

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المعهد الوطني لعلوم البحر و تهئية الساحل

Institut National des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral



*Mémoire:*

En vue de l'obtention du diplôme d'Ingénieur en science de la mer  
Option: Aménagement de littoral.

*Thème:*

**Etude géologique et géotechnique d'un site côtier pour la  
construction d'une centrale électrique.**

Présenté par: Boualem Mohamed El-Toufik

Djeddou Abdelkader

Membres de jury:

- |                         |   |               |
|-------------------------|---|---------------|
| ➤ M. Larid Mohamed      | Chargé de cours (ISMAL).                | Président.    |
| ➤ M. Hellel Mustapha    | Maître assistant.                       | Promoteur.    |
| ➤ M. Chatelain Jean-Luc | Directeur de recherche<br>(IRD-LGI-CGS) | Co-promoteur. |
| ➤ M. Machane Djamel     | Attaché de recherche (C.G.S.)           | Examinateur.  |
| ➤ M. Belkessa Rabah     | Chargé de cours ISMAL                   | Examinateur.  |

Promotion 2004/2005

## Avant propos

Au terme de ce travail, nous tenons à exprimer notre reconnaissance à tous ceux qui nous ont aidé, de près ou de loin à réaliser ce mémoire.

Nous remercions toute l'équipe des chercheurs du CGS (centre de recherche en génie parasismique), en particulier Monsieur Djamel Machane, pour son aide, ses conseils et sa grande expérience, nous ont guidé jusqu'à la rédaction de ce mémoire, on le remercie d'avoir accepté d'examiner ce travail et de siéger au jury.

Monsieur Larid, dont la compétence et la sympathie nous ont fait aimer l'aménagement du littoral, nous faisons un grand honneur de siéger à la présidence du jury et on le remercie.

Monsieur Belkessa, d'abord comme enseignant, et on le remercie vivement d'avoir accepté d'examiner ce travail et de siéger au jury.

Monsieur Hellal, d'abord comme enseignant puis comme promoteur, nous a initié à la géologie et la géotechnique, il nous a guidé tout au long de ces années, on lui doit beaucoup dans notre formation et l'aboutissement de ce travail

On remercie Monsieur Chatelain, notre co-promoteur, qui nous a initié et guidé dans le domaine de bruit de fond sismique, ça été un grand plaisir de travailler avec une telle personnalité, on le remercie vivement.

Bien que d'autres personnes nous avons aidé à mener bien ce travail, parmi eux nos collègues de la promotion : Ketfi, Challal, Bayouddh, Akif, Mennad, Youcef Achira, Yahyaoui, Nacer\*.

## LISTE DES FIGURES

- Figure 01** : Situation géographique du site d'étude.
- Figure 02** : Schéma structural de la région ouest algéroise 1/200000, (Belhaï 1996).
- Figure 03** : Carte isoséiste du séisme de Chenoua (magnitude 6.0) du 29/10/1989 (CGS, 1991).
- Figure 04** : Superposition de la carte néotectonique de la région d'Alger (CGS, 1998) et la carte des épicentres sismiques (CRAAG, 1993).
- Figure 05** : Zonage sismique de l'Algérie du nord (RPA, CGS, 2003).
- Figure 06** : Géologie de la région de Hadjret En Nous, tirée de la carte géologique 1/50000 de cherchell.
- Figure 07** : Carte linéamentaire de la région de Hadjret En Nous au 1/40000.
- Figure 08** : Carte linéamentaire de la région de Hadjret En Nous au 1/10000.
- Figure 09** : Diagramme de fréquence de direction des Linéaments (1/40000) de la région de Hadjret en Nous.
- Figure 10** : Diagramme de fréquence de direction des linéaments (1/10000) de la région de Hadjret En Nous.
- Figure 11** : Diagramme de fréquence de directions des failles.
- Figure 12** : Plan d'implantation des coupes lithologiques et des sondages carottés.
- Figure 13** : Coupes corrélatives (Lithologique).
- Figure 14** : Plan d'implantation des coupes géosismiques.
- Figure 15** : Coupes géosismiques.
- Figure 16** : Fuseau granulométrique des colluvions quaternaires.
- Figure 17** : Diagramme de CASAGRANDE pour le recouvrement quaternaire.
- Figure 18** : Vue schématique des effets de site (BONNEFOY-CLAUDET, 2004).
- Figure 19** : Principe de la méthode H/V (Bard, 2003 ; in Osmani et Ouzerara ,2004).
- Figure 20** : Appareillage d'enregistrement du bruit de fond H/V
- Figure 21** : Plan d'implantation des points d'enregistrement du bruit de fond.
- Figure 22** : Carte de distribution spatiale des fréquences propres du sol.

## **LISTE DES TABLEAUX**

**Tableau 01** : Les séismes majeurs de la région ouest algéroise de 1867 à 1996 (CGS, 1998; Benouar, 1994).

**Tableau.02** : Traitement statistique des directions des linéaments (1/40000).

**Tableau.03** : Traitement statistique des directions des linéaments (1/10000).

**Tableau.04** : statistique des failles mesurées.

**Tableau.05** : Caractéristiques des profils sismiques. -

**Tableau.06** : Caractéristiques géotechniques du recouvrement quaternaire.

**Tableau.07** : Compositions chimique du recouvrement quaternaire.

**Tableau.08** : Caractéristiques géotechniques des marnes altérées.

**Tableau.09** : Caractéristiques géotechniques du substratum marneux sain.

## INTRODUCTION GENERALE

Ce mémoire entre dans le cadre de l'étude géologique et géotechnique d'un site côtier, en vue de l'implantation d'une centrale thermoélectrique dans la région de Hadjret En Nous (Wilaya de Tipaza).

L'importance économique de cette centrale nécessite une bonne connaissance des contraintes géologiques et géotechniques liées aux sols en place. Pour estimer la constructibilité du site, nous allons procéder de la manière suivante :

- une synthèse bibliographique, élaborée essentiellement à partir des travaux de Glangeaud (1932) et de Belhaï (1996), de consultation de thèses et de cartes géologiques de la région de Cherchell, dans Le but est de cerner le contexte géologique de la région en général, et du site en particulier.
- une combinaison des données de la tectonique et de la sismicité de la région pour faire ressortir les caractéristiques sismotectoniques de la zone d'étude et cela afin de prendre en compte l'aléa sismique dans l'implantation du futur ouvrage;
- interprétation des résultats de la sismique réfraction, obtenues à partir de l'étude géophysique effectuée par le groupe géophysique du laboratoire central des travaux publics (LCTP), dans le but de préciser la lithologie du sous sol;
- synthèse des études de sol à partir des archives du LTPC et du rapport d'Electricité De France (EDF), afin de déterminer les caractéristiques physico-mécaniques des formations géologiques du site;
- étude du bruit de fond par la méthode H/V, réalisée en collaboration avec le centre de recherche appliquée en génie parasismique (CGS), dans l'objectif de déterminer la fréquence de résonance des sols du site, à prendre en compte, dans l'implantation de la future centrale thermoélectrique. On tentera, par ailleurs, de corréler les fréquences obtenues avec les données des sondages et de la sismique réfraction;
- l'interprétation des différents résultats qui ressortent de la présente étude, en suivant la méthodologie, citée ci-dessus, nous permettra de conclure quant à la constructibilité du site d'étude.

# CHAPITRE I

## GENERALITES

### **I – 1 Situation géographique**

Le site choisi pour la construction de la future centrale électrique de Hadjret En Nous se trouve à environ 12 km à l'ouest de la ville de Cherchell dans la wilaya de Tipaza, et à mi-distance entre les villages côtiers de Sidi-Ghiles (ex Novi) et de Hadjret En Nous (ex Fontaine du génie).

Il est limité au Sud, par la route nationale N°11, à l'Est par l'Oued Arbal, correspondant au PK 107 de la route, à l'Ouest par une piste, débouchant sur le PK 108 et au Nord par la mer (voir Figure.01).

### **I – 2 Situation topographique**

Le site d'étude est un petit plateau, d'altitude comprise entre 7 mètres au nord, du côté du rivage marin, et 25 mètres au sud, du côté de la route nationale RN11. La façade maritime se termine par une petite falaise qui surplombe la mer, sur 6 à 10 m, ou par des plages dans le creux des anses.

La pointe nord est constituée par une terrasse rocheuse, située au niveau de la mer. Le terrain est traversé à l'ouest par l'Oued Mokdada Nazizi, qui débouche sur une plage, avec un flot irrégulier, de débit moyen annuel  $1.8 \text{ m}^3/\text{s}$  (EDF, 1991).

### **I – 3 Météorologie et océanographie**

Le régime des vents, caractérisé par la prédominance de deux directions de provenance, Est – Nord – Est pendant les mois d'été, et Sud – Ouest à Nord – Ouest de novembre à avril.

Les courants marins devant le site sont faibles, et résultent de la superposition des courants généraux en Méditerranée, et des dérives induites par le vent. Les données générales, en Méditerranée, tendent à montrer une dérive des masses d'eau vers l'est (EDF, 1991).

Le site est très exposé aux houles de secteurs Ouest – Nord – Ouest et Nord – Est. Sur la base de données des sites voisins, les houles, de période de retour 50 et 100 an, ont des hauteurs significatives, comprises entre 9 et 10 m environ (EDF, 1991).

Les fonds marins, au voisinage du site, peuvent être considérés comme rocheux, avec présence de plaques de sable, d'épaisseur assez faible, au voisinage du rivage (EDF, 1991).

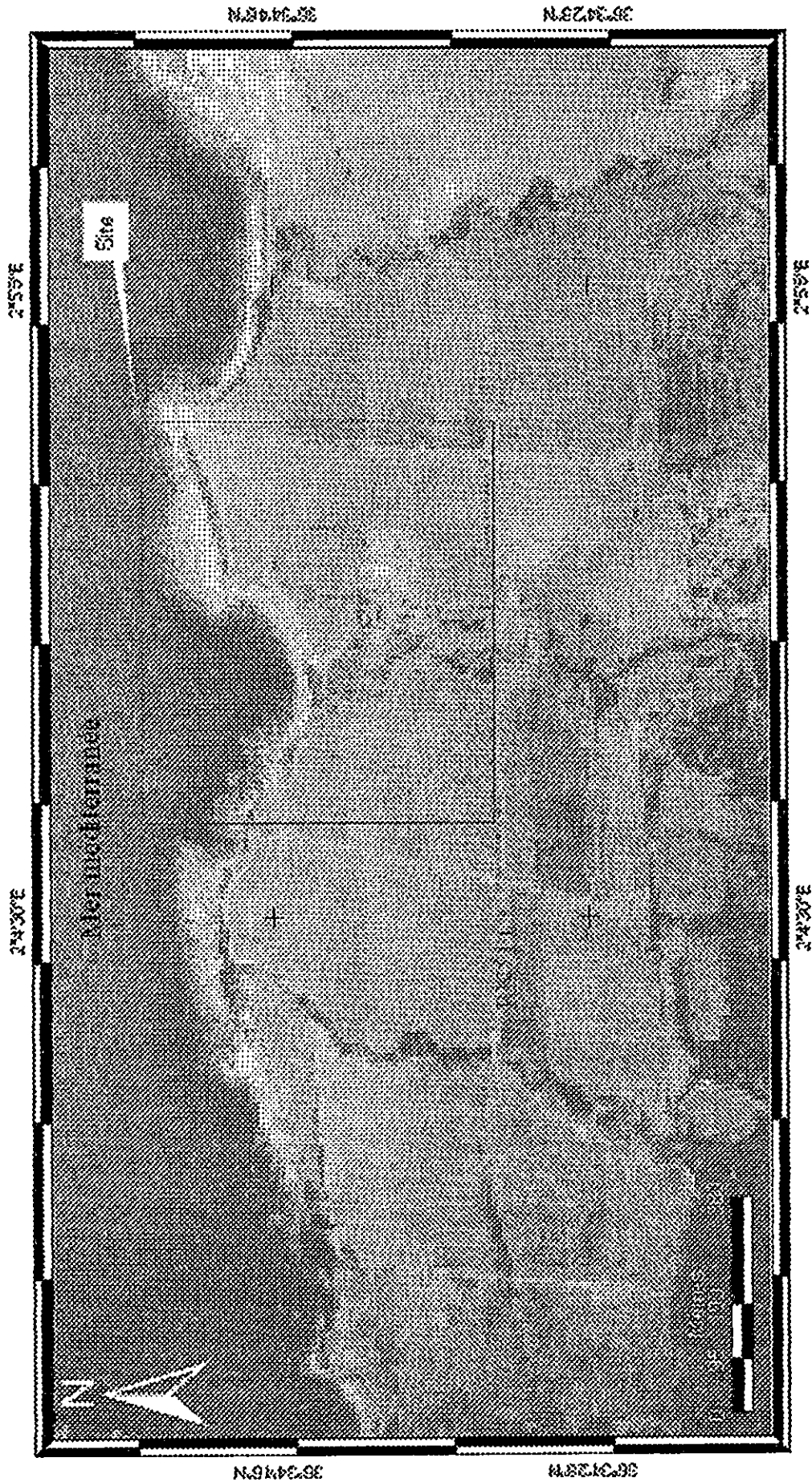


Figure .01 : Situation géographique du site d'étude

# CHAPITRE II

CADRE GEOLOGIQUE ET  
SISMOTECTONIQUE REGIONAUX

## II – 1 CADRE GEOLOGIQUE REGIONAL

### II – 1.1 Stratigraphie

La région de Cherchell est située dans la partie septentrionale du Dahra oriental, elle correspond à la zone tellienne. Celle-ci, va des hauts plateaux, jusqu'à la mer Méditerranée.

La chaîne des maghrébides, dont fait partie la zone ouest algéroise, comprend :

- des zones internes et des zones externes ;
- des formations néogènes (post-nappes), qui scellent les contacts tectoniques, inter et intra-unités, de ces grands ensembles géologiques (Figure 02) ;
- des flyshs et des roches éruptives.

#### II – 1.1.1 *Le domaine interne*

Dans le domaine interne, on distingue les ensembles suivants :

- a) le socle cristallin : appelé également le socle cristallophyllien kabyle, il est formé par des roches métamorphiques, d'âge supposé, précambrien.
- b) le Paléozoïque : il est constitué de formations gréseuses et carbonatées, d'âge dévonien inférieur à carbonifère moyen.
- c) le Mésozoïque : il est représenté par la chaîne calcaire, ou dorsale Kabyle écaillée (Glangeaud, 1932) et correspond à des terrains, essentiellement, carbonatés, allant, du Trias jusqu'à l'Eocène.

#### II – 1.1.2 *Le domaine externe*

Il forme une large bande entre le domaine interne et l'avant pays Pré-atlasique, on y observe :

- a) l'Autochtone du Tell (Chélif, Dahra, Boumaad, Blida, Babor).
- b) l'Autochtone intra-Tellien des Bibans et de l'Ouarsenis.
- c) Les nappes Telliennes, un ensemble Allochtone, mis en place, par gravité au Miocène.
- d) L'Avant fosse sud Tellienne, recevant le front des nappes Telliennes, en chevauchant l'avant pay Pré Atlasique.

#### II – 1.1.3 *Le Néogène post-nappe*

Les terrains néogènes, scellent les contacts anormaux du Miocène inférieur, et sont parfois impliqués dans les contacts de vergence sud.

#### II – 1.1.4 *Les flyschs*

Les flyschs sont d'âge crétacé nummulitique, et peuvent se présenter, en trois positions distinctes :

- a) les flyschs qui affleurent dans le domaine interne (les flyschs Nord kabyles).
- b) les flyschs localisés à la limite du domaine interne – domaine externe.
- c) les flyschs du domaine externe.

### II – 1.1.5 *Les roches éruptives*

Elles sont représentées par des andésites, dacites, rhyolithes, d'âge burdigalien–tortonien et des granites, qui recourent la série miocène. Ces roches, affleurent à Menaceur et Hadjret En Nous.

### II – 1.2 *Tectonique*

La région tellienne est marquée selon (Glangeaud, 1952 et Aymé, 1964 ; in Belhaï 1996), par une tectonique miocène, distensive, nord–sud, d'âge burdigalien – langhien, suivie d'une période compressive, qui aurait commencé à la fin du Villafranchien, et se continue actuellement.

Le bassin Néogène post–nappe de la Mitidja, montre des déformations, plicatives et cassantes, en relation avec les directions de contraintes, orientées N – S à NNO – SSE.

La géométrie actuelle de l'édifice du Dahra algérois, est le résultat de la tectonique néogène, les structures associées à celles-ci, sont postérieures à la mise en place des nappes.

Trois phases tectoniques majeures, à style différent, semblent être responsables de la structure actuelle de la zone Ouest algéroise :

#### *a) Unité inférieure de Boumaad*

Du point de vue de l'âge, cette phase est antérieure à la mise en place des nappes telliennes, au Miocène (Lepvrier, 1970 ; in Belhaï 1996).

Les principales déformations subies par cette unité, s'accompagnent de schistosité, de plissements isoclinaux et d'un léger métamorphisme (Mattauer, 1963 ; in Fedala et Rakam 2002).

#### *b) Unité supérieure (quatre mamelons)*

L'allochtone des quatre mamelons, apparaît comme une véritable nappe de glissement. Cette unité est d'âge miocène inférieur, synchro – nappe, (Mattauer, 1963 et Lepvrier, 1970 ; in Belhaï 1987).

#### *c) Les bassins littoraux post-nappes*

Ces formations, sont le résultat, d'une tectonique distensive, accompagnée de magmatisme. Ce type de tectonique est responsable d'une subsidence, qui se poursuit jusqu'à l'Actuel, et serait à l'origine de l'intense activité sismique de la région, après l'inversion de ce régime tectonique.

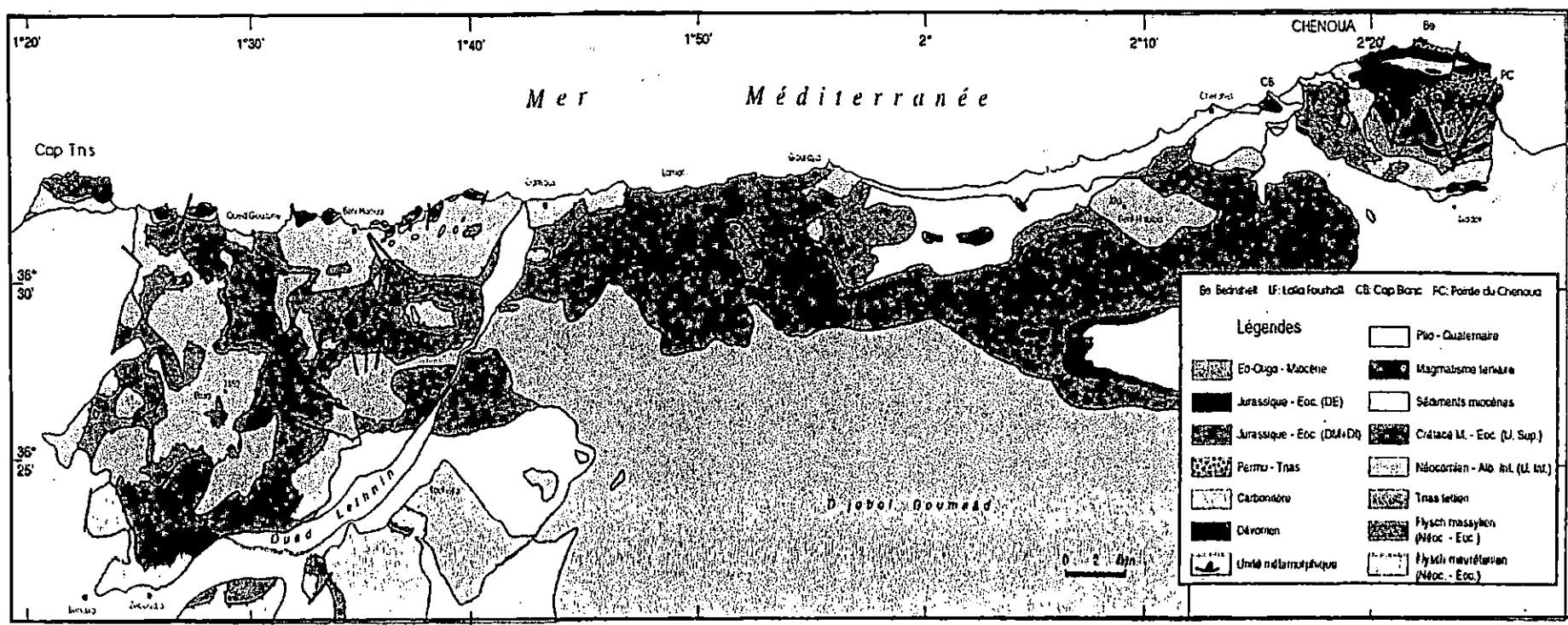


Figure .02 : Schéma structural de la région ouest algéroise 1/200000, (Belhaï 1996)

## II – 2 CADRE SISMOTECTONIQUE

L'étude des tremblements de terre anciens est essentielle pour l'évaluation du risque sismique. En effet, les séismes majeurs surviennent généralement aux endroits où se sont déjà produits des événements similaires (Boudiaf, 1996).

La région Ouest algéroise, est une zone très active, de part sa position, à la limite des deux plaques tectoniques Africaine et Eurasienne, qui sont en continuel rapprochement.

### II – 2.1 Sismicité historique

La région Ouest algéroise a subi des séismes répétés, de magnitude modérées à fortes, au cours des siècles passés. Le Tableau 01 donne les principales caractéristiques (date, localisation des épicentres, magnitude, intensité) des tremblements de terre, qui ont marqué cette région durant la période 1867-1996.

	AA MM JJ	HH MM SS	LAT.	LON.	Magnitude	intensité
Mitidja	1867 01 02	07 13 00	36.42°N	02.68°E	-	X -XI
Gouraya	1891 01 15	04 00 00	36.50°N	01.80°E	-	X
Cherchell	1920 10 07	07 12 38	36.26°N	02.05°E	4.7	VII
El-Asnam	1954 09 09	01 04 37	36.28°N	01.47°E	6.7	X -XI
Tennes	1954 10 31	04 34 48	36.30°N	01.24°E	6.3	VI
Tennes	1955 01 03	07 05 54	36,3°N	01,24°E	6.3	V
El-Chlef	1980 10 10	12 25 25	36.18°N	01.53°E	7.2	IX
Chenoua	1989 10 29	19 09 29	36.79°N	02.45°E	6	VIII
Koléa	1990 07 26	18 13 14	36,45°N	02,48°E	4	VI
Ain El Benian	1996 09 04	- - -	37°N	53°E	5.6	

Tableau. 01 : Les séismes majeurs de la région ouest algéroise de 1867 à 1996  
(CGS, 1998 ; Benouar, 1994)

L'analyse de la sismicité historique, en conjonction avec les données de la tectonique, indique qu'un grand nombre d'épicentres coïncident avec certaines failles existantes.

Les séismes sont modélisés, comme se produisant soit :

- le long des failles (sources situées sur les failles), on parle, alors, de ligne source ;
- de façon aléatoire, à l'intérieur de zones qui ont subies une sismicité historique relativement uniforme, on parle, alors, de zones sources.

### II – 2.2 Sismicité de la région de Cherchell

La région de Cherchell est une région de sismicité importante, elle est située entre les bassins de la Mitidja et du Cheliff. Cette région a été affectée par un violent séisme, le 29-10-1989, d'intensité VIII, et de magnitude 6.0. Son épicentre macrosismique, a été localisé au Mont Chenoua, et a été très fortement ressenti dans la région de Hadjret En Nouss, avec une intensité, de VI à VII (Figure 03).

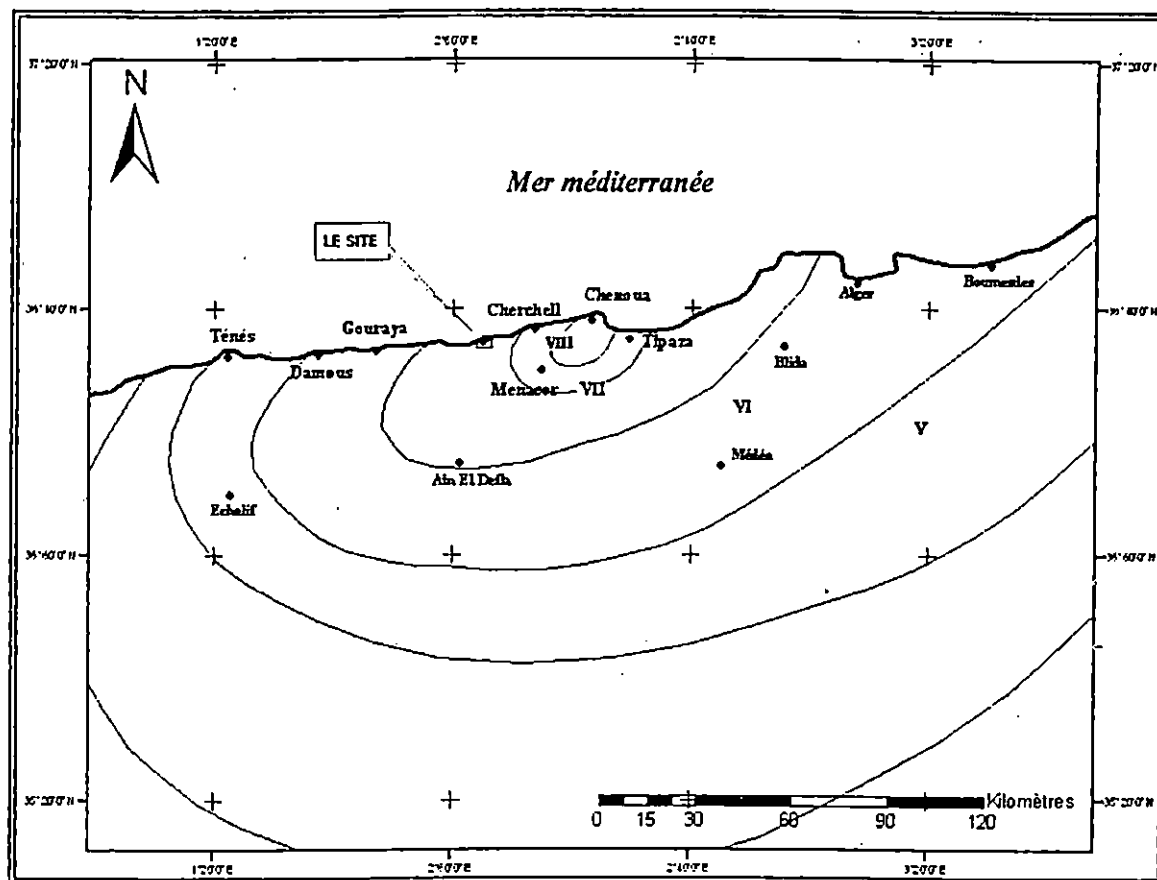


Figure 03 : Carte isoséiste du séisme de Chenoua (magnitude 6.0) du 29/10/1989 (CGS, 1995)

## II – 2.3 Contexte sismotectonique de la région

Les études sismotectoniques, ont permis de mettre en évidence des accidents géologiques actifs dans l'Ouest algérois et les zones limitrophes. Cette région, englobant le bassin de la Mitidja, n'est pratiquement recouverte que par des dépôts plio-quaternaires. Elle est le siège d'une sismicité superficielle, générée par des structures tectoniques actives (Maghraoui, 1988).

Les régions du sahel d'Alger, et de la bordure sud de la Mitidja, ont été secouées par des séismes historiques, forts à modérés, ce qui explique du point de vue sismique leur régime tectonique actif.

La carte sismotectonique (Figure 04), montre la distribution des épacentres sismiques (CRAAG, 1994) et les déformations tectoniques (failles et anticlinaux), ainsi que la répartition des grands ensembles géologiques dans cette région (CGS, 1998).

La région de Hadjret En Nouss se trouve entre deux zones sismiques actives, le Cheliff à l'ouest, et la zone d'Alger à l'Est, en plus de la sismicité de la région voisine du Mont Chenoua (Tipaza). Ceci nous a amené à nous intéresser aux sources sismiques les plus proches de notre site.

Chaque source sismique, a ses propriétés spécifiques sur le plan morphologique et sismique. On distingue, dans un rayon de 40 km autour du site les lignes sources et les zones sources qui suivent (CGS, 1998).

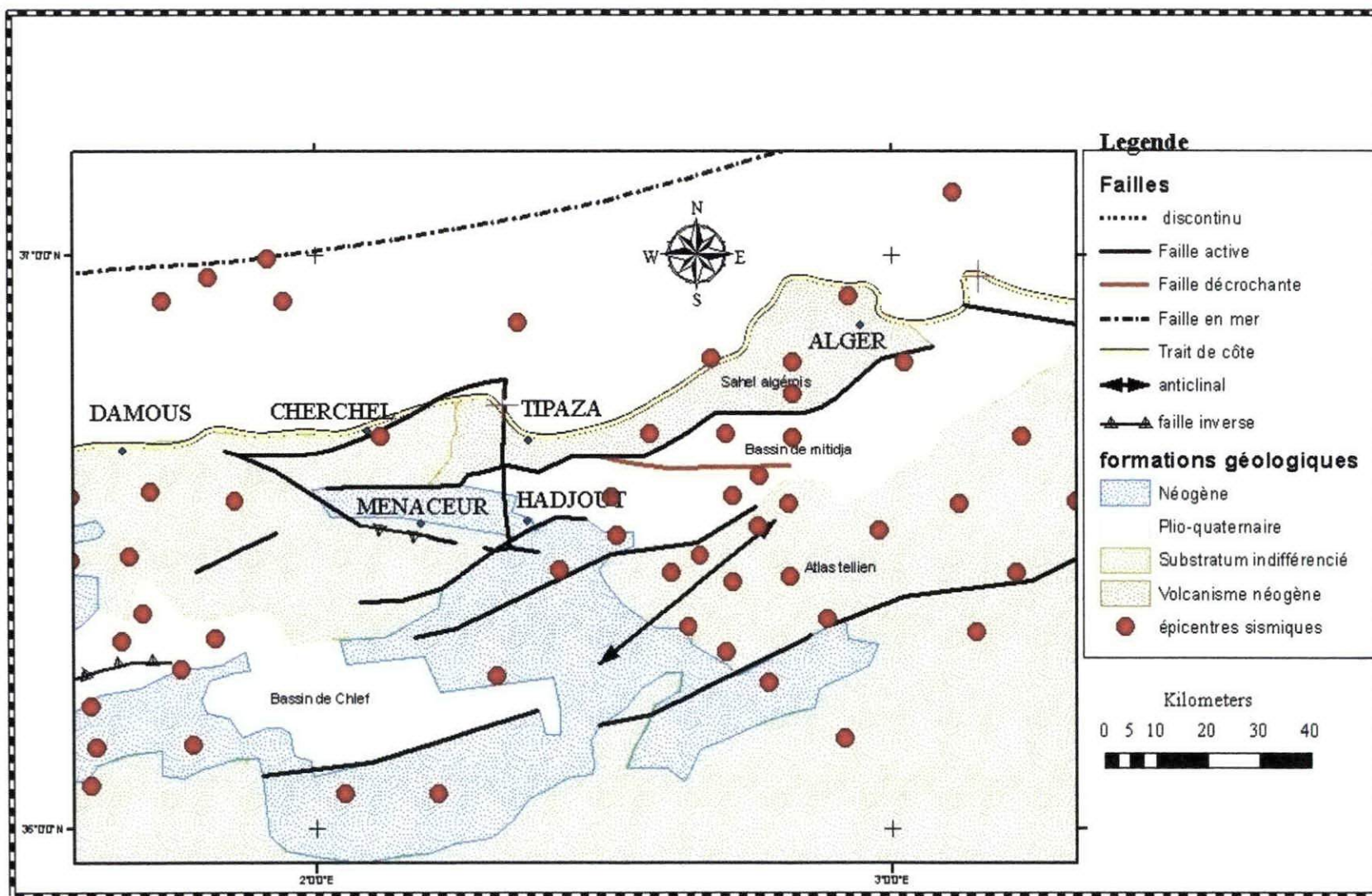


Figure 04: Superposition de la carte néotectonique de la région d'Alger (CGS, 1998) et la carte des épocentres sismiques (CRAAG, 1993)

### 1) La ligne source en Méditerranée

De magnitude maximale 7.0, cette source est liée à l'activité tectonique de la faille située le long de la limite entre le bassin franchement marin, en méditerranée, et le bloc continental, au Sud.. Son orientation est WSW – ENE, et est distante, de 25 km de notre site.

### 2) La zone source de Tipaza

De magnitude maximale 6.5, la faille de Tipaza constitue la limite entre la morpho-structure de surrection du Chenoua, et le bassin de subsidence de la Mitidja. Cette faille a une orientation N-S et est située à une distance de 35 km à l'Est du site de Hadjret En Nouss.

### 3) La ligne source du Chenoua

De magnitude maximale 6.5, de direction NW – SE, et d'une longueur de 18 km, cette faille est distante de 20 km à l'est de notre site.

### 4) La ligne source de Menaceur

De magnitude maximale 5.5, cette faille a une orientation E – W, de 30 km de long, et se situe à une distance de 35 km de notre site.

### 5) La ligne source de Tipaza-Sidi Rached

D'une magnitude de 4.0, cette ligne source, d'orientation NW-SE, et de 12 km de long, recoupe la partie occidentale du Sahel. Son activité est liée à la surrection, du coté SW, et à la subsidence, le long de son coté NE.

## II – 2.4 Classification de la zone par rapport au RPA

La région de Cherchell est une région à forte sismicité. Elle fait partie de la zone III, d'après les règles parasismiques algériennes RPA (CGS, 2003). (Figure.05).

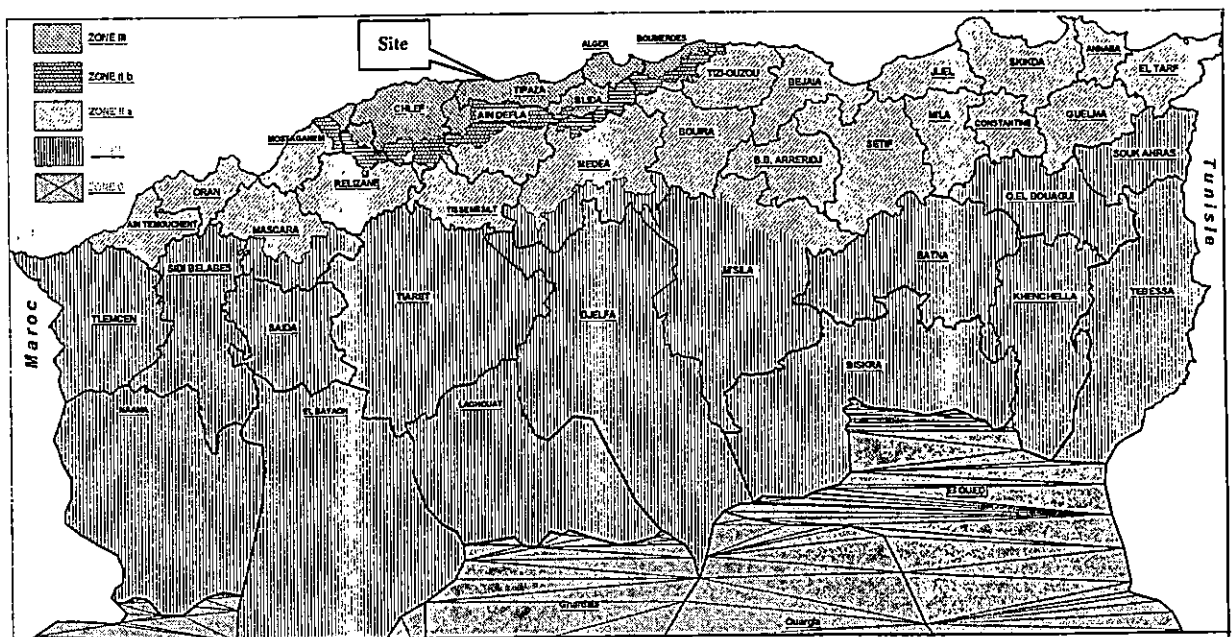


Figure 05 : Zonage sismique de l'Algérie du nord (RPA, CGS, 2003)

## II – 2.5 Conclusion

Les caractéristiques sismotectoniques de la région Ouest Algéroise, montre que cette dernière est caractérisée par une activité tectonique, se manifestant, sous forme de séismes, de magnitudes, plus ou moins, élevée.

Le site de Hadjret En Nouss subit fortement l'influence des séismes, ayant lieu, dans des régions limitrophes, à s'avoir, Tipaza et Ténès. Par ailleurs, notre site est entouré par plusieurs failles actives, distantes de 12 à 35 km, pouvant générer, respectivement, une magnitude, allant, de 4.0 à 7.0. Il en résulte, que la prise en compte de l'aléa sismique, dans le cas du présent site, est primordial, pour la sécurité de la future centrale électrique, qui y sera édifié.

# CHAPITRE III

## CADRE GEOLOGIQUE LOCAL

## Introduction

Les reliefs dominants, aux environs du site, culminent à 500 m d'altitude, ils sont constitués de flyschs, partiellement masqués par des horizons conglomératiques et marneux, d'âge, miocène post-nappes.

Au niveau de Koudiet-Koum Oudjaout, situé au SW de notre site d'étude, apparaît des roches volcaniques (complexe éruptif).

Entre Cherchell et Gouraya, le substratum est presque complètement masqué par des formations quaternaires (colluvions, éboulis, alluvions et formation de plage), sur la plaine côtière, qui atteint localement, 1 km de large. Cependant, quelques affleurements sont visibles, notamment, au niveau du site de Hadjret En Nouss, le long des falaises de bord de mer, qui terminent des plateaux, recouverts par des colluvions quaternaires.

Enfin, la plaine côtière de la région d'étude est traversée par plusieurs oueds, qui débouchent en mer, le long desquels, des formations alluviales, peuvent s'observer, c'est le cas de l'oued Mokdada-Nazizi, qui traverse le site.

A partir de la carte géologique de la région de Cherchell, à l'échelle 1/50000, on a reporté les formations géologiques, sur un plan au 1/10000, tiré de la photo aérienne du site. (Figure.06).

## III – 1 Stratigraphie

A partir des données bibliographiques, sur les formations géologiques, et des observations effectuées sur le terrain, lors des visites du site, on a pu décrire les formations existantes, selon leurs âges, comme suit :

### *a) substratum miocène*

Il apparaît uniquement au pied des petites falaises de bordure. Il s'agit de marne grise – bleu, parfois schisteuse, plus ou moins consolidée, généralement altérée en surface.

Cet affleurement apparaît clairement, vers l'ouest du site, sous forme d'une plate forme, qui se prolonge vers la mer, avec une pente douce (Photo.01). Cette dernière est surmontée par une formation schisteuse, de couleur jaune, plus au moins altérée et friable, formant un petit monticule de 6 mètre de haut, qui se rattache probablement au substratum (Photo.01).

Vers l'Est, ce substratum est défini par un affleurement de marne schisteuse, très fine, de couleur verdâtre, traversé par des intercalations de bancs calcaires, de différentes épaisseurs, présentant un pendage vertical, témoignant d'une forte tectonisation (Photo.02).

### *b) conglomérat plio-quaternaire*

Cette formation est visible vers l'ouest du site, où elle constitue des falaises de bord de mer. Elle est constituée d'éléments volcaniques, de type basaltique, de couleur sombre, d'une part, et des morceaux de schiste, d'autre part. Ces différents constituants (basaltes, schistes), sont de différente taille, allant de 2 mm à 60 cm de diamètre.

On note également la présence d'intercalation de niveaux d'argile, de couleur rouge, jaune et grise, d'épaisseur centimétrique à décimétrique, soulignant, souvent, la fracturation qui affecte ces conglomérats (Photo.03).

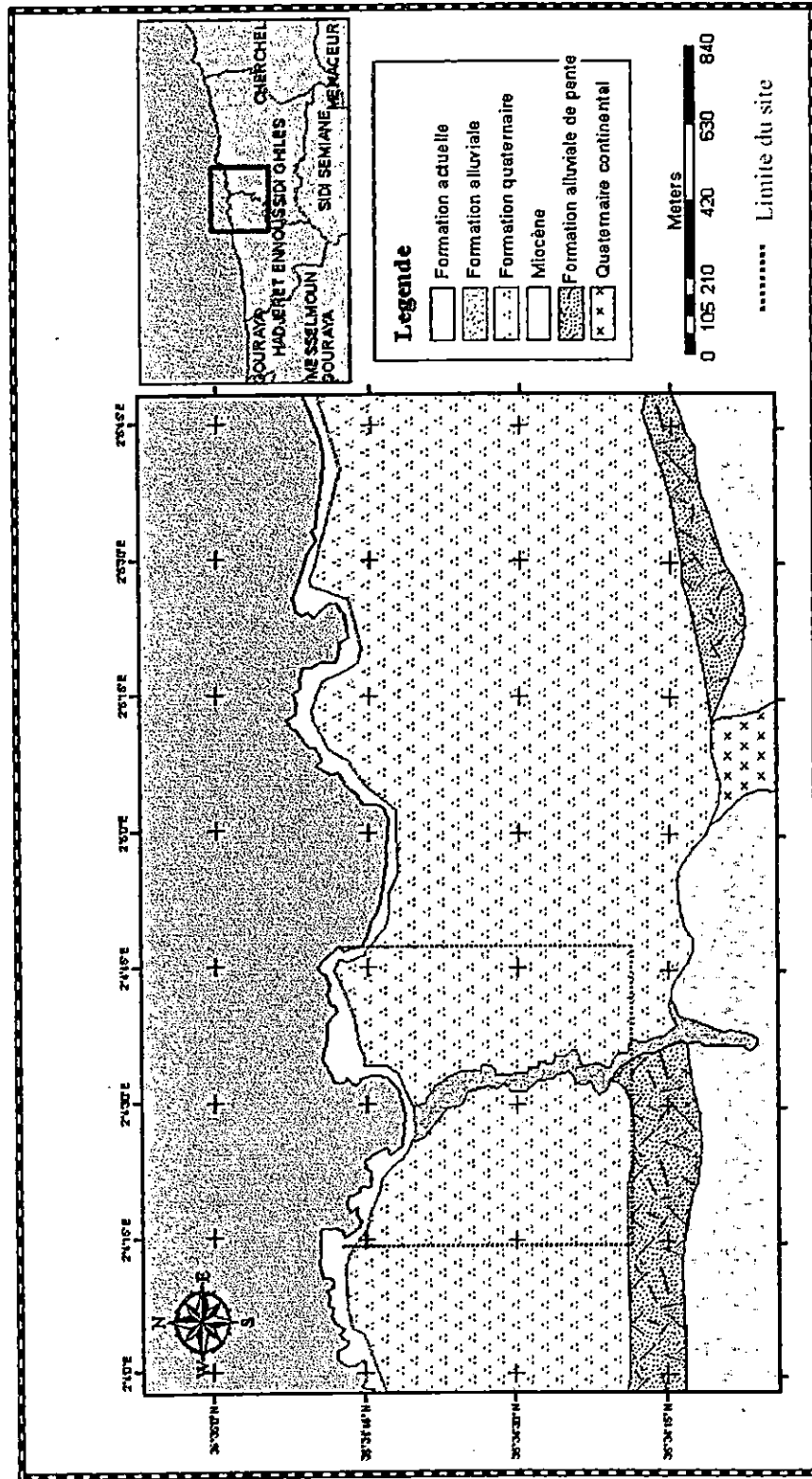
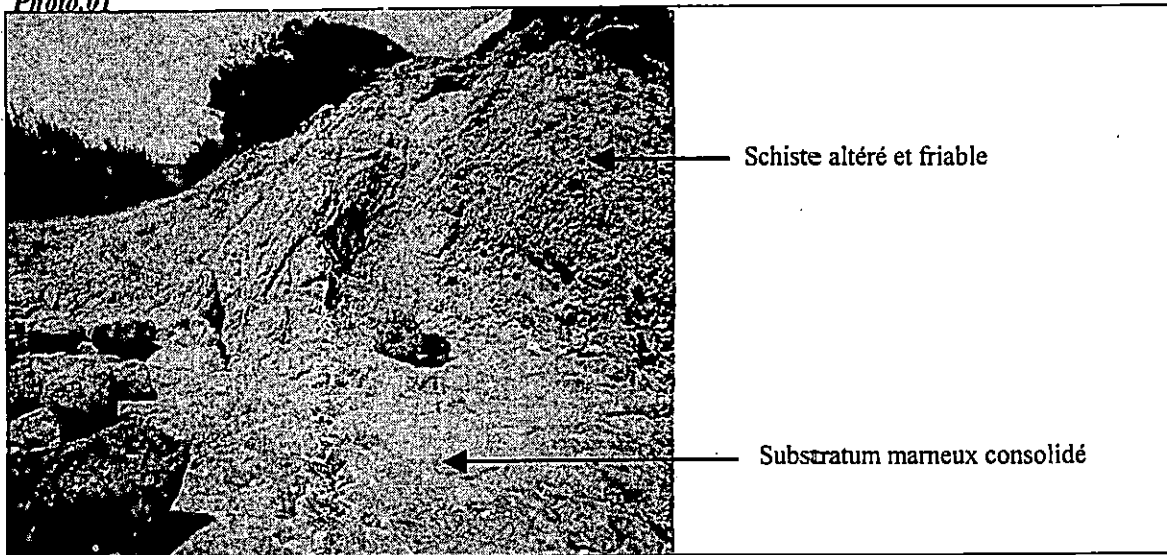
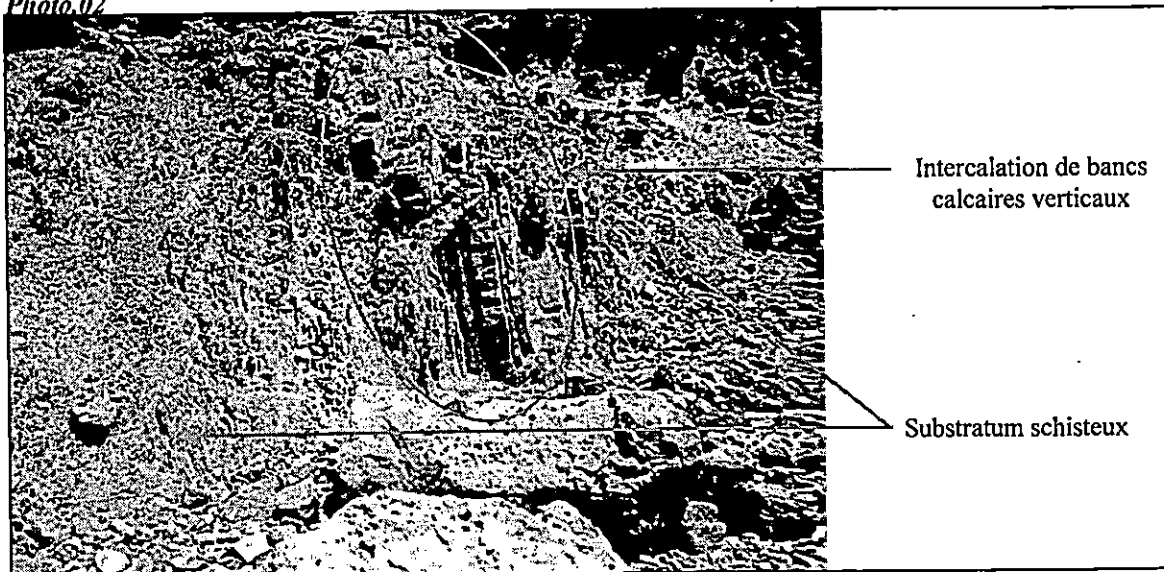


Figure .06 : Géologie de la région de Hadjret En Nouss, tirée de la carte géologique 1/50000 de cherchell

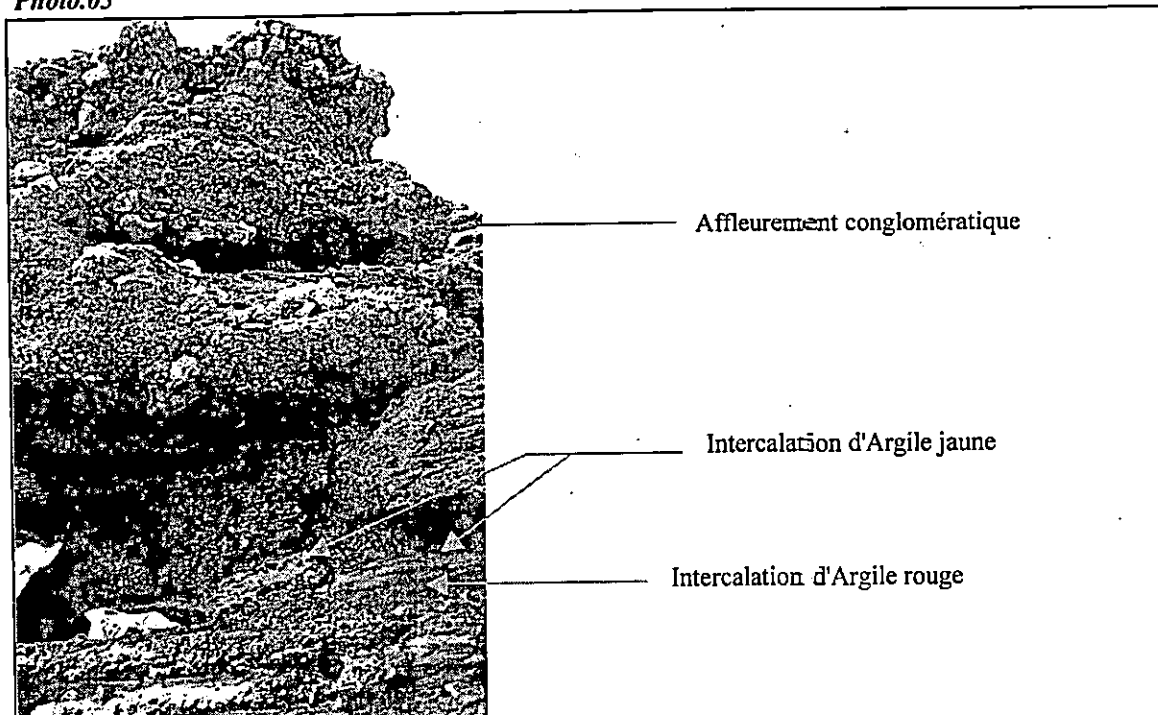
*Photo.01*



*Photo.02*



*Photo.03*



***c) conglomérat coquillé quaternaire***

Il s'agit de basses terrasses thyrréniennes, indurées, qui constituent les falaises de bord de mer, qu'on peut observer vers l'est du site. Elles sont constituées de conglomérat polygénique, riche en coquilles, essentiellement des bivalves, fortement cimentée, témoin de l'ancien niveau de mer (Photo.04).

Cette formation se caractérise par des fracturations importantes, et il en résulte, le détachement de gros blocs (Photo.05). Ceci, étant le résultat de l'action conjuguée, des mouvements tectoniques et de l'hydrodynamisme marin.

***d) grès dunaires quaternaires***

Ce sont des dépôts sableux consolidés, plus ou moins poreux, apparaissant du côté ouest, sous forme stratifiée, avec des couches, d'épaisseur, variant, de 5 à 30 cm (Photo.06), avec un pendage horizontal, à faiblement incliné. Du côté Est, on distingue :

- un dépôt de grès dunaires, disposé horizontalement, en discordance, sur le schiste (Photo.07), ce qui montre que ces grès dunaires se sont déposés après le redressement tectonique du substratum schisteux.
- Plus à l'est, un plateau rocheux, en pente douce, vers la mer, caractérisé par des traces d'une ancienne carrière d'enlèvement de blocs, probablement romaine (Photo.08).

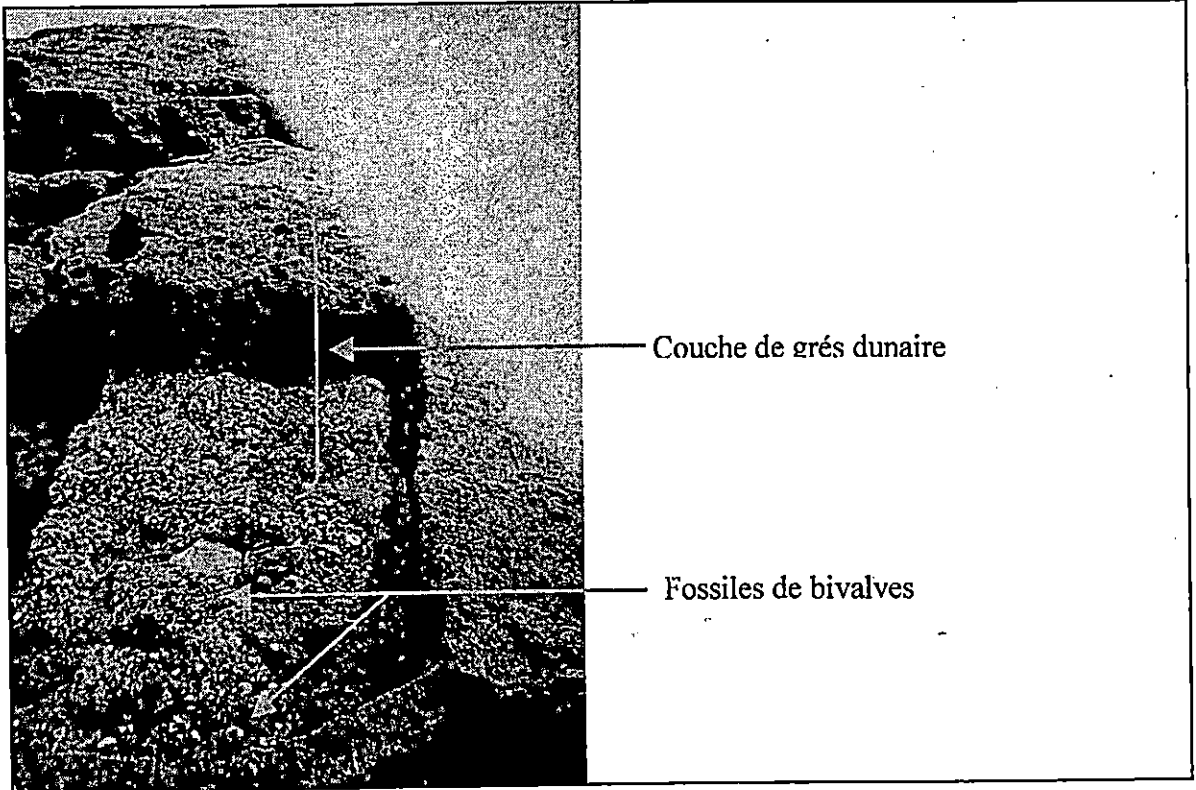
***e) les alluvions et les colluvions actuelles***

Ces formations constituent essentiellement les terrains de couverture, formés de graviers et cailloux polygéniques, dans une matrice argilo-sableuse, de couleur marron à brune, qu'on a observé au niveau de l'oued Mokedda Nazizi. Sur la rive gauche de cet oued, une coupe géologique (Photo.09), montre une superposition de deux couches, une couche inférieure hétérogène, formée par des éléments de différentes tailles et de différente nature (schiste, grès et basaltes), enrobés dans une matrice argileuse. Une mince couche supérieure, de colluvion, formée de terre rouge, qui apparaît, également, au sommet des falaises du bord de mer. Sur la rive droite de l'oued, on constate la présence d'une petite terrasse alluviale (Photo.10).

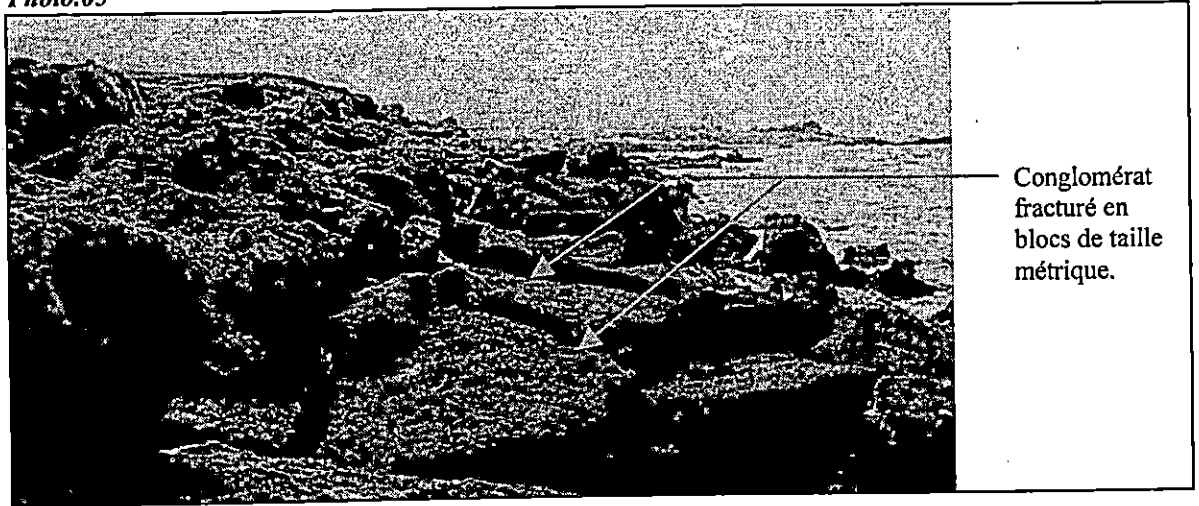
***f) les formations de type coulés boueuses***

Elles apparaissent au bord de la mer, en rive gauche de l'oued Arbal, il s'agit de formation argileuse, marron, en forme de lentille, contenant des blocs, de formes arrondies, de grande dimension (0.50 m).

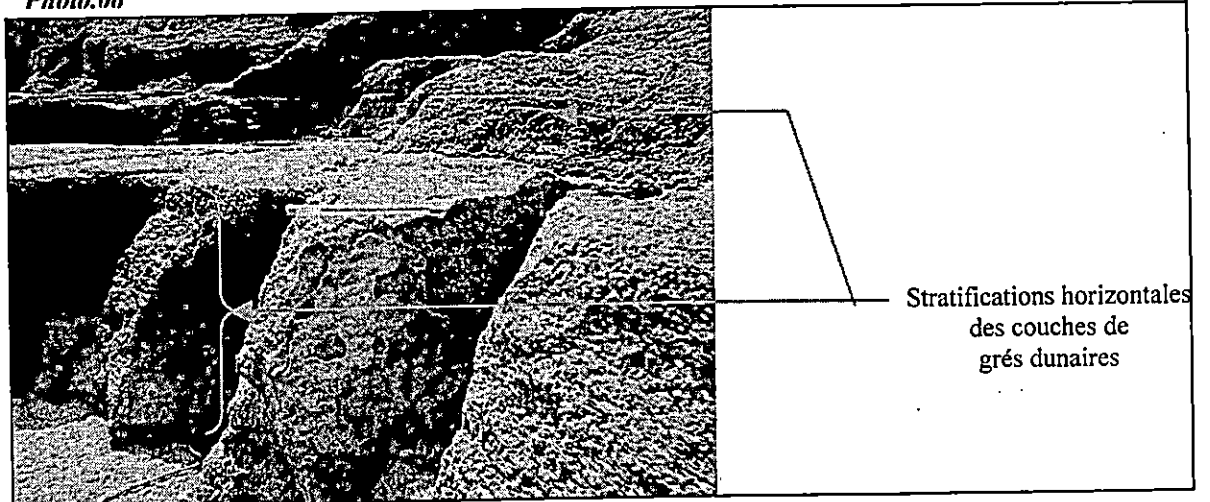
*Photo.04*



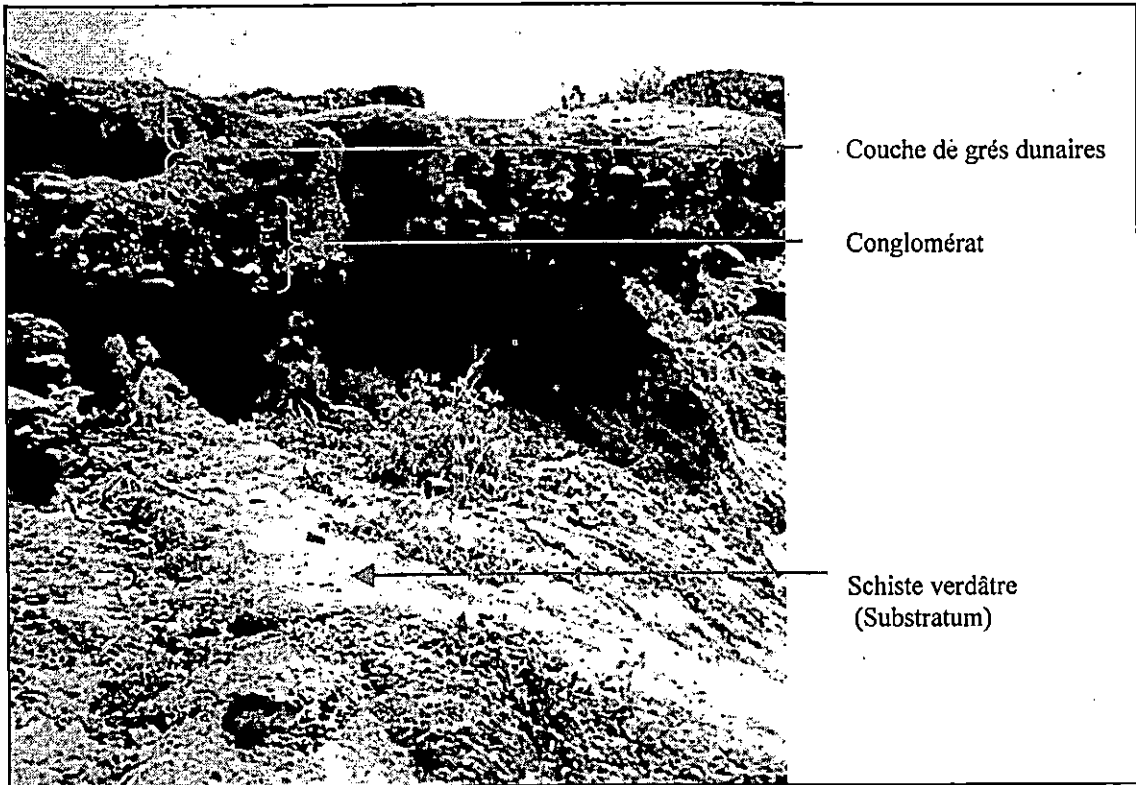
*Photo.05*



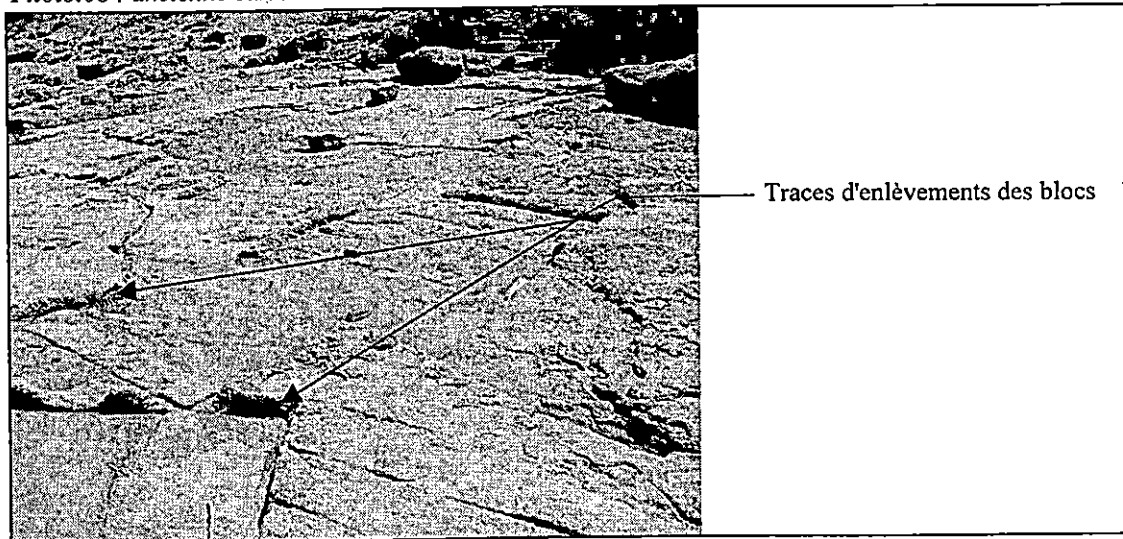
*Photo.06*



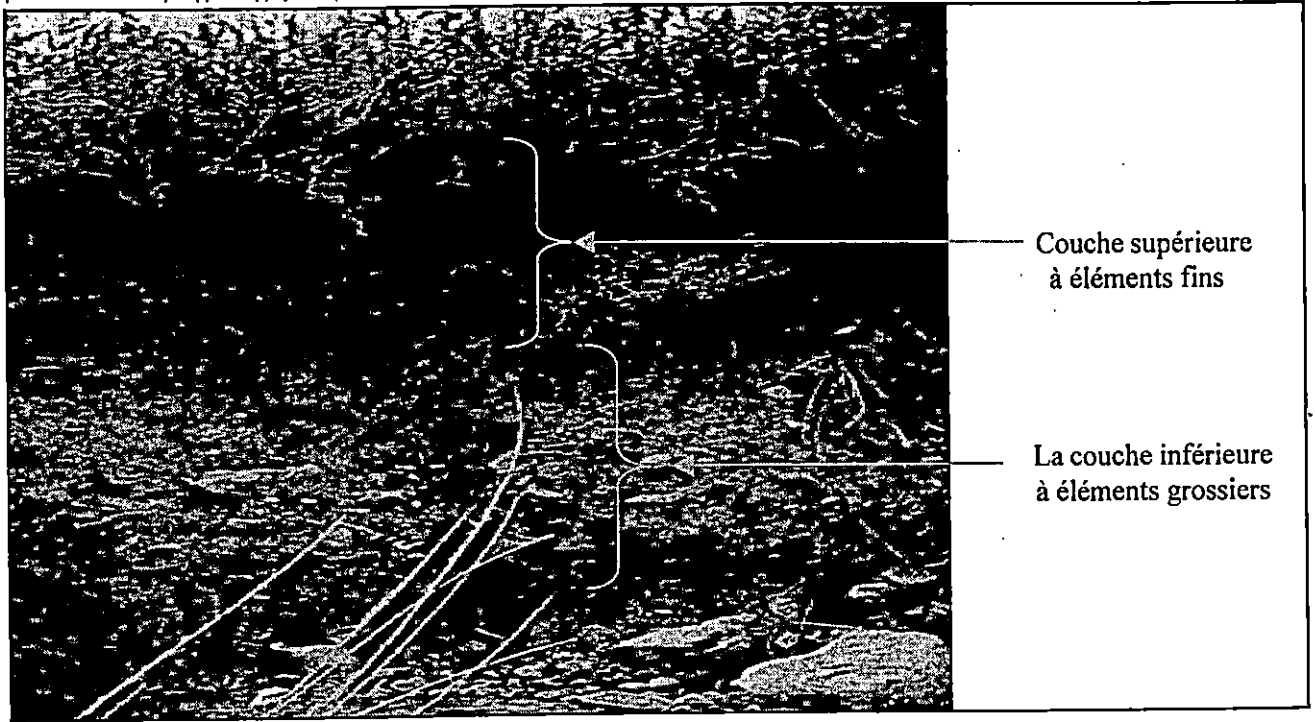
*Photo.07*



*Photo.08 : ancienne carrière Romaine*



*photo.09 : coupe géologique de la rive gauche de l'oued*



*Photo.10 : terrasse alluviale*



### III – 2 Photogéologie

L'objectif de l'étude photogéologique, est la mise en évidence de linéaments, de longueur variée et de différentes orientations, pouvant traverser le site d'étude.

#### III – 2.1 Méthodologie

L'étude photogéologique de la région de Hadjret en Nouss, a été basée sur l'étude de la photographie aérienne, à deux échelles 1/40000 et 1/10000, afin d'établir une carte linéamentaire, en premier lieu, et la réalisation d'une rosace de direction (diagramme de fréquences) à l'aide d'un logiciel de traitement des données statistiques de directions des linéaments "STEREONET", en second lieu.

L'analyse stéréoscopique permet de tracer les linéaments, qui peuvent correspondre à des failles.

Les linéaments obtenus, sont classés par leur orientation, par rapport au Nord géographique, ces données sont reportées sur un tableau, qui permet de réaliser la rosace des directions.

#### III – 2.2 Interprétation de la carte photogéologique

Les linéaments ont été tracés sur du papier calque, reportés au propre, sous forme de cartes linéamentaires (Figure.07, *et* Figure.08).

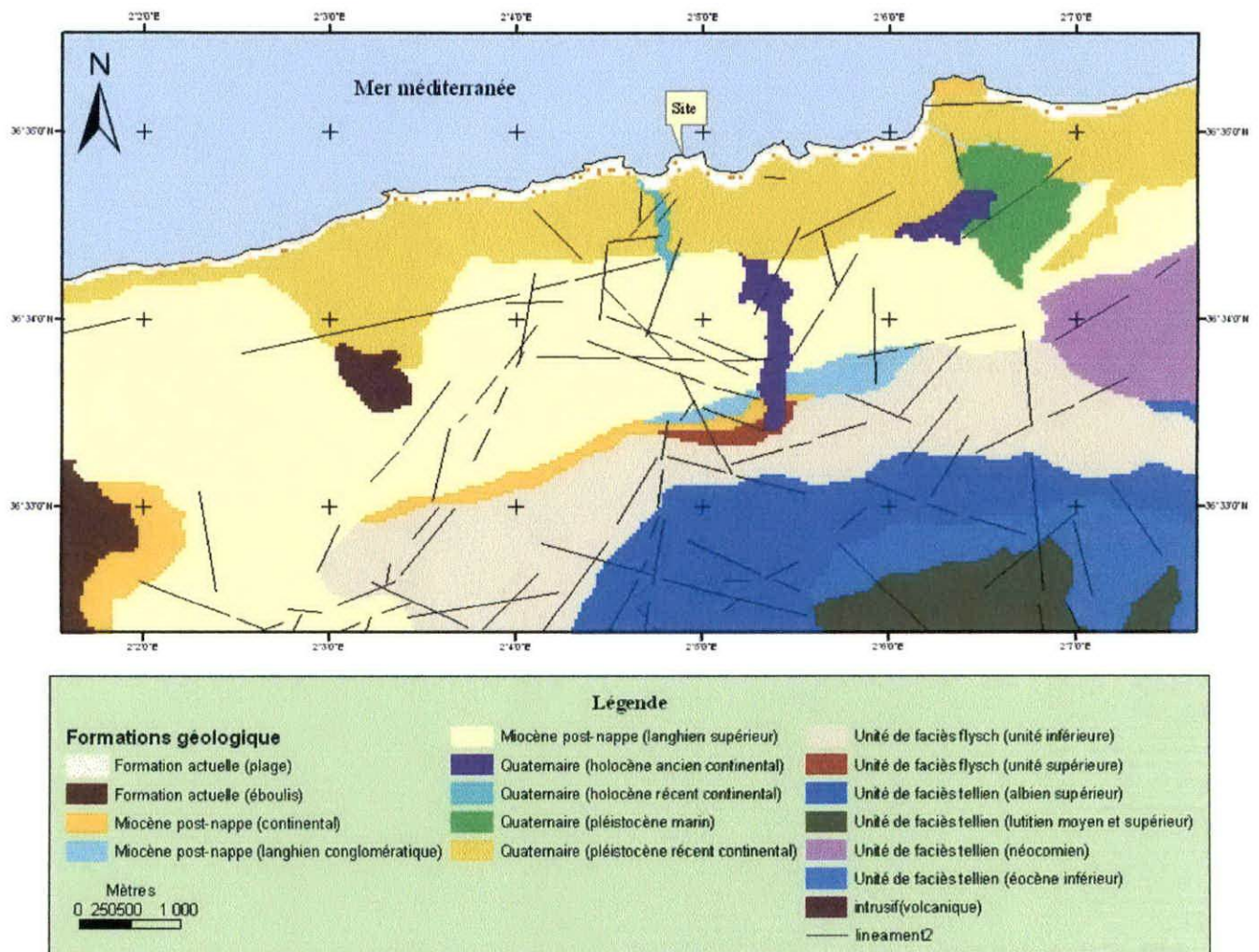


Figure.07 : Carte linéamentaire de la région de Hadjret En Nouss au (1/40000).

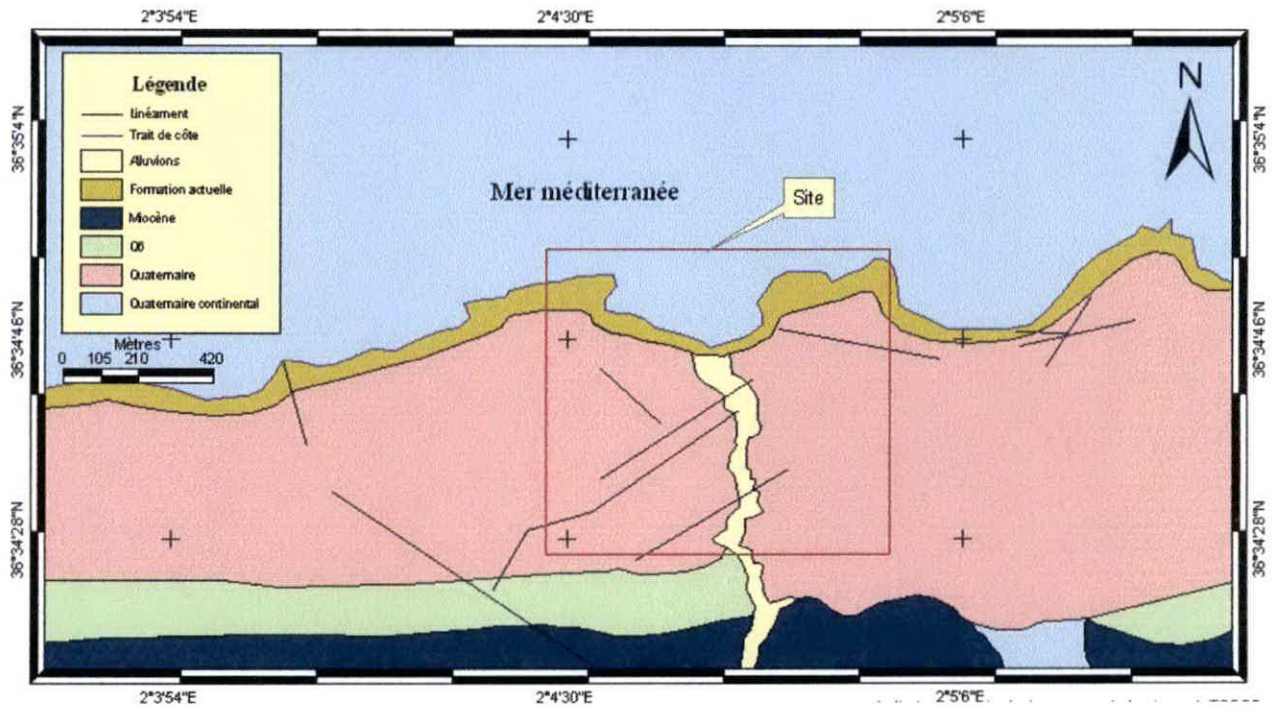


Figure.08 : Carte linéamentaire de la région de Hadjret En Nous au (1/10000).

**III – 2.3 Présentation des résultats**

Sur la carte linéamentaire (Figure.07), on observe une trame linéamentaire plus dense au sud du site, s’expliquant par la présence de hauts reliefs.

La rosace des directions (Figure.09), représente le résultat d’un traitement statistique (Tableau.02), effectué, pour mettre en évidence les directions principales des linéaments, observées sur la photo aérienne 1/40000. Il ressort, que les directions principales sont : NE – SW, WNW – ESE.

A une échelle plus grande, au 1/10000, la carte linéamentaire (Figure.08), montre des linéaments disperses, ceci est dû au fait que le site est plat. La rosace des directions (Figure.10), représentant le résultat du traitement statistique (Tableau.03), montre la prédominance des directions : NE-SW, N (20-30), et N (60-70).

Tableau.02

direction Nord	nombre de linéament	Direction nord	Nombre de linéaments
0-10°	4	90°-100°	0
10° -20°	4	100°-110°	8
20°-30°	7	110°-120°	3
30°-40°	6	120°-130°	0
40°-50°	11	130°-140°	4
50°-60°	3	140°-150°	0
60°-70°	5	150°-160°	2
70°-80°	6	160°-170°	2
80°-90°	5	170°-180°	3

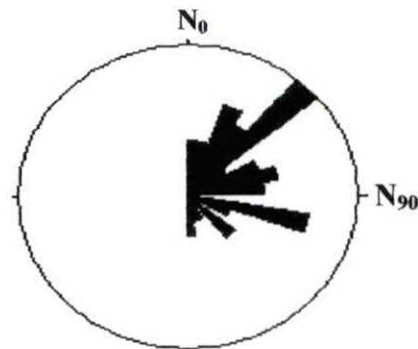


Figure.09 : diagramme de fréquence des directions des Linéaments (1/40000) de la région de Hadjret en Nous.

Tableau.03

Direction Nord	nombre de linéaments	Direction Nord	Nombre de linéaments
0-10°	0	90°-100°	1
10° -20°	0	100°-110°	0
20°-30°	2	110°-120°	0
30°-40°	0	120°-130°	1
40°-50°	3	130°-140°	1
50°-60°	0	140°-150°	0
60°-70°	2	150°-160°	0
70°-80°	0	160°-170°	1
80°-90°	1	170°-180°	0

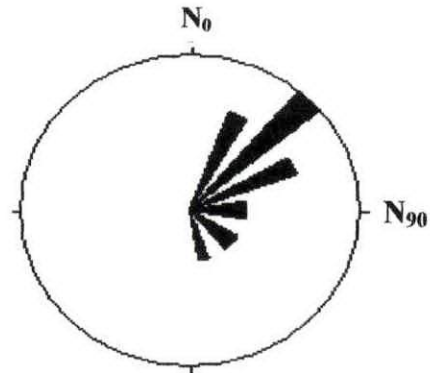


Figure.10 : diagramme de fréquence des directions des linéaments (1/10000) de la région de Hadjret En Nouss.

### III – 2.4 Conclusion

L'analyse photogéologique, a permis la réalisation d'une carte linéamentaire, à deux échelles, pour la région de Hadjret En Nouss, en général, et du site, en particulier.

Le résultat de l'analyse statistique montre la prédominance des directions des linéaments, qui sont par ordre d'importances, NE – SW et WNW – ESE.

Ces résultats sont compatibles avec les données de la tectonique régionale, du fait que les directions des contraintes sont orientées, N – S à NNO – SSE.

### III – 3 Description des déformations observées sur le terrain

Les déformations observées vers l'Ouest du site, sont caractérisées par la présence de différentes failles, qui ont favorisé la fracturation des formations géologiques. Les principales failles mesurées sur le site, sont, de type normal, souvent conjuguées, l'exemple d'une faille de direction nord 40° représenté sur la Photo.11.

Nous avons vu, également des failles décrochantes et des failles à jeu vertical et horizontal combinés.



Photo. 11 : faille affectant les grés dunaire à l'ouest du site

Une analyse statistique a été faite pour définir les principales orientations des failles identifiées sur les formations de grés dunaire et de conglomérat, respectivement d'âge quaternaire et plio-quaternaire, qui affleurent sur la façade maritime ouest du site; le Tableau.04, indique le nombre de failles mesurées, et leurs directions :

Tableau 04

direction	nombre de failles	direction	nombre de failles
N- S	4	N 100	1
N 10	1	N 110	0
N 20	1	N 120	1
N 30	2	N 130	1
N 40	11	N 140	1
N 50	0	N 150	1
N 60	4	N 160	2
N 70	0	N 170	1
N 80	0	N 90	0

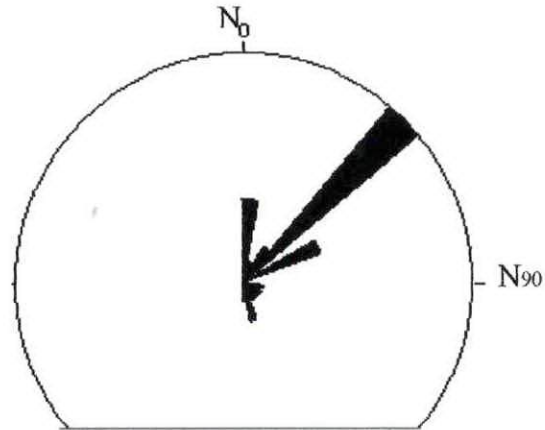
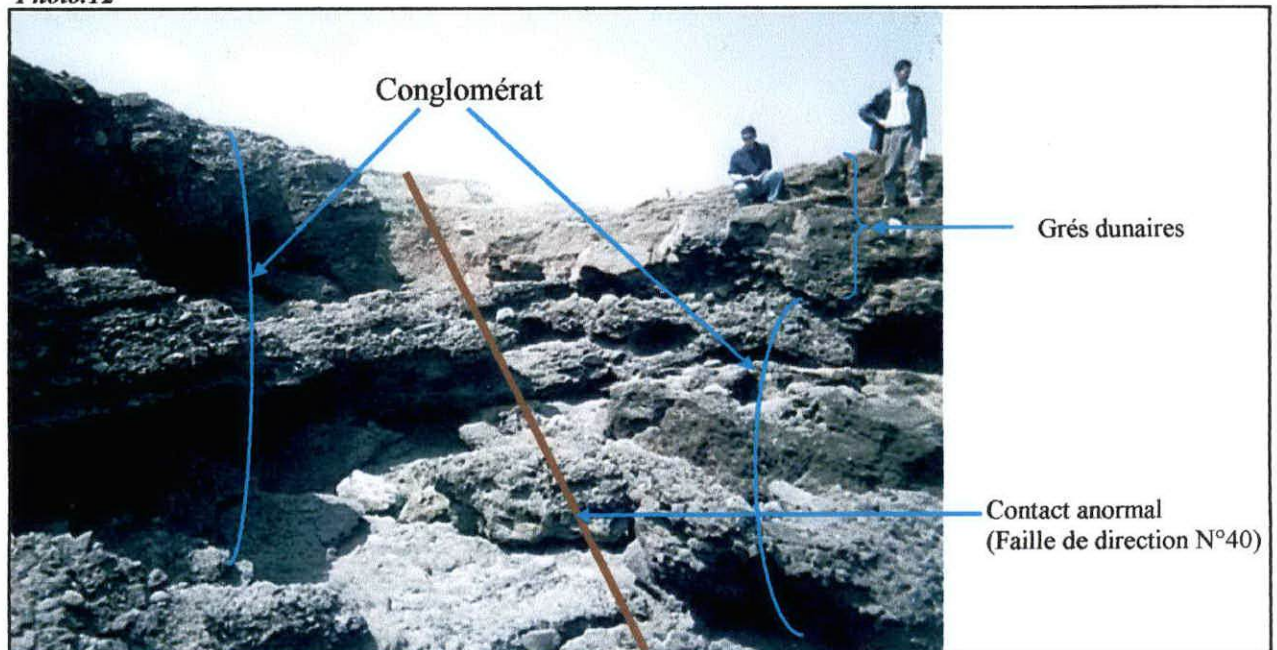


Figure. 11 : Diagramme de fréquence des directions de failles.

Le résultat du diagramme (Figure.11), montre que les directions dominantes des failles dans cette zone, sont respectivement de N 40°, N-S et N 60°, avec un pendage, principalement vertical, ou un pendage de 60° Nord.

On note aussi la présence d'un contact anormal, situé vers l'ouest du site, entre deux formations, une formation conglomératique, et une autre formation de grés dunaire, superposées sur le conglomérat (Photo.12), Ce contact anormal provoque un décalage du niveau de conglomérat, (Photo.12), qui s'explique par la présence d'une faille, de direction N 40°.

Photo.12



### III-4 Conclusion

Il apparaît clairement, à travers la description géologique locale, que le site d'étude, est recouvert par des formations, quaternaires à plio-quaternaire. En surface, une formation alluviale, d'âge actuel, le recouvre.

Le substratum, affleurant, au bord des petites falaises, de bord de la mer, se trouve à faible profondeur, en dessous du recouvrement quaternaire.

Les déformations observées sur les grés dunaires, et le conglomérat côtiers, sont datés, du plio-quaternaire. Ceci, nous renseigne, sur l'intense activité tectonique, qui a eu lieu, et qui continue de l'être.

En effet, les directions des déformations, mesurées, au niveau du site, sont concordantes avec la direction globale de l'activité tectonique régionale ; l'intense déformation de la côte, est liée, à l'activité tectonique, à l'origine de la sismicité de la région.

# CHAPITRE IV

CARACTÉRISATION GÉOTECHNIQUE ET  
GÉOPHYSIQUE DU SITE D'ÉTUDE

## Introduction

Le terrain devant servir d'assiette au projet de la centrale électrique a fait l'objet d'une campagne de reconnaissance aux sondages carottés, dont une vingtaine ont été réalisés par le LCTP. Nous n'avons pu exploiter les résultats, que de 9 d'entre eux : SC<sub>1</sub>, SC<sub>2</sub>, SC<sub>3</sub>, SC<sub>4</sub>, SC<sub>5</sub>, SC<sub>6</sub>, SC<sub>7</sub>, SC<sub>8</sub>, SC<sub>9</sub> (voir logs en Annexe), les autres sondages étaient difficile à implanter sur le plan.

Pour l'étude géophysique, nous avons exploités les résultats de 4 coupes géosismiques, parmi les 9 coupes réalisées par le laboratoire central de travaux publics (LCTP, 1989 ; in Maghraoui, 1990), et ce, dans le but de corréler la vitesse de propagation des ondes sismiques aux formations lithologiques du sous sol du site, et d'en préciser leur géométrie.

L'analyse des paramètres géotechniques du sous sol est le résultat d'une synthèse des informations géotechniques (Sabri et Zelmat, 2000) issue des données d'archive du Laboratoire Central des Travaux Publics (LCTP) et du rapport d'EDF (électricité de France, 1991). Cette synthèse concerne les formations géologiques décrites auparavant, afin de définir le meilleur sol de fondation.

## IV – I Lithologie du sous sol du site

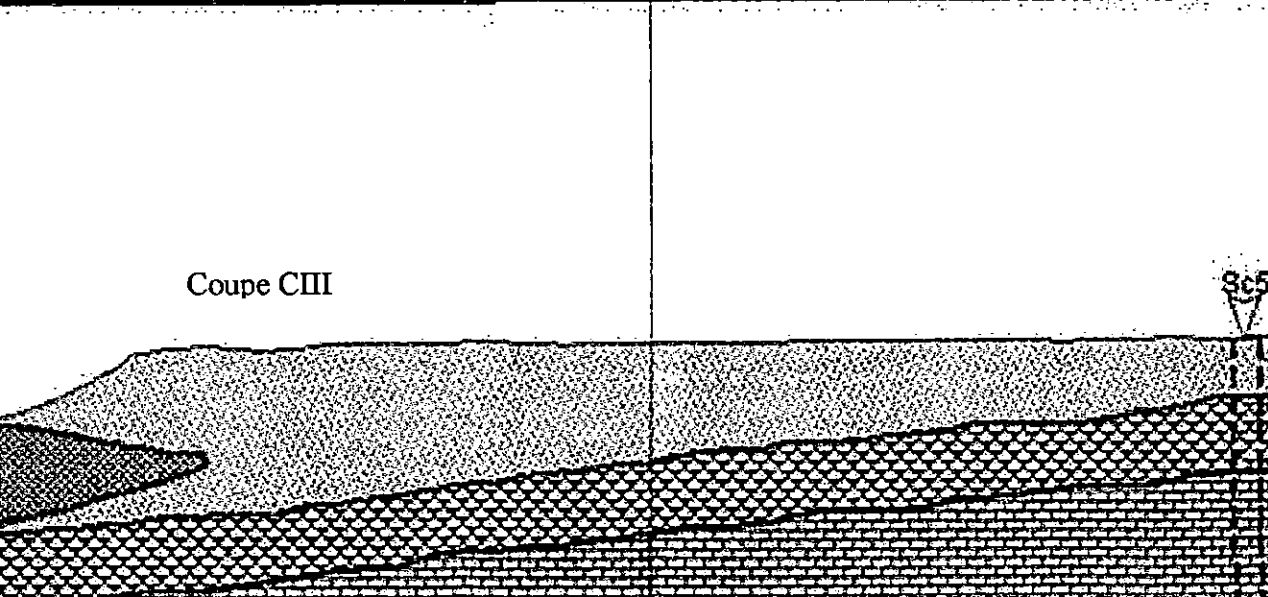
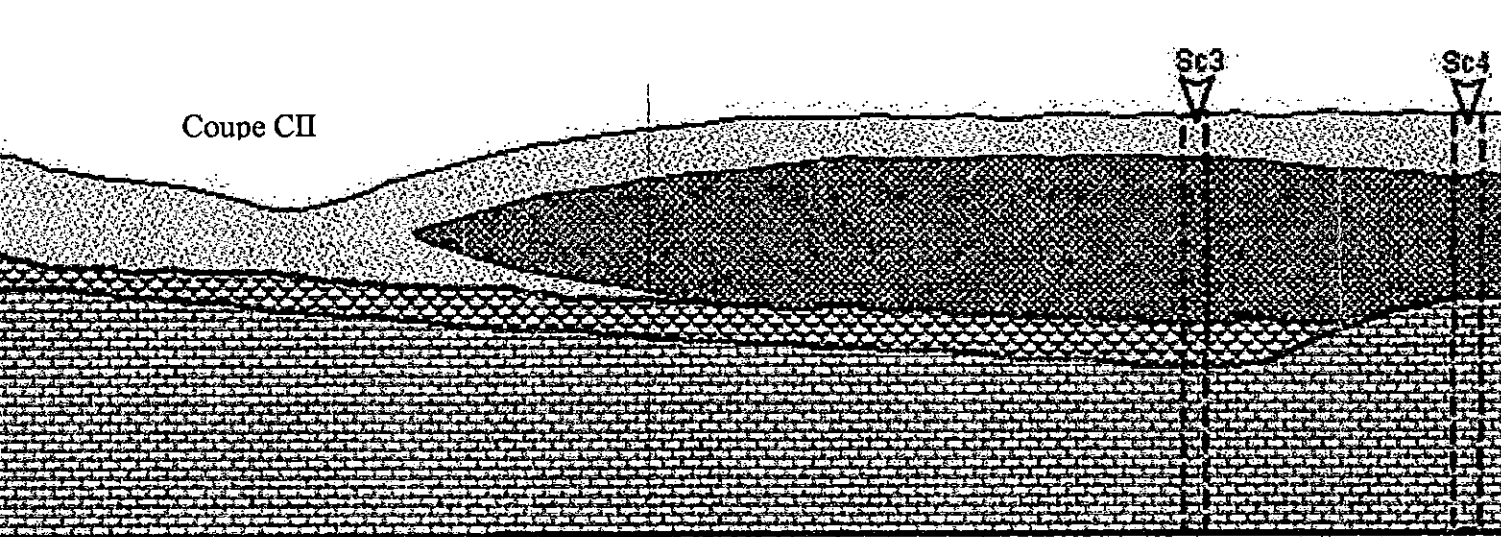
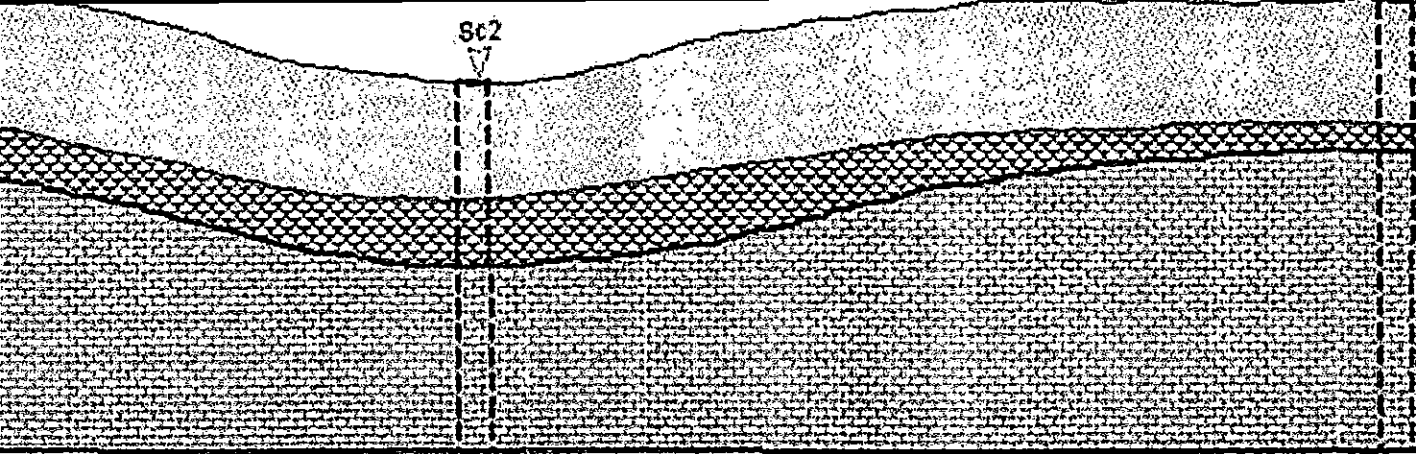
### IV – 1.1 Interprétation des sondages carottés

Selon le plan d'implantation des sondages et des coupes corrélatives (Figure 12), trois coupes lithologiques CI (SC<sub>1</sub>, SC<sub>2</sub>, SC<sub>8</sub>), CII (SC<sub>1</sub>, SC<sub>3</sub>, SC<sub>4</sub>), CIII (SC<sub>6</sub>, SC<sub>2</sub>, SC<sub>5</sub>) ont été réalisées (Figure 13), qui montrent la succession lithologique suivante, de haut en bas :

- un recouvrement argilo-limoneux caillouteux à galets, de couleur brune à beige, parfois rouge, d'une épaisseur de 2 m à 7,5 m ;
- une couche de marno-calcaires, altérée, argilisée et fissurée, de couleur jaune à beige, d'une épaisseur de 1,5 m à 4 m. Cette couche constitue la partie altérée du substratum ;
- le substratum, constitué de marno-calcaires, compact, sain, à aspect rocheux, de couleur gris à bleue. Son toit apparaît généralement entre 7 m et 9 m de profondeur.

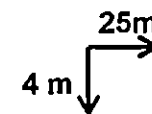
Cette étude a permis de reconnaître l'ensemble des formations, de notre secteur d'étude. On note un niveau lenticulaire dans la coupe CIII, qui apparaît sur le sondage SC<sub>2</sub>, correspondant à des alluvions d'oued, constituées d'éboulis divers, (blocs, galets, cailloux), parfois emballées dans une gangue argilo-limoneuse.

Un autre niveau apparaît sur les sondages SC<sub>3</sub> et SC<sub>4</sub> (coupe CII), défini par une coulée boueuse, constituée de colluvions et éboulis, qui correspondent au remplissage d'un ancien lit d'oued. Cette coulée boueuse débouche au niveau du promontoire Est, de la petite crique qui limite le site au nord.



E

NE



**Légende**

	Sondage carouée
	Suksiatum marne-calcaire compact

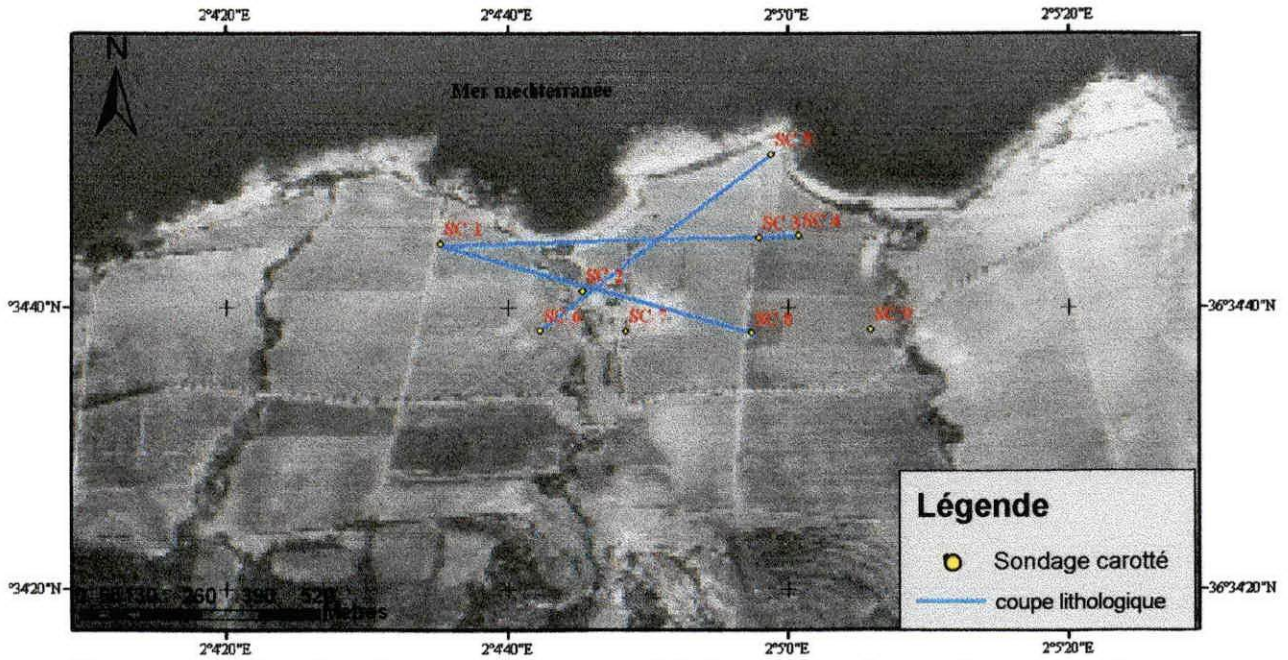


Figure .12 : Plan d'implantation des coupes lithologiques et des sondages carottés.

**IV – 1.2 Interprétation des coupes géosismiques**

Les caractéristiques des quatre profils sismiques exploités (figure 14), sont résumées dans le (Tableau.05).

Tableau.05

Profil sismique	Longueur (m)	Direction
Oblique 1	220	Sud - Est – Nord - Ouest
Parallèle 1	820	Ouest – Est
Parallèle 2	820	Ouest –Est
Transversal 1	420	Sud – Nord

L'enregistrement et l'étude des temps de propagation des ondes permettent de définir la nature et la géométrie des couches, en se basant sur le fait que les ondes se propagent à des vitesses différentes dans les diverses formations et suivant la loi de réfraction. Nous essayerons d'établir une corrélation entre la géologie et les résultats obtenus, se rapprochant le plus possible de la réalité.

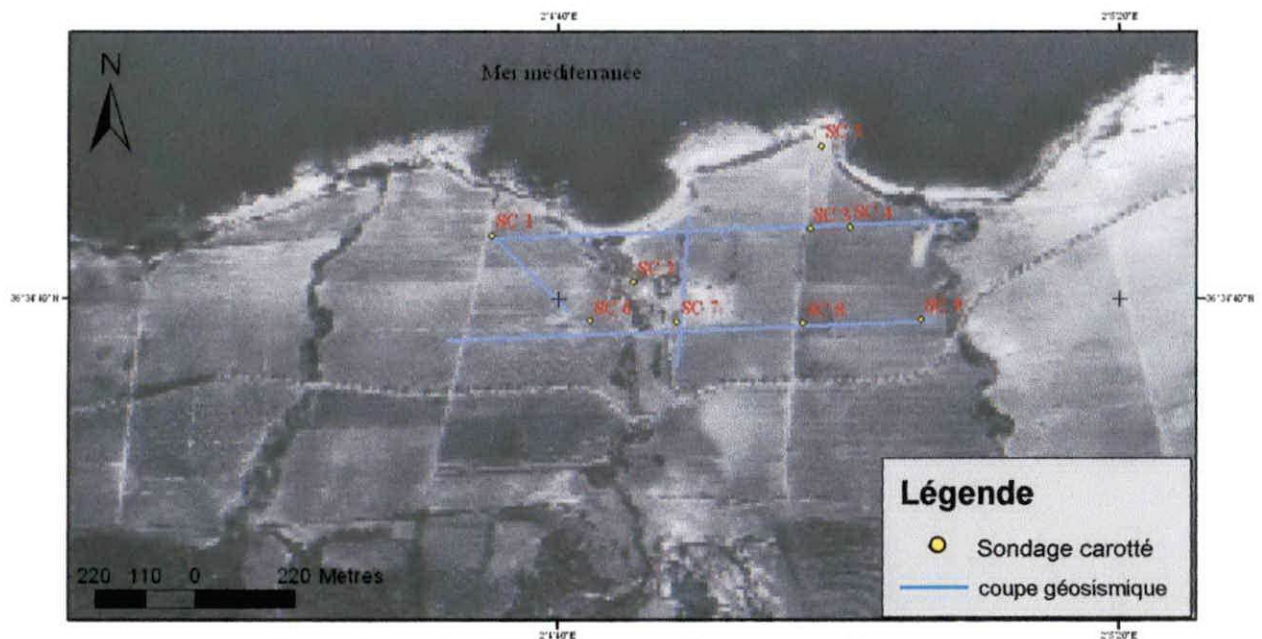


Figure.14 : plan d'implantation des coupes géosismiques

Les quatre coupes géosismiques, sont représentées dans la Figure 15 :

**a) Parallèle 1**

Cette coupe géosismique, met en évidence deux couches, par corrélation avec les résultats des sondages carottés Sc<sub>1</sub>, Sc<sub>3</sub> et Sc<sub>4</sub>. La première est attribuée à un recouvrement argileux à blocs, parfois limono-caillouteux, d'une épaisseur variant de 2,7 à 5,5 m, et une vitesse moyenne de 510m/s.

La deuxième couche, attribuée au substratum marno-calcaire a une vitesse de 2720m/s, due probablement aux cailloux et blocs emballés dans une gangue argilo-marneuse, très apparente au socle marno-calcaire. Cette vitesse peut atteindre 3390m/s, correspondant au socle plus compact.

**b) Parallèle 2**

La coupe géosismique corrélée au sondage carotté Sc<sub>8</sub>, montre deux couches:

La première est attribuée aux argiles et limons bruns, mélangés de cailloux et des graviers, avec une épaisseur qui varie de 3m à 7,3m, et une vitesse moyenne de 475m/s;

La deuxième couche, constituée d'un substratum marno-calcaire, se manifeste par une vitesse égale à 2860m/s, due probablement aux cailloux emballés dans des gangues argilo-marneuses du substratum de l'oued Mokdada Nazizi, pouvant atteindre 3400m/s au niveau du substratum plus compact.

### *c) Transversale 1*

Cette coupe géosismique présente trois couches, en se basant sur le résultat du sondage SC<sub>7</sub>.

Une première couche, superficielle, caractérisée par une vitesse comprise entre 580 m/s et 690 m/s, d'une épaisseur de 3 m à 9 m. On attribue ce recouvrement au limon-argileux, très caillouteux, et au limon sableux.

Une seconde couche, de faible extension latérale, caractérisée par une vitesse qui va en diminuant de 1660 m/s à 1210 m/s, d'une épaisseur de 0 et 9.6 m, formant une lentille. Elle est attribuée au marno-calcaire argileux.

La troisième couche est attribuée au marno-calcaires, compacts, rocheux et fissurés, par endroit d'une vitesse comprise entre 3630 m/s et 3330 m/s.

### *d) Oblique 1*

Cette coupe géosismique fait apparaître deux couches, en la corrélant, avec le sondage carotté SC<sub>1</sub>.

Dans la première couche la vitesse moyenne est de 515 m/s. Son épaisseur varie entre 4 et 7.2 m. Elle est attribuée au recouvrement argileux et argilo-limoneux à cailloux, blocs et galets.

La deuxième couche est attribuée au substratum marno-calcaire, d'une vitesse de 3330 m/s, indiquant un substratum compact. Cette vitesse, passe à 2860 m/s, probablement à cause de l'altération du substratum.

## **Conclusion**

Les résultats des sondages carottés et de la reconnaissance sismique montrent une hétérogénéité de la succession lithologique.

Les coupes lithologiques révèlent l'existence de trois couches, de haut en bas :

- recouvrement argilo-limoneux ;
- substratum marno-calcaire altéré ;
- substratum marno-calcaire compact.

Avec la présence de niveaux lenticulaires, correspondant à des colluvions, alluvions, ou des coulées boueuses.

Les coupes géosismiques ont mis en évidence deux couches lithologiques :

- recouvrement argilo-limoneux, avec une vitesse, variant de 390 à 810 m/s ;
- substratum marno-calcaire, d'une vitesse de 2700 à 3800 m/s.

On note aussi l'apparition d'un compartiment bien individualisé au niveau de la coupe géosismique Transversale 1, attribué à une formation marno-calcaire.

## **IV – 2 Caractérisation géotechnique du sous sol du site**

### **IV – 2.1 Les paramètres géotechniques**

#### **IV – 2.1.1 paramètre de laboratoire**

##### **A) paramètres physiques**

- Teneur en eau naturelle  $W$  (%), poids volumique du sol sec  $\gamma_d$  ( $t/m^3$ ), et le degré de saturation  $S_r$  (%).
- Granulométrie, en pourcentage, des différentes classes granulométriques.
- Limites d'Atterberg pour définir les domaines de liquidité et de plasticité des sols.

##### **B) paramètres mécaniques**

- Résistance à la compression simple ( $R_C$  en Mpa).
- Résistance au cisaillement, à la boîte de CASAGRANDE, pour déterminer la valeur de la cohésion ( $C$ ) et de l'angle de frottement interne ( $\phi$ ).
- Compressibilité à l'oedomètre, pour évaluer les tassements, les gonflements et le degré de consolidation des sols.

##### **C) paramètre chimique**

Teneurs en carbonate de calcium, en gypse et la teneur en chlorure de sodium

#### **IV – 2.1.2 Essais in situ**

- Essai pressiométrique.
- Essai au pénétromètre dynamique.

### **IV – 2.2 Identification géotechnique du sol**

#### **IV – 2.2.1 Recouvrement quaternaire (colluvions)**

Il s'agit d'un recouvrement argilo-limoneux, caillouteux, et à galets

##### **A) Paramètre de laboratoire**

###### **A. 1 paramètres physiques**

Le tableau 06, résume les valeurs des paramètres physiques et mécaniques, obtenus, pour cette couche.

Tableau 06 : Paramètres géotechniques du recouvrement quaternaire

Paramètres Géotechniques		Les valeurs extrêmes		Valeur moyenne
		Valeur inférieure	Valeur supérieure	
Paramètres physiques	< 2 mm (%)	73	100	90.6
	< 100 $\mu$ (%)	51	96.5	81
	< 3 $\mu$ (%)	18	58	36.7
	$W_L$ (%)	35	64	51.3
	$I_p$ (%)	15	37	27.4
	$W_p$ (%)	20	27	23.9
	$W$ (%)	12.5	19.2	16.3
	$S_r$ (%)	70	100	90
	$\gamma_d$ ( $t/m^3$ )	1.68	1.89	1.82
	$\gamma_h$ ( $t/m^3$ )	1.97	2.17	2.11
	$I_c$ (%)	1.09	1.4	1.29
Paramètres mécaniques	$C_c$ (%)	5.2	10.7	8
	$C_g$ (%)	3.2	5.6	4.2
	$C_{uu}$ (Mpa)	1.2	1.5	1.35
	$\Phi_{uu}$ ( $^\circ$ )	0	0	0
	$C'$ (Mpa)	0.1	0.3	0.2
	$\Phi'$ ( $^\circ$ )	20	30	25

### - Granulométrie

Le fuseau granulométrique, étalé, (Figure. 16) caractérise ce faciès, dont le taux pondéral des passants, à 80  $\mu$ , dépasse les 50 %. Ces caractéristiques permettent de classer ce sol dans la catégorie des sols fins. Ce fuseau granulométrique est très large, ce qui confirme l'hétérogénéité de ces formations, riches à la fois en argile (36,7 % en moyenne) et en sable et gravier (19 % en moyenne), avec une prédominance des fractions fines (81 % en moyenne).

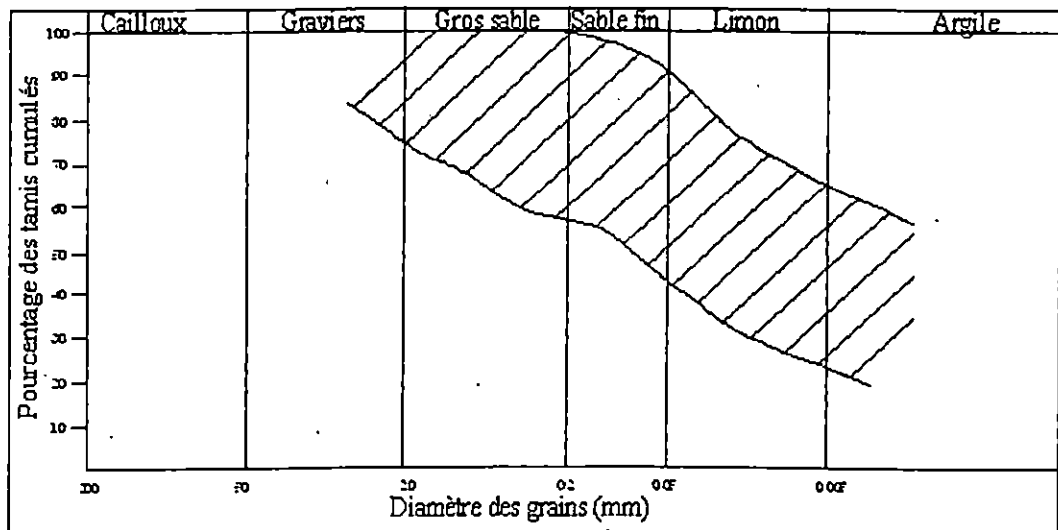


Figure.16 : fuseau granulométrique des colluvions quaternaires

### – Plasticité

Étant donné que tous les points ( $W_L$ ,  $I_p$ ), du diagramme de CASAGRANDE, soient situés, au dessus de la droite d'argile, d'équation  $I_p=0,73(W_L-20)$ , on déduit alors, que les colluvions, présentent, une plasticité assez variable, moyenne à forte. (Figure.17).

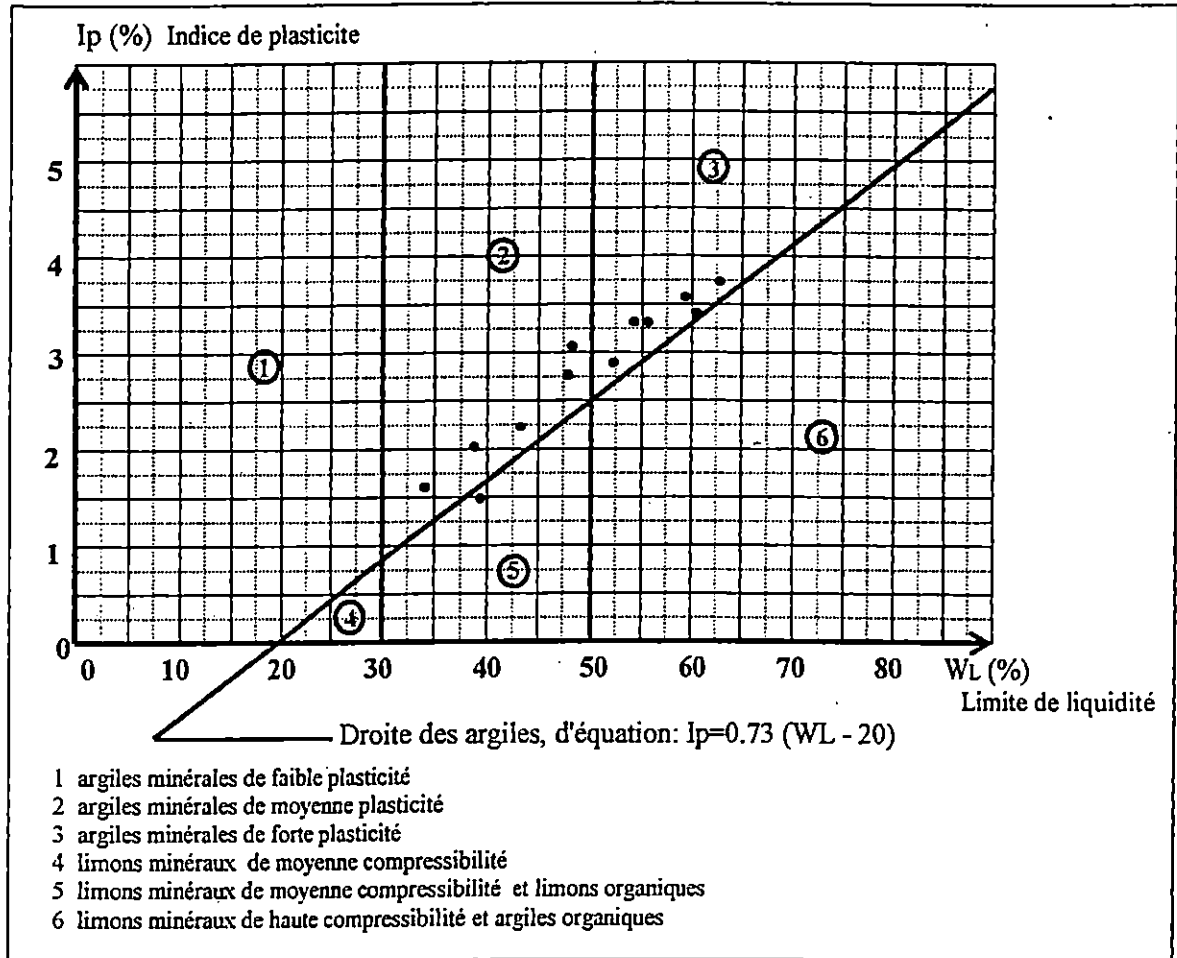


Figure.17 : Diagramme de CASAGRANDE pour la couche quaternaire

### – caractéristiques d'état : (teneur en eau, degré de saturation et consistance)

Les valeurs de la teneur en eau naturelle ( $W_{NAT}$ ) du sol, ainsi, que ses poids spécifiques, liquide et sec ( $\gamma_h$  et  $\gamma_d$ ), du degré de saturation ( $S_r$ ) et de l'indice de consistance ( $I_c$ ), sont données, dans le Tableau 06. Il ressort, qu'on a, à faire, à des sols, de compacité élevée ( $\gamma_d > 1,8$ ), avec un état de saturation détrompé ( $7,5 \% < S_r < 99\%$ ), et une consistance dure ( $I_c > 1,00 \%$ ).

### A. 2 Paramètres mécaniques

#### – Etat de gonflement, compression et consolidation

Les essais oedométriques, réalisés sur ce faciès, ont donné des coefficients de compressibilité ( $C_c$ ) de 8 %, qui fait état d'un sol, peu compressible, et un coefficient de gonflement ( $C_g$ ), supérieur à 4%, témoignant, du caractère gonflant des colluvions.

**- Résistance au cisaillement**

On a deux types de caractéristiques :

- caractéristiques apparentes : (non consolidé non drainées).

Les essais de cisaillement rectiligne, non consolidé, à vitesse de déformation rapide, ont donné une cohésion,  $C_u = 1,2$  à  $1,5$  bars, avec un angle de frottement interne nul ( $\phi_U = 0$ ).

- caractéristiques effectives : (consolidées drainées).

Elles sont données par des essais de cisaillement rectiligne, drainés, à vitesse de déformation lente, ces caractéristiques sont : la cohésion  $C = 0,1$  à  $0,3$  bars, et l'angle de frottement interne  $\phi = 20$  à  $30^\circ$ . On constate, alors, que le drainage, diminue la cohésion, et augmente l'angle de frottement interne.

**- Composition chimique :**

Ces colluvions ont fait l'objet de 13 analyses chimiques. Les résultats sont présentés sur le (Tableau.07).

*Tableau.07 : composition chimique du recouvrement quaternaire*

Teneur En \ Valeur	Min (%)	Max (%)	Moyenne (%)
Carbonate de calcium (Ca Co <sub>3</sub> )	9.5	36.2	20.3
Gypse (Ca So <sub>4</sub> )	1.8	2.6	2.17
Chlorure de sodium (Na Cl)	0.12	0.18	0.14

**B) Essais in situ****B. 1 Essais pressiométriques**

Dans les colluvions, entre 1 et 2,5m de profondeur, qui correspond à la partie la plus argileuse, 6 essais pressiométriques ont été effectués, dont les résultats, sont comme suit :

- module pressiométrique :  $E_p = 206$  bars, en moyenne.
- pression limite :  $P_L = 14,8$  bars, en moyenne.
- rapport  $E_p/P_L = 14$  bars.

Le rapport de  $E_p/P_L$ , indique, des sols normalement consolidés à surconsolidés.

**B. 2 Essais au pénétromètre dynamique**

Dans les colluvions, les valeurs minimales de la résistance de pointe dynamique ( $R_d$ ), obtenues, sont de l'ordre, de 50 à 60 bars.

**IV - 2.2.2 Marne altérée**

Les marnes altérées, sont divisées, en fonction de la profondeur, en deux faciès (faciès compact, faciès schisteux), les résultats des données géotechniques, sont représentés sur le Tableau.08.

Tableau.08 : caractéristiques géotechniques de la marne altérée.

Paramètres géotechniques		Faciès compact			Faciès schisteux		
		Prof	2.45-2.65m	5.4-5.6 m	7.5-7.9m	5 - 6m	5.5 - 6.5 m
Paramètres physiques	< 2 mm (%)	100	17.5	15	86	96	99
	< 0.4 mm (%)	97			57		
	< 100 $\mu$ (%)	96	6	10	45	79	86.5
	< 3 $\mu$ (%)	42			14	20	21
	W <sub>r</sub> (%)	54			38	32	36
	I <sub>p</sub> (%)	29			18	13	17
	W (%)	14.3	7.4	5.5	10.9		
	S <sub>r</sub> (%)	89	90	87	89		
	$\gamma_d$ (t/m <sup>3</sup> )	1.89	2.21	2.27	2.03		
	$\gamma_h$ (t/m <sup>3</sup> )	2.16	2.37	2.39	2.25		
Paramètres mécaniques	I <sub>c</sub> (%)	1.38			1.53		
	C <sub>c</sub> (%)				12		
	C <sub>g</sub> (%)				5		
	$\sigma_c$ (bars)				2.7		

Les caractères d'identification géotechniques des marnes altérées, sont très variables:

#### a) Faciès compact

C'est une marne moyennement altérée, avec une granulométrie de gravier sableuse, peu argilisée (entre 5 et 8 m de profondeur), qui peut devenir très altérés, sous forme, d'une argile silteuse (entre: 2.4 et 2.6 m de profondeur), hautement plastique ( $I_p > 17\%$ ):

Les marne altérées, ont un degré de saturation, compris, entre, 76 % et 99 %, ce qui donne, un caractère détrempé de ce faciès, et une compacité élevée (sol dense, avec  $\gamma_d > 1.8t/m^3$ ).

#### b) Faciès schisteux

Ce faciès moyennement altéré, prend une granulométrie de sable silteux, un peu argileux. Il se caractérise par une plasticité moyenne ( $7 < I_p < 17\%$ ), et une compressibilité moyenne ( $10 < C_c < 20\%$ ).

### IV – 2.2.3 Substratum marneux sain ou peu altéré

Le substratum sain, se présente, sous deux faciès :

a) *Faciès massif* : largement prédominant sur le site, ce faciès est une véritable roche, qui ne se ramollie pas, et ne délite pas dans l'eau. Les notions de granulométrie et de plasticité, n'ont donc, pas de sens, pour elle.

- La densité, comprise, entre 2.5 et 2.65 t/m<sup>3</sup>, caractérise un sol dense.

- La résistance à la compression simple est donnée par des valeurs, comprises, entre, 109 et 312 bars, pour une moyenne de 231 bars.

- La teneur en carbonate, varie, entre, 21.5 et 37.3 %, pour une valeur moyenne de 26.9 %.

b) *Faciès schisteux (ou tectonisé)* : ce faciès est plus sensible à l'altération, avec un débit ardoisier ou en plaque. Les résultats des essais d'identification, sont résumés dans le Tableau.09.

– Granulométrie et plasticité : les essais effectués, sur trois échantillons, ont donné les résultats suivants :

	Paramètres	Valeur	Val. Moyenne
Granulométrie	< 2 mm (%)	86 – 95	91.5
	< 100 $\mu$ (%)	41 – 57	48.6
	< 3 $\mu$ (%)	12 – 14.5	13.2
plasticité	WL (%)	30 – 35	32.6
	Ip (%)	10.5 – 16.5	13.3

Tableau.09 : Caractéristiques de granulométrie et de plasticité du substratum marneux sain.

Ce faciès, à une granulométrie d'un sable, fortement silteux, légèrement argileux et graveleux, avec une plasticité moyenne.

Du point de vue compacité, le faciès schisteux sain, est moins compact, puisque les mesures, ont données des valeurs de  $\gamma_d = 2.25 - 2.26 \text{ t/m}^3$ . Les teneurs en carbonate sont plus faible, (2.5 à 5.8 %).

#### IV – 2.3 Conclusion

*Les colluvions* : Constituants des sols très hétérogènes, ou sont représentés, tous les intermédiaires entre un pole argilo-silteux, et un pole sablo-graveleux. Ces sols sont très compacts et peu compressibles. Ils sont, notamment, surconsolidés, avec une tendance au gonflement.

*Les marnes altérées* : Elles ont une granulométrie, de grave sableuse, peu argileuse, jusqu'aux argiles silteuses à sable silteux, d'une compacité élevée, avec une plasticité et une compressibilité moyenne.

*Le substratum marneux sain* : C'est une roche tendre, dont la déformabilité, faible à très faible, dépend, principalement, du degré de fissuration.

Les colluvions et marnes altérées, présentent des caractéristiques défavorables, pour une telle construction, par contre, le substratum marneux sain, possède les meilleures caractéristiques, qui nous permettent de le considérer comme un sol convenable pour la fondation.

### IV – 3 Enregistrement du bruit de fond sur le site

Les effets de site (Figure 18) traduisent le fait qu'à cause d'une géologie particulière, et / ou une géométrie particulière, le mouvement du sol induit par une sollicitation sismique est amplifié et prolongé dans le temps. C'est le cas du tremblement de terre du 19/09/1985 de Mexico. Alors que l'épicentre du séisme de Michoacán était situé à plus de 400 km de la ville de Mexico, d'importants dégâts ont été observés dans cette ville.

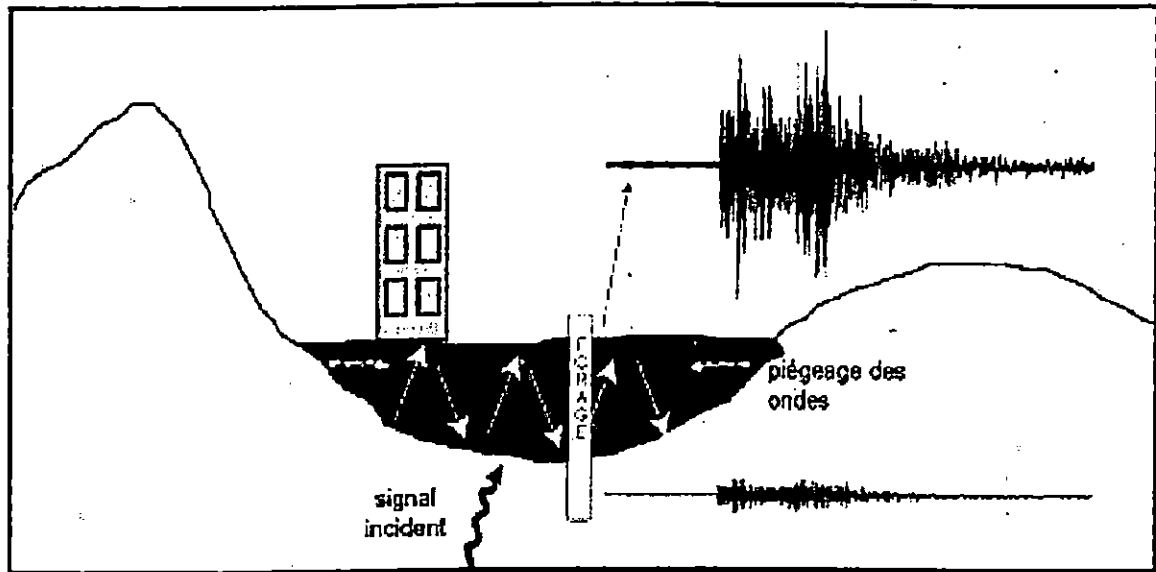


Figure.18 : vue schématique des effets de site (BONNEFOY-CLAUDET, 2004)

Il existe différentes méthodes pour évaluer les effets de site :

- méthodes de prospection géophysiques classiques : sismique réflexion, sismique réfraction, prospection électrique...
- méthodes basées sur les enregistrements du bruit de fond (méthode des rapports spectraux H/V), permettant de préciser la fréquence propre des sols et des bâtiments d'un site.

Ces dernières permettent, par ailleurs, de préciser, en combinaison avec d'autres méthodes, la géométrie des couches dans le sous sol. Les méthodes utilisant le bruit de fond sont basées sur les propriétés de propagation des ondes dans le sol pour estimer ses caractéristiques physiques.

La méthode H/V, ou méthode de Nogoshi-Nakamura, est simple à mettre en œuvre et efficace pour la caractérisation des effets de site. Elle est utilisée dans les études de microzonage sismique, ainsi que dans le domaine du génie parasismique.

Cette technique consiste à obtenir des fréquences de résonance d'un site, en effectuant le rapport des amplitudes spectrales du bruit de fond, enregistré sur les composantes horizontales et verticales d'un sismomètre.

### IV – 3.1 Origine et nature du bruit de fond

Le bruit de fond a deux origines :

*Naturelle* : Due aux phénomènes océaniques (marée, impact des vagues sur le rivage...) et aux conditions météorologiques (vent, pluie, torrent), ainsi qu'à l'écoulement de l'eau d'une rivière, ou les racines des arbres, ou les fondations d'un immeuble, vibrant sous l'effet du vent.

*Anthropique* : Due à l'activité humaine, aux machines d'usine, au roulement des trains et des voitures, ou tout simplement des piétons qui marchent ...

Il est difficile de classer les différentes sources de bruit, et si on s'intéresse à la nature de ces sources, on peut les classer, selon leur fréquence :

- fréquences inférieures à environ 1 Hz, les sources sont naturelles ;
- fréquences intermédiaires (entre 1 et 5 Hz), les sources sont, soit naturelles et/ou anthropiques ;
- hautes fréquences (au-delà de 5 Hz), les sources sont anthropiques.

### IV – 3.2 Principe de la méthode H/V

Cette méthode est basée sur l'enregistrement du bruit de fond, pendant quelques minutes, sur plusieurs points d'un site, à l'aide d'un sismomètre à trois composantes.

Ensuite, les rapports spectraux entre les composantes horizontales et verticales sont calculés, selon la méthode de Nogoshi-Nakamura ou H/V (Nogoshi et Igarashi 1971, Nakamura 1989 ; in Bonnefoy 2004). Ils permettent de déterminer la fréquence de résonance des couches géologiques, surmontant un substratum, mais également une amplification spectrale, relative, des ondes.

La méthode H/V est basée sur l'hypothèse que la composante verticale du mouvement du sol, n'est pas amplifiée à la fréquence de résonance du site. Le rapport H/V est stable, quelque soit l'heure de mesure en un point. Ce rapport est généralement plat et oscille autour de 1 sur les sites rocheux, tandis que sur les sites alluviaux il présente un pic marqué, centré sur la fréquence de résonance du site ( $f_0$ ), autour de laquelle il y aura une extinction de la composante verticale en cas de fort contraste (Figure 19).

La fréquence  $f_0$  est liée à la vitesse des ondes S, et à l'épaisseur des sédiments, en dessous desquels il n'existe aucune amplification. Dans un milieu à une couche, d'épaisseur H et de vitesse  $V_s$ , surmontant un substratum rocheux,  $f_0 = V_s / 4 H$ . Cette fréquence propre, calculée, est valable pour des faibles sollicitations, donc dans le domaine élastique (Dunand et al, 2004).

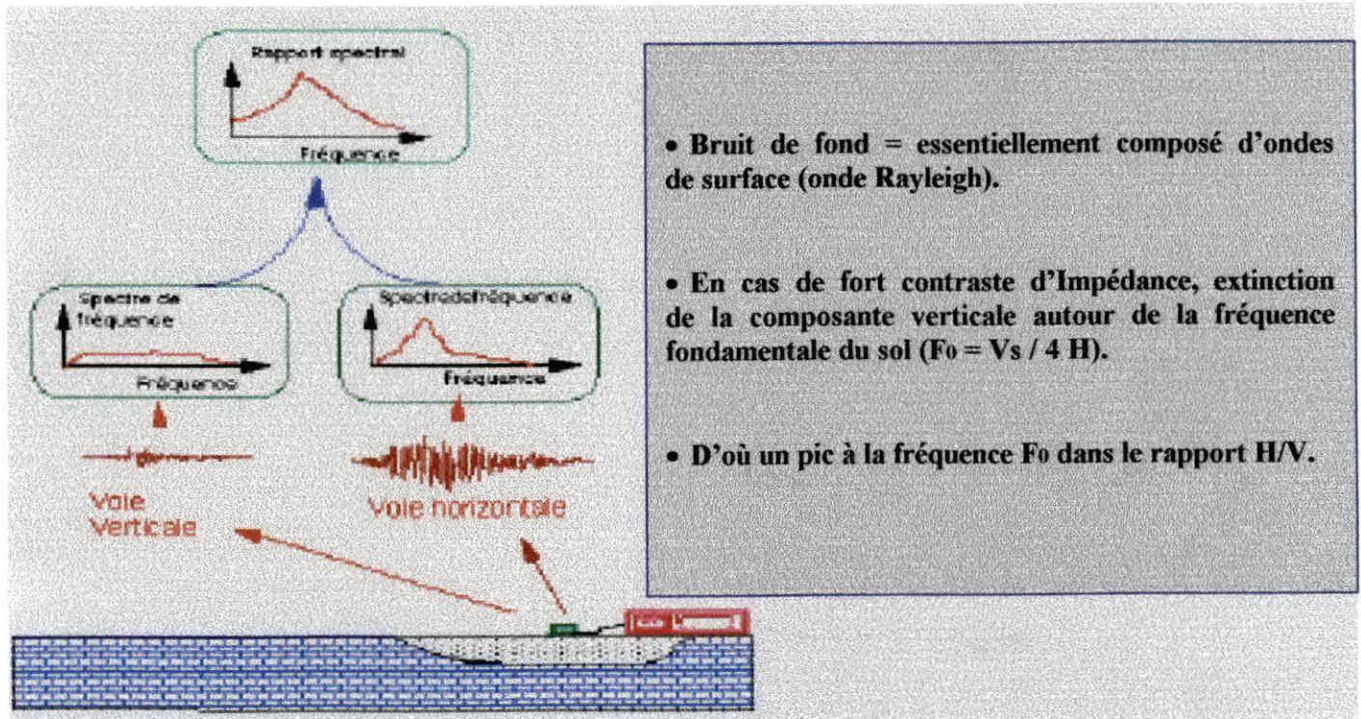


Figure 19 : Principe de la méthode H/V (Y.P. Bard, 2003 ; in Osmani et Ouzerâ, 2004).

#### IV – 3.3 But de la méthode H/V

L'enregistrement est simple et rapide (non destructif, sans sollicitation volontaire). Le traitement des ondes est également simple et le coût très bas font que cette technique est appliquée :

- pour obtenir des informations semi-qualitative et semi-quantitative sur un site particulier ( $V_s$  : vitesse de l'onde de cisaillement,  $H$  : épaisseur de la couche) ;
- cartographier la fréquence de résonance ( $f_0$ ) du sol ;
- guider le microzonage sismique (estimation de l'aléa sismique local).

#### IV – 3.4 Mise en œuvre sur le terrain

Une série de mesures d'enregistrement de bruit de fond a été effectuée sur site avec le CGS et l'équipe de recherche de l'IRD-LGIT (Grenoble), dans le but de déterminer la fréquence propre du sol (fréquence de résonance).

#### Appareillage

L'appareillage (Figure.20) est constitué de :

- un sismomètre sensible trois composante (capteur LENNARTZ 5 sec).
- une station d'acquisition CityShark (Chatelain et al, 2000).

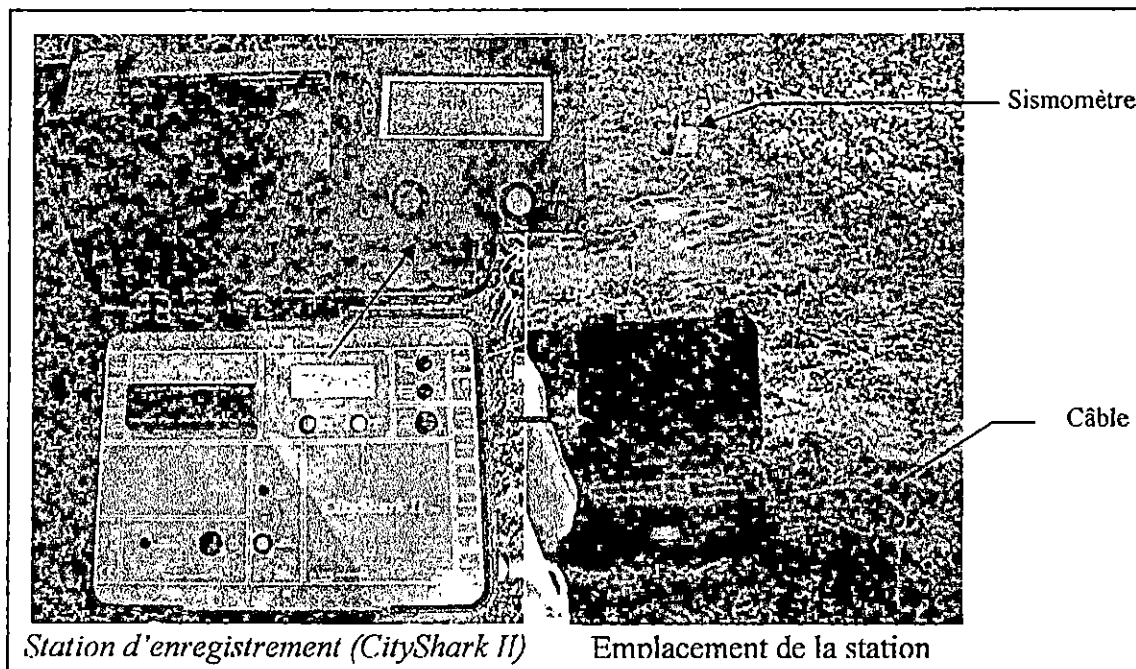


Figure.20 : Appareillage d'enregistrement de bruit de fond H/V

#### IV – 3.5 Interprétation des résultats

Dix-huit enregistrements de bruit de fond ont été effectués sur le site (Figure 21). Le signal brut est traité à l'aide du logiciel Geopsy (Hatelet w. et al, 2005), qui permet d'avoir les courbes du rapport H/V pour chaque point (Figure 22).

On essaye de corréler les résultats des mesures H/V avec les sondages carottés (voir le log de sondage en annexe I), et les coupes géosismiques effectuées sur le site (Figure 15).

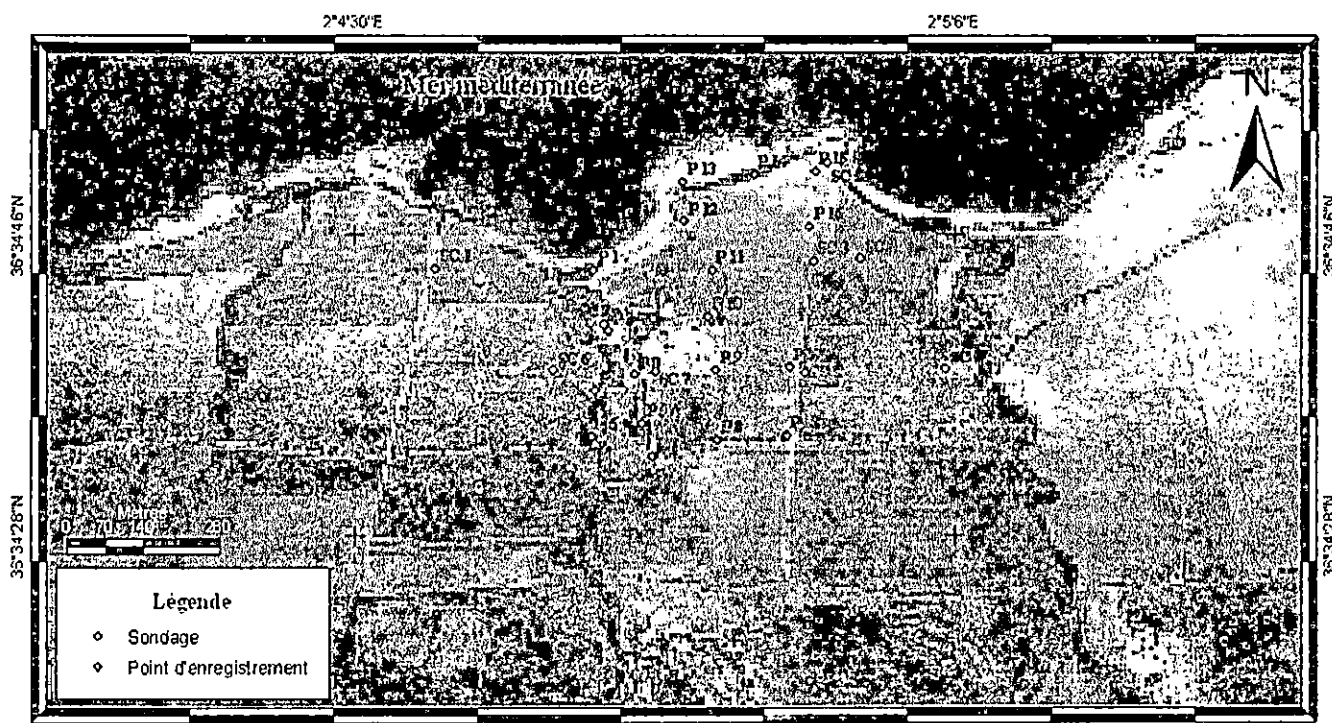


Figure.21 : Plan d'implantation des points d'enregistrement du bruit de fond

Nous nous intéressons à la géologie de subsurface, de l'ordre de 10 m d'épaisseur, et donc aux fréquences supérieures à 8 – 10 Hz. Nous avons tiré les conclusions suivantes :

- certaines courbes montrent un pic très net, d'une fréquence de 40 à 44 Hz (points 04, 06, 07 et 11, au sud-ouest du site. Cette forte valeur de fréquence peut être reliée à une faible épaisseur de la couche de recouvrement, qui peut correspondre aux alluvions de l'oued Mokdada Nazizi (d'après la carte géologique locale du site, Figure 06). La prospection sismique a donné des vitesses de propagation des ondes S variant entre 470 et 490 m/s dans la couche du recouvrement (voir coupe géosismique Parallèle 02, Figure 15). En utilisant l'équation  $f_0 = V_s / 4H$ , l'épaisseur du recouvrement argileux est de l'ordre de 3 m, ce qui est vérifié par le sondage SC06.
- d'autres pics marqués sont observés entre 25 et 34 Hz (points 10, 15 et 18). D'après les sondages 08 et 05, cette fréquence du sol peut correspondre à une couche de recouvrement argilo-limoneux ou à une marne calcaire diaclasée et très altérée, d'une épaisseur variant entre 7 et 9 m.
- des courbes présentent des pics entre 10 et 12 Hz (points 01, 03 et 08). Ces valeurs de fréquences, par corrélation avec les sondages 02 et 07, correspondent à une couche argilo-limoneuse d'épaisseur comprise entre 10 et 17 m. La prospection sismique a donnée des vitesses de l'ordre de 580 à 1210 m/s (coupe géosismique Transversale 1, Figure 15), qui sont incompatibles avec les pics de fréquences H/V. Cela peut être du, au positionnement des points d'enregistrements, H/V pouvant se situer entre deux bases du profil sismique.
- des courbes plates sont observées sur les points 02, 09 et 16, indiquant un faible recouvrement, marquant la remontée du substratum rocheux.
- sur certains points (05, 12 et 14), deux pics apparaissent sur la courbe H/V. Ils peuvent être expliqués par la superposition de deux couches superficielles au dessus du substratum, chaque couche étant caractérisée par une fréquence.
- la courbe du point 17 montre trois pics (11 Hz, 30 Hz et 52 Hz), le pic à 52 Hz peut être due à une perturbation électrique du sismomètre.

Le fort écart de la fréquence propre du sol entre les différents points peut s'expliquer par la variation de l'épaisseur du recouvrement, liée, par endroits, à l'ondulation du toit du substratum marno-calcaire, ou, en d'autres endroits, à l'inclinaison du substratum.

#### IV – 3.6 Distribution spatiale des fréquences propres du sol

Une carte de distribution spatiale de la fréquence propre du sol (Figure 22), a été réalisée, à partir des résultats des enregistrements du bruit de fond.

Pour sa réalisation nous avons adopté la démarche suivante :

- tri des données brutes des rapports spectraux H/V et leurs fréquences correspondantes des 18 enregistrements ;
- tri de la fréquence de résonance du sol, en chaque point, qui correspond au maximum d'amplitude H/V.

La carte montre une répartition plus ou moins hétérogène des fréquences au niveau du site. Néanmoins, nous avons pu délimiter quelques zones homogènes.

- au nord, la zone (A), de hautes fréquences, allant de 45 à 55 Hz, dues à la remontée du substratum rocheux ;
- vers le sud, on trouve deux zones : la zone (B), dont les fréquences sont de l'ordre de 35 à 45 Hz, qu'on peut l'expliquer par un léger enfoncement du substratum et la zone (C) où les fréquences sont plus faibles de 10 à 12 Hz, généralement liée à la présence d'une couche de recouvrement plus épaisse ;
- une large zone, au centre ainsi qu'aux extrémités est et ouest du site, se caractérise par l'absence d'information.

On déduit que les fréquences du sol sont dans l'ensemble assez hétérogènes s'expliquant par la variation de la profondeur du substratum rocheux.

Nous recommandons de densifier les points d'enregistrements (une centaine de points), pour obtenir une carte d'isofréquences représentative du sol de ce site.

## Conclusion générale

A l'interface terre-mer, la zone côtière est un enjeu économique et social, son développement industriel nécessite une étude préalable, cette étude propose une implantation d'une centrale thermoélectrique dans la région de Hadjret En Nous.

Dans le cadre de la constructibilité de notre site d'étude, des études géologiques, géotechniques et sismotectoniques, ont été menées afin de définir les potentialités de ce secteur. Bien qu'elles ne soient pas exhaustives, elles nous ont permis, néanmoins, de réaliser un état des lieux, en faisant ressortir, quelques résultats.

Le site d'étude se situe à l'ouest de Cherchell, soumis à des vents, de prédominance Est-nord-est et Sud-Ouest, et exposé aux houles, de secteur Ouest-nord-ouest et Nord-Est.

• Du point de vue géologique, la région Ouest Algéroise est caractérisée par une dominance de formation d'âge primaire ou quaternaire.

Au niveau du site, nous avons pu décrire quatre formations, à s'avoir :

- Les colluvions et les alluvions.
- Formation de gré dunaire.
- Formation conglomératique.
- Substratum marno-calcaire.

On sait que les formations anciennes, souvent compactes, assurent une véritable stabilité pour la fondation de l'ouvrage. Le substratum marno-calcaire est un bon sol pour la fondation.

• L'analyse photogéologique a permis de montrer la prédominance de deux directions de linéaments, NE-SW et WNW-ESE.

• Les caractéristiques sismotectonique de la région Ouest Algéroise, et en particulier, la zone de Cherchell, font d'elle une zone sismique, entourée par d'importants accidents tectoniques actifs. Pour cette raison, il est nécessaire de prendre en considération ce phénomène, au niveau des normes de construction.

• Une analyse géophysique détaillée a fait l'objet d'une contribution importante et complémentaire aux renseignements géologiques, les résultats obtenus, par la méthode de la sismique réfraction, ont montrés un bon accord avec les données géologique par sondages carottés. Nous avons pu avec cette méthode identifier deux couches:

- Une couche de recouvrement argilo- Limoneux,
- Un substratum marno-calcaire, altéré, et un substratum sain, en profondeur,
- Et on note, également, la présence de compartiments, bien individualisés (lentille, coulés boueuses).

Le substratum sain présente une bonne qualité de fondation, et se trouve à des profondeurs variées, ne dépassant pas les dix mètre.

## Conclusion générale

- Les caractéristiques géotechniques du sol permettent de distinguer une sorte d'alternance des sols : compact peu compressible, au niveau des colluvions, avec une granulométrie sableuse, peu argileuse, qui présente un milieu défavorable, pour une telle construction. Par contre le substratum marneux, qui est une roche compacte, possède les meilleures caractéristiques, pour un tel ouvrage.
- L'exploitation des données, fournies par la méthode H/V, nous a permis d'établir une carte de distribution spatiale des fréquences propre du sol. Les fréquences propres du sol, présentent un élément primordial pour les calculs sismique de l'ouvrage, car la fréquence propre de la construction doit être différentes de celle enregistrée dans le sol, qui est de l'ordre de 10 à 45 Hz, afin d'éviter, éventuellement, le phénomène de résonance, entre le sol et la structure, donc il n'y a aucun risque pour ça, car les fréquences correspondent à des structures de moins d'un étage.

Finalement, nous pensons que les différentes études apportées à ce sujet, feront, que le site choisi, peut faire l'objet, d'une éventuelle implantation de la centrale thermoélectrique, ce résultat ne nous empêche pas d'étudier les risques, liés à l'activité sismique récente de la région en particulier, et aux risques d'instabilités des formations alluviales, situées près de l'oued Mokdada Nazizi , qui traverse le site, et aux risques créer par l'hydrodynamisme marin.

L'implantation de cet ouvrage, va, sans doute, avoir un impact négatif sur l'équilibre côtier, et de se fait, une étude d'impact, parait indispensable.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

**Belhaï D. -1987-**, Massif Chenoua (Algérie) : mise en place des flychs en relation avec un cisaillement "transcurrent" E-W, responsable de la structure éventail, thèse Magister, USTHB, spécialité pétrologie structurale, 124 p.

**Belhaï D. -1996-**, Evaluation tectonique de la zone Ouest Algéroise (Tenes – Chenoua) : approche stratigraphique et structurale. Thèse de Doctorat, USTHB, option géologie structurale, 148 p.

**Benouar D. -1994-**, Materials for the investigation of the seismicity of Algéria and adjacent regions during the twentieth century. Vol XXXVII, N° 4, july, 1994, p 860.

**Bonnefoy – Claudet S. -1994-**, Nature de bruit de fond sismique : implication pour les études des effets de site. Thèse doctorat, université de Joseph Fourier – Grenoble I. pp 1–10.  
(<http://sesame-fp.obs.ujf-Grenoble.fr>).

**Boudiaf A. -1996-**, Etude sismotectonique de la région d'Alger et de la Kabylie (Algérie) : Utilisation de modèles numériques de terrains (MNT) et de la télédétection pour la reconnaissance des structures tectoniques actives : contribution à l'évaluation de l'aléa sismique. Thèse de doctorat, spécialité géologie et paléontologie. Université Montpellier II, Sciences et Techniques du Languedoc, pp210-220.

**CGS -1995-**, Séisme de Chenoua du 29 octobre 1989, rapport final, 52p.

**CGS -1998-**, Rapport sur le microzonage de la région d'Alger, 108p.

**CGS -2003-**, Complément des règles parasismiques algériennes (1999).

**Chatelain L., Philippe G., Bertrand G., Julien F., Francis B., Jacques S., Pascal S., Jean-Marc N. -2000-**, Cityshark : user-friendly instrument dedicated to ambient noise (microtremor) recording for site and building response studies. Sismological Research Letters Volume 71, N° 6 Nov / Dec 2000.

**CRAAG -1994-**, Les séismes de l'Algérie de 1365 à 1992, publication du centre national de recherche en astronomie, astrophysique et géophysique, 227p.

**Dunand F., Ait Meziane Y., Gueguen Ph., Chatelin J.-L., Guillier B., Ben Salem R., Hadid M., Hellel M., Kiboua A., Laouami N., Machane D., Mezouer A., Nour A., Oubaiche E.H., Remas A. -2004-** Utilisation du bruit de fond pour l'analyse des dommages des bâtiments de Boumerdes suite au séisme du 21 Mai 2003. Mém. Serv. Géol. Alg. n°12. pp 177- 191.

**EDF -1991-** Rapport géologique et géotechnique du site Hadjret En Nous.

## Références bibliographiques

---

**Fedala N., Rakam N. -2002 -**, Cartographie géologique et géotechnique des instabilités de terrain de la zone ouest de Cherchell. Thèse d'ingénieur d'état, département de science de la terre, USTHB, 122 p.

**Glangeaud L. -1932-** Etude géologique de la région littorale de la province d'alger. Bull. Série. Carte géol. Algérie, 2<sup>ème</sup> série. N°8, 608p.

**Lepvrier C. et Magné J. -1975-**, Le néogène à post-nappes du Tell septentrional de l'ouest d'Alger (Algérie), Bull. Soc. Grél. France, XVII, n°4, pp 612-619.

**Meghraoui M. -1988-** Géologie des zones sismiques du Nord de l'Algérie Paléontologie sismologie, Tectonique Active et Synthèse sismotectonique. Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Paris-Sud Orsay, 356 p.

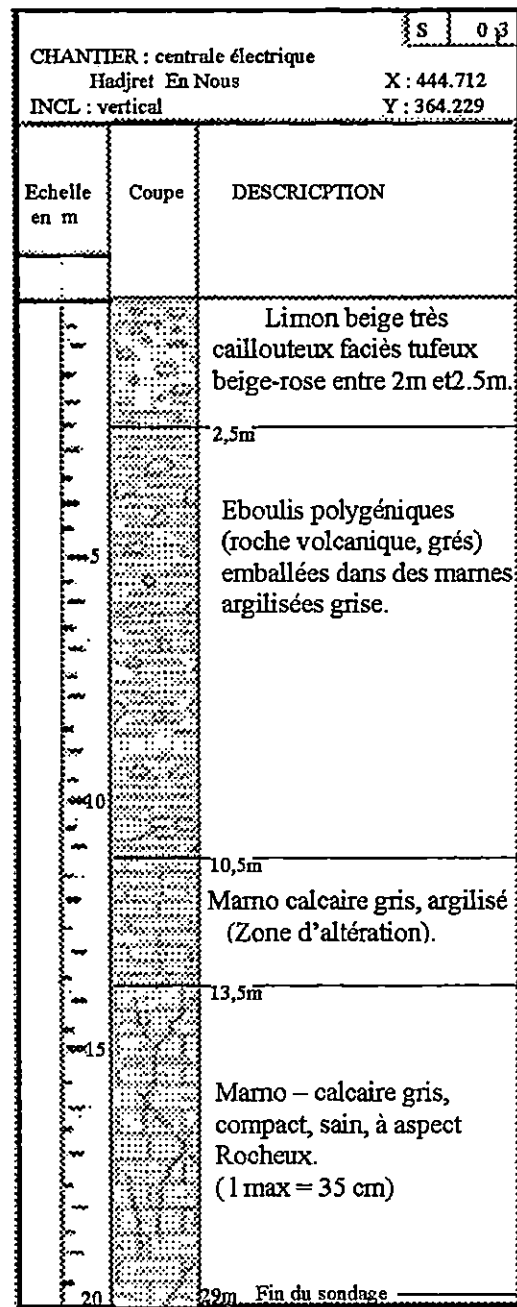
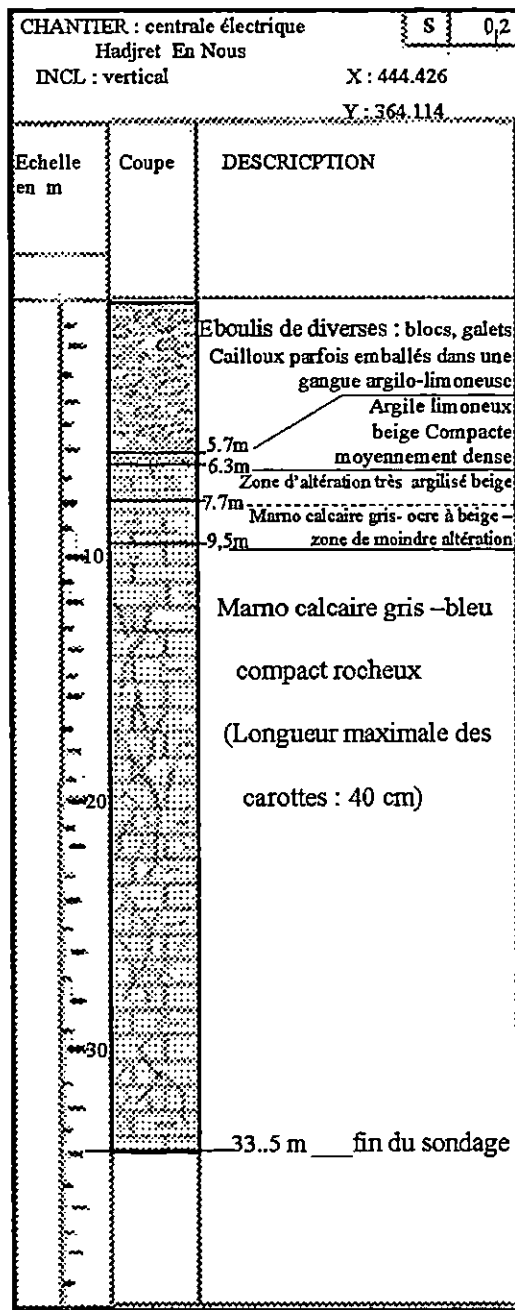
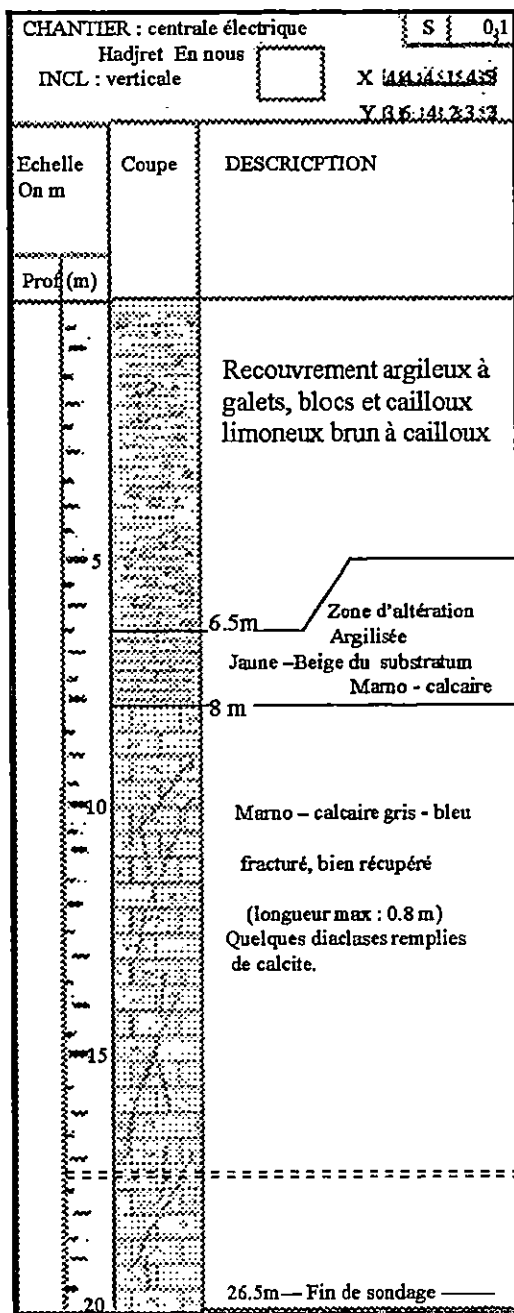
**Meghraoui L. -1990-**, Sismique réfraction en génie civil cas d'implantation d'une centrale thermo-electrique à Hadjret En Nouss (wilaya de tipaza), Thèse d'ingénieur d'état, département de géophysique, USTHB, 98 p.

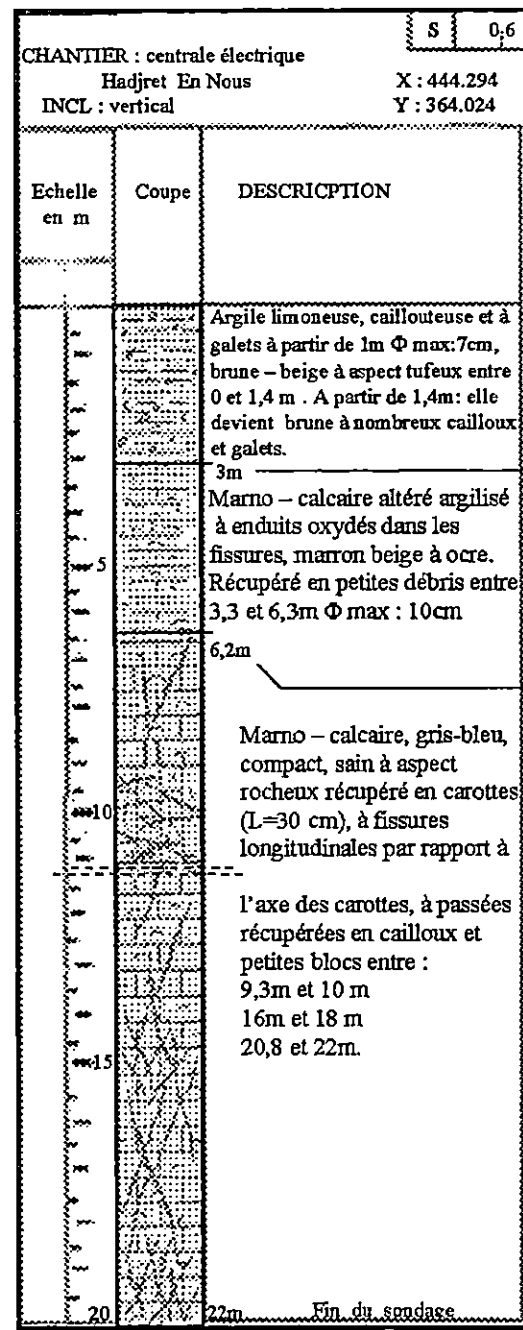
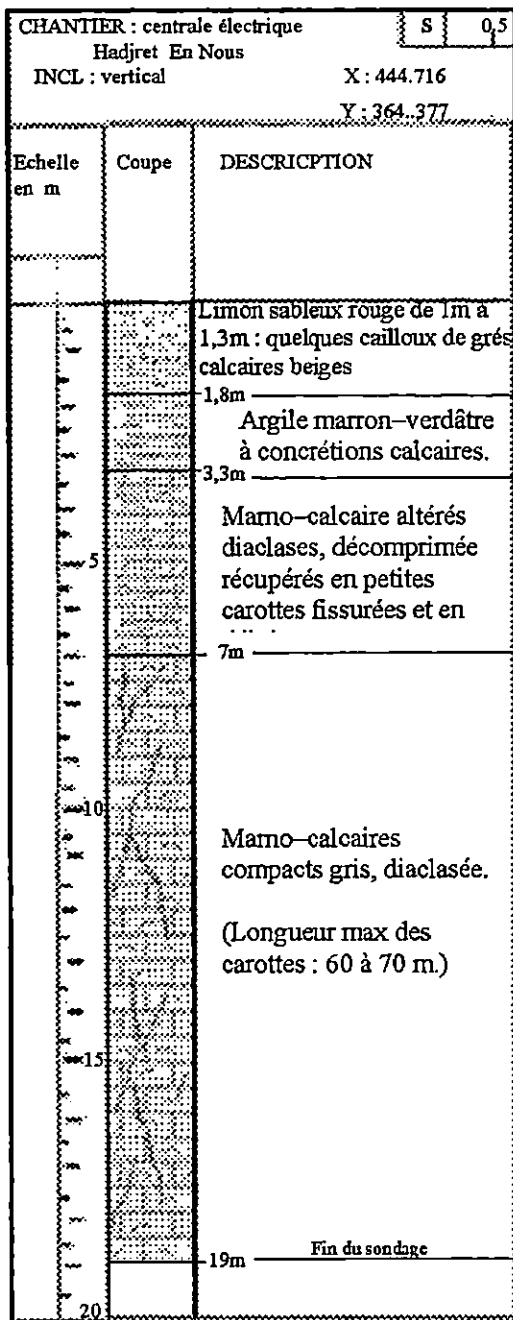
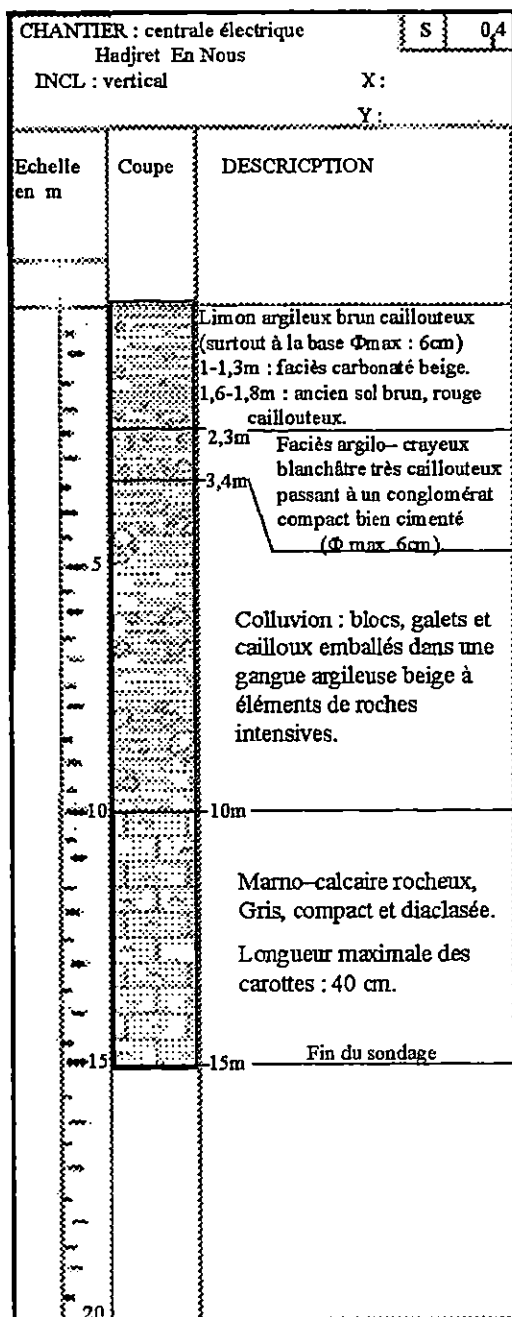
**Osmani M. et Ouzerara M. -2004-**, Le séisme du 21 mai 2003 ( $M_w=6.8$ ) contribution à l'étude de l'effet de site par mesure de bruit de fond sismique (méthode H/V) – Boumerdes. Thèse d'ingénieur d'état, département de science de la terre, USTHB, pp 82 - 115.

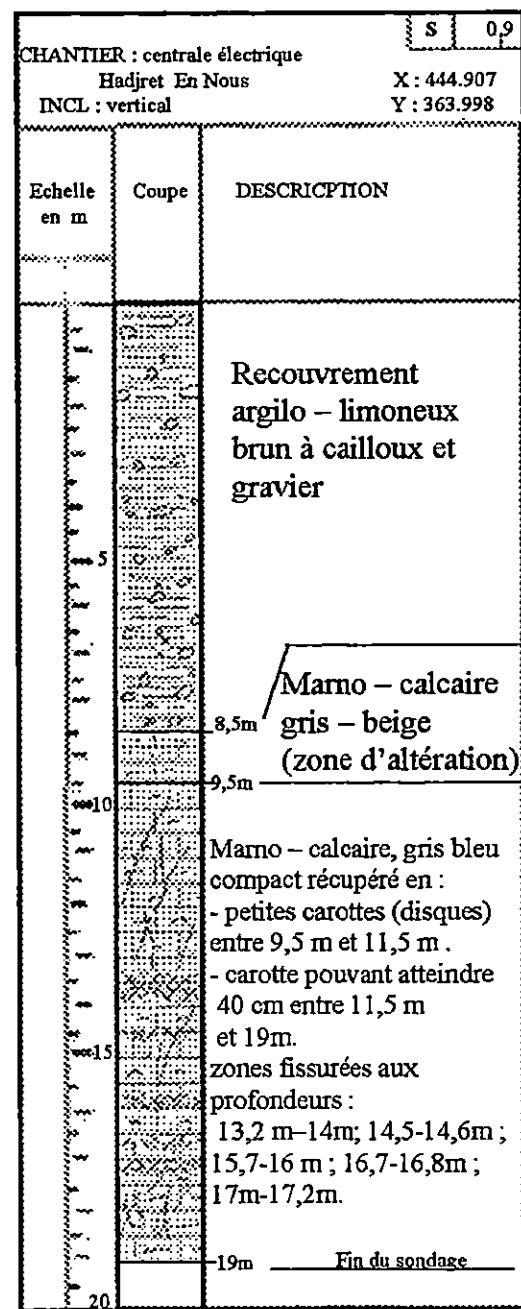
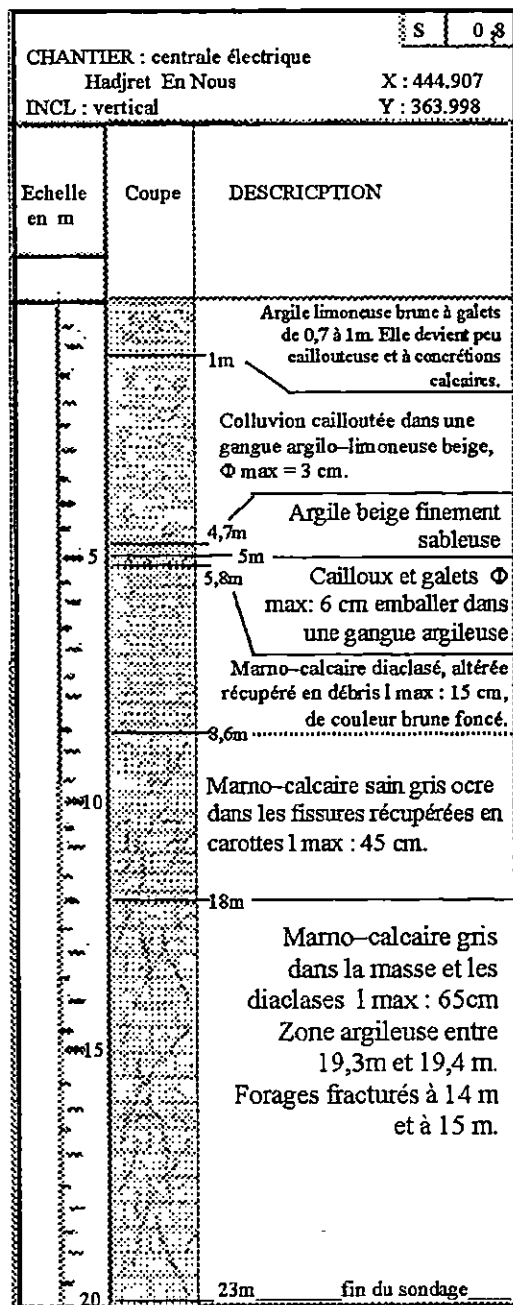
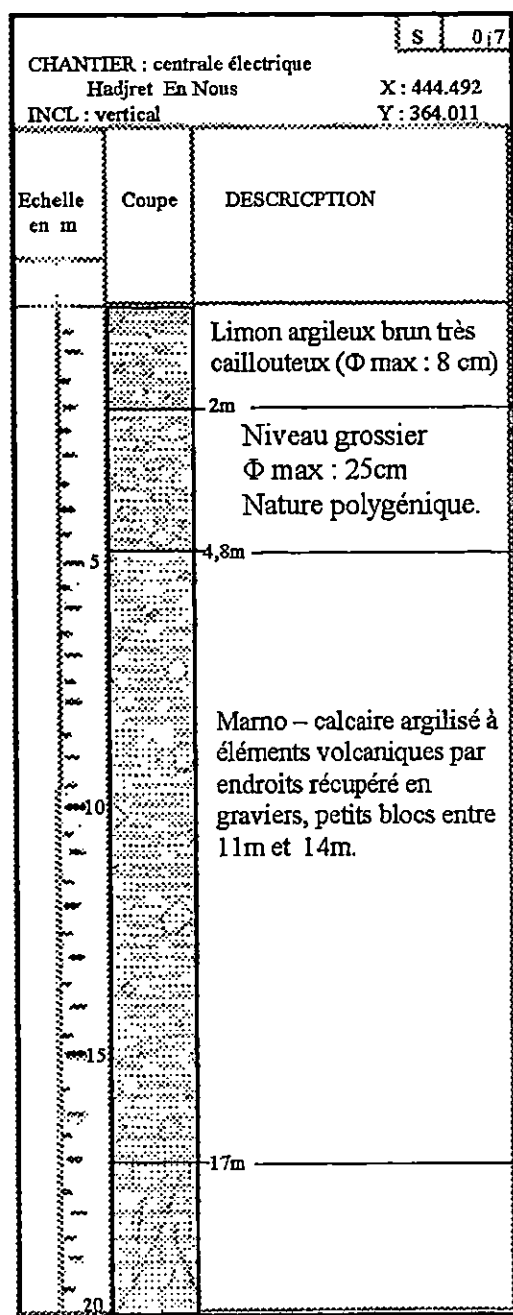
**Sabri S., Zelmat F. -2000 -**, Etude géologique et géotechnique d'une centrale électrique à alger (El-Hamma), Thèse d'ingénieur d'état, département de science de la terre, USTHB, 107 p.

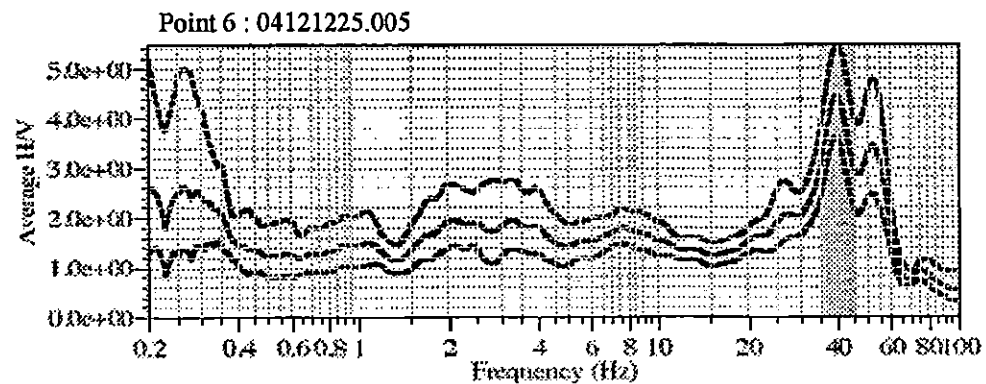
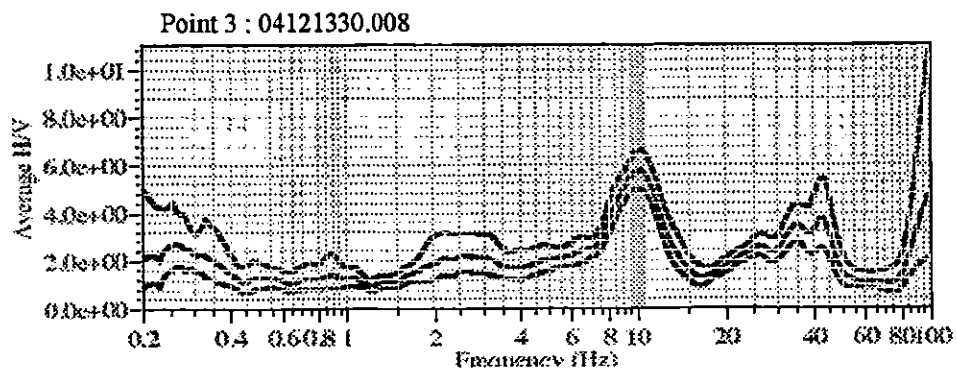
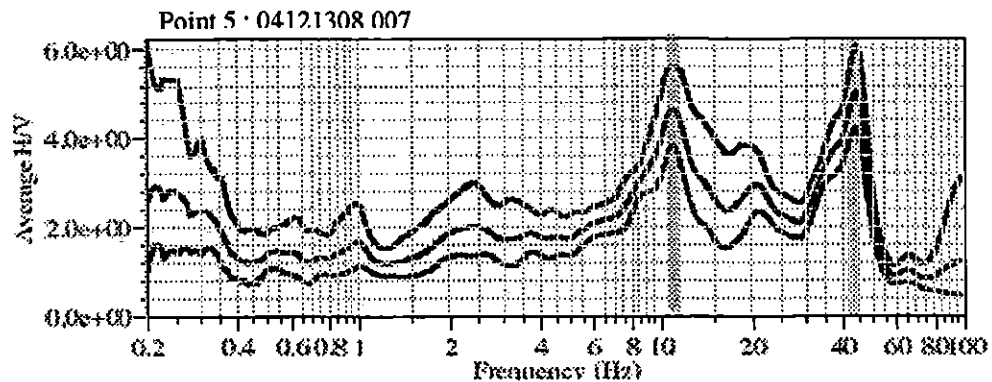
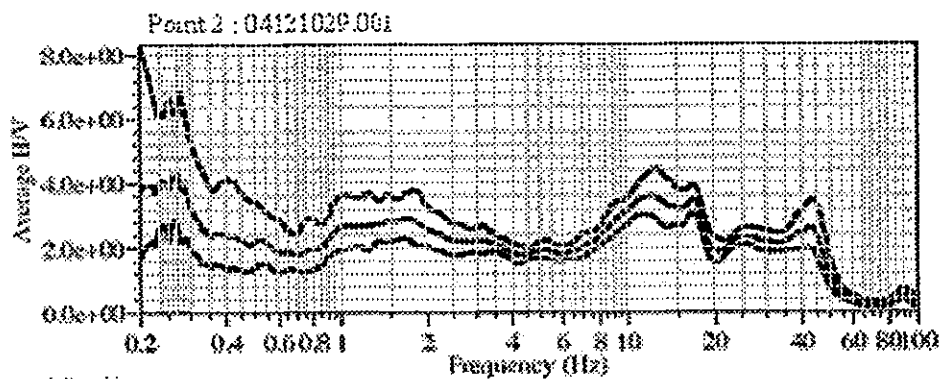
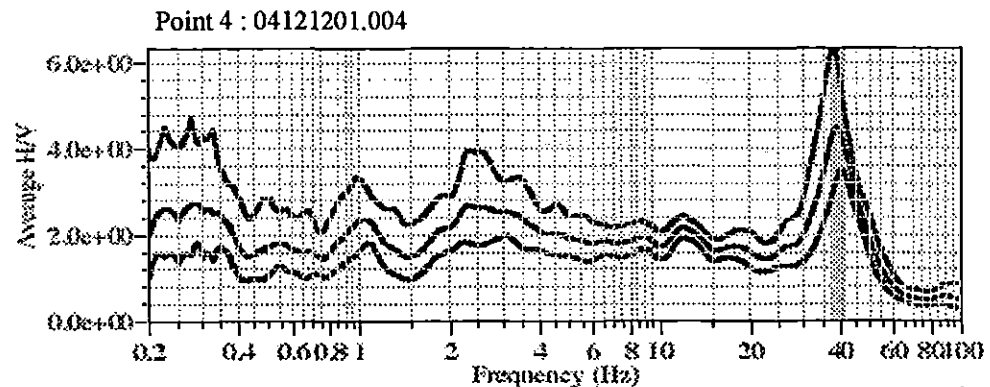
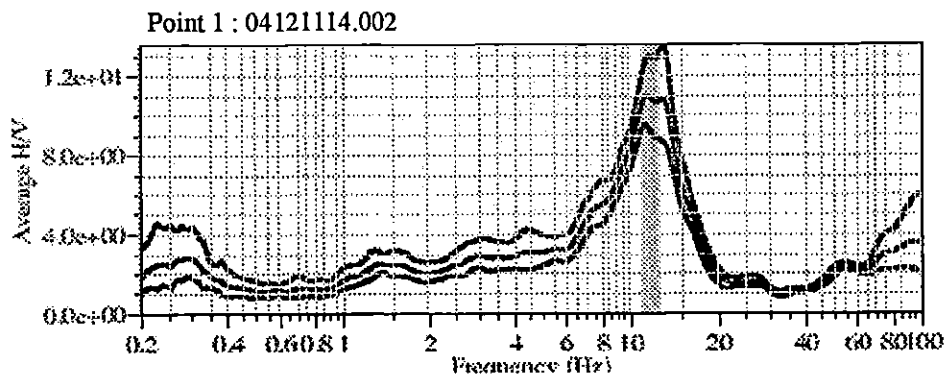
## Logiciels utilisés

- Dyster, J., 1997. Logiciel STERIONET, V. 2.03, institut for géologie ruhr universitat – Buchum.
- Arc Map, V 9.0.

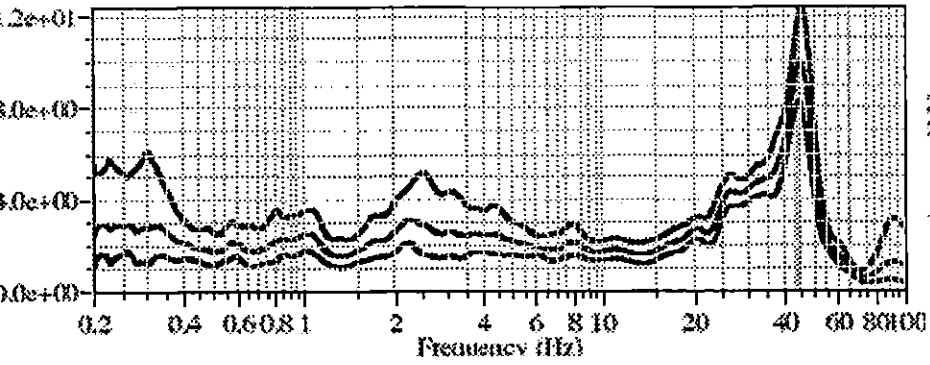




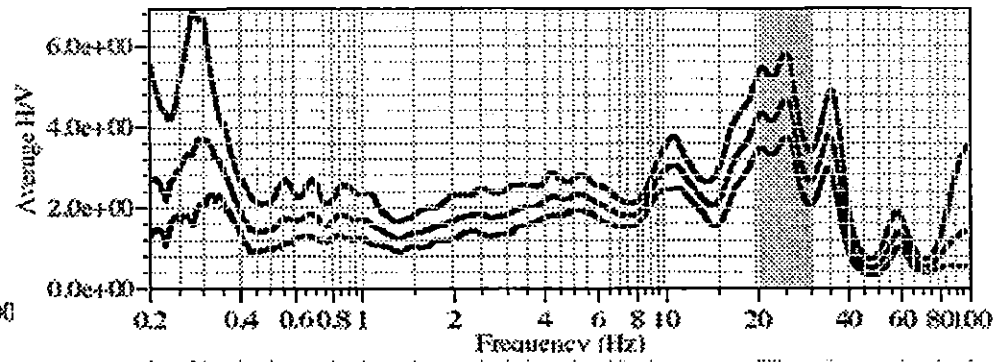




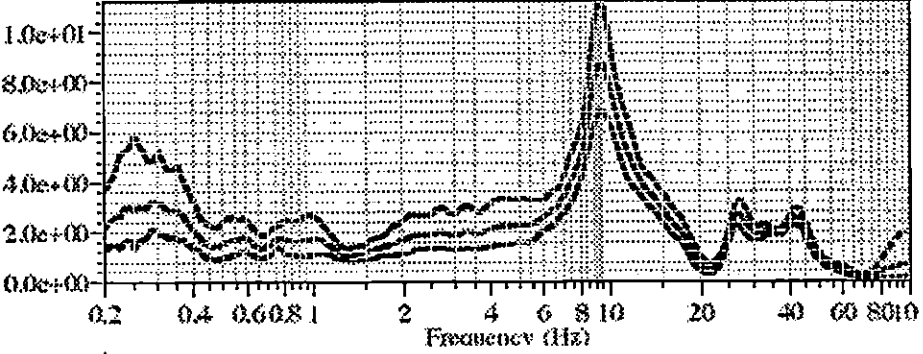
Point 7 : 04121246.006



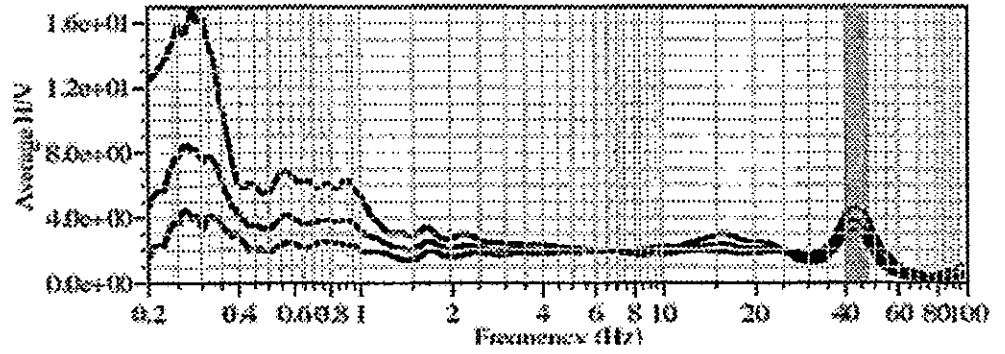
Point 10 : 04121354.009



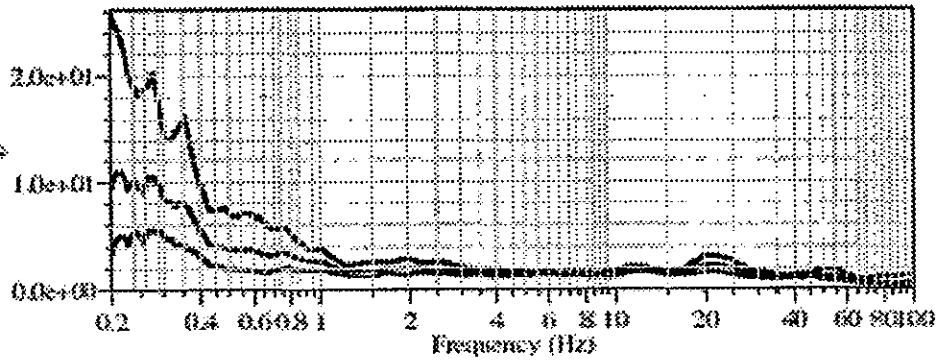
Point 8 : 04121437.010



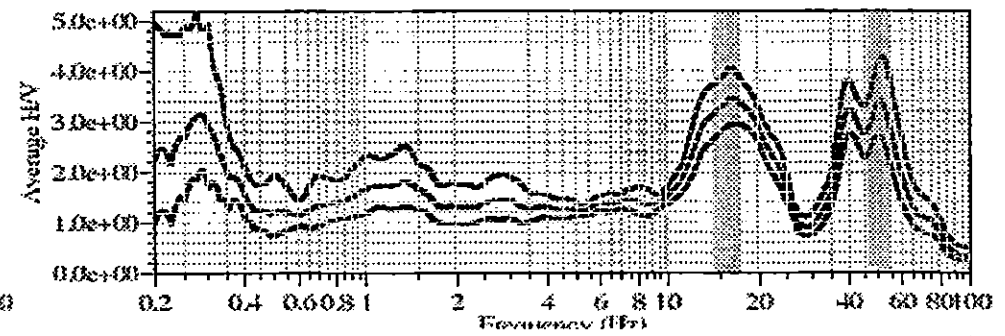
Point 11 : 04121409.009



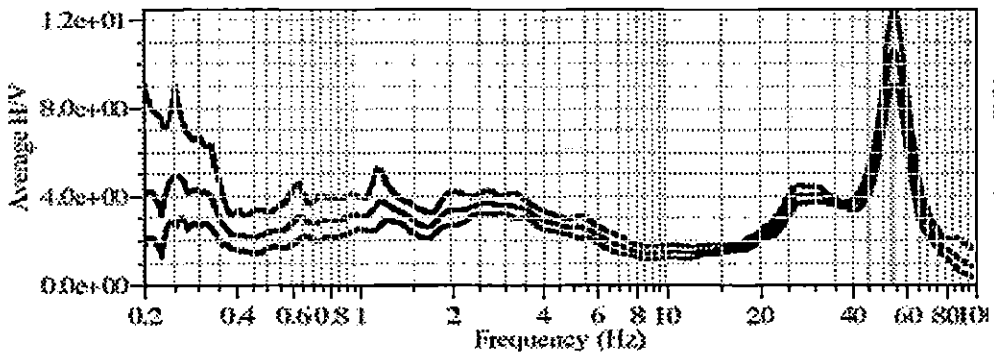
Point 9 : 04121344.008



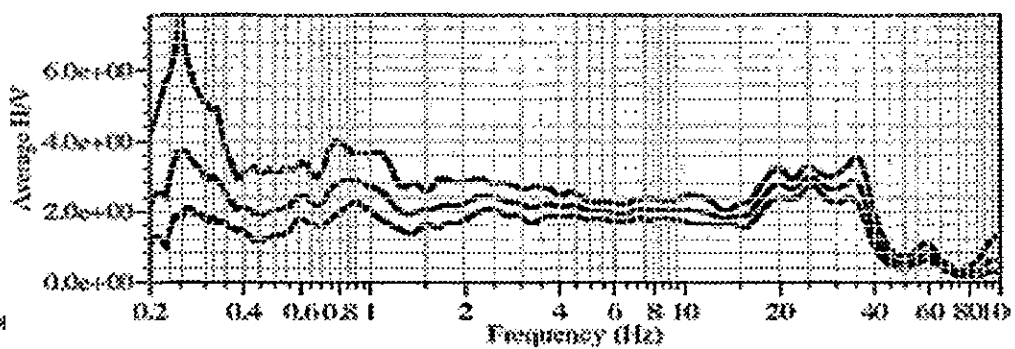
Point 12 : 04121121.002



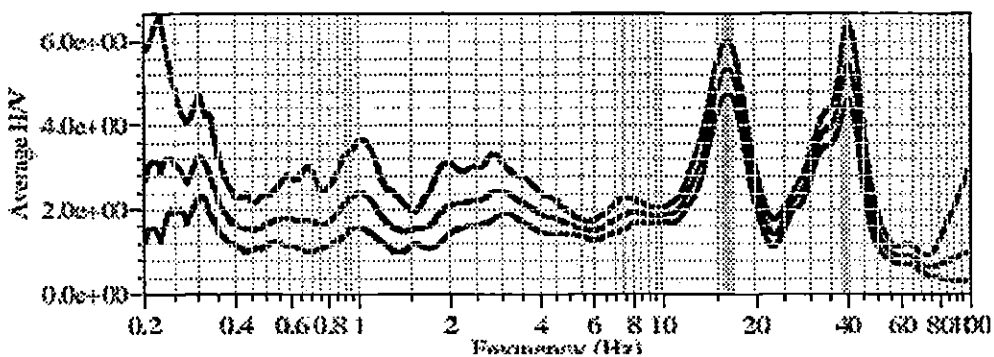
Point 13 : 04121142.003



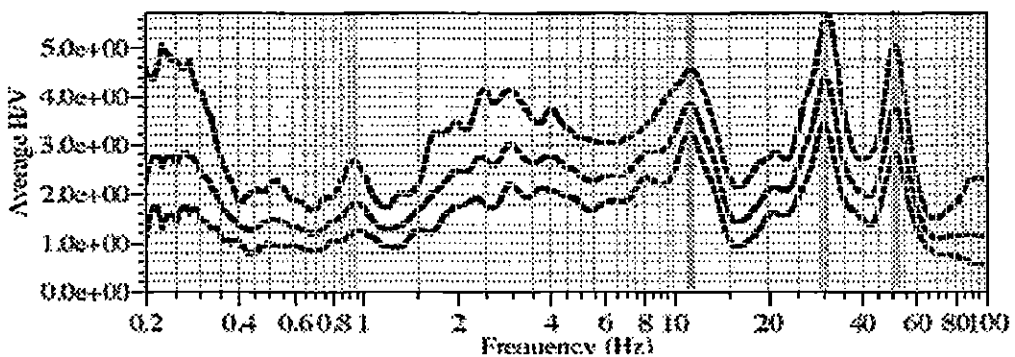
Point 16 : 04121253.006



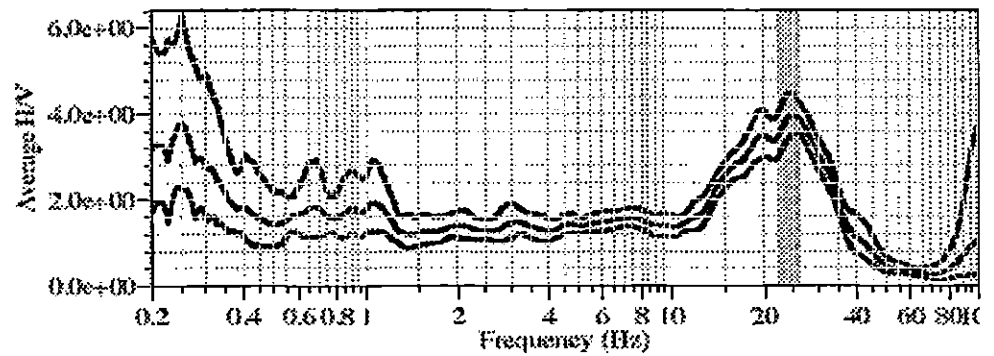
Point 14 : 04121205.004



Point 17 : 04121323.007



Point 15 : 04121229.005



Point 18 : 04121425.010

