le secteur étudié se trouve dans la partie Nord de ce dernier au pied du massif de M'Cid Aicha.

III-2- Les caractéristiques lithostratigraphiques du bassin de Mila :

Les différents ensembles lithostratigraphiques représentés dans le bassin de Mila peuvent être résumés (d'après les données de la littérature géologique) comme suit (fig.04).

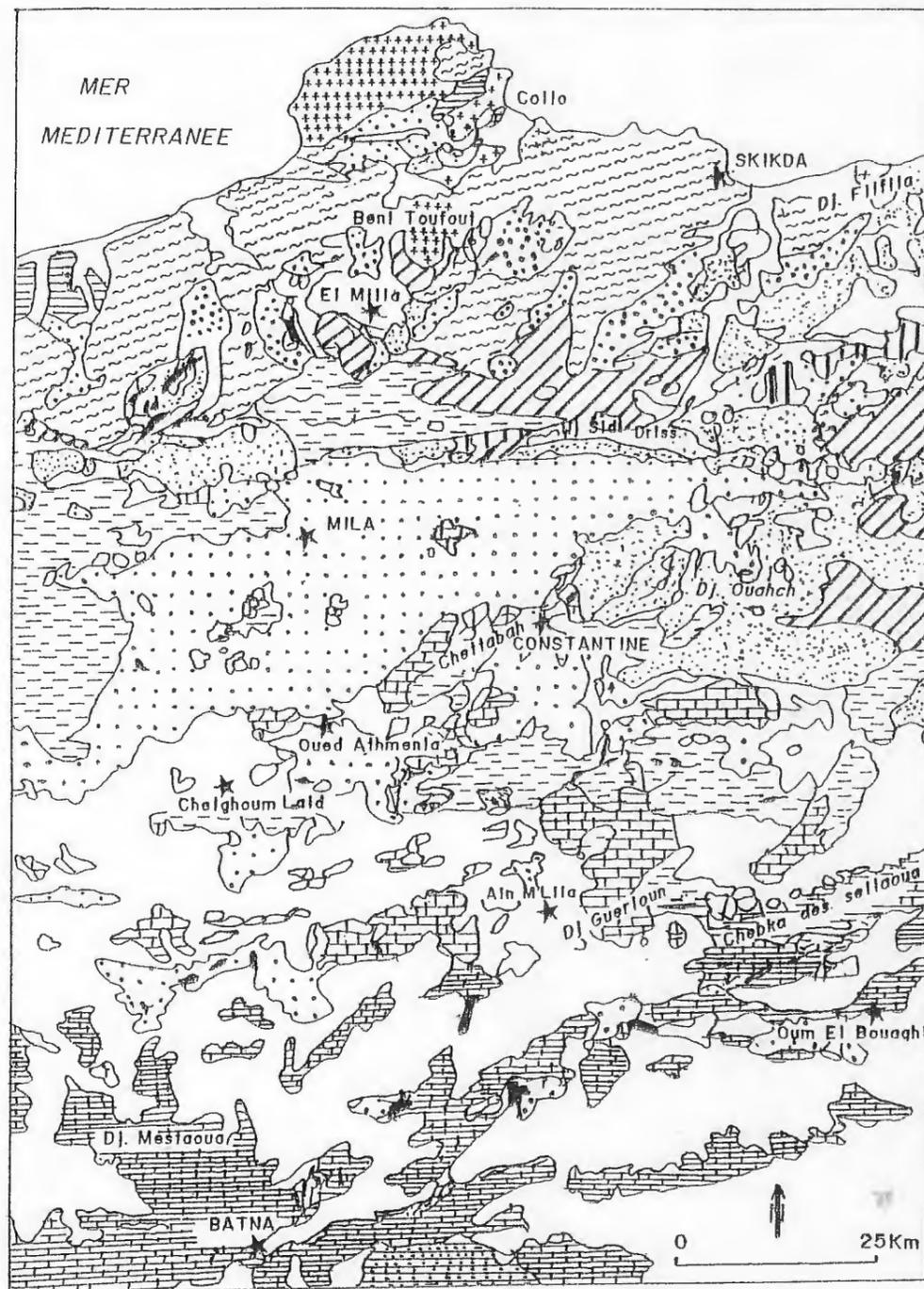
III-2-1- Les formations triasiques :

Les formations du trias sont représentées essentiellement par des dépôts évaporitiques et argileux. Elles comportent des argiles bigarrées, des gypses et des dolomies.

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

III-2-2- Les formations du jurassique :

Les formations du jurassique affleurent au Djebel Chettaba, Djebel Akhel et M'Cid Aicha. Elles forment une épaisse série des calcaires massifs comportant des horizons très fossilifères.



	Quaternaire		Tertiaire et sénonien marneux		Diluvio-Miocène kabyle
	Mio-Pliocène continental		Jurassique et crétacé du W. de néritique du Constantinois		Dorsale Kabyle
	Mio-Pliocène marin des bassins côtiers		Jurassique du crétacé des Sellaoua et de l'avant-pays		Socle kabyle
	Mio-Pliocène marin des sellaoua et de l'avant-pays		Numidien		Magmatisme miocène
			Flyschs		

fig. 03 : CARTE GEOLOGIQUE SYNTHETIQUE DU BASSIN DE CONSTANTINE
(d'après J.M Vila)

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 ou biodétritiques. Ces calcaires sont affectés par un phénomène de dolomitisation très important, notamment au Djebel Kheneg.

III-2-3- Les formations du Crétacé :

Le Crétacé moyen à supérieur comportent des marno-calcaires peu épais de l'Albien, des marno-calcaires noduleux de couleur grise bleuté parfois gypsifère.

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 marné au Nord Ouest et calcaires néritiques au Sud Est. Elles affleurent également au Djebel Akhel, et dans la région de Sidi Marouane (Durant Delga, 1955).

Le Crétacé supérieur :

× Le Crétacé moyen à supérieur comprend 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.

III-2-4- Les formations du paléogène :**Paléogène :**

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

Eocène :

L'Eocène est représenté par des calcaires ypressien, effleurant à l'Ouest de Sidi Marouane et dans les gorges d'Oued El Kebir et en aval d'Oued Dib et des marnes à débit en plaquette admettant à la base des passés gréseuses (petits bancs de grés d'ordre décimétrique) conférant à cette dernière un aspect flyschôide, ces marnes sont très perturbées par la tectonique. Elle sont observées souvent en contact des calcaires ypresien et parfois redressées à la verticale, notamment au niveau du contact avec des dépôt néogènes.

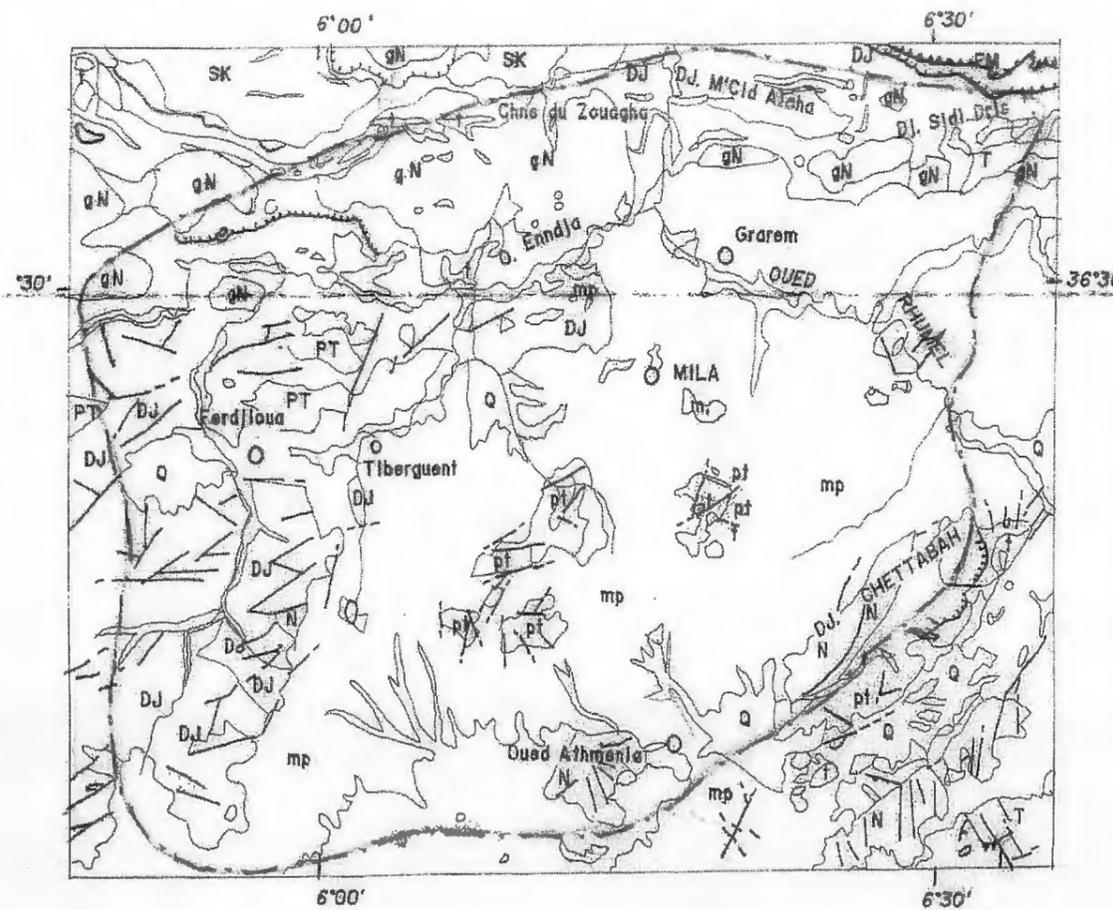
III-2-5- Les dépôts néogènes:

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 (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 supérieur (Seravalien) à Pléocène (Coiffait, 1992).

III-2-6- Les dépôts quaternaires :

Les dépôts quaternaires recouvrent les formations précédentes, elles sont représentées par des blocs de taille variable du galet à des blocs de plusieurs mètres cubes dans une masse d'argile rouge. Ces dépôts correspondent à des déplacements en masse sous forme de coulées boueuses (Coiffait 1992).

Selon cet auteur la plus importante de ces coulées est celle sur laquelle est construite la ville de Mila. Cette dernière atteint 7 Km de longueur et 1.2 Km de largeur.



L é g e n d e

NAPPES TELLIENNES S.S.

- DJ Ypresien à priabonien basal (?)
- T Crétacé moyen à paléocène

NAPPE PENI-TELLIENNE ET UNITÉS MERIDIONALES A NUMULITES

- PT Cénomannien à sénonien

ROCHES RECENTES ET CYCLES POSTERIEURS AU BURDIGALIEN INFÉRIEUR

- Q Quaternaire indifférencié (Villafranchien actuel)
- mp Mio-Pliocène continental
- m' Burdigalien supérieur- Langhien de la marge littorale

SOCLE KABYLE, CHAÎNE CALCAIRE

- SK Socle métamorphique de paille kabyle et du Bouhatem (Phyllades micaschistes, porphyroïdes, gneiss et marbres)

NAPPE NÉRIQUE CONSTANTINOISE

- N₁ Cénomannien, turonien et sénonien transgressif
- N₂ Crétacé inférieur (néocomien à albien)
- N₃ Jurassique et trias de la station du Nador

NAPPE NUMIDIENNE

- qN Grès numidiens et séries mixtes

NAPPES DE FLYSCHS KABYLES

- FM Flyschs maurétaniens

FLYSCHS MASSYLIENS

- Fm Séries typiques à phanites ou à brèches vertes et rouges
- F Sénonien marneux à microbrèches ou à blocs

- T Trias

- / Faille principale

- - - Faille probable

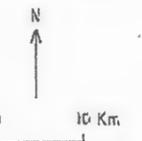


fig. 04 : La carte géologique du bassin de Mila
J.M.Vila (1980)

Chapitre IV

IV-1- Géologie du secteur étudié :

Dans le secteur étudié, les formations du Substratum n'affleurent que dans la partie septentrionale du bassin de Mila, où le contact avec néogènes se fait par une série de faille d'ampleur régionale. Dans la zone frontale, les dépôts néogènes reposent en discordance sur les calcaires et les marnes du l'Eocène, ces dépôts sont représentés par des grés beiges, des argiles marneuses à gypse, des conglomérats et des calcaires lacustres, ces formations sont recouvertes par des dépôts Quaternaires.

IV-1-1- Les grés beiges :

Les grés beiges à ciment calcaire alternant avec des niveaux argilo-sableux. Ces grés affleurent au pied du versant du barrage de Beni Haroun. Cette assise de grés est très perturbée par la tectonique (voir planche 01).

IV-1-2- Les argiles marneuses à gypse :

Les argiles marneuses à gypse recouvrent la majeure partie du secteur étudié, elles sont souvent gris-bleues ou vertes mais peuvent avoir une teinte ocre à rouge ou brunâtre. Ces argiles marneuses admettent en intercalation des passées de gypse d'épaisseur centimétriques à décimétriques. Les parties superficielles de ces assises montrent souvent des encroûtements calcaires.

Les données de sondage montrent que l'épaisseur de cette assise d'argiles marneuses gypsifère est de l'ordre de 30 à 50m.

IV-1-3- Les conglomérats :

Ces conglomérats sont hétérogènes, ils sont constitués d'éléments gréseux, carbonatés et silicites à matrice argilo-sableuse. Par ailleurs, ils montrent des passées métriques de grès. Ces formations sont largement affectées par un réseau de faille et de décrochement de direction N - S et E - W.

Ces conglomérats, affleurant dans la partie supérieure du versant du barrage de Beni Haroun sont traversés par la RN27.

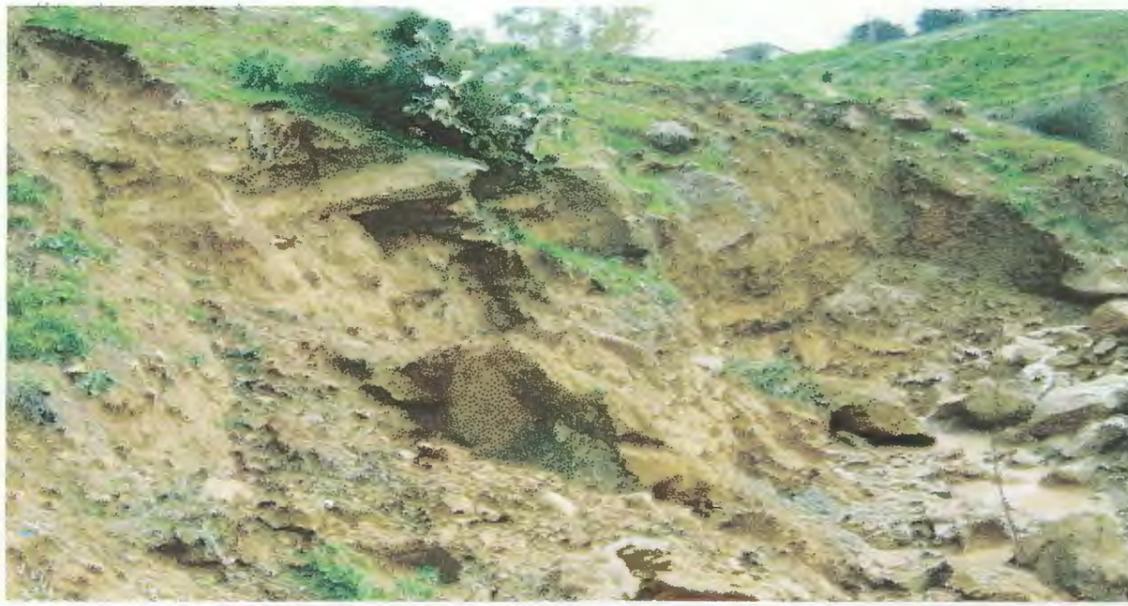


Planche 01 : Photo illustrant successivement les grés beiges, l'horizon de gypse dans les argiles marnes et les conglomérats.

IV-1-4- Les calcaires lacustres :

Ce sont des calcaires à teinte saumonée, alternant avec des niveaux d'argile rouge, ces calcaires lacustres surmontent les conglomérats précédemment décrits, l'épaisseur de ces calcaires peut atteindre une dizaine de mètres.

IV-1-5- Les dépôts Quaternaires :

Les dépôts quaternaires sont largement représentés dans le versant Est du barrage de Beni Haroun, ils forment la couverture récente des formations décrites précédemment. Ces dépôts quaternaires sont constitués pour l'essentiel par des argiles rouges partiellement recouvertes par de la terre végétale.

Ces argiles rouges sont caractérisées par une prédominance en Illites et Kaolinites (H. Amireche, 2001).

L'analyse au diffractométrie (effectuée sur plusieurs échantillons prélevés de différentes profondeurs) fait ressortir quatre diffractogrammes presque identiques représentant quatre types d'argiles (H. Amireche, 2001) :

- L'illite à 50%.
- La Kaolinite à 45%.
- La Smictite à 15%.
- La chlorite à 10%.

Les argiles dans cette région sont relativement actives. Ceci est bien dû à la présence de minéraux actifs, notamment la Smictite. Ces argiles sont peu à très plastique (H. Amireche, 2001).

Les différentes formations lithologiques du versant Est du Barrage de Beni Haroun sont résumées sur le log de la figure 05.

La disposition de ces dépôts néogènes est intensément perturbée par une série d'accidents affectant cette partie du bassin. A ce propos, une grande faille de direction N W – S E met en contact les argiles marneuses à gypse avec les conglomérats et les calcaires lacustres sur lesquels ils reposent. Par ailleurs, ces argiles marneuses sont mises en contact avec les conglomérats qu'ils surmontent par une grande faille de direction E – W. (Voir coupes sur la figure 06)

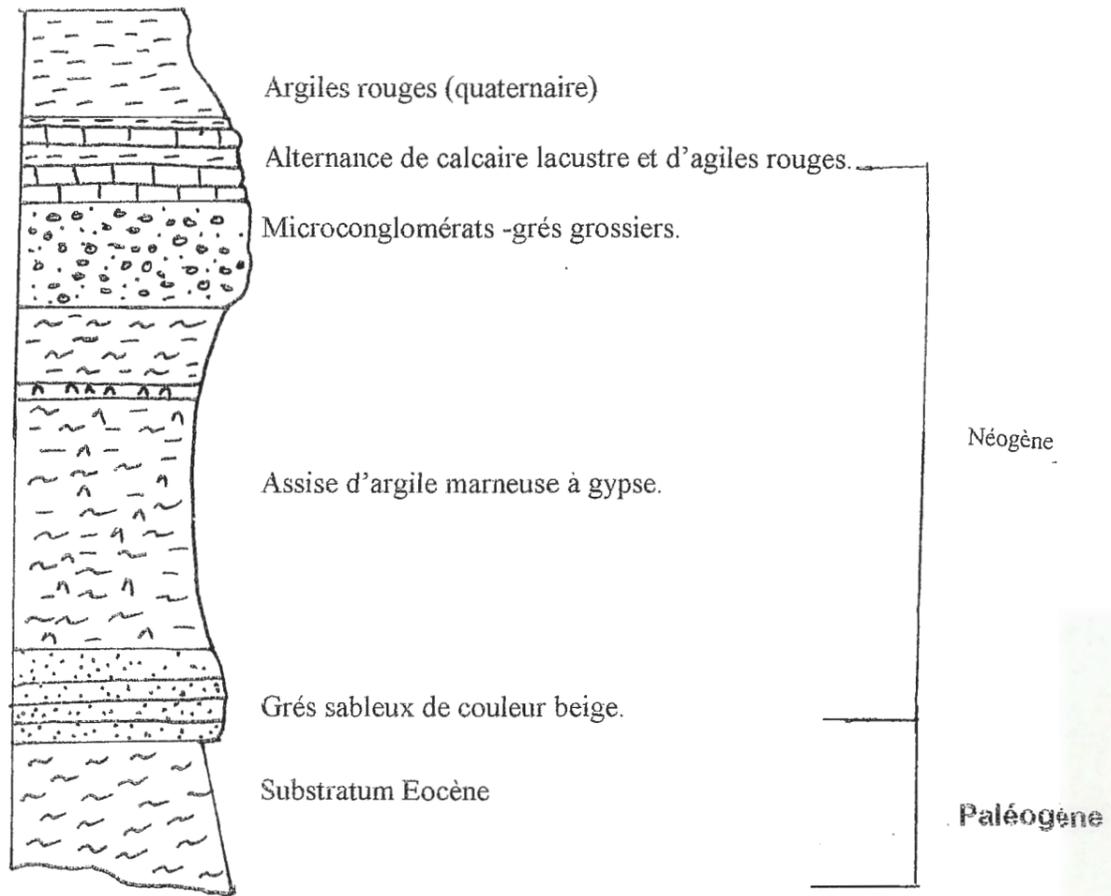
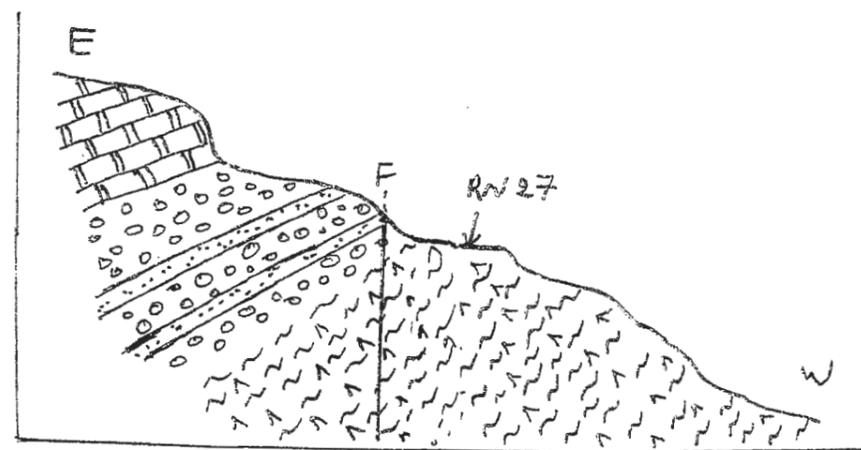
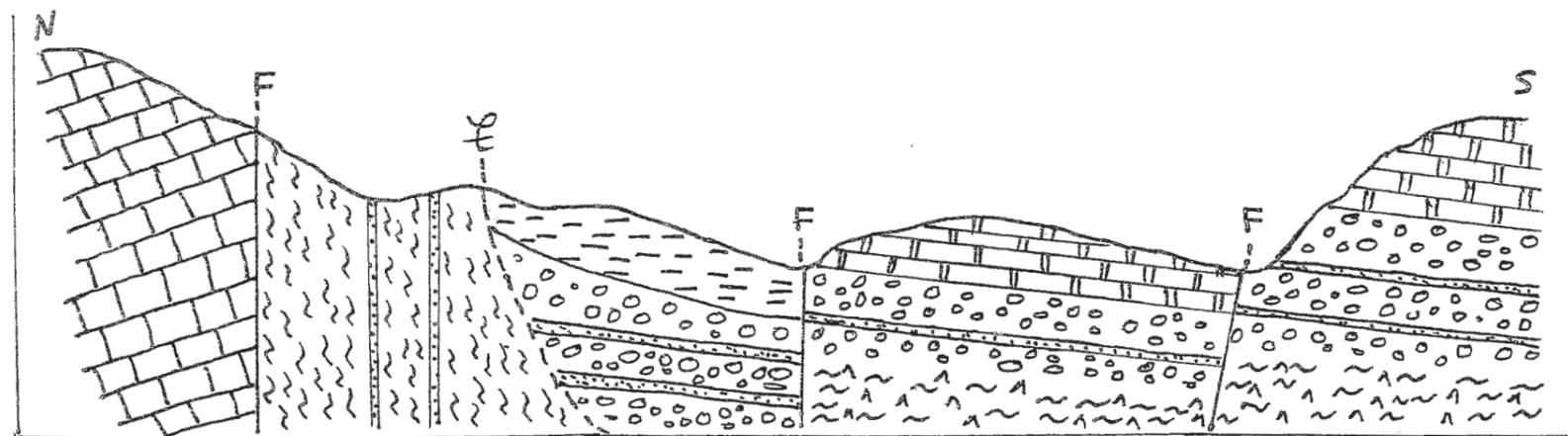


fig. 05 : log lithostratigraphique du secteur étudié



-  Argile rouge Quaternaire
-  Calcaire lacustre
-  Conglomérats à passé gréseux
-  Argile marneuse à gypse
-  Marne Eocène
-  Calcaire Yprésien

fig. 06 : coupes géologiques du secteur étudié

IV-2- Aspect tectonique du secteur étudié :

IV-2-1- Tectonique cassante :

Le secteur étudié est affecté par des grands accidents tectoniques d'ampleur régional animés par des déplacements verticaux (failles) et des déplacements horizontaux (décrochements).

L'activité tectonique a un rejeu continu dans le temps affectant aussi bien les formations du substratum que les dépôts Mio-Plio- Quaternaires (coiffait 1992).

L'étude de système de fracturation laisse apparaître que la région a été soumise à une tectonique cassante d'ampleur régionale dominée par des directions Est - Ouest, Nord - Sud, Nord Est - Sud Ouest et Nord Ouest - Sud Est.

Cette tectonique cassante est surtout bien visible dans les formation de l'Eocène au niveau d'Oued Dib au Nord du secteur étudié, les signes de cette tectonique sont observées au niveau des affleurements ou recoupés par sondages.

Dans la zone d'étude, on peut citer une série d'accidents de direction E – W notamment l'accident qui marque la limite septentrionale du bassin néogène de Constantine et les accidents parallèles à ce dernier et qui affectent les calcaires lacustres et leurs base conglomératique dans la région de Sibari. Ces accidents de direction E – W sont recoupés par une série de failles de directions N – S et dont la principale est impruntée par l'Oued El Kebir. A ces deux directions se conjuguent deux autres directions, Nord Est – Sud Ouest et Nord Ouest – Sud Est. Les mesures effectuées au niveau des plans de faille sont comme suit :

- les failles E – W sont de direction N 75° à 85° E.
- les failles N – S sont de direction N 0° à 5° E et N 175° à 180° E.

Les mouvements de terrain observés dans le secteur étudié montrent une répétition spatiale et temporelle, efficacement contrôlée par les nœuds et les couloirs de ces accidents. En effet, les points de déclenchement de ces mouvements coïncident généralement avec les nœuds des failles et les glissements en masse le long des couloirs tectoniques.

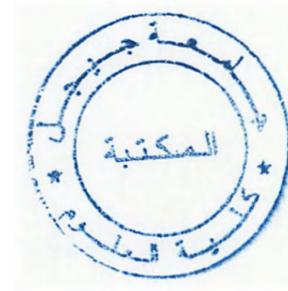


Planche 02 : Photo illustrant les plans de failles.

IV-2-2- Tectonique souple :

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

Les traces de plissement observées dans les dépôts Mio-Plio-Quaternaires du bassin néogène de Constantine sont un témoin d'une phase de compression postérieure au comblement du bassin. (Coiffait, 1992)



163

Co
 Tal
 Ch
 Ro
 Li
 Li
 (di
 Fa
 Fa
 D
 C
 N
 D
 G
 C
 A
 C
 7



Chapitre V

Chapitre V : Etude hydrologique et hydrogéologique.**V-1- hydrologie :****V-1-1- Facteurs climatiques :**

La région étudiée est caractérisée par un climat tempéré à précipitations importantes surtout en hiver la neige ne fait que de rares apparitions, surtout sur les sommets les plus élevés. Les vents sont généralement faibles à modérés.

V-1-1-1- précipitations :

La région est équipée de deux stations pluviométriques (Station Hamala Grerem et station du barrage) en raison de l'importance des précipitations et de la géomorphologie du versant.

Les données de la pluviométrie de la période entre 1990-2000 enregistrées par la station de Hamala (tableau 03). L'analyse du tableau des variations des précipitations nous donne les résultats :

Il montre que l'année hydrologique 94/95 était la plus humide avec un total de 887.8 mm, par contre l'année la plus sèche était 98/99 avec un total de 79.7 mm.

On remarque que les mois les plus pluvieux sont : Décembre, Janvier et Février (hiver), et la saison la plus sèche est l'été (Juin, Juillet, Août) (graphe01).

Alors que les données de la pluviométrie de la période entre 2003 – 2005 enregistrées par la station du barrage de Beni Haroun montrent également que la saison la plus pluvieuse est l'hiver et la plus sèche est l'été.

On remarque aussi que les mois les plus pluvieux sont Décembre, Janvier, Février et Avril et les mois les plus secs sont Juillet et Août.

V-1-1-2- Conclusion :

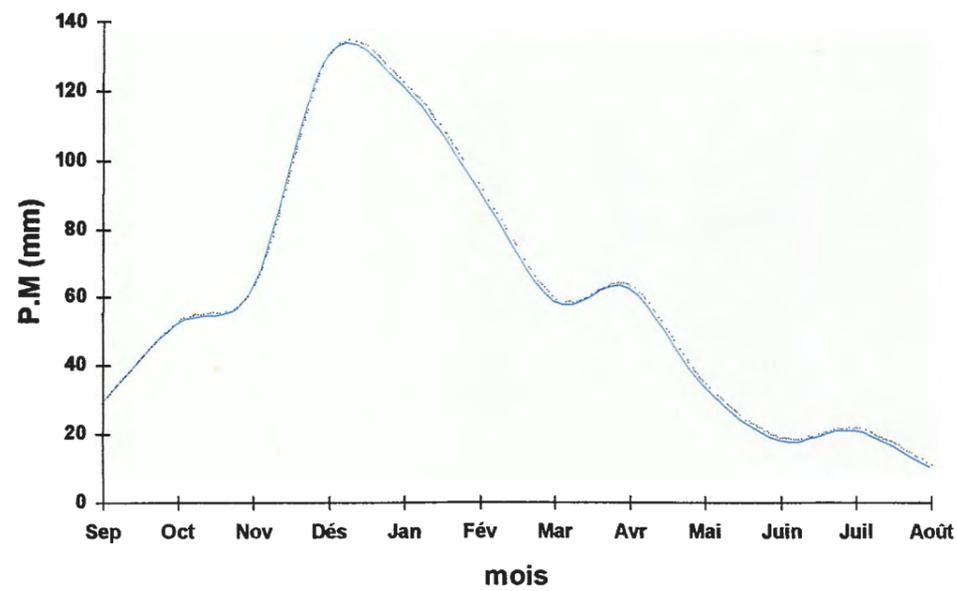
Les précipitations sont caractérisées par des variations interannuelles importantes, la pluviométrie atteint son maximum au mois de Janvier et Février et son minimum au mois d'Août.

Pluviométrie station Hamala Grerem (1990 – 2000) :

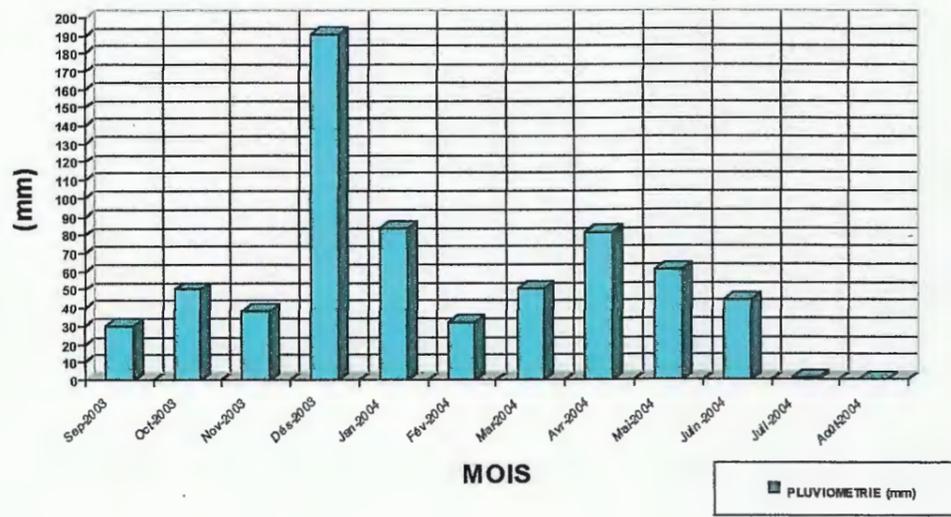
Années Mois	Sep	Oct	Nov	Dés	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août
1990-1991	0	8	150	250	100	74	82	170	72	14	16	0
1991-1992	12	96	42	20	110	96	50	42	61	8	5	10
1992-1993	22	20	35	250	100	29	8	/	/	/	/	/
1993-1994	19	63	45	235	200	40	90	35	5	59	/	/
1994-1995	42	90	10	95	261	36	136	130	25	5	59	/
1995-1996	46	18	47	35	87	331	104	92	58	12	31	19
1996-1997	50	54	50	60	142	27	18	24	20	16	1	17
1997-1998	43	77	166	156	98	104	/	/	/	/	/	/
1998-1999	/	/	/	/	/	/	42	11	5	22	/	/
1999-2000	34	/	22	79	2	/	15	6	/	/	/	/

Tableau 03 : Données pluviométriques de la station de Hamala pour la période 1990-2000.**Pluviométrie moyennes :**

Mois	Sep	Oct	Nov	Dés	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août
P.M (mm)	30	53	63	131	122	92	60	64	35	19	22	11

**Fig.07** : Graphe exprimant la moyenne mensuelle des précipitations de la période 1990-2000 (Station de Hamala).

PLUVIOMETRIE (mm)
(Année Hydrologiaue 2003 - 2004)



PLUVIOMETRIE (mm)
(Année Hydrologiaue 2004 - 2005)

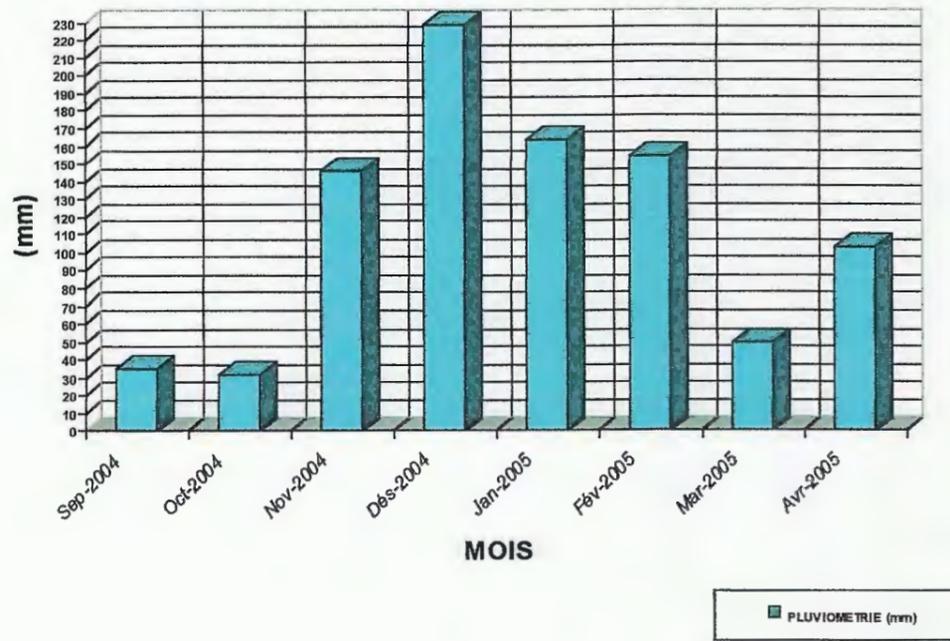


Fig.08 : Histogrammes illustrant les précipitations mensuelles de la période 2003-2005 (Station du barrage).

V-2- hydrogéologie :

Le versant Est du barrage de Beni Haroun est constitué par des dépôts Mio-plio-quadernaires. Ces dépôts sont représentés essentiellement par des argiles, des marnes gypsifères, des conglomérats, des grès et des calcaires lacustres. Une irrégularité d'épaisseur et de répartition spatiale marque ces dépôts. La porosité efficace est moyenne à très faible. L'ensemble de ces roches ont une faible perméabilité d'interstice et de fissure (ne forment pas d'aquifère notable).

*** le niveau de la nappe :**

Les mesures sur les piézomètres et la présence des sources dans les zones instables indiquent une nappe de versant subaffleurente, comme montre le tableau ci-dessous, la profondeur de la nappe est inférieure à trois mètres en période pluvieuse (au niveau de tous les piézomètres), cette différence est réduite à zéro par temps de forte pluie confirmant la saturation de l'ensemble du massif argileux, donc la piézométrie la plus défavorable est obtenue par temps de forte pluie, cette piézométrie ne varie que légèrement avec le temps.

Piézomètre ou sondage	PRA 1	PZ 1	PZ 2	PZ 3	G 11	G 12
Terrain naturel	198.5	200	177	222	204	148
Niveau piézométrique	194.5	199.7	174.7	221.6	202.6	1.45

Tableau 1 : Résultats des mesures piézométriques.

Les écoulements :

Malgré le couvert végétal, il réunit toutes les conditions favorables pour l'écoulement superficiel ou épidermique (la nature de terrain, conditions géomorphologiques, et les facteurs météorologiques) (Meberki, 1982).

L'imperméabilité du terrain :

Le versant de Sibari est constitué dans sa majeure partie de formations argilo-marneuses à perméabilité faible.

Les conditions géomorphologiques :

Le versant de Sibari montre des conditions géomorphologiques très particulières, caractérisés par des reliefs très accidentés où la pente est variée entre 35 et 60 %.

Les facteurs météorologiques:

Le versant de Sibari appartient au bassin inférieur de Constantine à hiver doux, les précipitations étant entre 900 et 1200 mm par ans.

L'imperméabilité du terrain, les conditions géomorphologiques s'ajoutent aux fortes précipitations favorisent largement l'écoulement des eaux en surface ou le long de la limite entre les dépôts quaternaires et les formations marneuses peu perméables, ce qui donne lieu à un milieu instable caractérisé par des processus morphodynamique divers et très actifs, engendrant des glissements des terrains et des coulées boueuses (Meberki, 1982).

Piézomètre / sondage	PRA 1	PZ 1	PZ 2	PZ 3	G 11	G 12
Terrain naturel	198.5	200	177	222	204	148
Profondeur du piézomètre	35 m	30 m	30 m	30 m	35 m	50 m
9/11/2002		199	172	220	200	
16/11/2002		198	172	220	199	
23/11/2002		198	173	220	197	
28/11/2002	186	198	173	217	197	
30/11/2002	186	198	173		197	
08/11/2002	186	19	173	220	197	
14/12/2002	195	199	174	221	201	
21/12/2002	195	199	174	221	201	
28/12/2002	195	199	174	221	200	
30/12/2002	194	197	174	221	199	
15/01/2003	193	198	174	221	199	
18/01/2003	193	200	174	221	202	
22/02/2003	193	199	175	221	201	
08/03/2003	193	199	175	221	201	145
10/05/2003	193	199	174	221	203	
17/05/2003	193	199	174	221	199	
24/05/2003	191	200	174	221	196	
31/05/2003	192	200	174	221	196	
07/06/2003	192	N'existe plus	174	221	196	
14/06/2003	191		174	220	196	
21/06/2003	191		174	220	195	
28/06/2003	191		174	220	195	
07/07/2003					Cisailé à 195.50	143
12/07/2003	194		174			142

Tableau 2 : mesures piézométriques

Chapitre VI

Chapitre VI : Etude géotechnique du site

VI-1- Caractéristiques géotechniques du secteur étudié :

Le versant Est du barrage de Beni Haroun sur le quel a porté notre étude est formé pour l'essentiel de dépôts néogènes, représentés dans la majorité par des dépôts détritiques (conglomérats, microconglomérats, Argiles et grés sableux ...), des dépôts évaporitiques (gypse intercalé dans les formations argileuses) et des calcaires lacustres.

Le versant Est du barrage de Beni Haroun se particularise par une pente relativement importante vers l'Ouest.

Les données de terrains montrent plusieurs zones instables. Ces zones instables caractérisées par des glissements actifs semblent être contrôlés par la tectonique. En effet, les plus grands mouvements de terrain sont localisés le long des couloirs des grands accidents tectoniques de direction E – W. Les différentes zones instables de ce versant peuvent être résumée comme suit :

Une première zone située au niveau du contact des dépôts néogènes avec leur substratum au Nord du bassin, cette zone était active depuis longtemps. Elle se manifeste par des coulées boueuses le long du couloir matérialisant la zone du contact des dépôts néogènes avec leur substratum. Ces coulées boueuses charriant des paquets de gypses et des arbres, engendraient souvent le blocage de l'ancienne RN 27(planche 03 et 04). Cette zones a connu une réactivation des mouvements de terrain marquée par l'apparition d'une fissure importante aux cours des travaux de décapage vers la cote 170 NGA (niveau géodésique Algérien) le 3 juin 2003, ce qui confirme l'activité réelle de la partie superficielle de ce glissement.

Une deuxième zone parallèle à la précédente, marquée par des traces d'instabilité dans la partie superficielle aussi que des fissurations au niveau des constructions.

En plus, sur le talus amont de la RN 27, on observe un autre glissement qui semble être superficiel et qui affecte les argiles rouges de la couverture Quaternaire.

Au contrebas de la RN 27, un autre glissement spectaculaire avec plusieurs niches d'arrachement emboîtés. Il est déclenché en 2000 et a été réactivé en 2005, provoquant la ruine de quelques habitations.



Planche 03 : Photo illustrant une coulée boueuse au niveau du contact néogène-substratum-paléogène.



Planche 04 : Photo illustrant le glissement superficiel des argiles quaternaires.

La partie inférieure du versant n'a connu de mouvements de terrain qu'en 2003 où deux inclinomètres (I_2 et I_4) ont été cisailés après une période de forte pluies d'hiver.

Une troisième zone du glissement, située au Sud du secteur étudié. Cette zone montre les mouvements de terrain les plus importants. Les premiers mouvements de terrain dans cette zone ont débuté en 1998 (planche 05 et 06) dans la partie inférieure du versant suite à une importante chute de pluie. Ce mouvement de terrain a provoqué le basculement de plusieurs maisons. Alors que la partie supérieure n'a connu de mouvement de terrain qu'à partir de 2005. les mouvements de terrain déclenchés en 2005 ont pris naissance au niveau de la déviation de la RN 27 (planche 07 et 08) où on observe un effondrement d'une partie de la route accompagné par des bombements en aval avec l'enfoncement de près de 25 maisons. Ce mouvement de terrain paraît assez complexe (planche 09, 10 et 11). En effet ce mouvement correspond à un glissement rotationnel.



Planche 05 : Photo illustrant la direction du mouvement de terrain de 1998 et de 2005.



Planche 06 : Photo illustrant les niches d'arrachement du mouvement de terrain de 1998 (A) et de 2005 (B).



Planche 07 : Photo illustrant l'axe de la faille E-W avec le point du départ du glissement (2005).



Planche 08 : Photo illustrant le bourrelet du glissement.



Planche 09 : Photo illustrant l'enfoncement d'une maison.



Planche 10 : Photo illustrant le déplacement des pillons vers le Sud.



Planche 11 : Photo illustrant le basculement de construction.

VI-2- Caractérisation géotechniques du secteur étudié:

Une campagne de reconnaissance géotechnique comprend les étapes suivantes :

VI-2-1- Les essais in situ :

Les essais in situ consistent à la réalisation de sondages mécaniques, d'essais pressiométriques, pénétrométriques et inclinométriques.

VI-2-1-1- Les sondages mécaniques :

Selon la nature de terrain et le but des sondages, on utilise :

- Sondages carottés :

Ce type de sondage sert en principe à extraire des échantillons de sol sans en modifier ni l'état, ni la structure. Ces derniers serviront à la détermination en laboratoire des caractéristiques mécaniques (résistance, compressibilité ...). Le prélèvement de ces échantillons nécessite l'usage de carottiers spéciaux.

- Forages destructifs :

Ils ont pour but la réalisation rapide d'un trou permettant l'exécution d'essai divers. Les couches traversées peuvent être identifiées grâce à l'examen des cuttings récupérées en surfaces.

Les trous des forages serviront pour les essais pressiométriques, l'instruction d'inclinomètre et de sondes piézométriques.

VI-2-1-2- Essais pressiométriques :

L'essai pressiométrique consiste à caractériser l'expansion horizontale d'une sonde cylindrique dans un trou de forage à une profondeur donnée, sous des contraintes radiales jusqu'à la rupture du sol.

L'essai doit être réalisé moins de 24 heures après le forage du trou. La sonde est mise en place soit par réalisation d'un forage, soit par fonçage ou battage de la sonde pressiométrique jusqu'à la profondeur désirée. Le chargement se fait par dix paliers de pression, chacun dure 60 secondes. L'essai continu jusqu'à à atteindre la pression limite.

On reporte les résultats des mesures sur un diagramme de chargement ou courbe pressiométrique comme indique sur la figure.

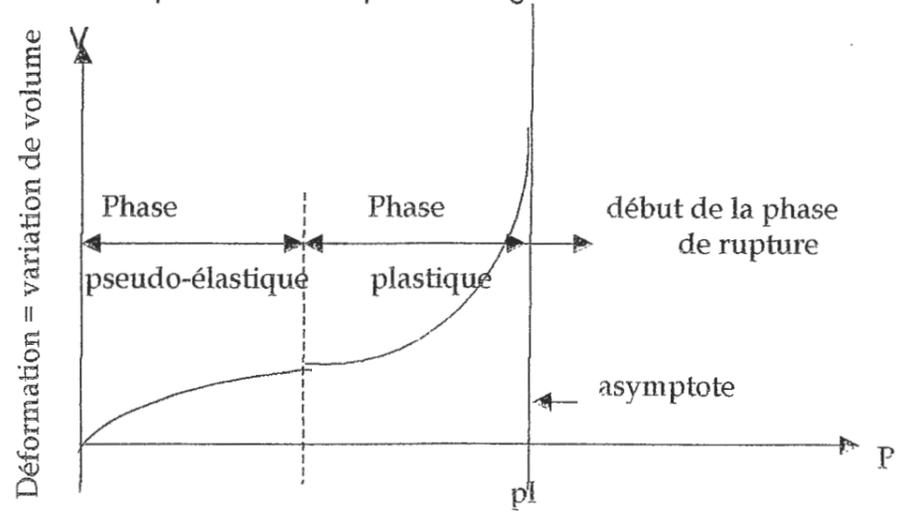


Figure : courbe donnant la relation contrainte – déformation.

La pression limite théorique est par définitions l'abscisse de l'asymptote, comme il est difficile sur une courbe de déterminer avec exactitude le point de contact entre la courbe et l'asymptote, on détermine ce point pour un volume donné V_u est le volume ultime de la sonde qui correspond au double du volume initial (V_0 est le volume d'eau initial injecté pour remplacer la contrainte du sol initial). (fig.09)

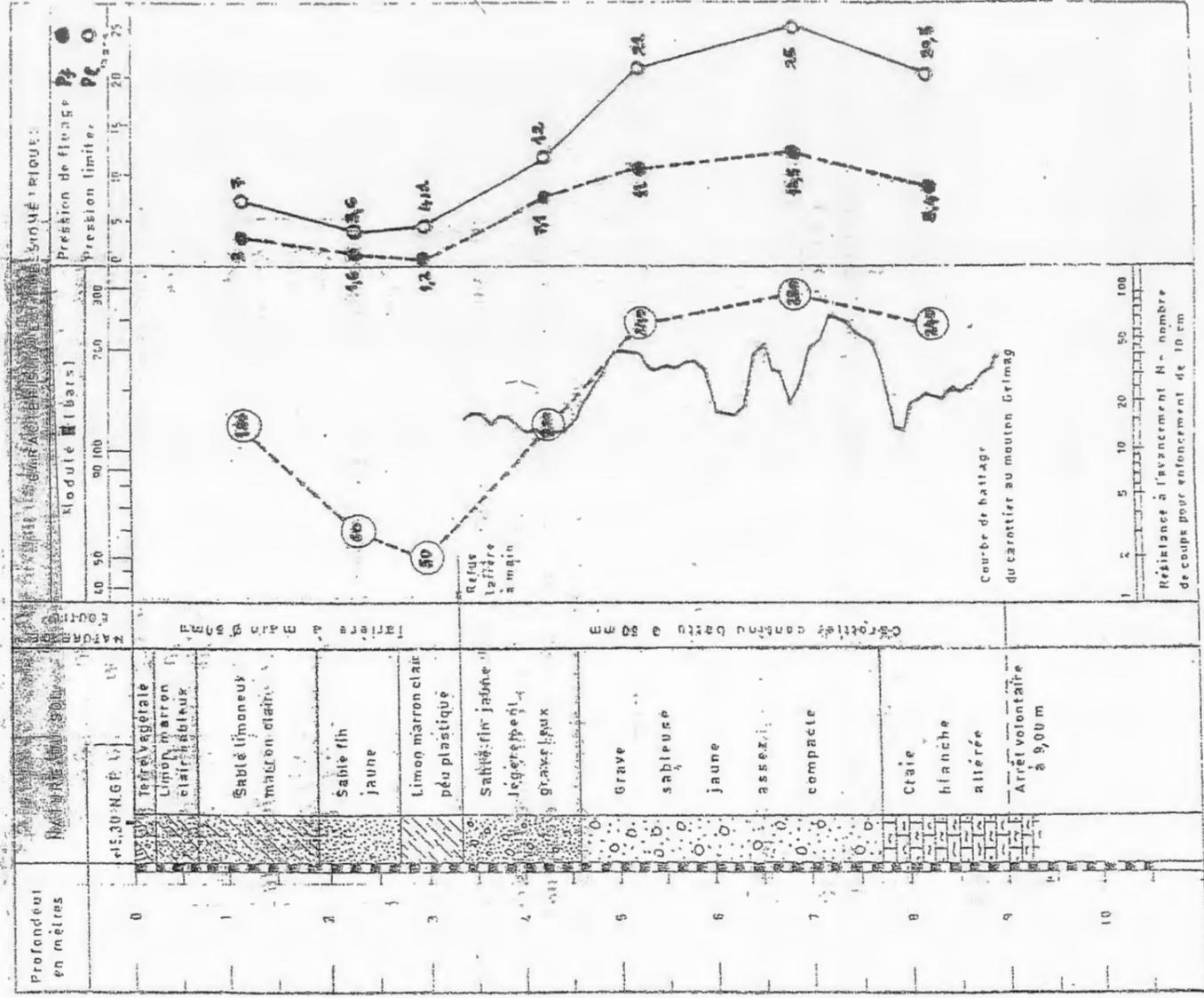


fig. 09 : schéma d'un profil pressiométrique

VI-2-1-3- Essai de pénétromètre statique :

L'essai de pénétration statique consiste à faire pénétrer dans le sol, à vitesse lente et constante, une pointe conique à l'aide d'un vérin.

La pointe correspond à l'extrémité d'une tige centrale avec à l'intérieur un tube pour éliminer le frottement latéral.

Le frottement latéral est mesuré avec un manchon spécial placé au dessus de la pointe. La résistance de la pointe obtenue par le pénétromètre statique est désignée par le symbole R_p . la valeur R_p est calculée à partir de la formule ci dessus :

$$R_p = \frac{F_p}{S_p}$$

Avec : F_p = l'effort de la pointe (la force exercée par le vérin pour pénétrer dans le sol).

S_p = section maximale de la pointe conique.

Dans le cas où le frottement latéral est mesuré sur la totalité du tube extérieur, on exprime par : $f = \frac{F_l}{S_l}$ ou : f est le frottement latéral moyen par

unité de surface.

F_l = le frottement latéral total.

S_l = la surface latérale le long de tube extérieur.

Les résultats d'un essai de pénétration statique sont présentés sous la forme d'un diagramme comme celui de la figure 10,(F.schlosser,1977).

VI-2-1-4- Essai de pénétromètre dynamique :

L'essai de pénétration dynamique consiste à battre un train de tiges finissant par une pointe conique dans le sol, à l'aide d'un mouton de masse M tombant d'une hauteur fixe H et de mesurer le nombre de coups N nécessaire pour faire pénétrer la pointe sur une hauteur h . il permet de calculer la capacité portante (résistance dynamique) q_d selon la formule des Hollandais :

$$q_d = \frac{M^2 H}{A} \times \frac{1}{M + P_z} \times \frac{1}{e_2} \quad \text{avec :}$$

q_d = la résistance dynamique de pointe en dcN/cm^2 .

M = poids du mouton en dcN ou N .

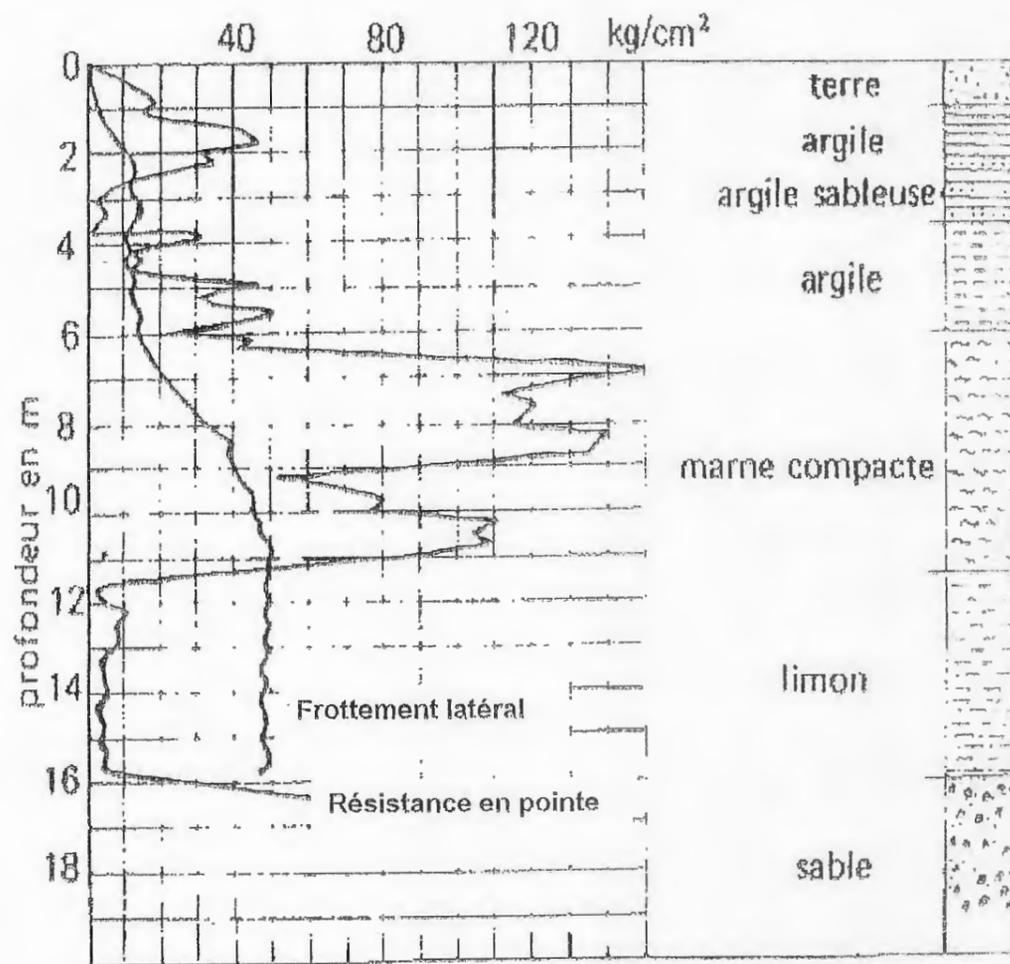


fig. 10 : schéma d'un diagramme d'essai au pénétrömètre statique

H = hauteur de chute en cm ou en m.

P_z = poids des tiges métalliques à la profondeur Z en dcN ou N.

A = section de la pointe de la tige en cm^2 ou m^2 .

E = enfoncement par coups en cm.

$$e = \frac{\text{enfoncement de 10 cm}}{\text{nombre de coups}}$$

les résultats sont présentés graphiquement avec en ordonnées la profondeur de la pointe et en abscisses la résistance dynamique q_d (fig.11).

VI-2-2- Les essais de laboratoire :

Les essais de laboratoire se divisent en deux grandes catégories :

- Les essais d'identification et de classification des sols.
- Les essais de détermination des caractéristiques mécaniques des sols.

VI-2-2-1- Les essais d'identification et de classification des sols :

1)- l'analyse granulométrique par tamisage :

La granulométrie est la mesure de la répartition des grains suivant leurs dimensions. Pour les sols grenus et pulvérulents on utilise une série des tamis normalisés et autres appareillages de laboratoire pour peser. (CORDARY, 1994).

Procédé de l'essai :

On verse le matériau dans le tamis de la plus grande maille on recueille le refus, le tamisât est versé dans le tamis de taille inférieure et ainsi de suite.

On pèse les différents refus et on les cumule, les poids sont rapportés au poids initial, les pourcentages obtenus seront représentés sur la courbe granulométrique on peut classer les sols selon la distribution des dimension des grains en cailloux, graviers, sables grossiers, sables fins, limons et argiles ...).(fig.12)

2)- caractéristiques physiques des sols :

- poids volumique sec (δ_d) :

l'échantillon est séché en étuve puis pesé et introduit dans le tube à essai. Cet échantillon va déplacer l'eau d'un volume qui est égale à son volume (V_1). L'eau va monter dans le tube gradué, la graduation atteinte est V_2 .

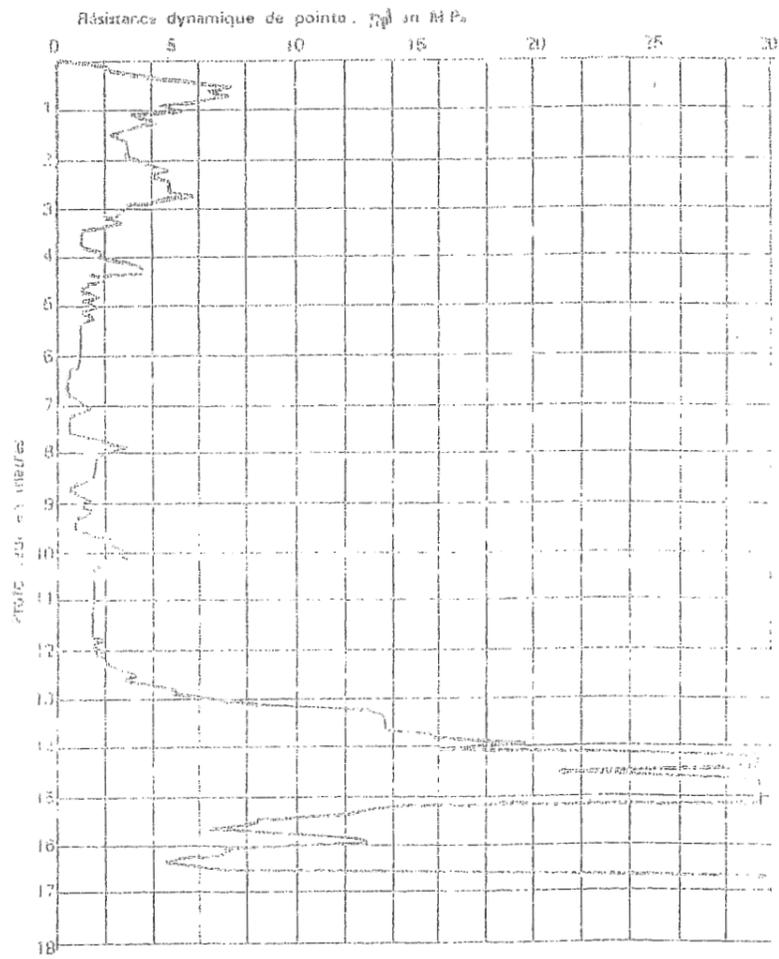


fig. 11 : schéma d'un diagramme du pénétromètre dynamique

- ① Argile du Sparmassien
- ② Limon des plateaux
- ③ Sable du Stampien
- ④ Sable de Seine

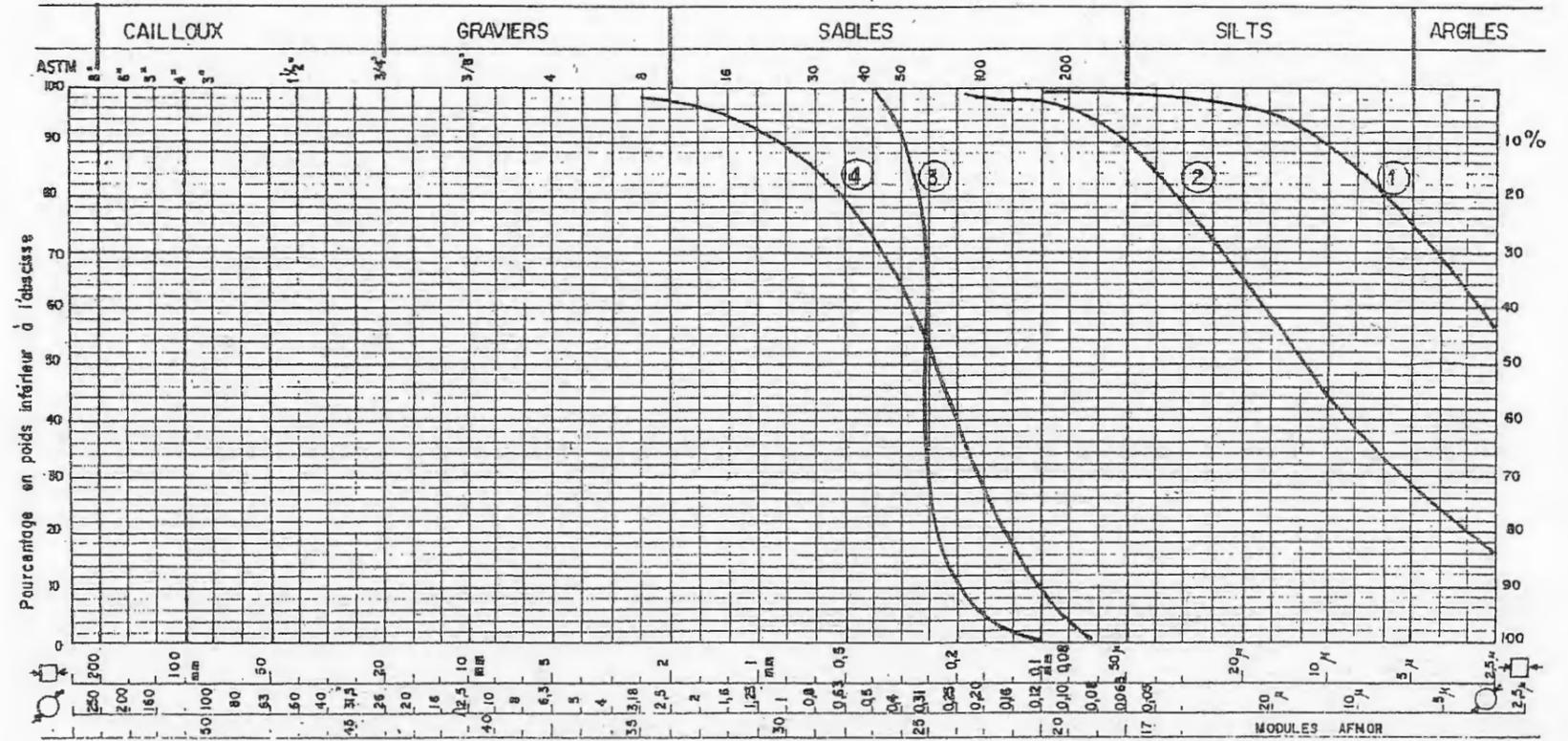


FIG. 12 — Analyses granulométriques de quelques sols.

La ligne supérieure indique les noms des catégories de sols d'après la dimension des grains. Les différentes échelles horizontales donnent la correspondance entre les tamis de la norme américaine ASTM, la maille des tamis, le diamètre des passoires et la norme française AFNOR.

le volume de l'échantillon est : $V_s = V_2 - V_1$.

le poids volumique sec est défini comme le poids des éléments solides par unité de volume de l'échantillon.

$$\delta_d = \frac{W_s}{V_s}$$

- poids volumique humide (δ_h) :

c'est le même procédé de l'essai du poids volumique sec sauf que pour cet essai on utilise l'échantillon sans séchage.

$$\delta_h = \frac{W_h}{V_h}$$

- La teneur en eau (W) :

l'échantillon est séché dans l'étuve à 105° pendant 12 heures pour les sols fins, et pesé deux fois; la première avant le séchage pour obtenir le poids totale (W_T) et la deuxième après séchage pour obtenir le poids sec (W_s) de l'échantillon.

La teneur en eau se définit comme étant le rapport en pourcentage du poids d'eau au poids des grains solides.

$$W = \frac{W_{Th} - W_s}{W_s} = \frac{W_w}{W_s} \text{ en \% .}$$

- Les limites d'ATTERBERG :

les limites d'Atterberg sont des teneurs en eau conventionnelles qui fixent un état du sol. On les mesure sur la fraction passant au travers du tamis de 0.5 mm.

- Limite de liquidité (WL) :

la limite de liquidité est la teneur en eau au dessus de la quelle le sol se comporte comme un semi – liquide et s'écoule sous son propre poids.

Pour effectuer l'essai, on utilise l'appareil de casagrande, constitué par une coupelle pouvant recevoir des chocs, et un outil à rainurer.

Procédé de l'essai :

L'échantillon est mis en place dans la coupelle et on trace une rainure au moyen d'un instrument en forme de V (outil à rainurer), on imprime à la coupelle des chocs semblables en comptant le nombre de chocs nécessaires pour fermer la rainure sur 1 cm, on mesure la teneur en eau de la pâte. La limite de liquidité est

donnée par la formule $W_L = W \left(\frac{N}{25} \right)^{0.121}$.

Avec : W_L = limite de liquidité, W = la teneur en eau au moment de la fermeture, N = le nombre de coups correspondant.

- limite de plasticité (Wp) :

La limite de plasticité est la teneur en eau au dessous de laquelle le sol perd sa plasticité et devient friable.

Pour déterminer W_p on roule l'échantillon sous forme de fuseau et on l'amincit progressivement jusqu'à 3 mm de diamètre sur une longueur de 10 à 15 mm. La limite de plasticité est la teneur en eau atteinte par le fuseau qui se brise en petits morceaux de 1 à 2 cm.

A partir des limites d'Atterberg notamment W_p et W_L on définit l'indice de plasticité IP , qui se déduit des limites par différence $IP = W_L - W_p$ (P. Mouroux 1988).

VI-2-2-2- Les essais mécaniques :**1)- les essais de résistance au cisaillement :**

Ces essais permettent de déterminer la résistance au cisaillement des sols caractérisée par la cohésion C et l'angle de frottement ϕ .

Pour étudier cette résistance, il y a deux essais principaux :

- L'essai au cisaillement à la boîte de Casagrande.
- L'essai triaxial.

Ces essais comportent en général deux phases :

- phase d'application de contraintes normales avec ou sans drainage.
- Phase de rupture.

Suivant les conditions retenues pour chacune des ces phases, on distingue trois types d'essais :

- **L'essai UU (non drainé, non consolidé):**

Les deux phases de l'essai sont réalisées à drainage fermé correspondant au comportement à court terme du sol. La caractéristique ainsi déterminée est la résistance au cisaillement non drainé du sol, notée C_u ($\phi_u = 0$).

- **L'essai CU (consolidé, non drainé) :**

La première phase est faite à drainage ouvert, cependant la phase de cisaillement se déroule à drainage fermé avec éventuellement mesure de la pression interstitielle, cet essai permet de déterminer les caractéristiques effectives C' et ϕ' si on a mesuré la pression interstitielle.

- **L'essai CD (consolidé, drainé) :**

Les deux phases sont réalisées à drainage ouvert et permettent de déterminer les caractéristiques effectives du sol (C' et ϕ') correspondant à un comportement à long terme du sol.

VI-3- Résultats et interprétation des données géotechniques du secteur étudié :

VI-3-1- Résultats des sondages :

Dans le but de mieux cerner le problème des mouvements de terrain du versant Est du barrage de Beni Haroun, deux campagnes de prospection par sondage carottés ont été réalisées par L.T.P.E (laboratoire des travaux publics Est). Ces deux campagnes de prospection 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 (Voir implantation sur la carte N°02).

- **Première zone de glissement :**

Cette zone de glissement correspond à la zone de contact des dépôts néogènes du bassin de Constantine sur le substratum formé dans cette partie par les marnes et les calcaires à silex de l'Eocène. Cette zone de contact se fait par un important accident de direction E – W. En surface, cette zone de glissement se manifeste par d'importantes coulées boueuses des argiles rouges du recouvrement quaternaire. Cependant, les formations se trouvant sous les argiles rouges quaternaire semblent également affectées par les mouvements de terrain, notamment les argiles marneuses à passée de gypse.

En effet, des paquets formés d'une alternance de couches d'argile marneuse et de gypse sont déposés par les coulées boueuses jusqu'au lits de l'Oued El kebir.

Six sondages carottés ont été effectués dans cette zone. Ces sondages sont répartis comme suit :

- G13 en bas du versant recoupe des alluvions et des argiles limoneuses.
- G12 recoupe des argiles rouges jusqu'à la fin du sondage à 30 mètres de profondeur.
- Plus au Sud le sondage carotté G3 recoupe 7 mètres d'argile rouge quaternaire, puis une alternance de marne avec les argiles à inclusions de gypse, et enfin il recoupe entre 28 et 30 mètres du gypse broyé de couleur gris – blanchâtre.
- G4 recoupe 8 mètres d'argile rouge Quaternaire riche en inclusions carbonatées, sous cette argile il recoupe 7 mètres d'argile marneuse à gypse,

puis 17 mètres de sables et de sable argileux, le sondage recoupe le substratum marneux à 32 mètre de profondeur.

- I1 recoupe 5 mètres d'argile rouge Quaternaire à bloc de calcaire, puis des marnes argileuses entre 5 et 50 mètres de profondeur.
- G9 recoupe d'abord 4 mètres d'argile de recouvrement quaternaire puis 8 mètres d'argile marneuse et enfin une marne sableuse évaluant vers des grés fins.
- I3 recoupe 5 mètres de remblai et 5 mètres d'argile rouge, puis des argiles marneuses entre 10 et 39 mètres, le sondage recoupe le substratum à 39 mètres de profondeur.

- **Deuxième zone de glissement :**

cette zone est caractérisée par des effleurements de gypse, des grés et des marnes gris bleues.

Neufs sondages carottés ont été effectués dans cette zone .

- En bas du versant les sondages carottés G14 et G17 ont recoupé une alternance de marnes et d'alluvions.
- G15 et G16 ont recoupé des argiles rouges quaternaires et des marnes.
- G6 a recoupé des argiles rouges quaternaires, des marnes à inclusions gypseuses puis une argile marneuse entre 33 et 38 mètres de profondeur.
- Juste à coté du G6, le sondage carotté I2 recoupe 11 mètres d'argile rouge, sous ce niveau, il recoupe une alternance de marne et d'argile, le substratum marneux n'est pas atteint .
- G4 et I4 rencontre sous une faible épaisseur de recouvrement quaternaire, des argiles marneuse à gypse.

- **Troisième zone de glissement :**

cette zone de glissement est caractérisée par l'intersection de trois grandes failles de direction N – S, E – W, et NW – SE. Ces failles sont bien matérialisées dans les formations compétentes représentées par des grés et des conglomérats ainsi que les calcaires lacustres.

Deux sondages carottés ont été réalisés.

Les logs des sondages montrent les termes suivants :

- Au sommet, sous une couverture de terre végétale, viennent des argiles rouges limoneuses quaternaires sur une épaisseur de 10 mètres. Ces argiles sont surmontées par des argiles marneuses à gypse (entre 13 et 31 mètres), puis viennent des marnes assez compactes à fillonets de gypse entre 31 et 50 mètres de profondeur.

VI-3-2- Résultats des essais in situ :

VI-3-2-1- Sondages pressiométriques :

trois sondages pressiométriques ont été réalisés, deux parmi eux dans les deux premières zones de glissement et un troisième entre ces deux zones.

- Sondage pressiométrique PRA1 :

Il est implanté en l'ordre de la première zone du glissement à la cote 198 NGA.

Entre 198 et 185 NGA, les terrains sont plutôt mous pour des sols argileux ou la pression limite (PI) est de 8 à 10 bars.

En dessous de 185 NGA les argiles deviennent fermes à très fermes, voire dures en fin de sondage à la cote 164 NGA où PL est 25 bars.

- Sondage pressiométrique PRF1 :

Il a été réalisé au sud de la deuxième zone du glissement dans les marnes bleues, à la cote 157 NGA.

Les valeurs de la pression limite augmente instantanément jusqu'à 145 NGA avant d'augmenter considérablement jusqu'à la fin du sondage.

- Sondage pressiométrique PRG1 :

Il est implanté entre les deux zones du glissement à la cote 200 NGA.

La valeur de la pression limite est de 15 à 24 bars entre 200 et 195 NGA (valeur caractéristique des marnes tendres ou d'argile très ferme) puis diminué à 12 bars à la cote 169 NGA.

VI-3-2-2- Sondages pénétrométriques :

cinq sondages pénétrométriques (pénétrömètre statique) ont été réalisés, un sondage dans la première zone du glissement et quatre sondages dans la deuxième zone. (voir implantation sur la carte n°: 02).

- **Première zone du glissement :**

- **Sondages pénétrométriques SPA1 :**

Il a été réalisé au pied du versant, à la cote 132 NGA. Les courbes de mesures nous permet d'en déduire que la résistance à la pointe croit assez rapidement, de façon linéaire pour atteindre 110 bars à 2.60 mètres de profondeur.

Elle atteint 40 bars vers 3.60 m et 25 bars pour 6.50 m de profondeur. Le sondage s'arrête à 8.40 m.

- **Deuxième zone du glissement :**

- **Sondage pénétrométrique SPF2 :**

Le terrain est assez résistant. La résistance à la pointe atteinte 112 bars à 3.7 m et 110 bars à 15 m. la surface de refus est à 15 m de profondeur.

- **Sondage pénétrométrique SPF3 :**

Après une première zone résistance à 20 cm (50 bars), la résistance de pointe s'établit à 10 bars entre 0.50 et 2.50 m. elle augmente ensuite à 50 bars entre 2.50 à 4 m. Entre 4 et 8 m, elle varie entre 50 et 80 bars.

Le sondage a été arrêté à 8 m (zone correspondant à la limite entre le recouvrement quaternaire et les argiles marneuses).

- **Sondage pénétrométrique SPF1 :**

La résistance de pointe est faible entre 0 et 3.60 m, elle varie autour de 10 bars, puis augmente jusqu'à 140 bars à 5 mètre de profondeur.

La surface de refus est à 6 m de profondeur avec une résistance de pointe de 200 bars correspondant aux formations marneuses.

- **Sondage pénétrométrique SPG1 :**

Il a rencontré quatre surfaces résistantes :

- Une surface située à 6.20 mètres de profondeur, caractérisée par une résistance à la pointe supérieure à 200 bars.
- Une surface situées à 8.80 mètres de profondeur, caractérisée par une résistance à la pointe de 150 bars.
- Une surface situées à 12.40 mètres de profondeur, caractérisée par une résistance à la pointe supérieure à 200 bars.

- Une surface située à 14 mètres de profondeur, caractérisée par une résistance à la pointe supérieur à 200 bars.
- En dehors de ces pics les valeurs varient entre 8 et 30 bars. Le sondage a été arrêté à 14 m (profondeur correspondant aux terrains argilo-marneux).

Le secteur d'étude présente des surfaces superficielles de refus (entre 6 et 15 m de profondeur) ce explique le glissement superficiel.

VI-3-3- Résultats des essais de laboratoire :

VI-3-3-1- Essais d'identification :

Des essais d'identification ont été réalisés sur des échantillons prélevés sur les sondages carottés I2, I3, I4, G10 et PZ2. ces essais ont comporté la mesure des poids volumiques secs et humides, de la teneur en eau, la détermination de la granulométrie, la détermination des limites d'atterberg, et la détermination de la teneur en carbonate et en sulfate.

Les résultats sont reportés dans le tableaux suivant :

Sondage	Profondeur (m)	δd (t/m ³)	W (%)	δh (t/m ³)	Teneur carbonates (%)
I3	15-15.50	1.48	28.9	1.91	27.06
I3	4-4.40	1.63	21	1.97	27.82
I3	7.50-7.70	1.61	24.3	2	30.82
I3	13.70-14.10	1.66	22.2	2.03	25.56
G10	2.30-2.70	1.63	22.8	2	21.8
PZ2	3.50-3.80	1.58	23.8	1.96	28.95
PZ2	5-5.50	1.69	20.8	2.04	31.95
PZ2	14.50-15.10	1.66	20.1	1.99	26.69
I4	2-2.30	1.7	18.8	2.02	30.83
I4	4.20-4.50	1.77	19	2.11	20.67
I2	14-14.50	1.92	12.60	2.16	25.56
I2	19.20-19.40	1.92	13.3	2.18	21.8
I2	28.50-29	1.89	14.9	2.17	30.07
I4	13.50-13.90	1.92	15.9	2.23	22.55
I4	20-20.30	2	14.4	2.29	22.55

Tableau 4 : résultats des essais d'identification

1- Poids volumique et la teneur an eau :

On peut déduire du tableau que les argiles marneuses se caractérisent par un poids volumique sec (δd) élevé et relativement constant de l'ordre de 1.90 t/m³ et une teneur en eau faible.

Pour les argiles rouges quaternaires, le poids volumique sec est nettement moins élevé, de 1.60 à 1.7 t/m³, se qui traduit le caractère moins compact. Conjointement à ce poids volumique moins élevé, les argiles rouges quaternaires présentent une teneur en eau supérieure à celle des argiles marneuses. Leur teneur est comprise entre 20 et 24 %. Cette teneur en eau compense en partie la diminution du poids volumique sec, de sorte que l'écart observé sur les poids volumiques humides est important même si les marnes et les argiles marneuses

conservent des valeurs élevées (en moyenne $\delta h = 2.2 \text{ t/m}^3$, au lieu de 2 t/m^3 pour les argiles rouges quaternaires).

2- Teneur en carbonate :

68.75 % des échantillons présentent une teneur en carbonates entre 21 et 30%. Pour ces sols, on peut parler d'argile marneuse plutôt que de marne. Alors que les carottes observés sur certains sondages tendent à confirmer le caractère marneux. En effet, ces échantillons présentent des teneurs en carbonates variant entre 30 et 31.5 %.

3- analyse granulométrique :

Selon le rapport du laboratoire des travaux publics Est (L.T.P.E), l'ensemble des échantillons appartient à des matériaux fins, puisque le passant à 80 mm est supérieur à 85% est dépasse fréquemment 95%. (excepté pour I3 à 15 m de profondeur, où il est 77%).

En outre, la passant à 3 mm (qui donne une indication sur la teneur en argile) est important; il dépasse généralement 40% et atteint parfois 55% et plus.

4- Limites d'atterberg :

Seule les indications sur l'indice de plasticité sont données par le rapport du L.T.P.E.

Selon ce rapport, les échantillons présentent des indices de plasticité entre 19 et 31 %. Un échantillon en l'occurrence (G10) à 2.30 m atteint 40%, ce qui correspond à des terrains plastiques à très plastiques.

5- La teneur en sulfate :

La teneur en sulfate des eaux du versant du barrage de Beni Haroun représentée sur le tableau ci dessous :

Prélèvement	So1	So2	So3	So4	So5	So6
	Source dans les marnes	Eau stagnante	Source dans le talweg	Eaux superficielles	Source	Eau stagnante dans le talweg
Teneur en sulfate	2100	2700	94	170	420	720

Tableau 05 : Teneur en sulfates des eaux du versant du barrage de Beni Haroun.

Cette dissolution s'accompagne également par une instance 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, ce qui conduit à des effondrements et/ou affaissement en profondeur s'accompagnant en surface par des déplacements en masse si la topographie est favorable.

VI-3-4- Propriétés mécaniques du sol :

1- La cohésion et l'angle de frottement non drainé :

Les résultats des essais triaxiaux et de cisaillement à la boîte en terme de cohésion et angle de frottement non drainé sont représentés dans les tableaux ci dessous:

Sondage	G2 à 10 m	G3 à 6.3 m	G4 à 6.8 m	G5 à 8.5 m	G6 à 18.10 m	G8 à 18.6 m	G8 à 20.7 m
Echantillon	Argile rougeâtre	Argile tendre	Argile tendre rouge	Argile marneuse	Marne	Argile marneuse	Marne grise compacte
Cu (KPa)	190	106	60	32	80	10	117
$\phi_u(^{\circ})$	7	30	15	25	2	26	17

Tableau 06 : résultats des essais cisaillement à la boîte.

Sondage	G1 à 9.60 m	G6 à 10.10 m	G7 à 10.96 m
Echantillon	Argile	Marne	Argile marneuse
Cu (KPa)	4	105	56
$\phi_u(^{\circ})$	13	0	9.6

Tableau 07 : résultats des essais triaxiaux.

Les résultats sont dispersés (par exemple, pour l'essai triaxial, l'échantillon G6 à 10.10 m, $C_u = 105$ KPa, $\phi_u = 0^{\circ}$ pour l'essai de cisaillement à la boîte G6 à 18 m, présente $C_u = 80$ KPa, $\phi_u = 2^{\circ}$).

Le caractère très dispersé des résultats donne un aperçu de la perte de résistance géomécanique de l'argile marneuse au niveau des surfaces de glissement ou de faille.

Cependant, la dispersion conduit à émettre des doutes sur la fiabilité des résultats.

2- La cohésion et l'angle de frottement effectives :

Les résultats des essais triaxiaux consolidés drainés sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Sol	Argile rouge	Argile marneuse	Marne saine	Alluvion
C' (KPa)	0 – 2	16 – 31	100	0
	24.5 en pied de versant			
Ø' (°)	12	12 - 24	15	30

Tableau 08 : résultats des essais triaxiaux consolidés drainés.

La cohésion et l'angle de frottement effectives issus des triaxiaux consolidés drainés sont les propriétés nécessaires au calcul de stabilité à long terme. Les propriétés mécaniques sont beaucoup plus faibles en amont du versant qu'en aval, la cohésion effective des argiles rouges Quaternaires est proche du zéro (2 KPa) en amont du versant, alors qu'elle est plus de dix fois plus grande en aval. Pareillement la cohésion effective des argiles marneuses suit la même tendance.

VI-4- Mesures inclinométriques :

L'inclinomètre est un appareil utilisé pour mesurer la déformation du terrain à différents profondeurs en fonction du temps.

Le principe de la mesure consiste à introduire un tube inclinométrique à l'intérieur d'un de forage vertical. Le dernier mètre de tube doit être ancré dans le substratum, la sonde inclinométrique est descendue dans le tube et mesure l'angle d'inclinaison du tube à différents profondeur.

Dans la zone de Sibari plusieurs inclinomètres ont été installés. A cette effet, nous avons pris en considération que les inclinomètres implantés dans les zones instables.

Deux séries de mesures ont été effectuées, la première entre le 16 Décembre 2002 et 23 Juillet 2003, la répartition des inclinomètres est comme suit :

- I3 au sommet de la première zone du glissement.
- I4 au sommet de la deuxième zone du glissement.
- I2 en partie médiane de la deuxième zone du glissement

La deuxième série de mesure a été effectuée entre le 04 Avril et le 9 Mai 2004.

Trois autres inclinomètres ont été installés :

- I10 et I11 dans la troisième zone du glissement.
- I9 a remplacé les inclinomètres I2 et I4 (qui ont été cisailé en Avril 2003).

Leur implantation est indiquée en planche 1. sur l'ensemble des inclinomètres, les axes de mesure ont été orientés selon des directions Nord Ouest – Sud Est (Axe A) et Nord Est – Sud Ouest (Axe B).

Les courbes de mesures obtenues sont données en annexe 4.

VI-4-1- Interprétation des mesures entre 16 Décembre 2002 et 23 Juillet 2003 :

Inclinomètre I3 : première zone de glissement :

Les courbes de mesure montrent des déplacements discontinus liés à une succession de plusieurs surfaces de glissement. Les courbes font apparaître sur I3 deux surfaces de glissement proprement dites, entre 0 et 5 m de profondeur avec un déplacement de 4 mm selon l'axe A et de 10 mm selon l'axe B, et entre 28 et 37 m avec un déplacement de 3 mm. La surface supérieure correspond à un glissement superficiel des argiles rouges quaternaires sur les couches sous – jacentes.

Chapitre VII

Chapitre VII : Conclusion et recommandation.

VII-1- Résumé et conclusion :

D'après les caractéristiques géologiques et géotechniques des zones instables du versant Est du barrage de Beni Haroun, deux types de mouvements de terrain peuvent être distingués :

- Des glissements superficiels : affectent principalement la couverture argileuse quaternaire. Ces glissements se manifestent par des coulées boueuses et des loupes de glissement. Ils sont contrôlés par la nature de terrain, la topographie, la pluviométrie et l'activité anthropique (excavation au sein du village, terrassements routiers, terrassement lié au confortement du barrage au pied du versant, surcharge des constructions et des remblais).

Les eaux d'infiltration saturent rapidement les terrains de couverture argileuse et lubrifient la surface de contact entre les argiles rouges quaternaires et les couches d'argile marneuse sous – jacentes plus imperméables et souvent encroûtées, ce qui favorise l'apparition de surface de glissement.

La forte pluviométrie qu'a connu la région en Janvier et Février 2005, a engendré de nombreuses coulées boueuses le long de la route nationale Jijel – Constantine; ainsi que sur le versant Est du barrage de Beni Haroun, comme en témoignent les nombreuses loupes de glissement et les niches d'arrachement.

Selon les mesures inclinométriques, la profondeur de glissement superficiel affecte principalement la tranche de terrain comprise entre 0 et 12,5.

- Des mouvements de terrain de grande ampleur :
La répartition spatiale de ces mouvements de grande ampleur laisse apparaître une étroite liaison avec les nœuds et les couloirs des grands accidents tectoniques orientés E – W. le long de ces couloirs tectoniques le cisaillement et le broyage des roches fragilisent les formations néogènes. Ces zones de faiblesses forment de véritables drains pour les eaux d'infiltrations. La circulation des eaux le long de ces zones de faiblesse engendre la dissolution des roches solubles (carbonates, gypse et sel).
Cette dissolution 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, ce qui conduit à des effondrements et/ou affaissement en profondeur s'accompagnant en surface par des déplacements en masse si la topographie est favorable.

VII-2- Recommandations :

Les moyens pour remédier aux glissements sont définis après le diagnostic des causes et plus précisément après le classement par ordre d'importance des divers causes possibles. En d'autres termes il faut examiner la nature spécifique de chaque rupture et faire apparaître ses caractères propres.

Face à un glissement de terrain, il est possible de maître en œuvre trois types d'actions pour le freiner ou le bloquer :

- Drainage.
- Augmentation des efforts ou des moments résistants.
- Diminution des efforts ou des moments moteurs.

D'après les données de terrain et les résultats des mesures géotechniques du secteur étudié, l'eau et la lithologie apparaissent comme les facteurs les plus influant sur le déclenchement de mouvement de terrain. A ce propos ; les mesures qu'on peut proposer pour limiter ces mouvements de terrain peuvent être comme suit :

1- Collecte des écoulements superficiels par :

- Mise en place des caniveaux correctement dimensionnés et entretenus en bordure des chaussées.
- Collecte des eaux drainées.
- Captage des sources et étanchements des torrents par maçonnerie, bétonnage ou mise en place des plaques métallique soudées entre elles.

2- Masque drainant :

Le principe de cette méthode, consiste en la substitution d'une partie du talus instable par des matériaux (ex : tout-venant).

Ceci permet de :

- Réduire la pente.
- Réduire le ruissellement superficiel (donc réduire l'érosion) et l'effet de la pression de courant.
- Le rabattement de la nappe.

Ces matériaux drainants sont mis en place de manière à limiter au maximum le risque de glissement plan d'une couche sur l'autre.

On peut limiter ce masque à un simple filtre de pied dans le but est de fournir une certaine butée et d'éviter l'affouillement du pied de versant sous l'effet d'une pression de courant, ce que l'ANB (Agence Nationale des Barrages) est entraîné de réaliser pour conforter la partie basse du versant. Ce confortement consiste à augmenter la recharge sur toute la zone concernée par le glissement.

3- Tranchées drainantes :

Le principe des tranchées drainantes est de remplacer une partie des matériaux originels par des matériaux drainants. A la partie inférieure de la tranchée, une canalisation drainante perforée sur la 1/2 partie supérieure, cette canalisation doit permettre l'entrée des eaux drainées et leur évacuation au large de la zone traitée.

La réalisation de cette technique nécessite une étude détaillée concernant la connaissance précise des surfaces de glissement sur l'ensemble de la zone (pour donner la profondeur de chaque tranchée) et la perméabilité de terrain (pour le nombre et l'espacement des tranchées). La granulométrie de départ doit être bien choisie pour retarder le colmatage du filtre et des drains (si les drains sont colmatés, le système perd une bonne partie de son efficacité, et la seule solution consiste à le renforcer complètement).

Cette technique est d'une bonne efficacité, mais elle présente l'inconvénient dans les terrains argileux (cas de versant de Sibari) où les parois des tranchées sont difficiles à maintenir, donc il faut remblayer au fur et à mesure que les tranchées sont creusées pour éviter le risque de décompression et d'affaissement.

4- Forages verticaux (puits) :

Cette technique repose sur la réalisation d'un réseau de puits en constituant un écran drainant discontinu. Les puits ont des profondeurs dépendant de la surface de glissement (généralement quelque dizaine de mètres), l'espacement et le nombre de puits dépendent de la perméabilité de terrain.

Cette dernière est évaluée à partir d'un forage d'essai, s'il est possible.

La vidange des puits peut être gravitaire suivant des drains subhorizontaux ou effectuée par des pompes électriques à déclenchement automatique.

5- Drains subhorizontaux :

Cette technique consiste à mettre en place un tube de petit diamètre par forage et introduction d'un tubage drainant ou au moyen de tubes métalliques poussés à force ou battus dans le versant, les tubes sont perforés sur le 2/3 supérieur et légèrement inclinés (au minimum 5%) pour permettre l'écoulement de l'eau recueillie au sein du terrain.

Les drains subhorizontaux peuvent être mis en place depuis la surface. Dans ce cas, cette technique est caractérisée par une mise en place aisée et un entretien facile (les drains peuvent être périodiquement décolmés par injections de l'eau sous pression) mais pour rabattre une nappe émergente, il faut organiser un cadrage du versant avec 1 m de drains pour 2 à 5 m de terrain à traiter ce qui paraît très délicats à réaliser dans ce type de terrain (terrain argileux) et demanderait la mise en œuvre d'un matériel très spécifique et un coût très élevé (avec cette superficie de terrain à traiter). Pour ces raisons on peut remplacer les drains subhorizontaux réalisés depuis les surfaces par des drains réalisés depuis des puits. Dans ce cas les drains servant pour évacuer les eaux des puits et pour le drainage.

Bibliographie

Cette Bibliographie représente les ouvrages effectivement consultés, non seulement ceux qui sont cités dans le texte, mais tous ceux qui ont nourri nos réflexions approfondies nos connaissances méthodologiques et consolidé nos hypothèses.

- H. Amirache (2001) : L'eau, le substrat, la tectonique et l'anthropisation dans les phénomènes érosifs du Tell Nord Constantinois. Thèse d'état F.S.T.G.A.T.- p226.
- Y. Bouftouha (1989) : Etude des skarns et indice métallifère de l'auréole métamorphique du massif granitique de Beni-Toufout.
- (Kabylie de Collo, N-E algérien). Thèse de magister, université de Constantine, 136p.
- A. Bouafia (2004) Les essais in situ dans les projets de fondations.
- J. P. Bouillin et Al (1970) : Définition d'un flysch Massylien et d'un flysch Maurétanien au sein des flyschs allochtones de l'Algérie C.R.A. CAD. Sc. Paris. T270. série D. P. 2249 – 2252.
- J. P. Bouillin (1977) : Géologie alpine de la petite Kabylie dans la région Collo et d'El Milia. Thèse de doctorat. Paris.
- Ph. A. Coiffait (1992) : Un bassin post nappe dans son cadre structural l'exemple du bassin de Constantine (Algérie orientale). Thèse Science. Nancy I. P. 502.
- D. Cordary (1994) : mécanique des sols.
- D. Delga (1955) : Etude géologique de l'Ouest de la chaîne numidique. Thèse. Sciences. Paris. Publ. Serv. Carte géol. Algérie.
- D. Delga (1969) : Mise en point sur la structure du Nord Est de la Berberie . Publ. Serv. Carte géol. Algérie. Ns. Alger.
- G.Filliat(1988) : la pratique des soles et fondations.
- J. P. Gelard (1969) : Le flysch à base schisteu – gréseuse de la bordure méridionale et orientale du massif de Chellata, le flysch maurétanien (grande Kabylie) B.S.G.F. N° 7. Paris.
- P. Habib (1982) : Génie géotechnique.
- J. C. Lahander (1979) : Datation des grés numidien d'Algérie orientale conséquences structurales C.R.A cad. Sc. Paris, t 289, (D), n° 4, PP 383 – 386.
- A.Meberki (1982) : le bassin du kebir-Rhumel- Hydrologie de surface et aménagement des ressources en eau. Thèse de doctorat 3^{ème} cycle.

- P. Mouroux (1980) : Construction économique sur sol gonflant.
- G.Sanglerat (1983) : problème pratique de mécanique des sols et de fondations.
- G.Sanglerat (1982) : précis de géotechnique. Application de la mécanique des sols et des roches.
- G.Sanglerat – J.Costet (1981) : Cours pratique de mécanique des sols /1. Plasticité et calcul des tassements.
- J. F. Raoult (1969) : Relation entre la dorsale Kabyle et les flyschs sur la transversale de Dj Ghédir, phases tangentielles Eocène, paléogéographie (Nord Constantinois, Algérie). Bull. Soc. Fr, Paris.
- J. F. Raoult (1974) : Géologie du centre de la chaîne numidique (Nord Constantinois, Algérie). Thèse. Sc. Paris. Mem. Soc. Géol. Fr. ns. L III, Mem. N° 21. Paris.
- J. F. Raoult (1975) : Evaluation paléogéographie et structural de la chaîne Alpine entre le golf de Skikda et Constantine (Algérie orientale). Bull. Soc. Géol. Fr, XVII Paris.
- F. Schlosser (1977) élément de mécanique des sols.
- J.M.Villa (1980) : La chaîne Alpine d'Algérie orientale et des confins algéro – tunisiens. Thèse de Doct. D'état, Univ. Pierre et Marie Curie (Paris VI), 3 Vol. p 665. Paris.
- W.Wildy(1983) Cjaîne tello – rifaine (Algérie – Maroc – Tunisie) structure stratigraphie et évolution du trias au Miocène.
- Harza Engineering company (1986) Etude d'avant – projet détaille d'un barrage sur l'Oued Kebir ou l'un de ses affluents.
- Note EDF – CIH (2003) : Barrage de Beni Haroun – glissement de Sibari – Expertise – Analyse de la stabilité de rive droite de la retenue à l'aval du village.
- Note EDF – TEGG (2003) : Barrage de Beni Haroun – glissement de Sibari – Synthèse de reconnaissances.
- Bulletin des LPC N° 150-151 (1987) : risques naturels.

Annexe I :
Sondages carottés

Profondeur (m)	Description lithologique
5,00	Bloc de différentes tailles et natures marno-calcaire, calcaire.
20,00	Marne argileuse brune, peu compacte.
50,00	Marne argileuse brune, tantôt compacte et tantôt friable.

**Sondage carotté I1
(LTPE, 2003)**

Profondeur (m)	Description lithologique
	Terre végétale brune.
	Blocs et graves de grés et parfois calcaire + quelques passages d'argile marneuse graveleuse.
7,00	Argile marneuse brune, graveleuse.
8,00	Argile marneuse graveleuse, bariolée.
9,30	
14,30	Marne grise friable.
17,20	Marne brune friable, graveleuse.
21,00	Marne grise friable avec présence de traces de gypse.
	Marne brune friable avec présence de traces de gypse..
46,00	
50,00	Marne bariolée friable.

Sondage carotté I2
(LTPE, 2003)

Profondeur (m)	Description lithologique
2,00	Graves, blocs de grés et calcaire enrobés dans des argiles marneuses.
5,00	Argile marneuse graveleuse par endroit
10,50	Marne argileuse bariolée graveleuse avec présence de traces de gypse.
15,00	Marne bariolée, avec présence de traces de gypse.
19,00	Marne gypseuse bariolée, compacte.
31,00	Marne grise gypseuse, compacte.
50,00	Marne gypseuse grise, très compacte (gypse très abondant).

**Sondage carotté I3
(LTPE, 2003)**

Profondeur (m)	Description lithologique
	Terre végétale
4,00	Marne argileuse à limoneuse peu graveleuse Marne limoneuse plastique brunette à grisâtre altérée par endroit graveleuse.
9,00	Marne argilo-limoneuse de couleur brunette à trace de gypse altéré.
14,00	Marne argileuse assez compacte a débris de coquille + trace de gypse.
19,00	Marne limoneuse très graveleuse à cristaux de gypse.
26,00	Marne argileuse plastique brunette à jaunâtre.
31,00	Marne limoneuse à gypse avec présence de blocs de moyenne taille de calcaire.
50,00	Marne à filon de gypse

**Sondage carotté I10
(LTPE, 2003)**

Profondeur (m)	Coupe	Observation
1		Argile sableuse brunâtre à rougeâtre. tendre et plastique avec peu d'inclusions
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		Argile brun rougeâtre légèrement compacte avec très peu d'inclusions
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		Argile brunâtre à rougeâtre moyennement compacte et peu plastique
16		
17		
18		Argile brunâtre à rougeâtre. Peu plastique et compacte
19		
20		
21		
22		
23		
24		
25		
26		Niveau argileux gris verdâtre
27		Argile brun rougeâtre peu plastique Et très compacte.
28		
29		
30		

COUPE DE SONDAGE N° G2

Profondeur (m)	Coupe	Observation
1 -		Argile brunâtre à inclusions
2 -		Argile brunâtre finement sableuse
3 -		
4 -		
5 -		Argile brunâtre tendre à inclusions gypsifères
6 -		
7 -		Argile brunâtre moyennement compacte
8 -		
9 -		
10 -		Argile brunâtre à noirâtre à inclusions avec un passage marneux compact entre 13 et 13,5 m
11 -		
12 -		
13 -		
14 -		Argile brun rougeâtre à inclusions de gypse
15 -		
16 -		Argile marneuse brunâtre à verdâtre
17 -		
18 -		
19 -		Argile brunâtre à rougeâtre avec alternance de niveaux compacts et de niveaux moyennement tendres
20 -		
21 -		
22 -		
23 -		Marnes grisâtre à noirâtre, riches en inclusions gypseuses, marquées par une alternance de niveaux durs consistants et de niveaux moyennement tendre et fissurés
24 -		
25 -		
26 -		
27 -		
28 -		
29 -		Gypse broyé de couleur gris blanchâtre
30 -		

COUPE DE SONDAGE N° G3

Profondeur (m)	Coupe	Observation
1 -		Argile brunâtre à inclusions
2 -		Argile brunâtre finement sableuse
3 -		
4 -		
5 -		Argile brunâtre tendre à inclusions gypsifères
6 -		Argile brunâtre moyennement compacte
7 -		
8 -		
9 -		Argile brunâtre à noirâtre à inclusions avec un passage marneux compact entre 13 et 13,5 m
10 -		
11 -		
12 -		
13 -		Argile brun rougeâtre à inclusions de gypse
14 -		
15 -		
16 -		Argile marneuse brunâtre à verdâtre
17 -		
18 -		
19 -		Argile brunâtre à rougeâtre avec alternance de niveaux compacts et de niveaux moyennement tendres
20 -		
21 -		
22 -		
23 -		
24 -		Marnes grisâtre à noirâtre, riches en inclusions gypseuses, marquées par une alternance de niveaux durs consistants et de niveaux moyennement tendre et fissurés
25 -		
26 -		
27 -		
28 -		
29 -		
30 -		Gypse broyé de couleur gris blanchâtre

COUPE DE SONDAGE N° G3

Profondeur (m)	Coupe	Observation
1 -		Couverture argilo-marneuse à cailloutis
2 -		
3 -		Argile brunâtre tendre et remaniée, riches en inclusions
4 -		
5 -		
6 -		
7 -		
8 -		
9 -		Argile brunâtre moyennement compacte
10 -		Argile brunâtre à rougeâtre peu plastique, devenant de plus en plus compacte avec la profondeur
11 -		
12 -		
13 -		
14 -		
15 -		
16 -		
17 -		
18 -		
19 -		
20 -		
21 -		
22 -		
23 -		
24 -		
25 -		
26 -		
27 -		
28 -		
29 -		
30 -		

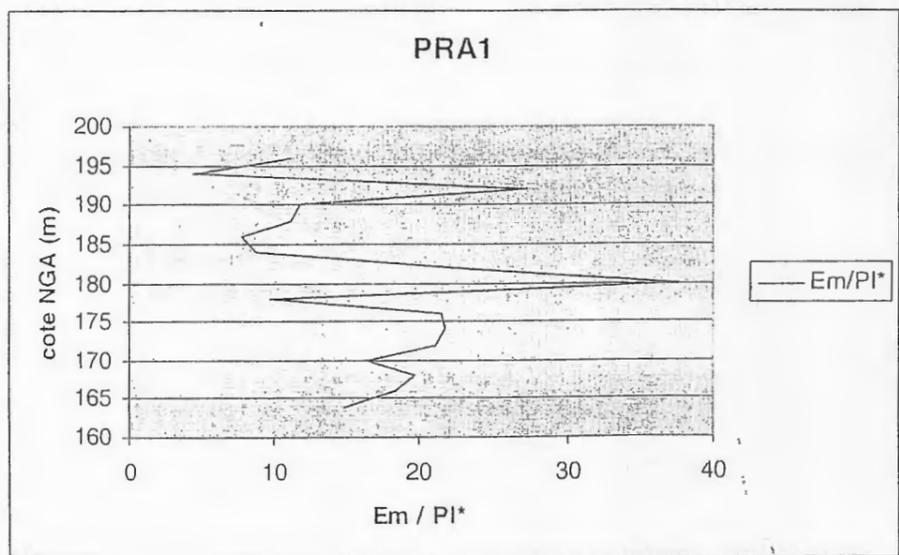
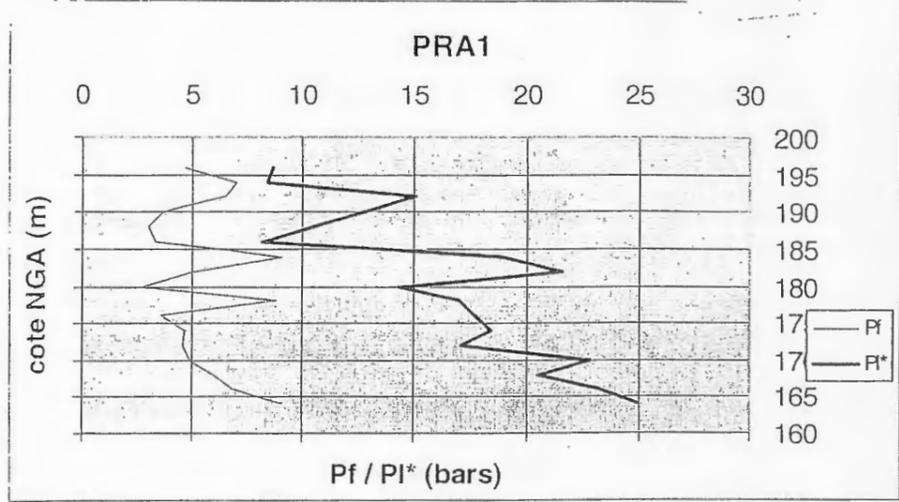
COUPE DE SONDAGE N° G5

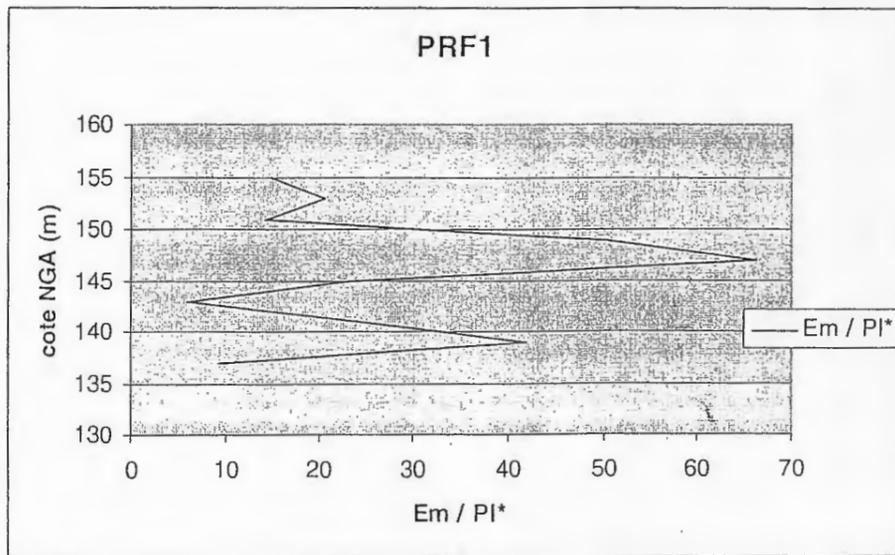
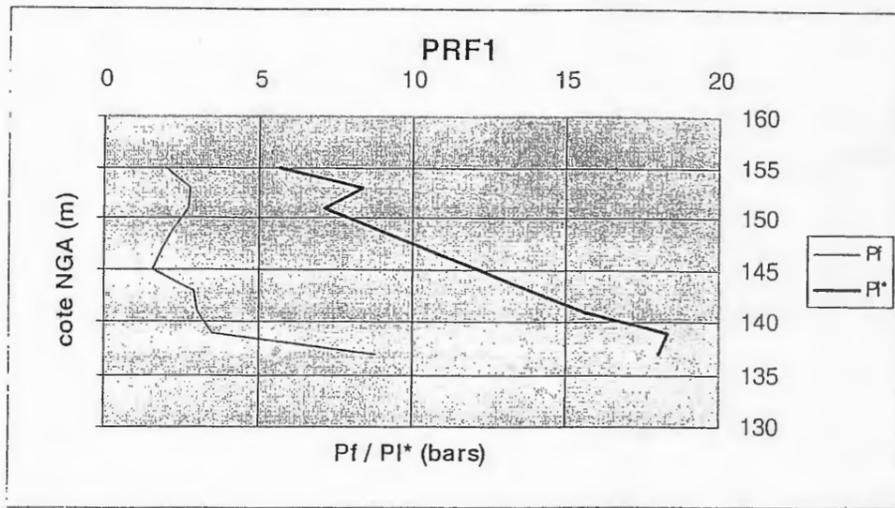
Profondeur (m)	Coupe	Observation
1 -		Couverture argilo-marneuse Riche en inclusions
2 -		
3 -		Argile marneuse brunatre à nuance grisâtre plastique, riche en Inclusions fines
4 -		
5 -		
6 -		
7 -		
8 -		Marne grisâtre tendre et plastique
9 -		
10 -		
11 -		Marnes grisâtre consistantes
12 -		
13 -		se débitant en feuillets et
14 -		marquées par des passées
15 -		
16 -		centimétriques de niveaux
17 -		
18 -		gypseux.
19 -		
20 -		
21 -		
22 -		
23 -		
24 -		
25 -		
26 -		
27 -		
28 -		
29 -		
30 -		

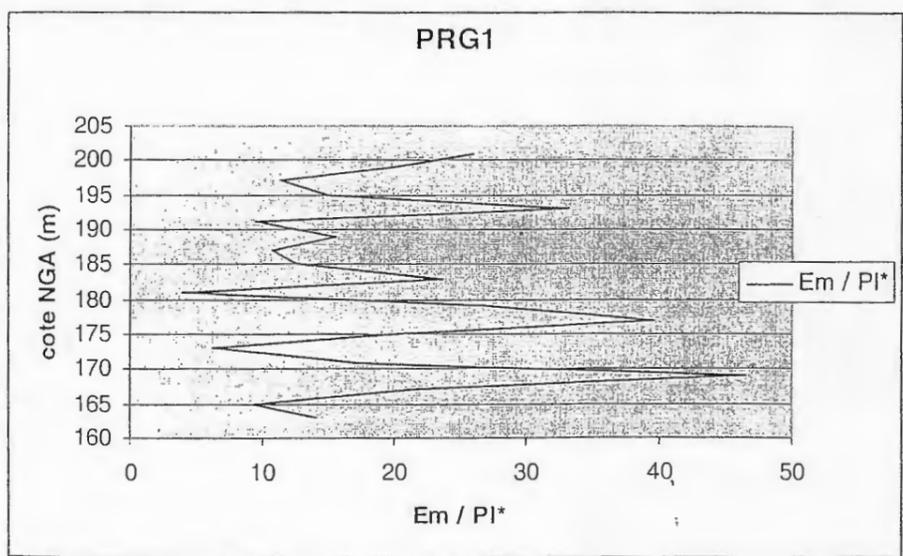
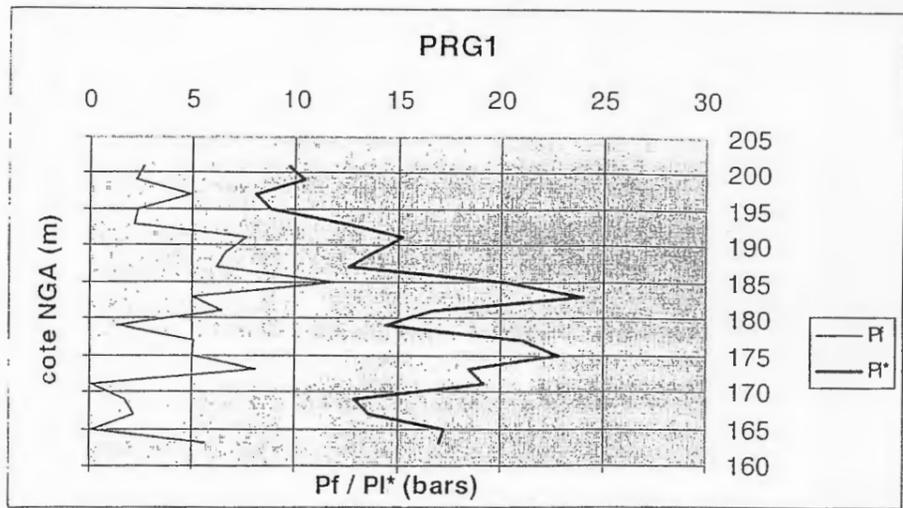
COUPE DE SONDAGE N° G3

Annexe II :
Sondages
pénétrométriques

Annexe III :
Sondages
pressiométriques

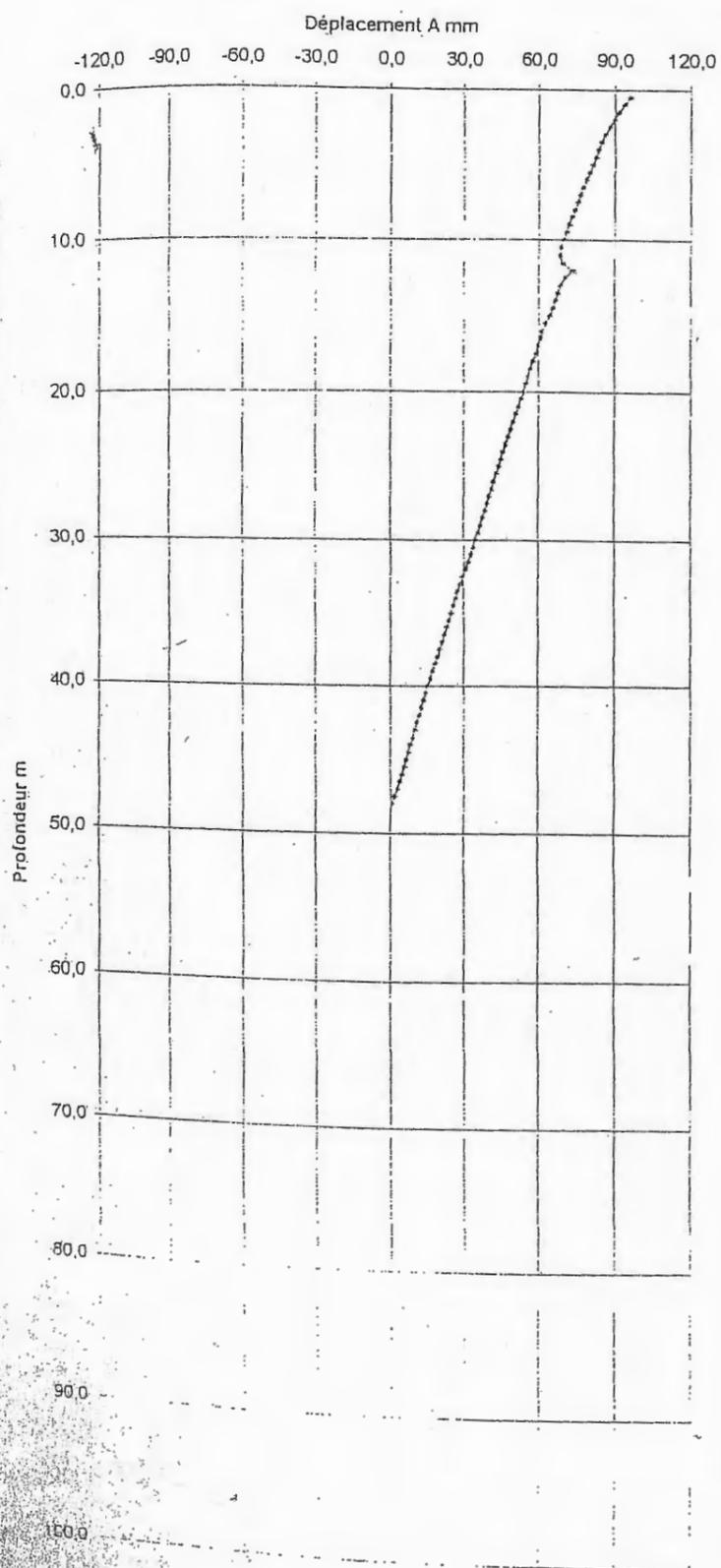






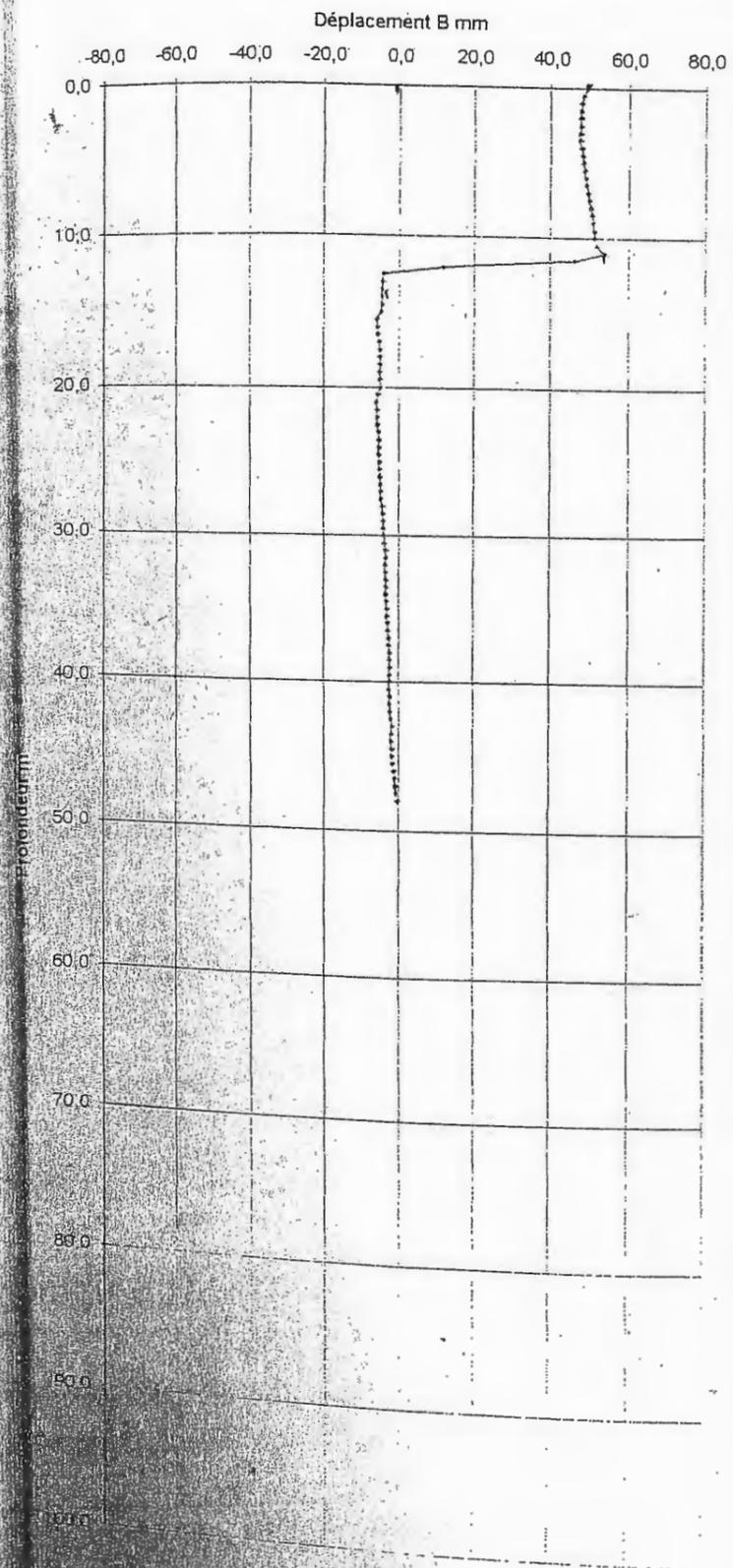
Annexe IV :
Résultats
inclinométriques

Glissement de Sibari - Inclinométrie - Déplacements



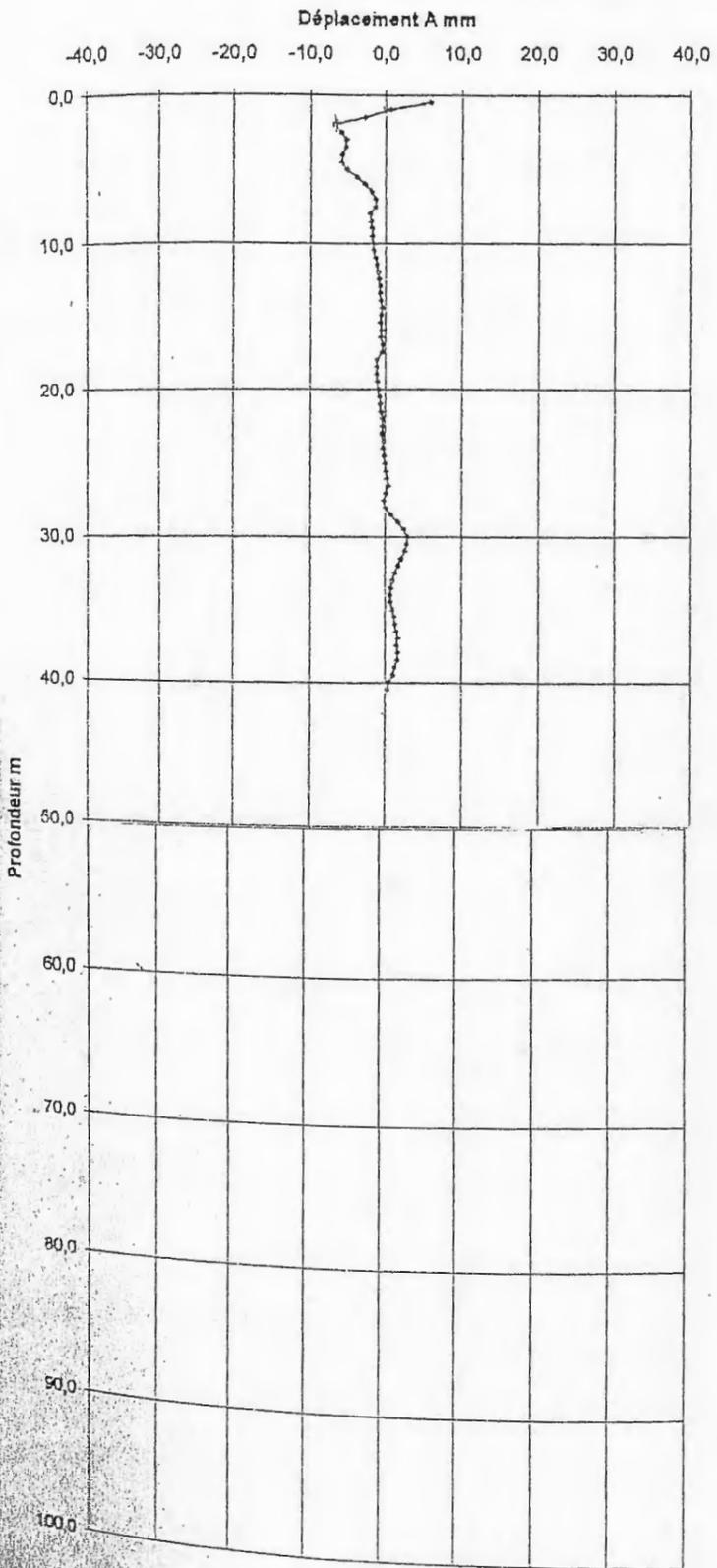
— GBH I2 16/12/02 à 26/04/03

Glissement de Sibari - Inclinométrie - Déplacements



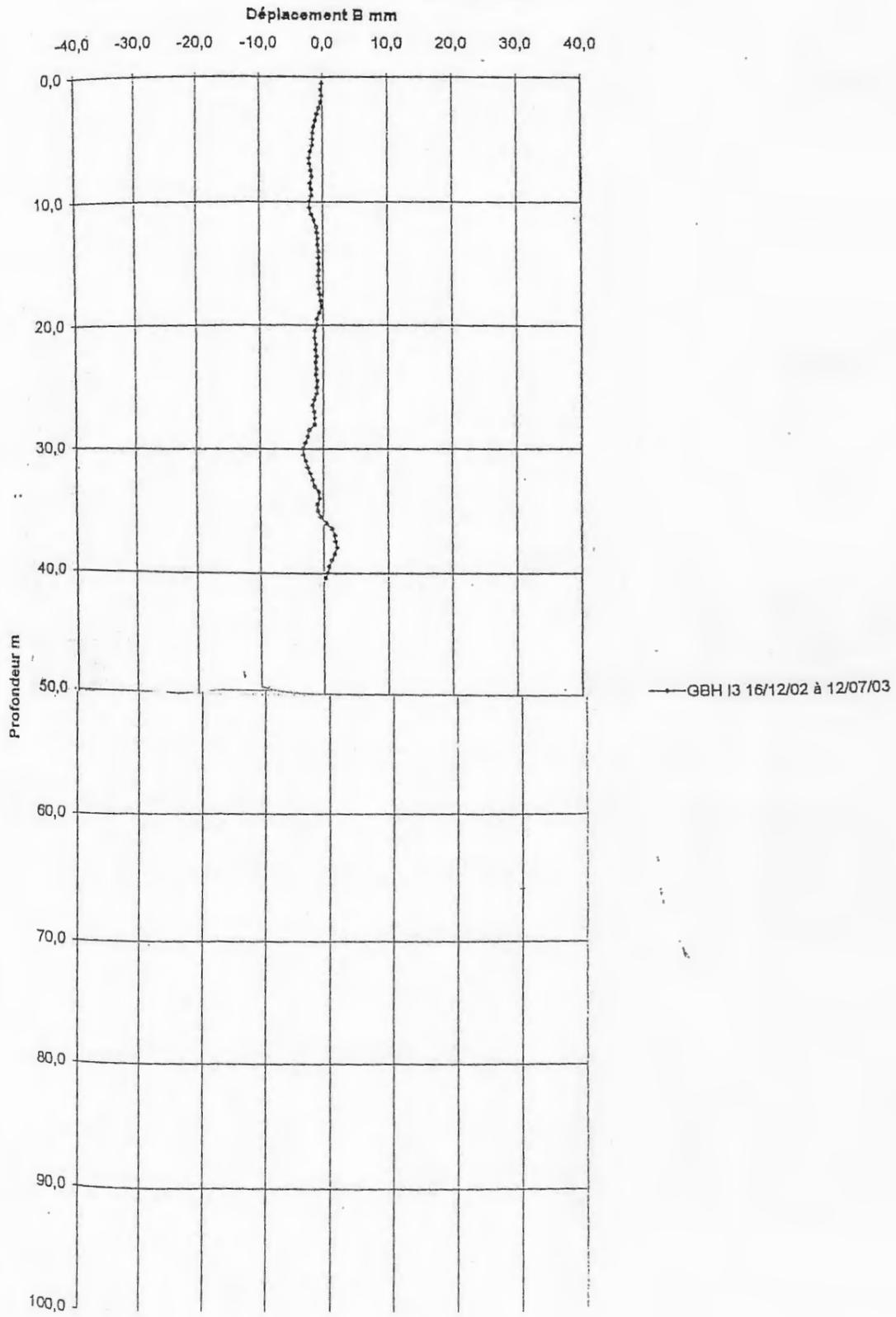
— GBH I2 16/12/02 à 26/04/03

Glissement de Sibari - Inclinométrie - Déplacements

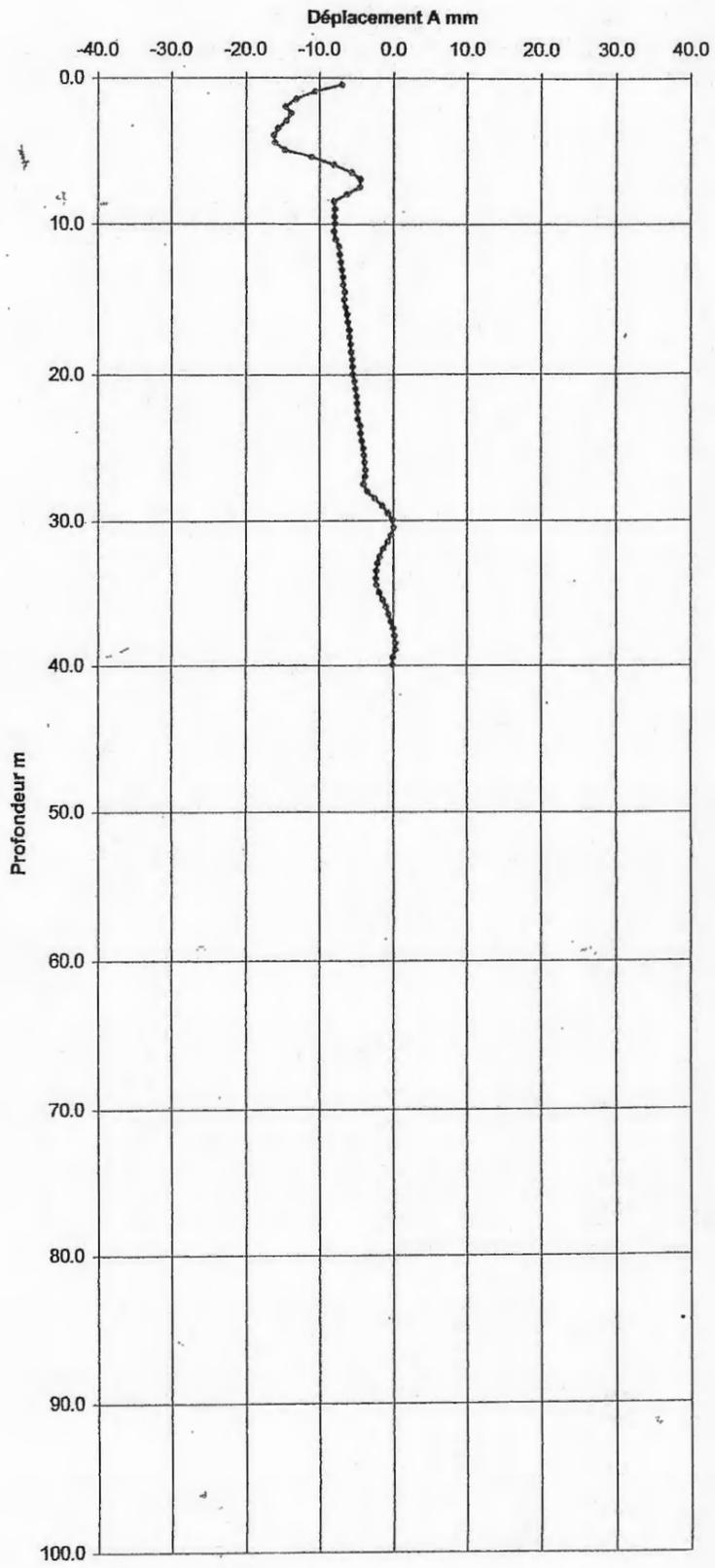


GBH 13 16/12/02 à 12/07/03

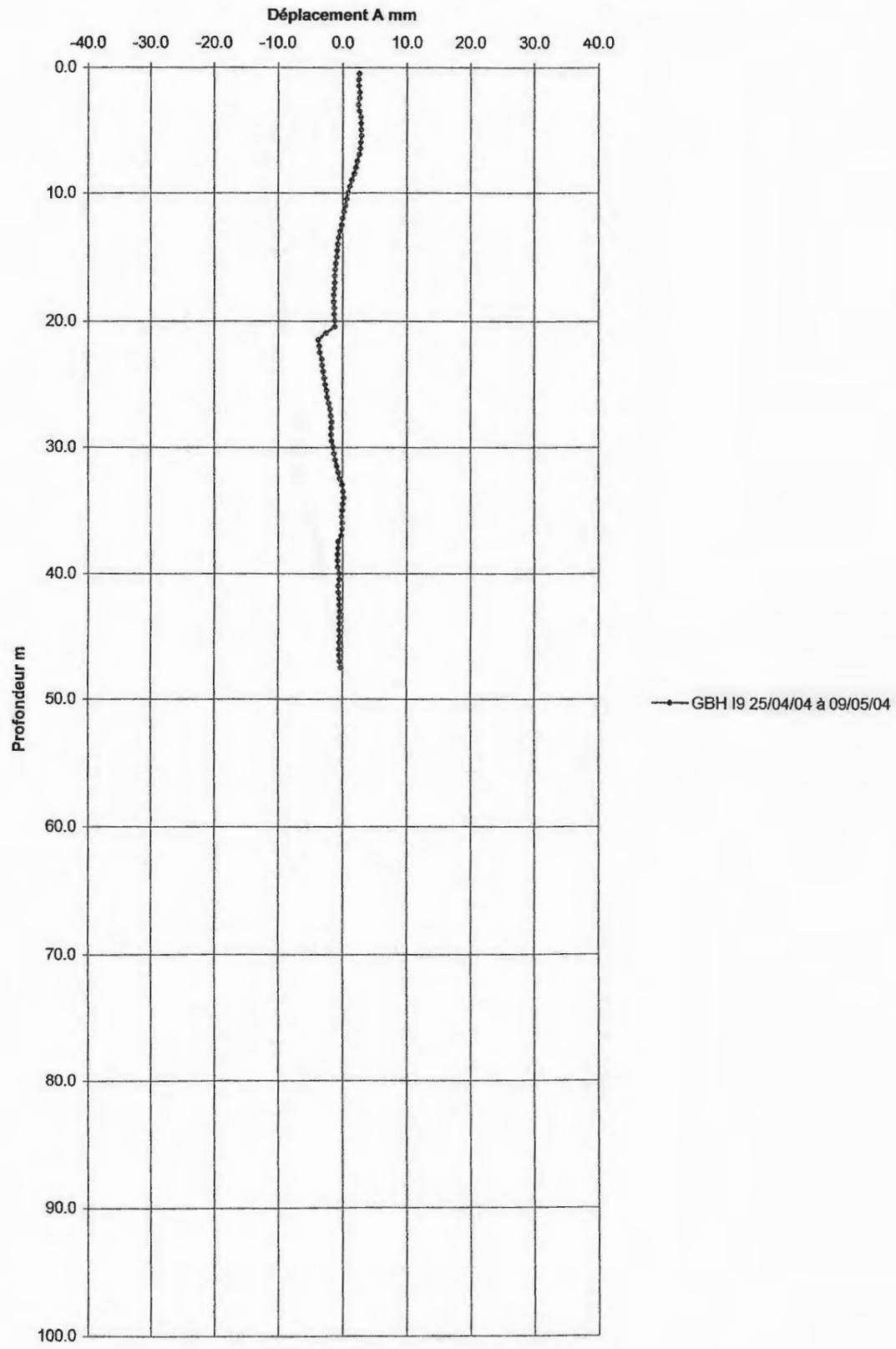
Glissement de Sibari - Inclinométrie - Déplacements



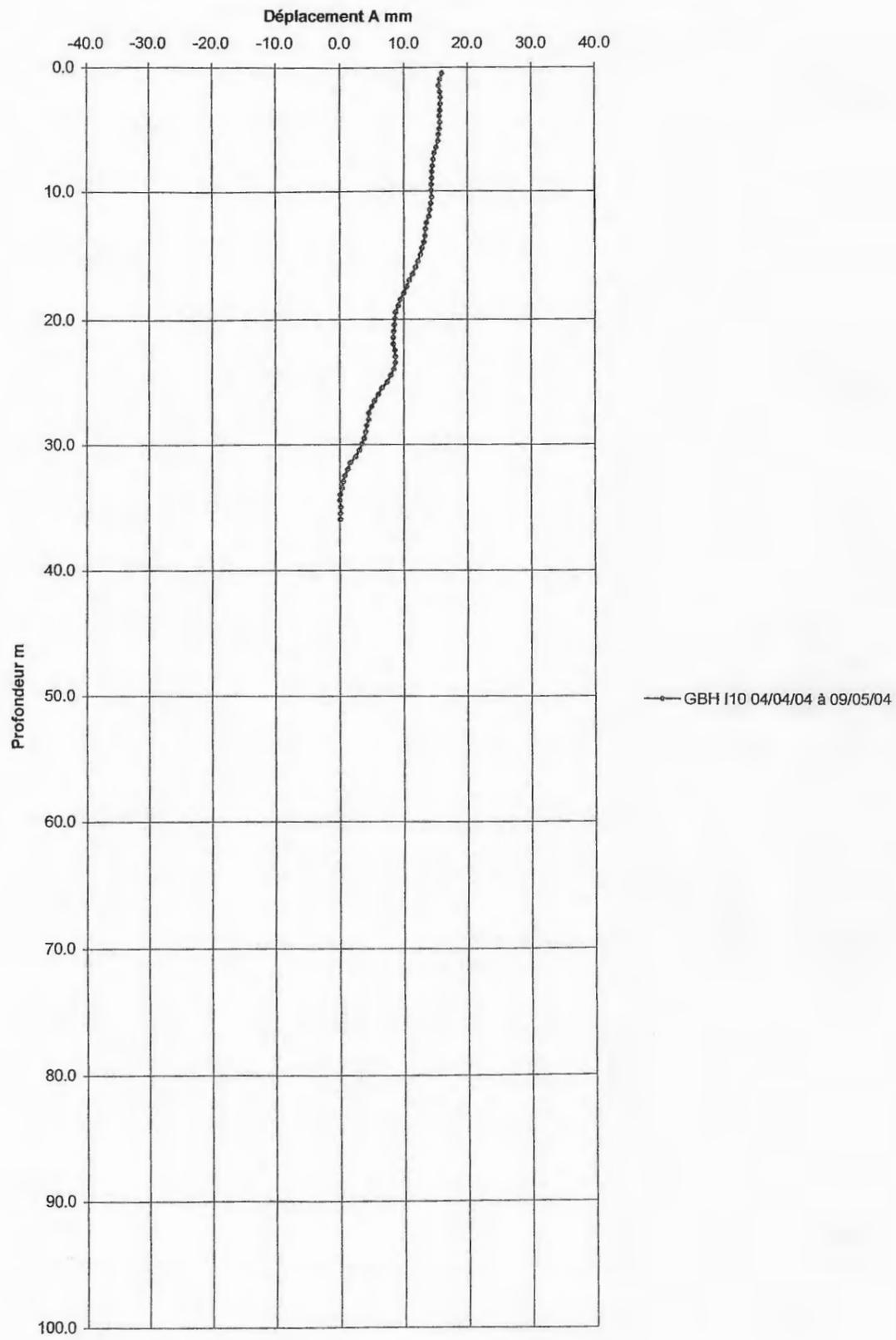
Glissement de Sibari - Inclinométrie - Déplacements



Glissement de Sibari. - Inclinométrie - Déplacements



Glissement de Sibari - Inclinométrie - Déplacements



Glissement de Sibari - Inclinométrie - Déplacements

