

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

المدرسة الوطنية العليا للعلوم البحر و تهيئة الساحل

Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME
DE MASTER RECHERCHE EN SCIENCES DE LA MER

OPTION : AMENAGEMENT DU LITTORAL

**Evaluation des fréquences de résonance du sol de terminal
à conteneurs du port d'Alger par la méthode H/V-bruit de
fond**

Préparé par :

M^{elle} AMARNI Nadia

Soutenu le 22/10/2014 à 8h30 devant le jury suivant :

M HEMDANE. Y	Maître de Conférences (ENSSMAL) Président
M HELLEL. M	Maître de Conférences (ENSSMAL) Promoteur
M MEZOUAR. K	Maître de Conférences (ENSSMAL) Examineur
M OUBAICHE. E-H	Attaché de Recherche (CGS) Examineur
M BOUKHROUF. M	Ingénieur chargé d'études (CTTP) Invité

Promotion : 2013/2014

Remerciements

Je rends grâce à Dieu le tout puissant, pour m'avoir accordé la santé le courage la patience et la volonté jusqu'à l'aboutissement de mes études, et l'accomplissement de ce modeste travail.

Je remercie chaleureusement tous ceux qui ont participé à l'élaboration de ce modeste travail, en commençant par :

Mr. HELLAL M. maître de Conférences (ENSSMAL), qui m'a proposé ce thème, et pour ses précieux conseils. Mr. HEMDANE Y, maître de Conférences (ENSSMAL), qui a bien voulu présider le jury. Mr. MEZOUIAR K, maître de Conférences (ENSSMAL), et Mr. OUBAICHE E-H, Attaché de Recherche (CGS) pour avoir accepté d'examiner ce manuscrit et de participer à ce jury.

Mr. MACHANE D, (CGS), pour m'avoir aidé, et pour toutes ses explication.

Mr. BOUKHROUF M, qui m'a aidé durant la période de stage pratique, pour sa passion et pour son soutien moral. Veuillez accepter Monsieur ma profonde gratitude.

Mr. FERNANE L, de m'avoir aidé à apprendre plusieurs logiciels, pour sa passion et pour son soutien moral. Veuillez accepter Monsieur, ma profonde gratitude.

Mr. ISSAOUN A, qui m'a accordé l'accès au port d'Alger, sans vous Monsieur se travail ne sera jamais réaliser. Et a toute l'équipe de CTTP qui travaille au port d'Alger (MOURAD, MOUNIR, HAFID, et Mme OULARBI).

Je tien a remercié tous ce qui mon fait apprendre une lettre, un mot...

Dédicaces

*A mes très chers **parents** pour leurs affection et leurs précieux conseils, qui veillent toujours à ma réussite voyez à travers ce travail mon amour sincère et ma gratitude profonde*

*A mes sœurs: **LILA, AKILA, SARAH***

*À mes frères: **MOUHEND, HAMED, AMAR***

*A mes grands mer: **TASSADIT** et **DOUDJA***

*A mon fiancé: **LOUNES**, pour son aide et pour le soutien moral et à toutes sa famille.*

A tous mes autres proches et à mes amis qui sont très chers chacun le sait sans cité les noms

Et spécialement à vous qui vous êtes entraîné de lire ce modeste travail à ce moment

Table des matières

Introduction générale.....	9
CHAPITRE I : Généralités.....	10
I.Présentation de la zone d'étude	11
I.1. Situation géographique de la baie d'Alger.....	11
I.2. Situation géographique de la zone d'étude	11
I.3. Aperçu géologique	12
I.4. Aperçu sismotectonique	15
I.4.1. Aperçu sur la sismicité historique.....	15
II.4.2. Tectonique régionale et failles actives	15
II.4.3. Classification des zones sismiques.....	18
CHAPITRE II :Caractérisation géologique du site d'étude	19
Introduction	20
II.1. Géologie du site d'étude	20
II. 2. Lithologie du sous-sol du site d'étude	21
II.3. Coupes lithologiques corrélatives	22
Conclusion.....	22
CHAPITRE III : Caractérisations géotechniques du site d'étude.....	24
Introduction	25
III.1. Etude géotechnique du sol allochtone (remblais).....	25
III.1.1. Essais au laboratoire.....	25
III.1.1.1. Essai physique.....	25
III.1.1.2. Essai mécanique.....	26
III.1.2. Essai in situ.....	27
III.2. Etude géotechnique de sol Autochtone.....	28
III.2.1. Etude géotechnique de grés.....	28
III.2.1.1. Essais au laboratoire.....	28
III.2.1.1.1. Essai mécanique.....	28
III.2.2. Etude géotechnique des marnes.....	28
III.2.2.1. Essais au laboratoire.....	29
III.2.2.1.1. Essai physique.....	29
III.2.2.1.2. Essai mécanique.....	29
III.2.2.2. Essai in situ.....	30

Conclusion.....	31
CHAPITRE IV : Etude de bruit de fond.....	33
Introduction.....	34
IV.1. Aperçu historique sur l'étude du bruit de fond.....	34
IV.2. Origine du bruit de fond	34
IV.3. La méthode H/V	35
IV. 4. Acquisition des données de bruit de fond	36
IV.5. Traitement des données	37
IV.6. Résultats et interprétation.....	38
IV.6.1. Distribution des fréquences de résonance du sol.....	40
IV.6.2. Classification des courbes H/V en fonction de leur allure.....	40
IV.6.2.1. Courbes H/V plate de la "catégorie I".....	41
IV.6.2.2. Courbes H/V exhibant un pic claire entre 0,5-1 Hz "catégorie II".....	42
IV.6.2.4.3 Courbes H/V exhibant un pic claire entre 2-4 Hz "catégorie III".....	42
IV.6.2.4. Courbes H/V exhibant deux pics claire entre 0,5-1 Hz et entre Hz 2-4 Hz "catégorie IV".....	43
Conclusion.....	43
Conclusion générale.....	44
Références bibliographique.....	46
Annexes.....	49

Liste des figures

Figure 1:Présentation de la Baie d'Alger et localisation de la zone d'étude (cadre en rouge) sur un fond d'une carte marine (Juin 2009)

Figure 2: localisation de la zone d'etude dans le port d'Alger

Figure 3: Carte géologique de la Baie d'Alger et ses environs (compilée par JICA, 2006)

Figure 4:Carte sismotectonique de la région d'Alger (CRAAG, 1994. In Amroune et Berkaine, 2014).

Figure 5: Cadre tectonique de la région d'Alger et ces environs, En trait noire les failles sur terre, [F.B: faille du sud de la Mitidja, F.S: faille de Sahel, F.TH: faille de Thénia] (Meghraoui, 1988).En trait rouge les failles en mer, mise en évidence par la campagne Maradja. L'étoile noire indique l'épicentre du séisme du 21 mai 2003, (Domzig, 2006 in Hellel, 2010)

Figure 6: Classification sismique des wilayas d'Algérie (CGS, 2003)

Figure 7: Lithostratigraphie de la région du port d'Alger, extraite de la carte géologique de la Baie d'Alger (JICA 2006)

Figure 8: Localisation des sondages carottés (cercle mauve), les essais au pénétromètre statique (triangle orange), des enregistrements H/V bruit de fond (cercle marron), des coupes N-S (traits bleu), et des coupes E-W (traits vert), dans la zone du TAC

Figure 9: Coupe lithologique corrélative AA' de direction N-S avec localisation des sondages carottés (flèche rouge), essais aux pénétromètres statique (flèche noire), et enregistrement H/V bruit de fond (trait bleu).

Figure 10: Coupe lithologique corrélative BB' de direction E-W avec localisation des sondages carottés (flèche rouge), essais aux pénétromètres statique (flèche noire), et enregistrement H/V bruit de fond (flèche bleu)

Figure 11: Appareillage utilisé pour l'enregistrement du bruit de fond

Figure 12: Emplacement des enregistrements H/V sur fond d'une image satellitaire

Figure 13: Interface du logiciel Geopsy. À droite la fenêtre de visualisation des trois composantes du signal, avec sélection des fenêtres de temps stationnaires (barres colorées), à gauche la fenêtre de paramétrisation, Les courbes colorées correspondent au rapport H/V calculé sur chaque fenêtre sélectionnée. La barre grise indique la fréquence propre du sol avec son écart type (nuances de gris)

Figure 14: (A) pic H/V d'origine industrielle à gauche et son amortissement à droite ; (B) pic H/V d'origine naturelle à gauche et son amortissement à droite.

Figure 15: Carte de distribution des fréquences propres du sol dans la zone du terminal à conteneur du port d'Alger sur fond d'une image satellitaire Google Earth (Juillet 2013)

Figure 16: Localisation spatiale des fréquences de résonance du sol de la zone du TAC du port d'Alger sur fond d'une image satellitaire Google Earth (Juillet 2013)

Figure 17: Courbes H/V plate "catégorie I"

Figure 18: Exemple de courbe H/V exhibant un pic en dessous de 1 Hz "catégorie II"

Figure 19 : Exemple de courbes H/V exhibant un pic entre 2 et 4 Hz "catégorie III"

Figure 20 : Exemple de courbes H/V exhibant deux pics entre 0,5-1 Hz et entre 2-4 Hz "catégorie IV"

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Liste des principaux séismes de la région Algéroise durant la période : 1365 – 1940, (USGS, CRAAG et al, in Boudiaf, 1996).....	15
Tableau 2: Résultats de cisaillement direct obtenus pour les remblais	26
Tableau 3: Résultats des essais œdométriques obtenus pour les remblais.....	27
Tableau 4: Résultats des essais pressiométriques obtenus pour les remblais.....	27
Tableau 5: Résultats des essais de compression uniaxiale obtenus pour les grés autochtones.....	28
Tableau 6: Résultats des essais triaxiaux obtenus pour les marnes	30
Tableau 7: Résultats d’essais de compression uniaxiale obtenus pour les marnes	30
Tableau 8: Résultats d’essais oedométriques obtenus pour les marnes ..	30
Tableau 9: Résultats d’essais pressiométriques obtenus pour les marnes	31
Tableau 10: Classification de bruit de fond en fonction de la source de bruit et en fonction de la gamme de fréquence (d’après Bonnefoy-Claudet, 2004).....	35

Introduction Générale

Introduction Générale

L'Algérie du Nord est caractérisée par une sismicité qui est causée par l'affrontement des plaques africaine et eurasiatique. Cette sismicité se matérialise généralement par des séismes modérés à faibles, quoique parfois des séismes violents puissent se produire. Ces séismes ont généré, bien souvent, des catastrophes à savoir le séisme d'El Asnam du 10/10/1980, et de Boumerdes du 21/05/2003 [Hamoud Beldjoudi, 2011].

Lors de la propagation des vibrations dans la terre, elles subissent différentes modifications en fonction des milieux traversés. Des phénomènes de résonance dans les couches superficielles peuvent amplifier le signal sismique à une fréquence (F_0) propre au site. Ces phénomènes d'amplification s'accompagnent très souvent d'un allongement de la phase forte du signal, qui accentue la fatigue des matériaux et peut conduire au dépassement de seuils limites de résistance. Les dommages sont d'autant plus aggravés que la fréquence propre des bâtiments s'approche de celle du sol. Nombre des séismes dévastateurs récents ont ainsi vu leurs conséquences alourdies par les effets de site (séismes de Mexico en 1985, Turquie en 1999, Algérie en 2003...etc.) [Anne-Marie Duval, 2007].

La prédiction des séismes n'étant pas possible actuellement, seule la prévention peut réduire les pertes éventuelles. Il faut donc évaluer dans chaque région le risque qu'un séisme destructeur peut se produire pour protéger efficacement ces régions, notamment par des constructions adaptées [Saad, 2006].

Les effets de site sont des phénomènes de vibrations spécifiques qui se développent en présence de formations géologiques de caractéristiques mécaniques différentes ou de perturbations géométriques de la surface libre. L'évaluation des effets de site et les études de l'aléa sismique font parties des moyens qui permettent de définir le risque sismique dans une zone donnée et le réduire.

Le but de ce travail est d'évaluer les effets de site dans la zone de terminal à conteneurs du port d'Alger, en mesurant les fréquences de résonance du sol. A cet effet, nous avons réalisé, durant quatre jours, 55 enregistrements H/V-bruit de fond.

Pour corréler les fréquences de résonance du sol avec la géologie, nous avons réalisé deux coupes lithologiques qui synthétisent la colonne de sol, grâce aux sondages carottés, jusqu'à une profondeur allant de 19 à 24 mètres. De plus, la compacité des couches géologiques a été estimée grâce à la synthèse de leurs propriétés géotechniques.

Ce travail se termine enfin par des conclusions et des recommandations.

CHAPITRE I :

Généralités

I. Présentation de la zone d'étude

I.1. Situation géographique de la baie d'Alger

La baie d'Alger à laquelle s'appartient notre zone d'étude, le port d'Alger, se situe au centre du littoral algérien, elle se trouve entre Cap Matifou à l'Est, et Cap Caxine à l'ouest et ses coordonnées géographiques sont $36^{\circ}20'30''$ et $36^{\circ}48'50''$ latitude Nord, $03^{\circ}03'40''$ et $03^{\circ}14'00''$ longitude Est,

Le port d'Alger se localise à l'ouest de la baie d'Alger (figure1), il est protégé par le massif de Bouzareah. Ce port constitue une véritable Plate-forme de développement économique et des échanges extérieurs.

Il est protégé contre les intempéries par quatre (04) jetées et un brise-lames.

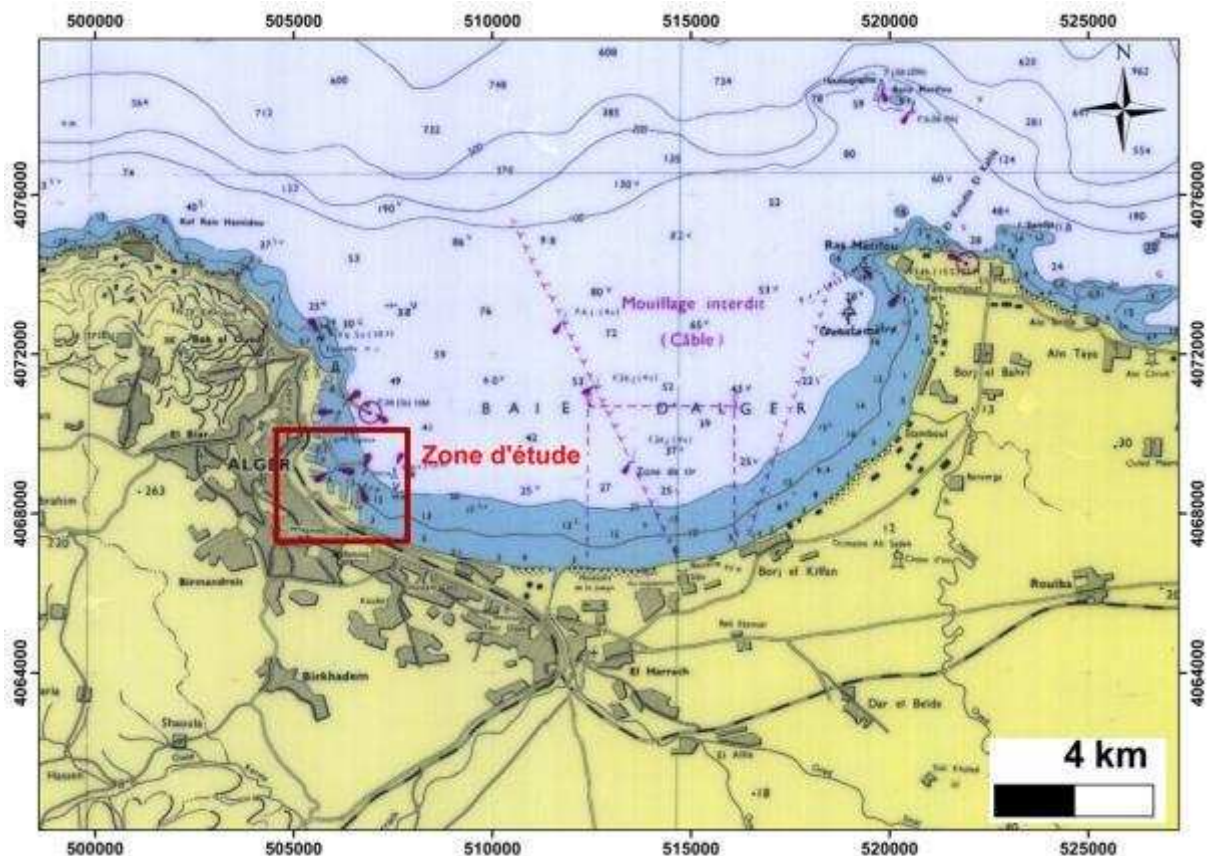


Figure 1: Présentation de la Baie d'Alger et localisation de la zone d'étude (cadre en rouge) sur un fond d'une carte marine (Juin 2009)

I.2. Situation géographique de la zone d'étude

Notre zone d'étude concerne la zone du TAC (Terminal A Conteneurs) du port d'Alger, cette zone se localise dans la partie Ouest de la baie d'Alger, elle est limitée au Nord par le quai n°30 qui fait face au bassin de Mustapha, au Sud par la route nationale n°6, à l'Est par le quai n°31, et à l'Ouest par le grand môle (figure 2).

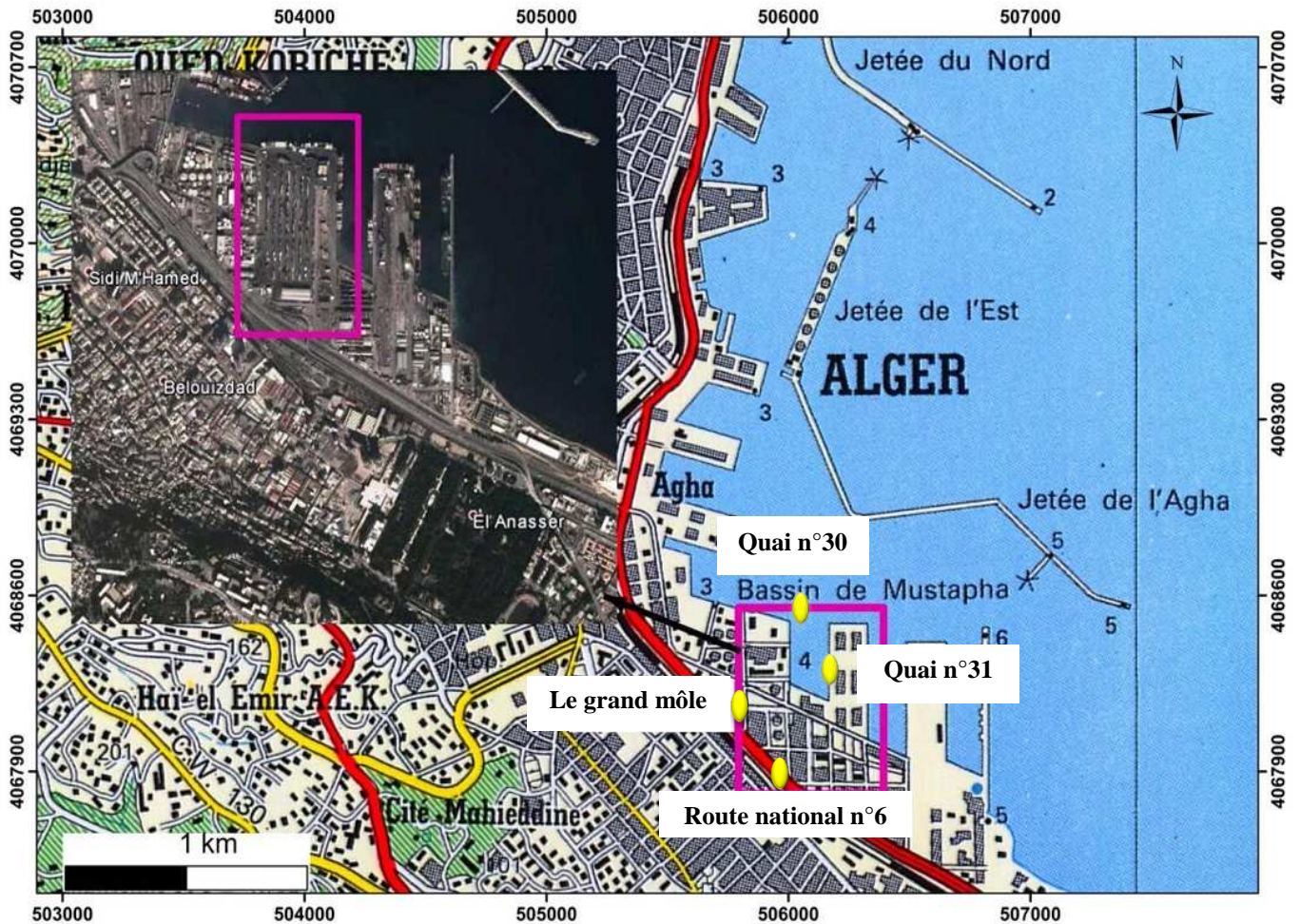


Figure 2: localisation de la zone d'étude dans le port d'Algier

Du point de vue morphologique, le site d'étude est plat, son altitude est faible, varié entre 2 et 3 mètre environ.

I.3. Aperçu géologique

La région d'Algier peut être présentée comme un dôme métamorphique primaire bordé par des assises sédimentaires d'âge Tertiaire et Quaternaire (figure 3) [Charakdji et Djenidi, 2006].

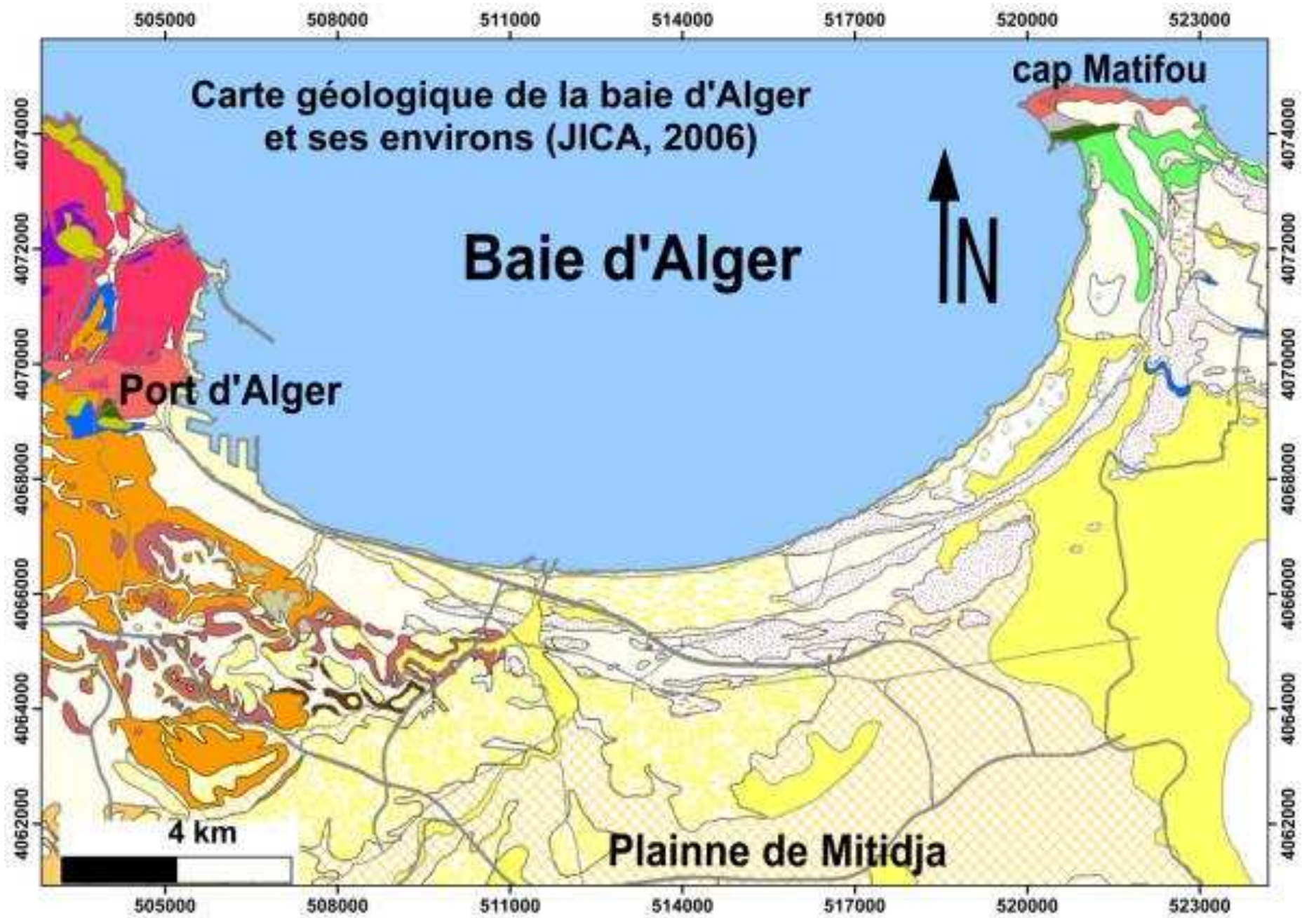


Figure 3: Carte géologique de la Baie d'Alger et ses environs [compilée par JICA, 2006]

A. Le Primaire

Le socle métamorphique est d'âge Primaire. Il est composé principalement de schistes, micaschistes, gneiss et granite. Il s'agit d'une formation très tectonisée qui affleure entre Ain Benian et le port d'Alger, en passant par Bouzareah [Boudiaf, 1996].

B. Le Secondaire

Le Secondaire n'affleure pas dans la région d'Alger à l'exception des bordures de la Mitidja, où sont constitués de calcaires et de marno-calcaires [Ameziane et Balit, 2006].

C. Le Tertiaire

Le Tertiaire de la région d'Alger est marqué par une lacune de l'Eocène et de l'Oligocène, il comprend le Miocène et le Pliocène, qui recouvrent en discordance les faciès métamorphiques. Il est représenté par des grès grossiers sableux qui affleurent très peu sur la bordure Sud de la plaine de la Mitidja [Ikhlef et Mokrani, 2006].

- **Le Miocène**

Il est matérialisé par des grès et conglomérats très cimentés, il affleure dans le ravin de l'oued Koraich et à Ain Taya à la base des falaises littorales [Benallal et Ourabia, 1989].

- **Le Pliocène inférieur (Plaisancien)**

Il est formé essentiellement par des marnes bleues pouvant atteindre 1000 mètres [Glangeaud et al, 1952 in JICA, 2006]. Le Plaisancien forme le substratum subsident du bassin de la Mitidja [Benallal et Ourabia, 1989 in Boukhrouf, 2012].

- **Le Pliocène supérieur (Astien)**

Il est bien développé dans la partie Sud du Sahel et apparaît très peu sur la bordure Sud de la Plaine de la Mitidja [Ikhlef et Mokrani, 2006]. Epais de 100 à 150 mètres, l'Astien est séparé du Plaisancien par un niveau à glauconies dont l'épaisseur peut atteindre 04 mètres [Hamga et Sayad, 2006]. Il se présente sous forme de marnes jaunâtres, de calcaires sableux, parfois riches en bivalves et de molasse [Glangeaud et al, in JICA, 2006].

D. Le Quaternaire

Les formations du Quaternaire résultent de l'érosion de l'Atlas Blidéen et de l'accumulation des produits de cette érosion dans la Mitidja et le Sahel, le Quaternaire est constitué :

CHAPITRE I : Généralités

- des dépôts continentaux détritiques, représentés par des sols rouges grésocarbonnatés, et une formation de marnes et cailloutis, qui est une série laguno-fluviale, comblant, en partie, le synclinorium mitidjien. Cette formation est d'âge Sicilien [Aymé, 1964].
- de terrasses marines formées par la consolidation des dunes et des dépôts alluviaux contenant du sable, des graviers, des conglomérats et des microconglomérats à ciment calcaire [Djediati, 1996 in Benidir et Fernane, 2010].
- de dépôts récents comme les plages, les dunes, les terrasses marines récentes et les dépôts des rivières essentiellement formés de sable, de vase et d'argile [Djediati, 1996 in JICA, 2006].

I.4. Aperçu sismotectonique

I.4.1. Aperçu sur la sismicité historique

La région d'Alger a subi plusieurs séismes importants à travers son histoire (Tableau 1). Le séisme le plus ancien enregistré est celui d'Alger de 1365 qui a détruit une grande partie de la ville et provoqué un tsunami. Le dernier séisme enregistré est celui de Zemmouri, du 21 mai 2003 ($M_s=6,8$) qui a fait 2 278 morts et plusieurs milliers de blessés.

Tableau 1: Liste des principaux séismes de la région Algéroise durant la période : 1365 – 1940, (USGS, CRAAG et al)

Date	Hr	Min	Sc	Lat(°)	Long(°)	Ms	I ₀	Localisation
02-01-1365	19	00	00.0	36°42'00"	3°06'00"	-	-	Alger
10-03-1673	21	00	00.0	36°42'00"	3°06'00"	-	VII	Alger
00-05-1716	00	00	00.0	36°42'00"	3°06'00"	-	VIII	Alger
15-05-1854	15	00	00.0	36°30'00"	2°54'00'	-	VII	Alger
28-05-1940	10	15	36.0	36°48'00"	3°01'48"	5.0	III	Alger

II.4.2. Tectonique régionale et failles actives

L'Algérie du Nord se situe dans une région marquée par la présence de plusieurs failles (Figure 4). Nous assistons actuellement à un mouvement de convergence entre les plaques Tectoniques Africaine et Eurasienne. La vitesse de raccourcissement entre les deux plaques est estimée entre 5 et 6 mm/an dans la région d'Alger [Domzig, 2006]. Le rapprochement des deux plaques se manifeste sous forme de séismes de magnitude plus ou moins élevée, dont le maximum enregistré, est celui de Zemmouri ($M_s 6.8$).

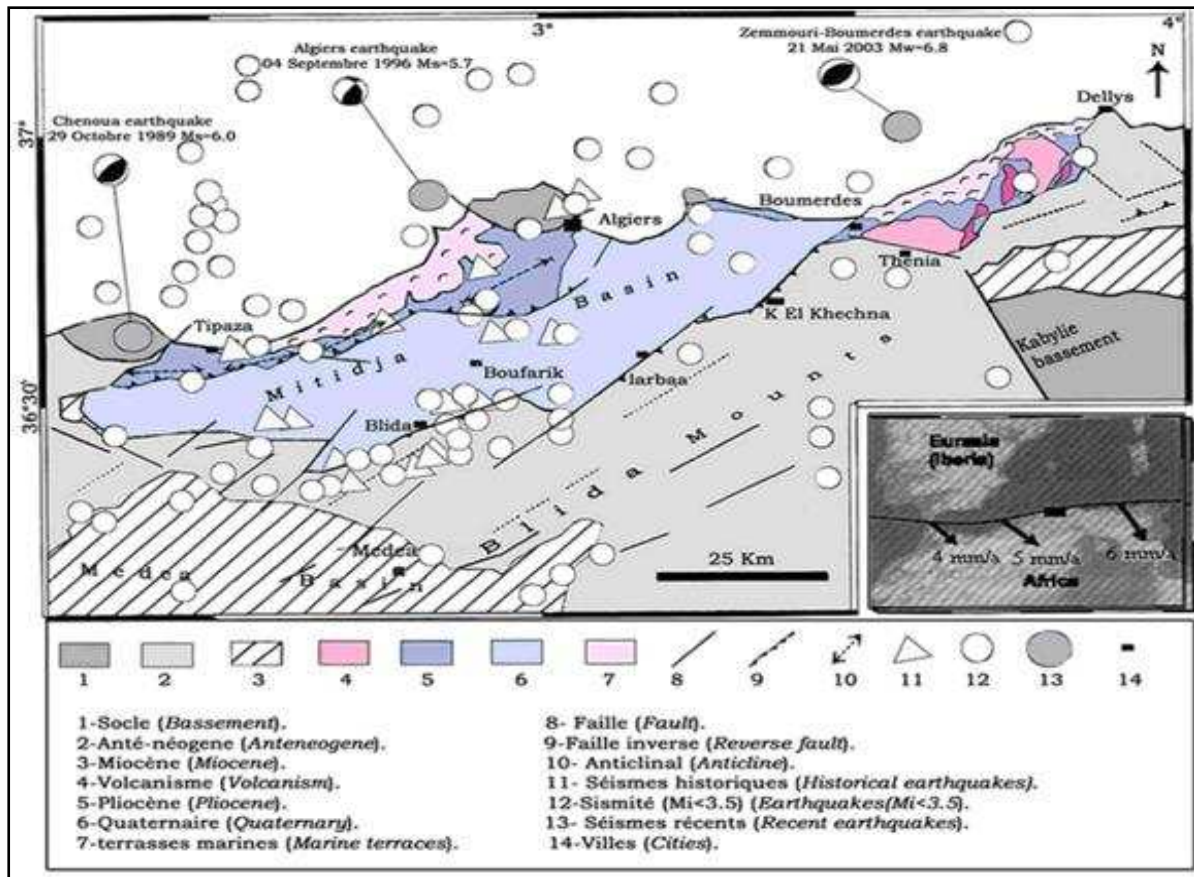


Figure 4: Carte sismotectonique de la région d'Alger [Cheikh Lounis, 2011 In CGS, 2014].

Les cartes sismo-tectonique de l'Algérois font état de deux types de failles. D'une part des failles décrochantes comme celle de Thénia, et d'autre part des failles chevauchantes comme celles bordant la Mitidja et le Sahel, qui se continueraient en mer au large de la côte entre Boumerdès et Dellys [Geomatrix, 2006 in Benidir et Fernane, 2010], et les principales failles actives dans l'Algérois sont:

A. La faille de Tipaza

Appelée aussi faille de Chenoua, elle constitue la limite entre la morpho-structure de surrection de Chenoua et le bassin de subsidence de la Mitidja (figure 5). Cette faille à une orientation Nord-Est, [Domzig et al, 2006].

B. La faille du Sahel

La faille du Sahel marque l'interface entre le bassin de Mitidja au sud et le Sahel d'Alger au Nord (figure 5). Sa longueur est de 63 km et se prolonge depuis le Mont Chenoua, jusqu'à la baie d'Alger son altitude est de 200 m environ. [Glangeaud, Aymé et al. 1952].

C. La faille de Thénia

Dite aussi la faille de Cap Matifou, c'est une structure cassante d'âge Quaternaire, d'une direction WNW-ESE et qui passe près de la ville de Boumerdes (figure 5). Elle s'étend de la baie d'Alger à l'Oued Isser sur une longueur total d'environ 35 Km, d'une forme rectiligne à pente raide, son élévation est de 50 à 80 m. [Deverchères et al, 2005].

D. La faille de Blida

La faille de Blida (Mitidja du sud) marque une interface entre le bassin de Mitidja au Nord et l'atlas blidien au sud (figure 5). L'Atlas blidien est une chaîne en topographie escarpée qui s'élève de 1500 m. Sa longueur est d'environ 41 Km [Géomatrix, 2006].

E. La faille offshore de Zemmouri

Méconnue jusqu'à sa mise en évidence par les deux campagnes Maradja (2003 et 2005). Sa structure serait celle d'un pli-faille. Le taux de déplacement de cette faille serait de 0,2mm/an, et sa direction est NE-SW (figure 5). Elle pourrait émerger à environ 15 kilomètres en mer [Semane, 2005], et serait à l'origine du séisme du 21 mai 2003.

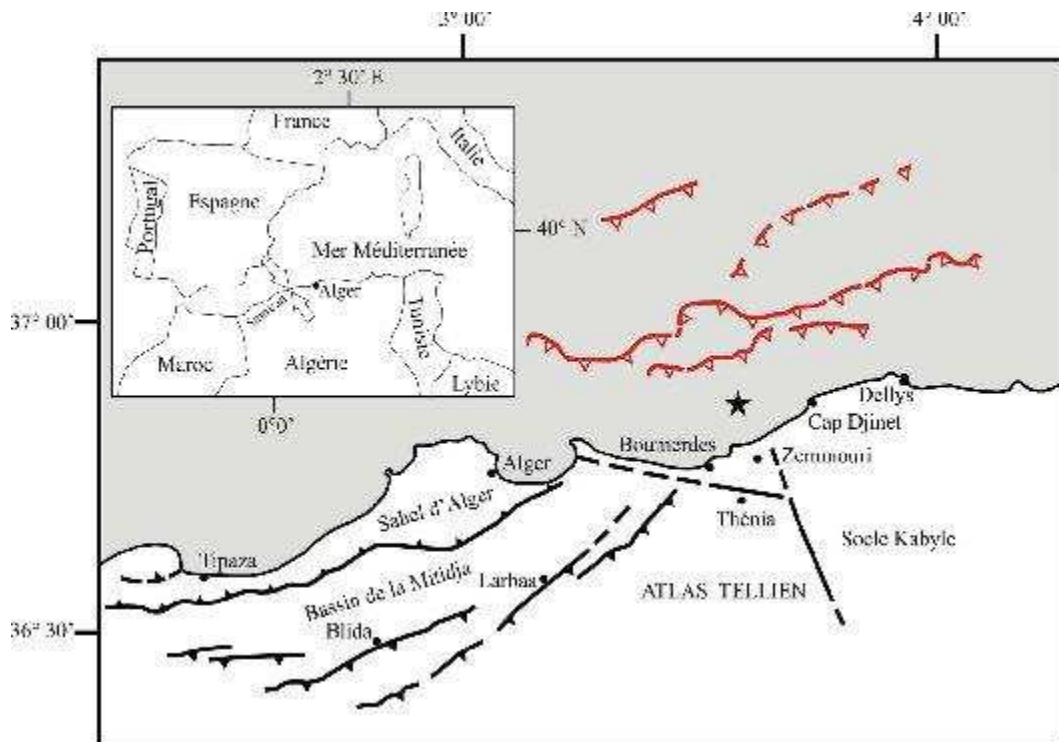


Figure 5: Cadre tectonique de la région d'Alger et ces environs, En trait noire les failles onshore : (F.B : faille du sud de la Mitidja, F.S: faille de Sahel, F.TH: faille de Thénia) [Meghraoui, 1988]. En trait rouge les failles en mer, mise en évidence par la campagne Maradja .L'étoile noire indique l'épicentre du séisme du 21 mai 2003, [Domzig, 2006 in Hellel, 2010]

II.4.3. Classification des zones sismiques

Le territoire national est divisé en quatre zones de sismicité croissante, définies sur la carte de zonage sismique de l'Algérie (figure 6) [C.G.S., 2003].

Zone 0: sismicité négligeable

Zone I: sismicité faible

Zone IIa: sismicité moyenne

Zone IIb: sismicité moyenne

Zone III: sismicité élevée

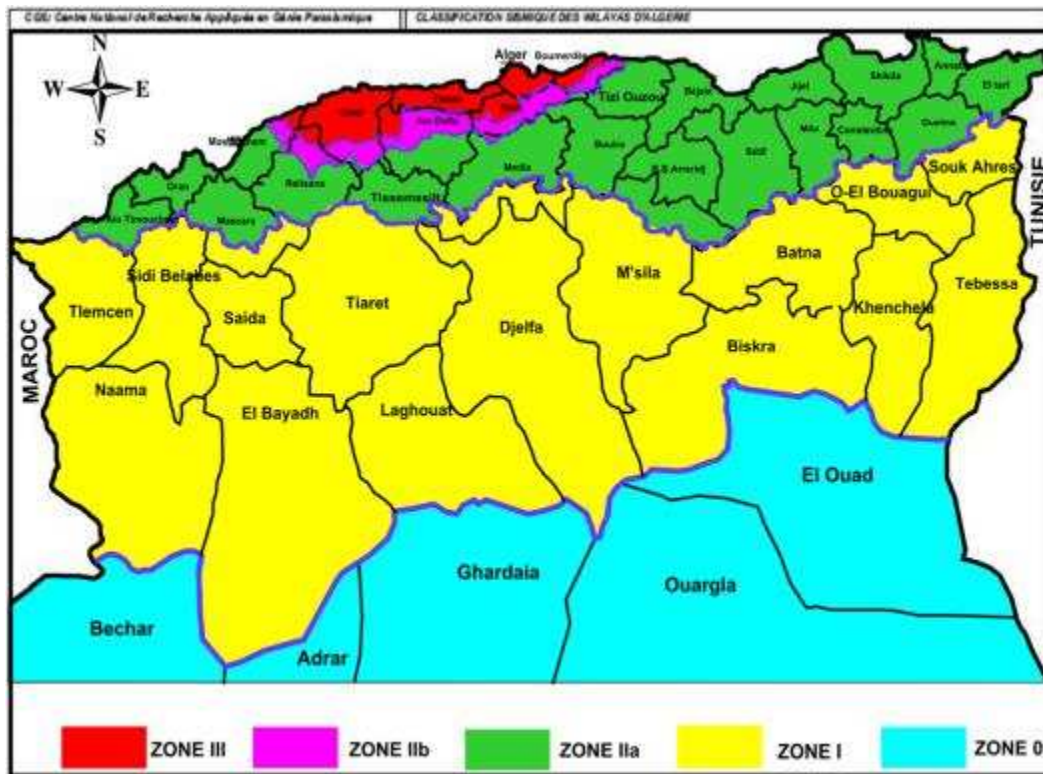


Figure 6: Classification sismique des wilayas d'Algérie [CGS, 2003]

Durant le séisme de 21 Mai 2003, le terminal à Conteneurs du port d'Alger a subi le phénomène de liquéfaction au niveau de l'Ancienne DARSE N°7, et cela a engendré des remontés de sable (environ 200 m³), induisant un tassement d'environ 60 cm à 80 cm dans cette zone et des déformations au niveau de môle El Hadjar.

Ce problème nécessite le renforcement de ce sol afin d'éviter la résurgence de ce phénomène et faciliter les activités portuaires. Pour que le port d'Alger réponde aux normes internationales et vu l'importance du dispositif qui va être mis en place, notamment les grands portiques sur les quais 30 et 31, il est indispensable de réduire les tassements, et d'éliminer le risque de liquéfaction en cas d'un séisme éventuel.

CHAPITRE II :
Caractérisation
géologique du site
d'étude

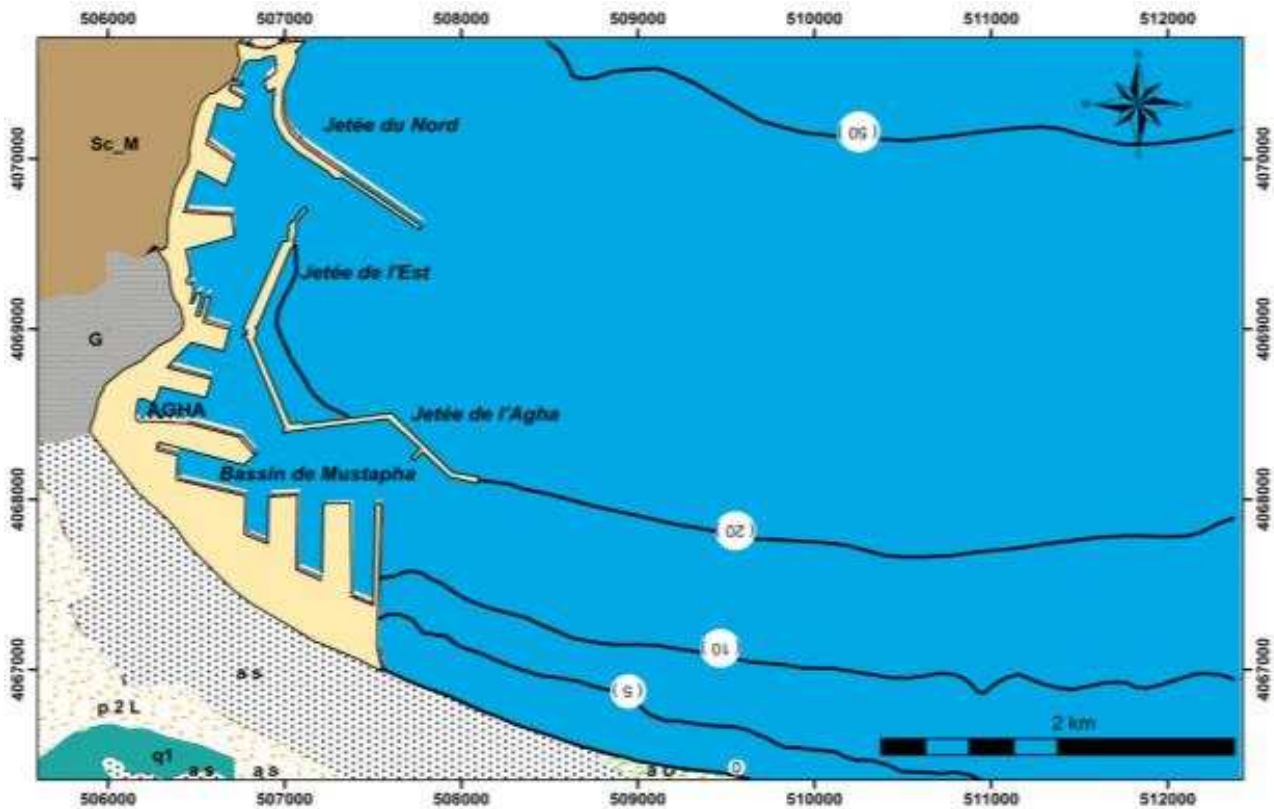
CHAPITRE II : Caractérisation géologique du site d'étude

Introduction

Il est nécessaire d'obtenir des informations sur les couches géologiques du sous-sol, avant la réalisation de n'importe quel projet. En effet, en connaissant la nature du sous-sol et le comportement géotechnique des couches, le dimensionnement des ouvrages pourra se faire correctement.

II.1. Géologie du site d'étude

La carte géologique du port d'Alger (Figure 7), révèle trois formations géologiques dominantes qui sont: le Quaternaire affleure au sud par des dépôts de dunes et de sable rouge. Ainsi que des terrasses marines et des formations de grés avec glauconite de Tertiaire. Alors que les roches métamorphiques du Primaire présentent dans la partie Nord-ouest par les schistes, et dans la partie Ouest par le gneiss.



Légende :

Primaire

Sc_M : Schistes en Mica

G: Gneiss

Tertiaire

q1 : Terrasse marine 240-260 m

p2L: Grés avec glauconite

Quaternaire

a D : Dépôts de dunes

a S: Sable rouge

Figure 7: Lithostratigraphie de la zone du port d'Alger, extraite de la carte géologique de la Baie d'Alger [JICA, 2006]

II.2. Lithologie du sous-sol du site d'étude

La synthèse des diverses études géologiques, et géotechnique réalisées dans le terminal à conteneurs du port d'Alger, à savoir : la campagne géotechnique effectuée par le LEM en 2006, par EGIS géotechnique en 2009, projet JICA, ainsi, les résultats de la campagne géotechnique complémentaire effectuée en 2013, nous a permis d'établir la succession lithologique du sous-sol dans notre site d'étude. Deux coupes lithologiques corrélatives ont été ainsi réalisées (Figure 8)

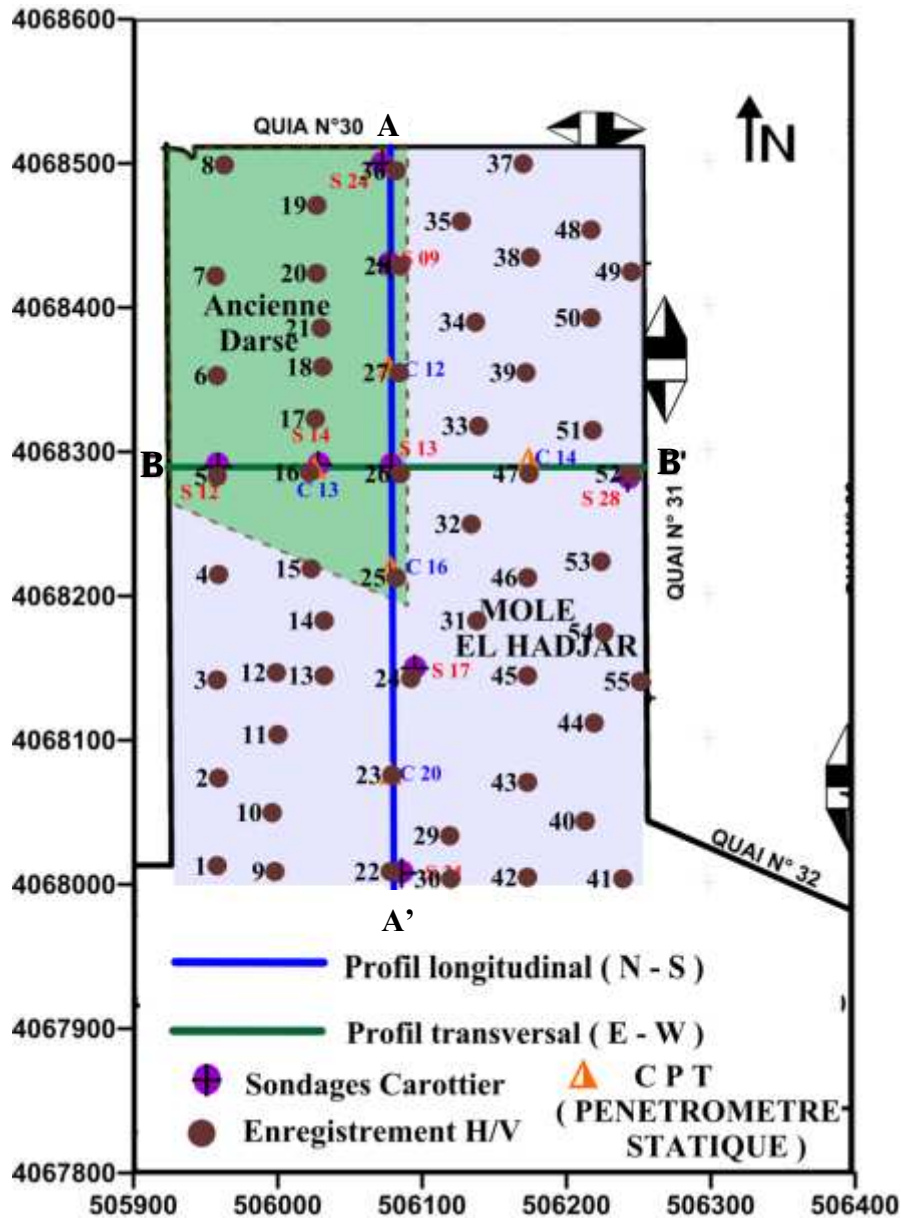


Figure 8: Localisation des sondages carottés (cercle mauve), les essais au pénétromètre statique (triangle orange), des enregistrements H/V bruit de fond (cercle marron), la coupe N-S (trait bleu), et la coupe E-W (trait vert), dans la zone du TAC

II.3. Coupes lithologiques corrélatives

Les coupes lithologiques réalisées dans le terminal à conteneurs déterminent la répartition des couches du sol, à savoir : la coupe Nord-Sud (coupe AA'), et la coupe Est-Ouest (coupe BB'), (figure 9,10).

A. Coupe AA'

La corrélation des sondages carottés, Sc24, Sc09, Sc13, Sc17, Sc21, (Figure 9), a permis de définir de haut en bas la succession lithologique suivante (Figure 9) :

- un remblai hétérogène, présent sur l'étendue de la coupe, cette couche est épaisse à l'extrémité Nord (environ 15m) et son épaisseur diminue en allant vers le sud (6,5m).
- une fine couche de grès de 1m en moyenne qui se trouve uniquement dans la partie sud.
- une unité des marnes qui se trouve à une profondeur qui diminue en allant du Nord vers le Sud, son toit se trouve à une profondeur de 15,3m au droit de Sondage Sc24 au Nord et au centre, et à 10,5m au droit de Sc21 au Sud.

B. Coupe BB'

La corrélation des sondages carottés, Sc28, Sc13, Sc12, (figure10), a permis de haut en bas la succession lithologique suivante (figure10) :

- un remblai présent sur l'étendue de la coupe, hétérogène à l'Est (remblai de l'ancienne darse) et homogène à l'ouest (remblai de môle El Hadjar), cette couche est épaisse à l'Est (17m) et diminue en allant vers l'Ouest (13m).
- une fine couche de grès de 1 mètre en moyenne dans la partie ouest, et que l'on ne trouve pas au centre et à l'Est.
- une unité des marnes qui se trouve à une profondeur qui diminue en allant de l'Est en ouest.

Notons qu'une nappe phréatique a été détectée le long de tout le terminal à environ 2,5 mètres de profondeur, et cela due au niveau de la mer qui apparaît à ce niveau.

Conclusion

Les coupes lithologiques corrélatives fondées sur la base des sondages carottés réalisées dans notre zone d'étude nous informent sur l'existence de trois couches de sol, une couche allochtone et deux autres autochtones.

Le sol allochtone est constitué d'une couche de remblai hétérogène au niveau de l'ancienne darse et homogène au niveau du môle El Hadjar, cette couche apparaît le long de tout le terminal, de la surface jusqu'à 15m de profondeur au Nord, et diminue en allant vers le sud

CHAPITRE II : Caractérisation géologique du site d'étude

(environ 8m), et de même en allant de l'Est vers l'ouest. Dans cette couche apparaît une nappe phréatique à environ 2,5 m de profondeur.

Le sol autochtone est constitué d'une fine couche de grés d'épaisseur variant entre 1 et 2,5 mètre, cette couche est quasiment absente à l'Est. Il y'a également une autre unité des marnes plus épaisse au Sud et à l'ouest.

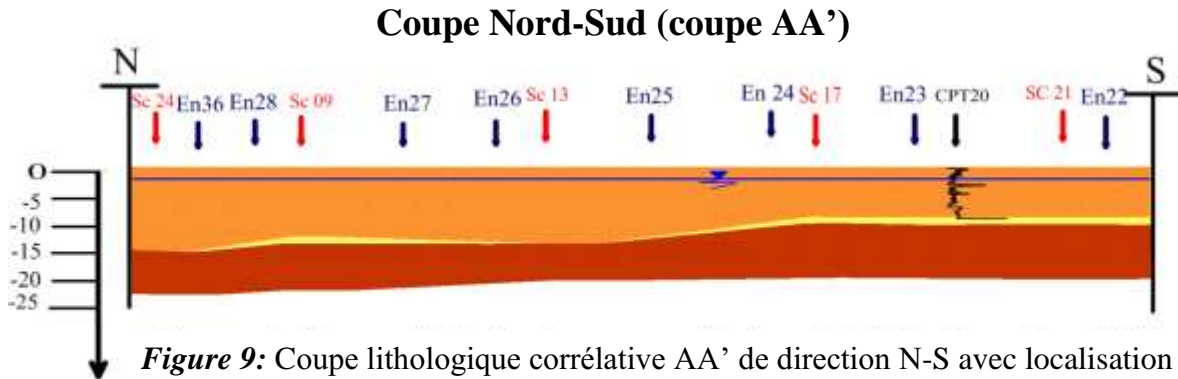


Figure 9: Coupe lithologique corrélative AA' de direction N-S avec localisation Pr (m) des sondages carottés (flèche rouge), essais au pénétromètre statique (flèche noire), et enregistrements H/V (flèche bleu).

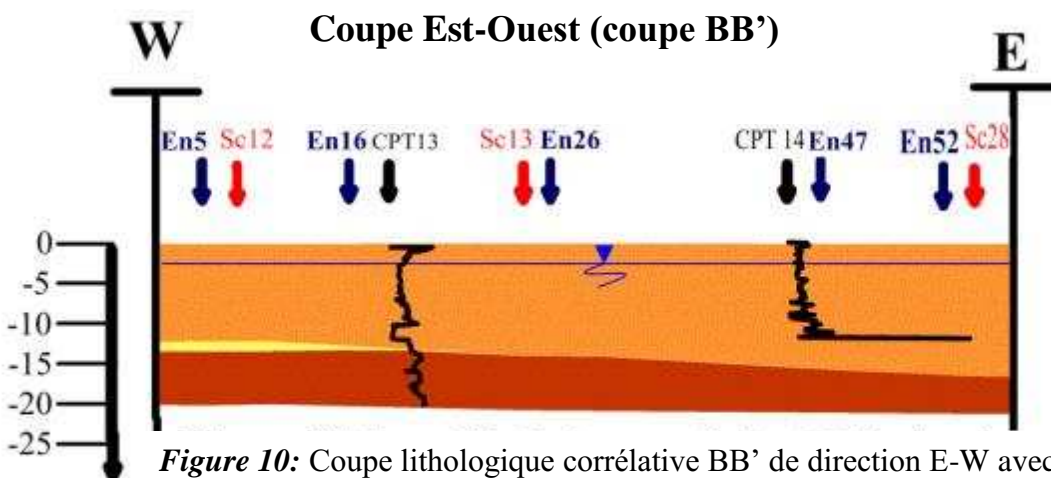
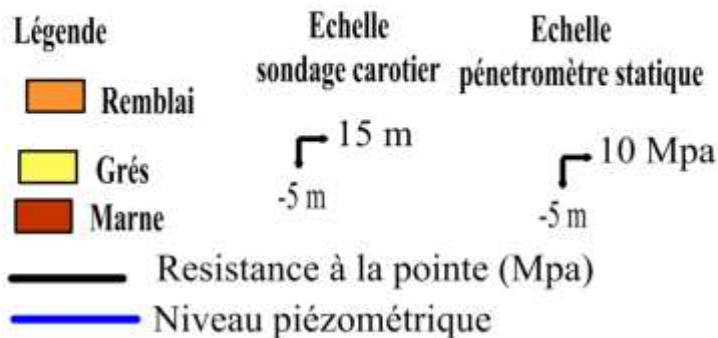


Figure 10: Coupe lithologique corrélative BB' de direction E-W avec localisation des sondages carottés (flèche rouge), essais au pénétromètre statique (flèche noire), et enregistrements H/V (flèche bleu).

CHAPITRE III :
Caractérisations
géotechniques du site
d'étude

Introduction

Suite à la réalisation de la campagne géotechnique complémentaire prévue dans la zone du terminal à conteneurs du port d'Alger, le présent chapitre a pour objet une analyse de tous les résultats obtenus, dans le but de définir les caractéristiques géotechniques de chacune des couches afin de pouvoir, ultérieurement, définir le traitement de consolidation à mener dans cette zone.

Le sol en place est formé par une couche granulaire de sable allochtone, surmontant une couche autochtone cohérente de grés, de marnes et d'argiles. Ces couches forment des strates qui peuvent être considérées uniformes, même si leurs caractéristiques géotechniques montrent une certaine hétérogénéité.

Des essais au laboratoire et des essais in situ ont été réalisés pour estimer les propriétés géotechniques de ce sol.

III.1. Etude géotechnique du sol allochtone (remblais)

Cette couche du sol est formée par des sables vaseux argilo-limoneux lâches, carbonatés, avec quelques graviers et cailloux, ce sol atteint une épaisseur maximale de 16,7 m au droit de sondage Sc11 et une épaisseur minimale de 7,5 m au droit de sondage Sc16 (annexe 6).

III.1.1. Essais au laboratoire

Les essais de laboratoire ont été partagés en deux grandes parties, physiques et mécaniques.

III.1.1.1. Essais physiques

- La proportion en particules fines (vases et limons) varie d'un minimum de 9% à un maximum de 43% avec une moyenne de 22,6%, et une proportion maximale en argiles de 16%.
- Les trente échantillons analysés montrent des valeurs au bleu de méthylène (VBS) entre un maximum de 1,24 et un minimum de 0,15 avec une valeur moyenne de 0,37. donc $0,2 < VBS < 2,5$; C'est un sol sablo-limoneux-vaseux peu plastique et sensible à l'eau [AFNOR, 2006].
- pour la granulométrie, les résultats obtenus sur les 65 échantillons analysés nous informe entre les tamis de maille $0,001 \text{ mm} < \emptyset < 25 \text{ mm}$, ces échantillons ont été prélevés entre 1,8 m et 15 m de profondeur.
- D'après les résultats obtenus deux groupes peuvent se distinguer, un groupe qui englobe la plupart des échantillons, dans lequel les granulométries se trouvent dans un fuseau relativement étroit, ce qui dénote l'homogénéité de la couche, ainsi qu'un

CHAPITRE III : Caractérisations géotechniques du site d'étude

deuxième groupe contenant un pourcentage considérable de graviers et cailloux (22% à 49%) [AFNOR, 2006]. ses échantillons se trouvent entre 3 et 6,4 mètre de profondeur.

- La teneur en eau naturelle observée se trouve entre 9% et 25% pour les six échantillons analysés, avec une valeur moyenne de 18%, ce qui révèle un sol peu plastique à non plastique [AFNOR, 2006].
- La masse volumique du sol saturé mesurée oscilla entre 1,83 t/m³ et 2,12 t/m³ pour les quatorze échantillons analysés, avec une valeur moyenne de 2 t/m³. Par contre, la masse volumique sèche présente des valeurs entre 1,55 t/m³ et 1,83 t/m³, avec une valeur moyenne de 1,75 t/m³, est un sol moyennement dense [AFNOR, 2006].
- La teneur en matière organique n'est pas significative dans cette strate (< 1,75%), donc est un sol inorganique [AFNOR, 2006].
- La perméabilité des couches granulaires a été estimée avec l'emploi de la formulation de Hazen: $k(\text{Hazen}) = 100 \cdot D_{10}^2$ (cm/s) ou D_{10} est la dimension des particules qui correspond à 10% de la courbe granulométrique en cm, ont à obtenus une perméabilité varié entre $1,22 \cdot 10^{-5}$ cm/s et 10^{-6} cm/s, ce qui révèle un sol perméable à l'eau a peu perméable [AFNOR, 2006].

III.1.1.2. Essais mécanique

Deux types d'essais mécaniques ont été réalisés pour mieux comprendre le comportement de ce remblai.

A. Essais au cisaillement direct

Pour évaluer les propriétés mécaniques de cette couche de remblai (12) essais de cisaillement ont été réalisés, et les résultats obtenus sont mentionnés dans le tableau 2.

Tableau 2: Résultats des essais de cisaillement direct obtenus pour les remblais

	Maximum	Minimum	Moyenne
C (Kpa)	84,37	22,56	51,32
Φ (°)	39,47	16,82	28,79
σ_v (Kpa)	140,76	54,33	94,25
τ (Kpa)	139,84	63,86	103,87

- On observe une grande disparité des résultats car le sol étudié n'a pas les mêmes caractéristiques géotechniques, ce dernier présente un comportement d'une résistance moyenne [AFNOR, 2006].

CHAPITRE III : Caractérisations géotechniques du site d'étude

B. Essais œdométriques

Sept (7) essais œdométriques ont été menés à terme sur cette couche et les résultats obtenus sont montrés dans le tableau 3.

Tableau 3: Résultats des essais œdométriques obtenus pour les remblais

	Maximum	Minimum	Moyenne
(Cc)	0,1	0,03	0,065
(Cg)	0,007	0,003	0,0042

- Les résultats obtenus pour l'indice de compression Cc et l'indice de gonflement Cg, révèle un sol peu compressible et non gonflant [AFNOR, 2006].

III.1.2. Essais in situ

Trois types d'essais in situ ont été réalisés sur cette couche de sol, à savoir :

A. Essais de pénétration SPT

Des essais de pénétration au carottier SPT ont été réalisés dans l'ancienne darse N°7 au droit des sondages carottier chaque 3 m de profondeur.

- Les résultats obtenus montrent des valeurs de l'indice de pénétration SPT assez dispersé présente un maximum de 40 coups et un minimum 5 coups, avec une moyenne de 10 coups. Cela veut dire que notre sol est un sol sablo-limoneux-vaseux lâche avec apparition de gravier et cailloux [AFNOR, 2006].

B. Essais pressiométriques

Plusieurs essais pressiométriques ont été menés à terme dans cette couche, les résultats obtenus sont mentionnées dans le tableau 4.

Tableau 4: Résultats des essais pressiométriques obtenus pour la couche de remblai

	Maximum	Minimum	Moyenne
Pl (Mpa)	0,91	0,07	0,31
E (Mpa)	16,2	0,72	3,87
E/Pl	25,71	5	12,86

- Les résultats obtenus pour le module d'élasticité (E), la pression limite (Pl), et le rapport E/Pl, révèlent un sol vaseux limoneux caillouteux sous consolider et peu plastique [AFNOR, 2006].

C. Essais au pénétromètre statique CPTu

Quinze essais CPTu ont été réalisés dans la couche de remblai de la surface jusqu'à 15 m de profondeur.

CHAPITRE III : Caractérisations géotechniques du site d'étude

- Les résultats obtenus montrent une grande hétérogénéité, présentent un maximum de résistance à la pointe de 40 Mpa, et un minimum de 0,5 Mpa, avec une valeur moyenne de l'ordre de 4 Mpa. Ces valeurs montrent dans l'ensemble que cette couche du sol est de faible résistance (sol vaseux limoneux lâche parfois graveleux caillouteux) [AFNOR, 2006].

III.2. Etude géotechnique du sol Autochtone

III.2.1. Etude géotechnique de grès

Les grès forment une couche qui se présentent avec différents degrés de fracturation sous la couche de remblai, ou intercalée dans celle-ci (passages gréseux très fracturés). Cette couche est absente dans la plus part des sondages carottés et particulièrement dans la partie Est du terminal d'après les coupes lithologiques. La couche de grès présente une épaisseur maximale de 2,5 m au droit de sondage Sc08 (annexe 6)

III.2.1.1. Essai au laboratoire

III.2.1.1.1. Essai mécanique

A. Essais de compression uniaxiale

On dispose de deux (2) essais de compression uniaxiale pour caractériser cette strate, les résultats obtenus sont mentionnés dans le tableau 5.

Tableau 5: Résultats des essais de compression uniaxiale pour les grès autochtones

	Maximum	Minimum	Moyenne
Rc (Kpa)	9,412	7,890	8.651
Cu (Kpa)	4,706	3,945	4.325

- Ces valeurs de résistance à la compression uniaxiale (Rc), et la cohésion non drainé (Cu) montrent que ce grès est non plastique [AFNOR, 2006].

III.2.2. Etude géotechnique des marnes

C'est un niveau qui apparaît le long de tout le terminal, sous le niveau de sables ou du passage gréseux, en cas d'existence de celui-ci. Il s'agit d'une couche cohésive dans laquelle se trouvent des argiles et des marnes. Cette couche se trouve à une profondeur minimale de 7,65m au droit de sondage Sc20 (annexe 6).

III.2.2.1. Essais au laboratoire

III.2.2.1.1. Essais physique

- Les trois échantillons analysés montrent des valeurs au bleu de méthylène (VBS) entre un maximum de 4,25 et un minimum de 3,25 avec une valeur moyenne de 3,66. donc $2,5 < \text{VBS} < 10$, C'est un sol limoneux-argileux [AFNOR, 2006].

Les résultats granulométriques obtenus sur les 53 échantillons analysés nous informent entre les tamis de maille $0,001\text{mm} < \emptyset < 25\text{mm}$. Ces échantillons ont été prélevés entre 10 m et 20,2 m de profondeur.

- Les résultats obtenus montrent que la plupart des courbes granulométriques se trouvent dans un fuseau relativement étroit, correspond à des argiles et marnes de plasticité moyenne à élevée, avec apparition des échantillons sableux [AFNOR, 2006].
- La teneur en eau naturelle observée se trouve entre un minimum de 21% et un maximum de 28% avec une valeur moyenne de 25% pour les quatre (4) échantillons analysés. Elle se trouve éloignée de la limite de liquidité [AFNOR, 2006].
- La masse volumique du sol saturé mesurée oscilla entre $1,93 \text{ t/m}^3$ et $2,02 \text{ t/m}^3$ pour les huit (8) échantillons analysés, avec une valeur moyenne de 2 t/m^3 . Par contre la masse volumique sèche oscilla entre $1,49 \text{ t/m}^3$ et $1,65 \text{ t/m}^3$, avec une valeur moyenne de $1,6 \text{ t/m}^3$, se sol est de faible densité [AFNOR, 2006].
- Concernant l'indice de plasticité (I_p), les échantillons analysés montrent une valeur moyenne de 26,9%. Ce sol est de forte plasticité [AFNOR,2006].
- Concernant la limite de liquidité (WL), les échantillons analysés montrent une valeur moyenne de 48,9%.

III.2.2.1.2. Essais mécaniques

Trois types d'essais mécaniques ont été réalisés pour mieux comprendre le comportement de ces marnes.

A. Essais à l'appareil triaxial de révolution

Pour évaluer les propriétés mécaniques effectives de cette couche treize (13) essais ont été réalisés par l'appareil triaxial de révolution, et les résultats obtenus sont mentionnés dans le tableau 6.

CHAPITRE III : Caractérisations géotechniques du site d'étude

Tableau 6: Résultats des essais triaxiaux obtenus pour les marnes

	Maximum	Minimum	Moyenne
C (Kpa)	60,82	11,77	35
Φ (°)	31,27	2	21
σ_v (Kpa)	200,14	138,83	169,5
τ (Kpa)	174,52	75,14	119
Cu (Kpa)	1040,84	76,52	76,52

- Les résultats obtenus concernant la cohésion non drainé (Cu), l'angle de frottement (Φ), et la contrainte tangentielle (τ), révèlent un sol rigide de plasticité élevée et moyennement résistant [AFNOR, 2006].

B. Essais de compression uniaxiale

Six essais de compression uniaxiale ont été réalisés sur cette couche, et les résultats obtenus sont mentionnés dans le tableau 7.

Tableau 7: Résultats d'essais de compression uniaxiale pour les marnes

	Maximum	Minimum	Moyenne
Rc (Kpa)	1170	540	760
Cu(Kpa)	585	270	379,75

- Les résultats obtenus pour la résistance à la compression uniaxiale (Rc) et la cohésion non drainé (Cu) montrent que ce sol est de plasticité élevée [AFNOR, 2006].

C. Essais œdométriques

Dix (10) essais œdométriques ont été menés à terme sur cette couche, pour analyser la déformabilité de ces sols, et les résultats obtenus sont montrés dans le tableau 8.

Tableau 8: Résultats d'essais œdométriques obtenus sur des échantillons marneux

	Maximum	Minimum	Moyenne
Cc	0,14	0,07	0,10
Cg	0,04	0,02	0,03

- Les résultats obtenus pour l'indice de compression (Cc) et l'indice de gonflement (Cg), révèlent un sol peu compressible non gonflant à peu gonflant [AFNOR, 2006].

III.2.2.2. Essais in situ

A. Essais à la pénétration SPT

Des essais de pénétration au carottier SPT ont été réalisés dans la couche des marnes au droit des sondages carottiers chaque 3 mètres de profondeur.

CHAPITRE III : Caractérisations géotechniques du site d'étude

- Les résultats obtenus montrent des valeurs de l'indice de pénétration SPT assez homogènes, (25 à 30 coups), une valeur moyenne de 28 coups peut être adoptée pour cette couche de sol. Ces résultats permettent de conclure qu'il s'agit d'un sol moyennement compact [AFNOR, 2006].

B. Essais pressiométriques

Onze essais pressiométriques ont été menés à terme dans cette unité, les résultats obtenus sont mentionnés dans le tableau 9.

Tableau 9: Résultats d'essais pressiométriques obtenus pour les marnes

	Maximum	Minimum	Moyenne
Cu (Kpa)	524,48	214,16	353,01
E (Mpa)	63,68	7,44	38,14
PI (Mpa)	5,18	2,04	3,45
E/PI	12,42	3,64	10,98

- Les résultats obtenus pour le module d'élasticité (E), la pression limite (PI), et le rapport E/PI, révèlent un sol non déformable, normalement consolidé, et de plasticité élevée [AFNOR, 2006].

C. Essais au pénétromètre statique CPTu

- Trois essais CPTu ont été réalisés pour évaluer le comportement de la couche des marnes et ce jusqu'à 20m de profondeur. Les résultats obtenus indiquent que la résistance à la pointe est relativement constante dans cette couche, avec des valeurs comprises entre 1 Mpa et 10 Mpa, avec une valeur moyenne de 7Mpa. Ces valeurs montrent dans l'ensemble que cette couche du sol est de faible résistance [AFNOR, 2006].

Conclusion

Le terminal à conteneurs du port d'Alger est constitué de deux types de sol différent, allochtone et autochtone.

Le sol allochtone est formé de remblai d'une épaisseur qui varié entre 7,6 m et 16,2 m.

L'analyse des propriétés géotechniques de ces remblais montre qu'il s'agit d'une couche hétérogène, lâche, déformable et de faible compacité. Ce type de sol est déconseillé pour la construction.

Le sol autochtone est formé d'une couche de grès et d'une unité des marnes.

CHAPITRE III : Caractérisations géotechniques du site d'étude

Les grés se présentent sous forme d'une couche fine fracturée sous la couche de remblai. Son épaisseur varie entre 0,2 m et 2,5 m. Cette couche est absente dans la plupart des sondages carottés et particulièrement dans la partie Est du terminal.

Les marnes se trouvent au-dessous de la couche de remblai ou de gré en cas d'existence de celle-ci, ce sol est proche de la surface dans certain endroit (à 7,65 m de profondeur dans le sondage Sc20, -annexe 6-), et parfois loin de la surface (à 16,4 m de profondeur dans le sondage Sc11 –annexe 6-).

L'analyse des propriétés géotechniques des couches du sol autochtone montre qu'il s'agit d'un terrain homogène, dur et non déformable. Ce type de sols est favorable pour la construction.

CHAPITRE IV:
Etude de bruit de
fond

Introduction

La méthode la plus directe pour décrire les effets de site consiste à comparer des enregistrements de séismes d'un site à l'autre. Mais, l'utilisation de cette méthode, en contexte de sismicité rare, est difficile. En revanche, les méthodes basées sur le bruit de fond sismique, moins coûteuses et plus faciles, et notamment la méthode H/V, utilisent les propriétés du bruit urbain pour estimer les caractéristiques physiques des sols.

Cette technique a été proposée pour la première fois au Japon par Nogoshi et Igarashi (1970 et 1971), puis diffusée par Nakamura (1989). Depuis, cette méthode connaît un succès grandissant surtout pour l'étude des effets de site et du microzonage sismique [Nakamura, 1989-1996 in Hellel, 2010].

En Algérie, elle n'apparaît qu'après le séisme du 21 mai 2003 où des études sur les effets de site à Boumerdes et Zemmouri ont été menées conjointement par le C.G.S (Centre National de Recherche Appliquée en Génie parasismique, Alger) et l'Institut des Sciences de la Terre de Grenoble, France (ex : L.G.I.T).

IV.1. Aperçu historique sur l'étude du bruit de fond

En 1872, Bertelli constata une corrélation entre les microséismes et les perturbations de pression atmosphérique; En 1924, Banerji observa des modifications du bruit associées à la mousson indienne puis dans les années 40, Bernard ainsi que Longuet-Higgins montrèrent la relation entre les périodes des microséismes et celles des vagues océaniques [Bonney-Claudet, 2004]. Dès les années 1950, des scientifiques japonais ont détecté dans les enregistrements de bruit de fond sismique des indices de caractérisation du comportement des sols soumis à séismes (Aki, 1957-1993 in Duval, 2007).

IV.2. Origine du bruit de fond

On entend par « origine du bruit de fond » tout ce qui est source de bruit, c'est à dire toute sollicitation, autre qu'un séisme, qui génère des vibrations dans le sol.

Le tableau 10 représente la classification de bruit de fond selon la source de bruit et la gamme de fréquence.

Chapitre IV : Etude de bruit de fond

Tableau 10: Classification de bruit de fond en fonction de la source de bruit et en fonction de la gamme de fréquence (d'après Bonnefoy-Claudet, 2004)

Source de bruit	Naturelle	Les marées ; L'impact des vagues sur les rivages ; L'écoulement de l'eau d'une rivière ou d'un torrent ; La pluie ou le vent frappant le sol ; Les racines des arbres ou les fondations d'un immeuble vibrant sous l'effet du vent.
	Anthropique	Les machines d'une usine ; Le roulement des trains et des voitures ; Un homme qui marche.
Fréquence de bruit	$F < 1 \text{ Hz}$	Sources naturelle (océans, conditions météorologiques à grande échelle)
	$1 \text{ Hz} < F < 5 \text{ Hz}$	Sources naturelle (conditions météorologiques locales)
	$F > 5 \text{ Hz}$	Sources anthropiques (activités humaines)

Concernant la nature des ondes qui composent le bruit de fond, généralement pour les basses fréquences, il est composé d'ondes de Rayleigh et de Love (ondes S), tandis que pour les hautes fréquences le bruit est en grande partie composé d'ondes de volume (ondes P). [Aki et Richards, 1980 in Benidir et Fernane, 2010].

La composition du bruit de fond varie selon le rapport entre ces ondes, les caractéristiques de milieu de propagation (nombre de couche), la distance et la nature de la source (superficielle ou profonde, lointaine ou proche)... etc.

IV.3. La méthode H/V

La méthode H/V, basée sur l'enregistrement du bruit de fond ambiant pendant quelques minutes (15 min) sur plusieurs points d'un site, consiste à obtenir une estimation de la fréquence de résonance f_0 , appelée aussi fréquence propre ou fondamentale du site, en effectuant le rapport des amplitudes spectrales des composantes horizontales (H) sur celle de la composante verticale (V) du bruit enregistré.

Dans le cas d'une couche sédimentaire reposant sur un substratum (bicouche), et lorsque le contraste d'impédance est suffisamment fort [Bonnefoy-Claudet, 2004], le rapport spectral H/V exhibe un pic, centré sur la fréquence de résonance f_0 de la couche sédimentaire. Dans le cas contraire (contraste d'impédance trop faible), le pic se développe peu (en amplitude) voir pas du tout.

Dans un milieu 1D, la fréquence de résonance f_0 d'une couche de sédiments est liée à la vitesse des ondes de cisaillement V_s et l'épaisseur H de cette couche par la relation :

$$f_0 = V_s/4H \quad (1)$$

Avec f_0 : Fréquence de résonance en Hertz

V_s : vitesse des ondes S de Cisaillement en m/s

H : Hauteur de la couche en mètres

IV. 4. Acquisition des données de bruit de fond

L'enregistrement du bruit de fond a été réalisé avec une station CityShark II et un capteur Lennartz-5 secondes, à trois composantes (Figure 11). Pour les conditions d'enregistrement, nous avons suivis les recommandations du projet européen SESAME (Site EffectS using AMbient Excitations) (2004), à savoir un bon couplage capteur /sol dont l'orientation du capteur est vers le Nord et le connecter à la station, réglé le gain pour assurer un bon compromis entre la résolution et la limitation de la saturation des enregistrements. Puis réaliser l'enregistrement. Au même temps, sur une fiche technique, on note tous les paramètres d'acquisition : durée d'enregistrement (généralement 15 minutes) ; le gain avec une saturation limitée à 5% ; La fréquence d'échantillonnage qui est de 200 Hz ; les conditions météorologiques ; le type de sol (qui est souvent de godron dans notre cas) ainsi que les coordonnées géographiques du point d'enregistrement.



Figure 11: Appareillage utilisé pour l'enregistrement du bruit de fond.

Les enregistrements ont été effectués suivant un maillage de 35 à 70 m, sur une surface d'environ 180000 m², avec prise des coordonnées UTM pour chaque enregistrement. Au total, 149 enregistrements, ont été acquis, mais seul 55 ont pu être exploités (Figure 12). À cause d'une défaillance technique du matériel qui a rendu le reste des enregistrements inexploitable.

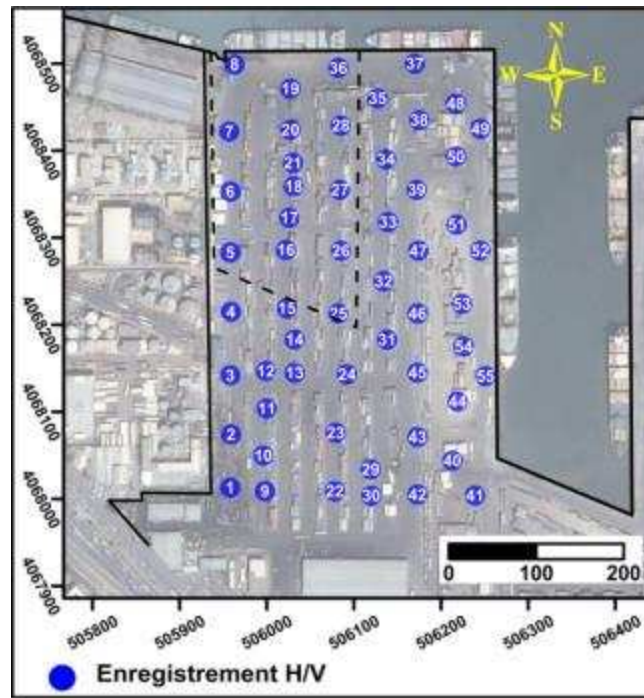


Figure 12: Emplacement des enregistrements H/V sur fond d'une image satellitaire

IV.5. Traitement des données

Nous avons récupéré les données des enregistrements, via la carte flash, sur PC avec le logiciel *ReadCity*.

Les courbes H/V obtenus ont été calculées à l'aide du logiciel libre *Geopsy* [www.geopsy.org]. Ce logiciel (figure 13) a été développé dans le cadre du projet européen SESAME [2004]. L'algorithme de calcul du rapport spectral H/V est le suivant :

- 1) sélection des fenêtres de temps stationnaires, de durée au moins égale à 10 fois la période minimale que l'on souhaite analyser.
- 2) calcul sur chaque fenêtre de temps n , les spectres de Fourier des signaux enregistrés sur les trois composantes (deux horizontales H1 et H2, et une verticale V).
- 3) lissage des spectres avec la procédure de fenêtre glissante à largeur adaptée à la fréquence d'analyse.
- 4) calcul de la moyenne quadratique des spectres horizontaux lissés $SH(Ni)$ (composantes Nord-Sud et Est-Ouest) pour chaque fenêtre :

$$SH(Ni) = \sqrt{\frac{S_n(Ni)^2 + S_e(Ni)^2}{2}} \quad (2)$$

- 5) calcul des rapports spectraux $H/V(Ni)$ pour chaque fenêtre :

$$H/V(Ni) = \left(\frac{SH(Ni)}{S_v(Ni)} \right) \quad (3)$$

6. Calcul de la moyenne géométrique du rapport spectral H/V sur toutes les fenêtres ;

$$H/V = 10^{\frac{\sum \log_{10}(H/V(N_i))}{N_i}} \quad (4)$$

L'écart-type sur l'amplitude de la courbe H/V, ainsi que sur la fréquence propre est calculée par la même occasion.

Les courbes des rapports H/V ont été obtenues en sélectionnant des fenêtres stationnaires de 25 à 50 secondes. Les paramètres STA (short time average) et LTA (long time average) de l'anti-trigger ont été fixés, respectivement, à 1 et 30 secondes. Le lissage des spectres de chaque composante sur chaque fenêtre a été fait selon la procédure de Konno et Ohmachi, (1998), avec un paramètre de lissage de 40 (figure 13).

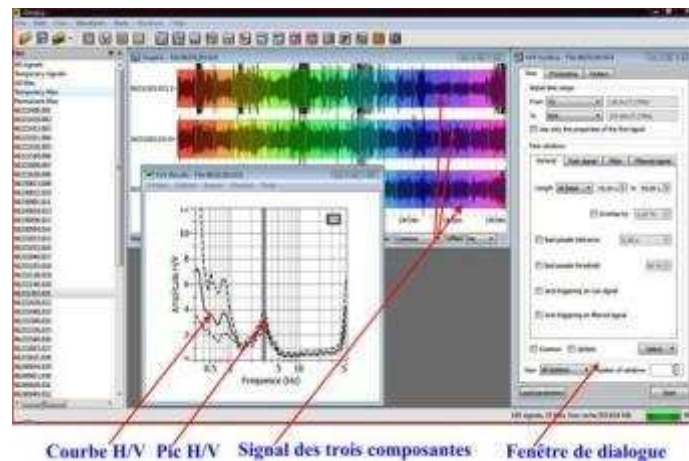


Figure 13: Interface du logiciel Geopsy. À droite la fenêtre de visualisation des trois composantes du signal, avec sélection des fenêtres de temps stationnaires (barres colorées), à gauche la fenêtre de paramétrisation, Les courbes colorées correspondent au rapport H/V calculé sur chaque fenêtre sélectionnée. La barre grise indique la fréquence propre du sol avec son écart type (nuances de gris)

Les courbes H/V obtenues montrent pour la plus part un pic centré est la fréquence de résonance du sol f_0 .

IV.6. Résultats et interprétation

En général, la fréquence de résonance d'un site est définie comme étant la fréquence donnée par le premier pic sur le spectre H/V [Lachet et al, 1996 in Guéguen, 1998].

Dans les études des effets de site, la gamme de fréquence prise en considération se situe entre 0,2 et 20 Hz. Les courbes H/V étant peu cohérentes à très basses fréquences, nous avons donc Choisi de les présenter à partir de 0,5 Hz.

Nous avons pris le soin de vérifier si les pics obtenus n'étaient pas entretenus (pic d'origine industrielle), en calculant l'amortissement par la méthode des décréments aléatoires en utilisant programme Geopsy (figure 14). L'amortissement représente la perte d'énergie du mouvement de la structure au cours du temps [Dunand, 2005].

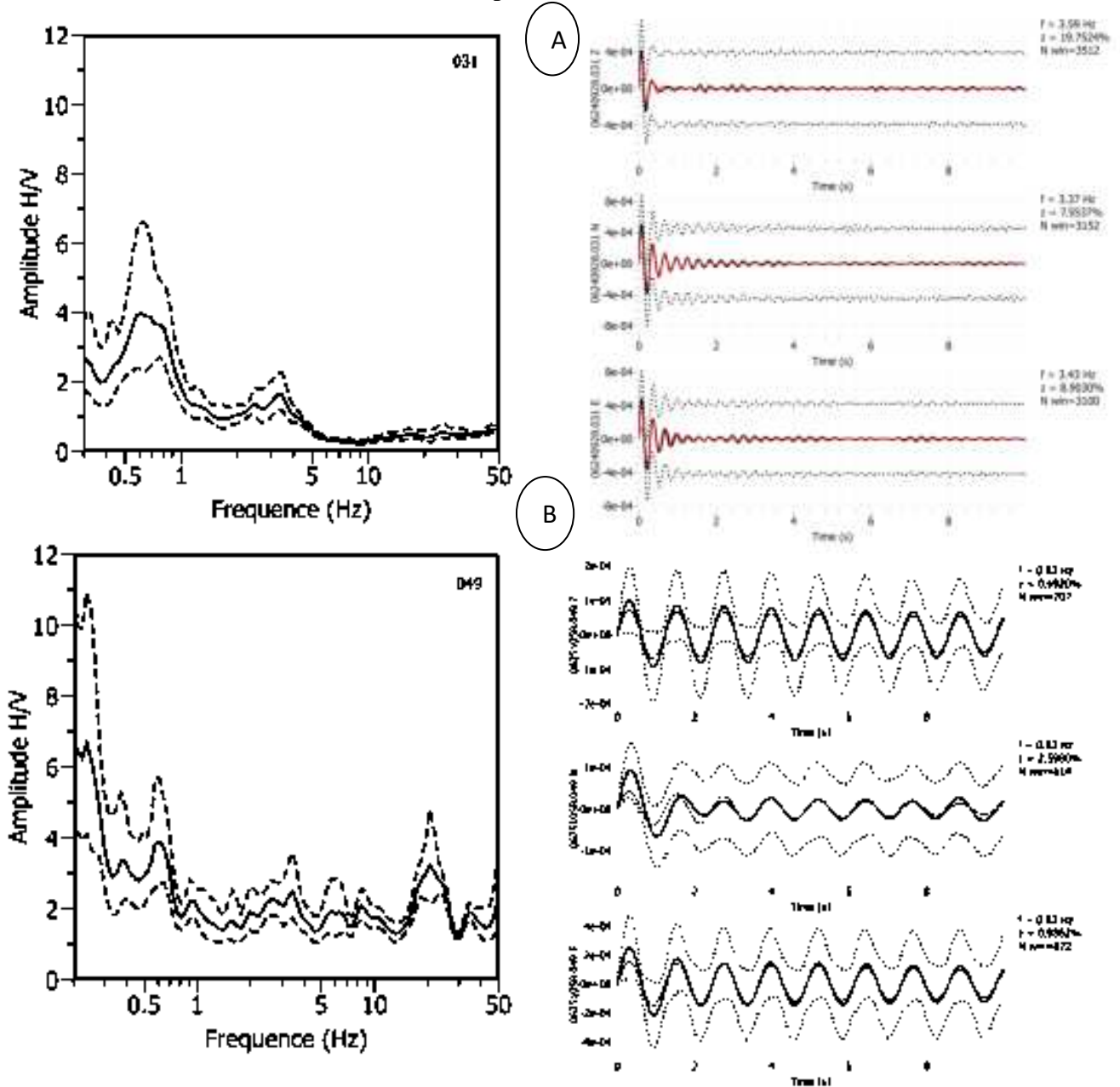


Figure 14: Exemple : (A) pic H/V d'origine naturelle à gauche, et son amortissement à droite ;
(B) pic H/V d'origine industrielle à gauche, et son amortissement à droite.

Nous avons analysé les courbes H/V dans le but d'identifier les fréquences propres du sol et leur répartition spatiale dans le port d'Alger et de les classées en fonction de leurs allures. Pour la fréquence de résonance du sol, nous avons pris la fréquence donnée par le premier pic sur le spectre H/V.

IV.6.1. Distribution des fréquences de résonance du sol

Sur les 55 courbes H/V enregistrées, 3 seulement sont complètement plates, toutes les autres présentent au moins un pic clair, dont la moitié des cas exhibe deux pics. Les fréquences propres du sol dans le terminal à conteneurs varient entre 0.4 et 20 Hz (figure 15).

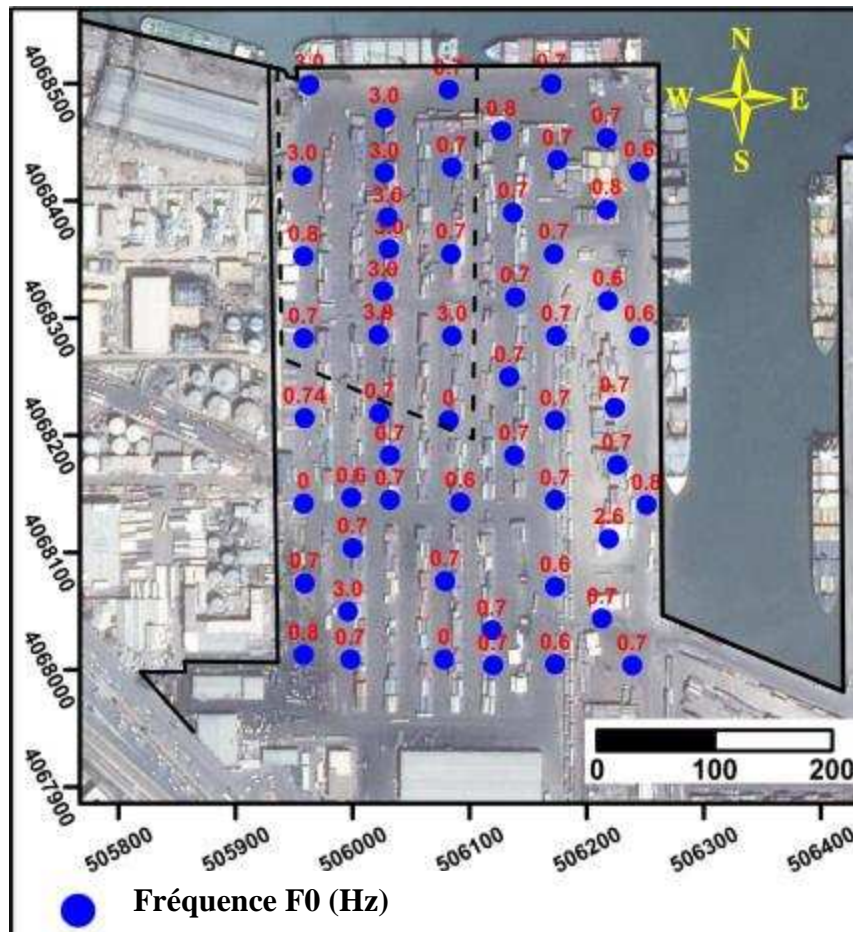


Figure 15: Carte de distribution des fréquences propres du sol dans la zone du terminal à conteneur du port d'Alger sur fond d'une image satellitaire Google Earth (Juillet 2013)

IV.6.2. Classification des courbes H/V en fonction de leur allure

Les courbes H/V obtenues sont en majorité des courbes qui exhibent des pics clairs. Cependant, certaines exhibent un pic dans la gamme de fréquence se trouve entre 0,5-1 Hz et d'autres entre 2 et 4 Hz, (figure 16).

Ces courbes ont été respectivement classées en quatre catégories : I, II, III et IV.

- Des courbes H/V plates (catégorie I).
- Des courbes H/V qui exhibent un pic clair entre 0,5-1 Hz (catégorie II).
- Des courbes H/V qui exhibent un pic claire entre 2-4 Hz (catégorie III).

- Des courbes H/V qui exhibent deux pics clairs entre 0,5-1 Hz et entre 2-4 H (catégorie IV).

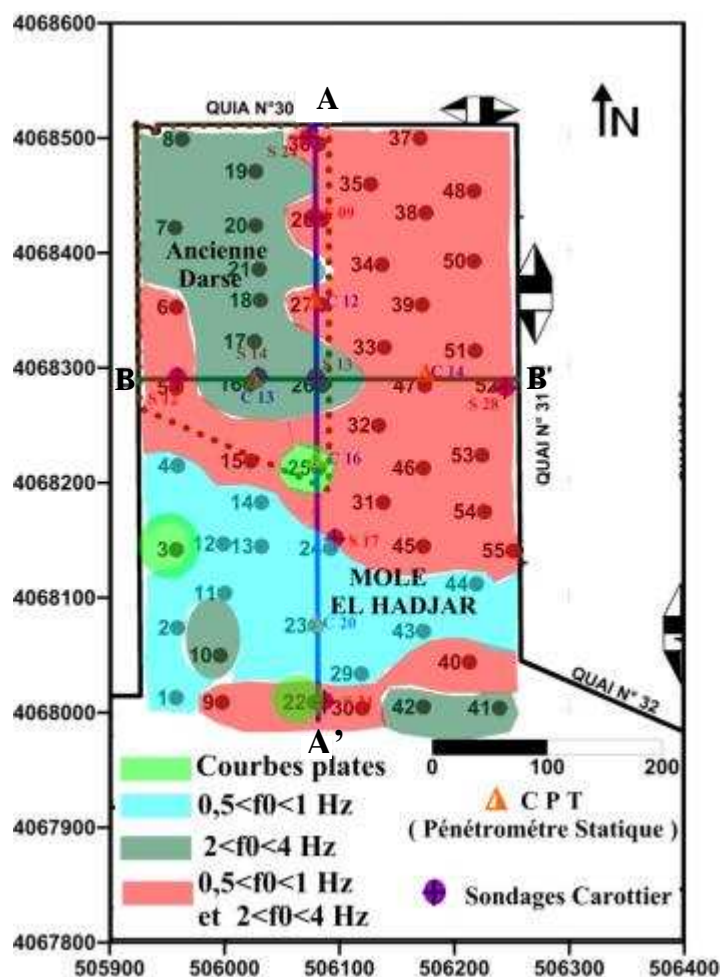


Figure 16: Localisation spatiale des fréquences de résonance du sol de la zone du TAC du port d'Alger sur fond d'une image satellitaire Google Earth (Juillet 2013)

IV.6.2.1. Courbes H/V plates "catégorie I"

Les enregistrements effectués dans le terminal à conteneurs du port d'Alger ont montré des courbes H/V plates dans la partie Ouest et Sud-Ouest (figure 16, 17). Ces courbes signifient que le contraste de vitesse des ondes S entre les sédiments et le substratum est faible.

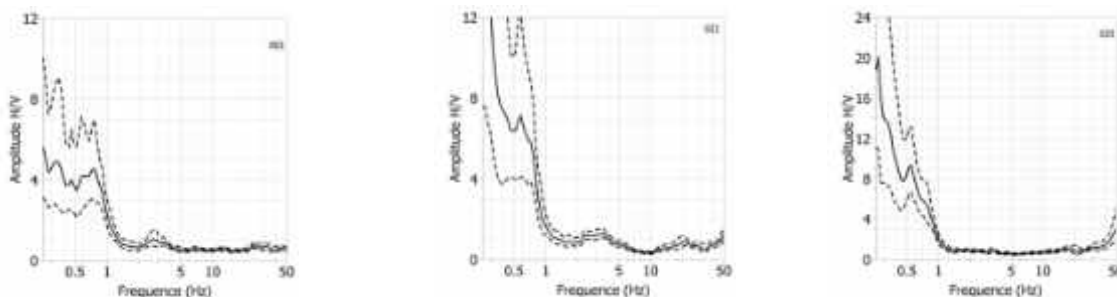


Figure 17: Courbes H/V plate "catégorie I"

IV.6.2.2. Courbes H/V exhibant un pic claire entre 0,5-1 Hz "catégorie II"

Cette catégorie présente 22% de la totalité des courbes, et ont été obtenues essentiellement dans la partie Sud du secteur d'étude (figure 16). Ces courbes montrent des pics à basse fréquence entre 0,5 à 1 Hz (figure 18).

Ces pics traduisent la présence d'une interface profonde (plusieurs dizaines de mètres) qui n'est pas recoupée par les sondages carottés (annexe 3).

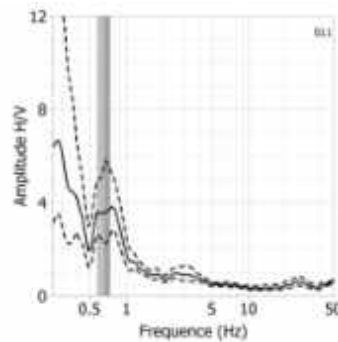


Figure 18: Exemple de courbe H/V exhibant un pic en dessous de 1 Hz "catégorie II".

IV.6.2.3. Courbes H/V exhibant un pic claire entre 2-4 Hz "catégorie III"

Ces courbes présentent 22% de l'ensemble des courbes H/V et montrent des pics de moyennes fréquences entre 2-4 Hz (figure 19). Ces courbes ont été obtenues dans la partie Nord-Est et l'extrémité Sud du site d'étude (figure 16). Ces pics sont très probablement dus à la couche de remblai et représentent l'interface sol allochtone-sol autochtone.

En effet, si on considère une vitesse des ondes S de 150 m/s pour un remblai jeune, et en utilisant la relation $f_0 = V_s/4H$, l'épaisseur H trouvée varie de 10 à 15 mètres, très proches de l'épaisseur du remblai donnée par les sondages carottés (annexe 4).

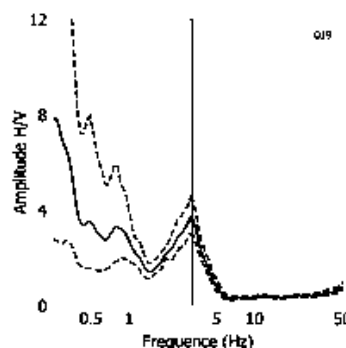


Figure 19: Exemple de courbes H/V exhibant un pic entre 2 et 4 Hz "catégorie III"

IV.6.2.4. Courbes H/V exhibant deux pic entre 0,5-1 Hz et entre 2-4 Hz "catégorie IV"

Ces courbes exhibent deux pics de faible et moyenne fréquence (figure 20), et représentent 50% de l'ensemble, elles ont été obtenues dans presque tout le site d'étude (figure 16). Les deux pics marquent les deux interfaces citées précédemment (annexe 5)

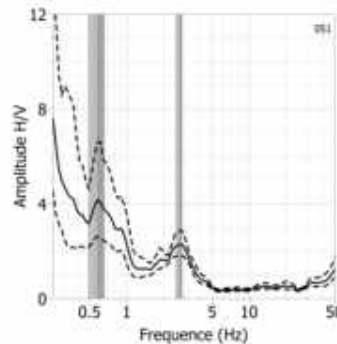


Figure 20: Exemple de courbes H/V exhibant deux pics entre 0,5-1 Hz et entre 2-4 Hz "catégorie IV"

Conclusion

La campagne d'enregistrement H/V- bruit de fond que nous avons réalisé dans la partie Est de la plaine littorale d'Alger, nous a permis d'affirmer que le risque d'effet de site en cas de séisme est important car une bonne partie des courbes exhibent des pics avec une amplitude assez importante, les dommages qui peuvent être engendrés dans cette zone, en cas d'un séisme, seront très importants de point de vue économique, autrement le risque de perte des vies humaines reste minime vue l'absence d'habitations. En revanche, la résonance des ondes S, en cas de séisme, dans la couche de remblai peut augmenter le risque de liquéfaction et d'affaissement. A l'exception de certains endroits où les courbes H/V obtenus sont complètement plates.

La pluparts des courbes ont exhibé des pics à des fréquences allant de 2 à 4Hz, traduisant par l'existence d'une tranche de sol peu compacte, de quelques mètres à quelques dizaines de mètres.

Les données géologiques et géotechniques ont permis d'attribuer ces pics à la couche de remblai. Néanmoins, le risque est beaucoup plus important dans la partie Nord et centre du site d'étude où les courbes H/V obtenus exhibent des pics avec des amplitudes importantes.

Conclusion générale

Conclusion générale

Ce travail consiste à déterminer les fréquences de résonance du sol au niveau de la partie Est de la plaine littoral d'Alger grâce à des enregistrements H/V-bruit de fond, pour cela nous avons d'abord caractérisé les propriétés géologiques et géotechniques du sol.

L'analyse des caractéristiques géologiques, géotechniques, et sismo-tectonique récoltées au cours de notre travail, a montré que le sol de site d'étude est constitué d'une couche de remblai hétérogène d'épaisseur variant entre 8 et 17 m surmontant une formation autochtone essentiellement marneuse.

La méthode H/V-bruit de fond a permis d'identifier les fréquences de résonance du sol et les corréler entre eux et avec la lithologie et la compacité des couches du sous-sol.

D'une manière générale sur l'ensemble des rapports H/V obtenus deux fréquences ont été identifiées. Une première, considérée comme la fréquence fondamentale du site d'étude, se situe entre 0,5 et 1 Hz. Cette fréquence, identifiée sur quasiment toutes les courbes traduit une interface profonde de plusieurs dizaines de mètres que les sondages n'ont pu recouper. Une seconde fréquence, identifiée sur une grande partie des courbes, se situe entre 2 et 4 Hz, et correspondrait à la couche de remblai qui repose sur la formation marneuse.

Avant de clôturer ce travail, quelques recommandations sont indispensables afin de compléter l'étude dans un détail plus précis :

- Des mesures de vitesses des ondes de cisaillement (V_s) dans le sol soit par la méthode H/V en réseaux, ou par des méthodes géophysique directes (downhole, SASW)
- Détermination des fréquences fondamentales des portiques des quais qui doivent être ramené dans le but d'apprécier le dimensionnement.
- Densification des mesures H/V dans le port d'Alger
- respecter les normes et les règles parasismiques exigées par le RPA 99 [Ver. 2003], dont l'objectif est « d'assurer une protection acceptable des vies humaines et des constructions vis-à-vis des effets des actions sismiques par une conception et un dimensionnement appropriés ».

Références Bibliographiques

Références bibliographiques

- AFNOR. (2006).** Exécution de travaux géotechniques spéciaux: Amélioration des massifs de sol par vibration. livre-Association Française de Normalisation-France, 22P.
- AMEZIANE A, BALIT E. (2006).** Etude géologique, géotechnique et analyse des procédés de creusement et de soutènement du tunnel du métro d'Alger (tronçon : Hamma-Hai el Badr). *Mémoire d'ingénieur-USTHB-Alger.* 95 p.
- ANNE-MARIE DUVAL. (2007).** Des effets de site aux scénarios de crise sismique: méthodes et applications. *Thèse de doctorat, Université des Sciences et Technologies de Lille-Paris.* 180P.
- AYME A. (1964).** Carte géologique au 1/50000 Alger. N°21. *Publ. ser. Carte. Géol. Algérie, Alger.*
- BENALLAL K, OURABIA K. (1989).** Monographie géologique et géotechnique de la région d'Alger. *Office des publications universitaires.* 109 p.
- BENIDIR N, FERNANE L. (2010).** Détermination des fréquences de résonance du sol par la méthode H/V-bruit de fond dans la région d'Hussein Dey. *Mémoire d'ingénieur-ESSMAL-Alger.* 31 p.
- BELDJOUDI H. (2011).** Etude de la sismicité du nord Algérien, *thèse de doctorat,-université ABOU BEKER BELKAID-Tlemcen.* 141 p.
- BONNEFOY-CLAUDET S. (2004).** Nature du bruit de fond sismique : implications pour les études des effets de site. *Thèse de doctorat, Université Joseph Fourier-Grenoble I.* 241 p.
- BOUDIAF A. (1996).** Etude sismotectonique de la région d'Alger et de la Kabylie(Algérie). *Thèse d'état-Univ Montpellier II-Franc.,* 225 p.
- BOUKHROUF M. (2012).** Evaluation des fréquences de résonance du sol de la région de Bordj el Behri par la méthode H/V bruit de fond. *Mémoire de Mastère- ENSSMAL- Alger.* 31 p.
- CHARAKDJI F. DJENIDI. (2006).** Etat du littoral de l'Est Algérois Bordj El Kiffan et Bordj El Behri (causes et conséquences de l'érosion). *Mémoire d'Ingénieur-ISSMAL-Alger.* 59 p.
- C.G.S (2003).** Règles parasismiques algériennes. RPA99/VERSION 2003. 120 p.
- CRAAG, USGS et al.** Catalogue de sismicité historique et instrumentale de la région située entre la latitude 35°N et 38°N et la longitude 1°E et 6°E. Période 1365 à 1993.
- DÉVERCHÈRE et al. (2005).** Active thrust faulting offshore Boumerdes, Algeria, and its relations to the 2003 Mw 6.9 earthquake, *Geophys. Res. Lett.* Vol, 32.

Références bibliographiques

- DOMZIG A. (2006).** Déformation active et récente, et structuration tectonosédimentaire de la marge sous-marine algérienne. *Thèse de doctorat, Université de Bretagne Occidentale.* 333 p.
- DUNAND F. (2005).** Pertinence du bruit de fond sismique pour la caractérisation dynamique et l'aide au Diagnostic sismique des structures de génie Civil. *Thèse de doctorat, Université Joseph Fourier-Grenoble I.* 376 p.
- HAMGA M, ET SAYAD R. (2006).** Application de la méthode H/V-bruit de fond au glissement de terrain de Telemly-Alger. *Mémoire d'ingénieur (USTHB)- Alger.* 62 p.
- Hellel M. (2010).** Utilisation du bruit de fond pour l'évaluation de la structure géologique 3D: application à trois sites en contexte de forte sismicité. *Thèse de doctorat-USTHB-Alger.* 168 p.
- IKHLEF A, MOKRANI S. (2006).** Etude géologique, géophysique et géotechnique du Projet « City Center » Pins Maritimes (Alger). *Mémoire d'ingénieur, USTHB-Alger.* 95 P.
- JICA, (2006).** Ministère de l'Habitat et de l'Urbanisme, C.G.S. (2006). *Étude de Microzonage sismique de la Wilaya d'Alger.* 319 p.
- GLANGEAUD, L, AYME, A, CAIRE, A, MATAEUR, M, MARAOUR, P. (1952).** Histoire géologique de la province d'Alger. *Publication XIX^{ème} CGI. Alger 1952. Monographie Région. 1^{ère} série Algérie.*
- GEOMATRIX, (2006).** Analyse probabiliste de l'aléa sismique de la wilaya d'Alger.
- GUEGEN P, CHATELAIN J.L, GUILLIER B, YEPES H, EGRED J. (1998).** Site effect and damage distribution in Pujili (Ecuador) after the 28 March 1996 earthquake. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering.* 17. P 329_334.
- MEGHRAOUI M. (1988).** Géologie des zones sismiques du Nord de l'Algérie: paléosismologie, tectonique active, et synthèse sismo-tectonique. *Thèse de doctorat d'Etat-Université de Paris Sud-France.* 356 p.
- SAAD. (2006).** Aléa et scénario de risque sismique dans la vallée de la Tinée. *Thèse en master Recherche Génie Civil. Ecole Polytech'Lille-France.* P 13-16, P 21-26.
- SEMANE F. (2005).** Caractérisation de la source sismique à partir des données en champ proche. Application aux séismes de Tottori (Japon) et Boumerdes (Algérie). *Thèse de doctorat-Université Joseph Fourier-Grenoble I.* 178 p.

Annexes

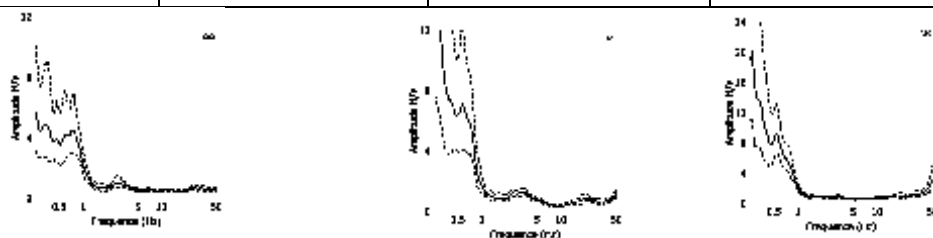
Annexes

Annexe1: Tableau des enregistrements et leurs fréquences de résonances f_0 (Hz).

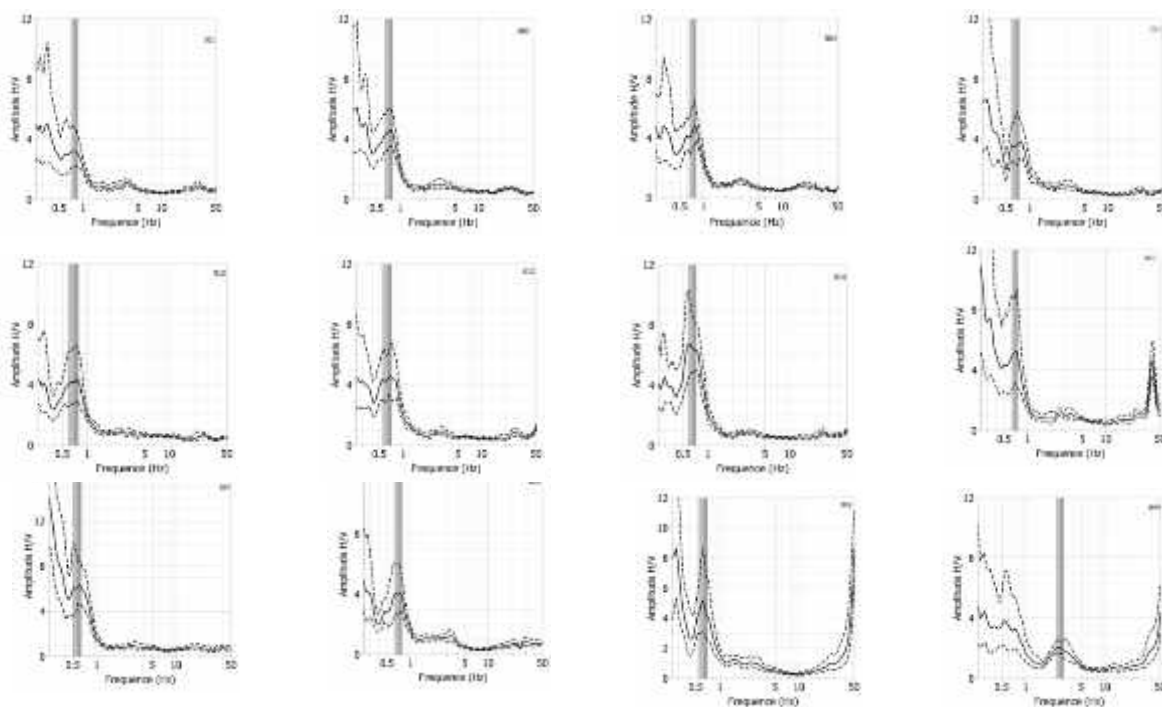
Station	Latitude (m)	Longitude (m)	fichier	f_0 (Hz)
1	505958	4068013	06221406.001	0.8
2	505959	4068074	06221419.002	0.7
3	505958	4068142	06221453.003	-
4	505959	4068215	06221511.004	0.74
5	505958	4068283	06221530.005	0.7
6	505958	4068353	06221548.006	0.8
7	505957	4068422	06221608.007	3.0
8	505963	4068499	06221628.008	3.0
9	505998	4068009	06230815.009	0.7
10	505996	4068050	06230832.010	3.0
11	506000	4068104	06230901.011	0.7
12	505999	4068147	06230918.012	0.6
13	506032	4068145	06230936.013	0.7
14	506032	4068183	06230954.014	0.7
15	506023	4068219	06231015.015	0.7
16	506022	4068286	06231032.016	3.0
17	506026	4068323	06231048.017	3.0
18	506031	4068359	06231105.018	3.0
19	506027	4068471	06231128.019	3.0
20	506027	4068424	06231146.020	3.0
21	506030	4068386	06231203.021	3.0
22	506078	4068009	06231429.022	-
23	506079	4068076	06231448.023	0.7
24	506092	4068143	06231508.024	0.6
25	506082	4068213	06231526.025	-
26	506085	4068285	062311546.026	3.0
27	506084	4068355	062311603.027	0.7
28	506085	4068429	062311621.028	0.7
29	506119	4068034	06240854.029	0.7
30	506120	4068004	06240911.030	0.7
31	506138	4068183	06240928.031	0.7
32	506134	4068250	06240949.032	0.7
33	506139	4068318	06241008.033	0.7
34	506137	4068390	06241025.034	0.7
35	506127	4068460	06241042.035	0.8
36	506082	4068495	06241104.036	0.7
37	506170	4068500	06241126.037	0.7
38	506175	4068435	06241145.038	0.7
39	506172	4068355	06241203.039	0.7
40	506213	4068044	06241343.040	0.7

Annexes

41	506239	4068004	06241404.041	0.7
42	506173	4068005	06241424.042	0.6
43	506173	4068071	06241441.043	0.6
44	506219	4068112	06250916.044	2.6
45	506173	4068145	06250935.045	0.7
46	506173	4068213	06250952.046	0.7
47	506174	4068285	06251010.047	0.7
48	506217	4068454	06251037.048	0.7
49	506245	4068425	06251058.049	0.6
50	506217	4068393	06251115.050	0.8
51	506218	4068315	06251132.051	0.6
52	506245	4068285	06251149.052	0.6
53	506224	4068224	06251206.053	0.7
54	506226	4068175	06251223.054	0.7
55	506251	4068141	06251241.055	0.8

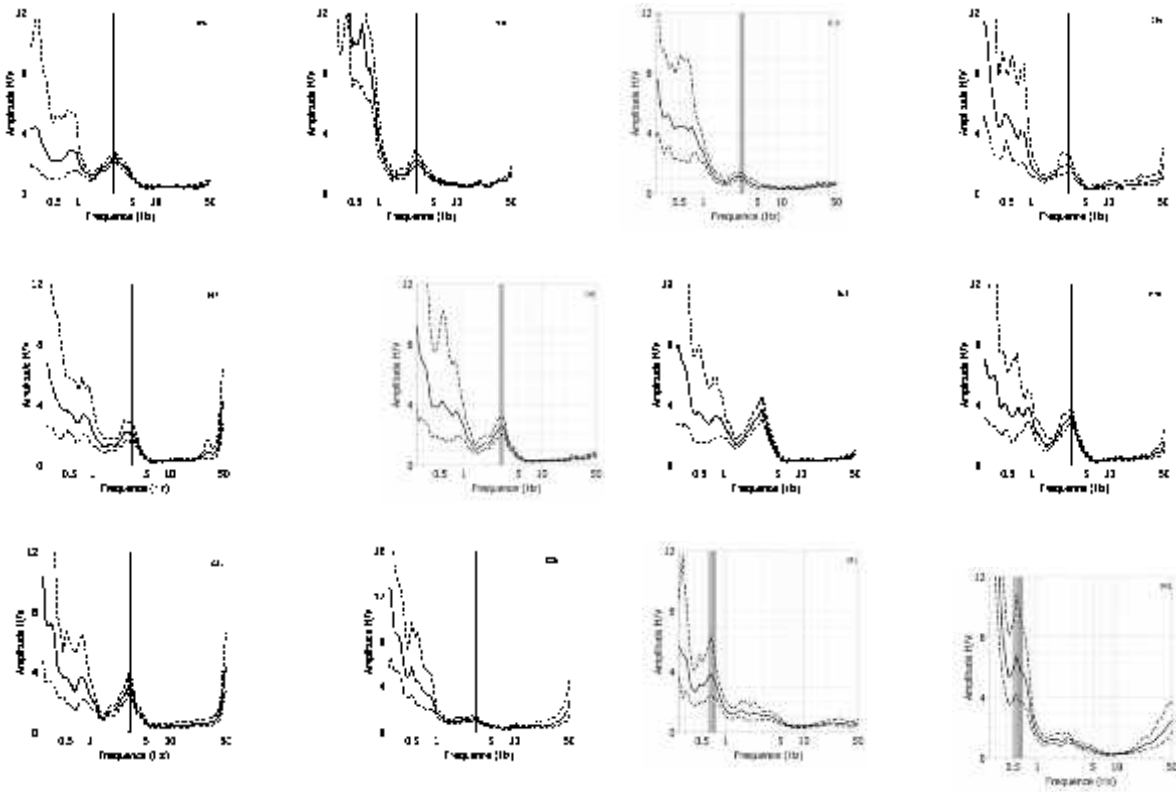


Annexe 2: Courbes H/V plates de la catégorie I

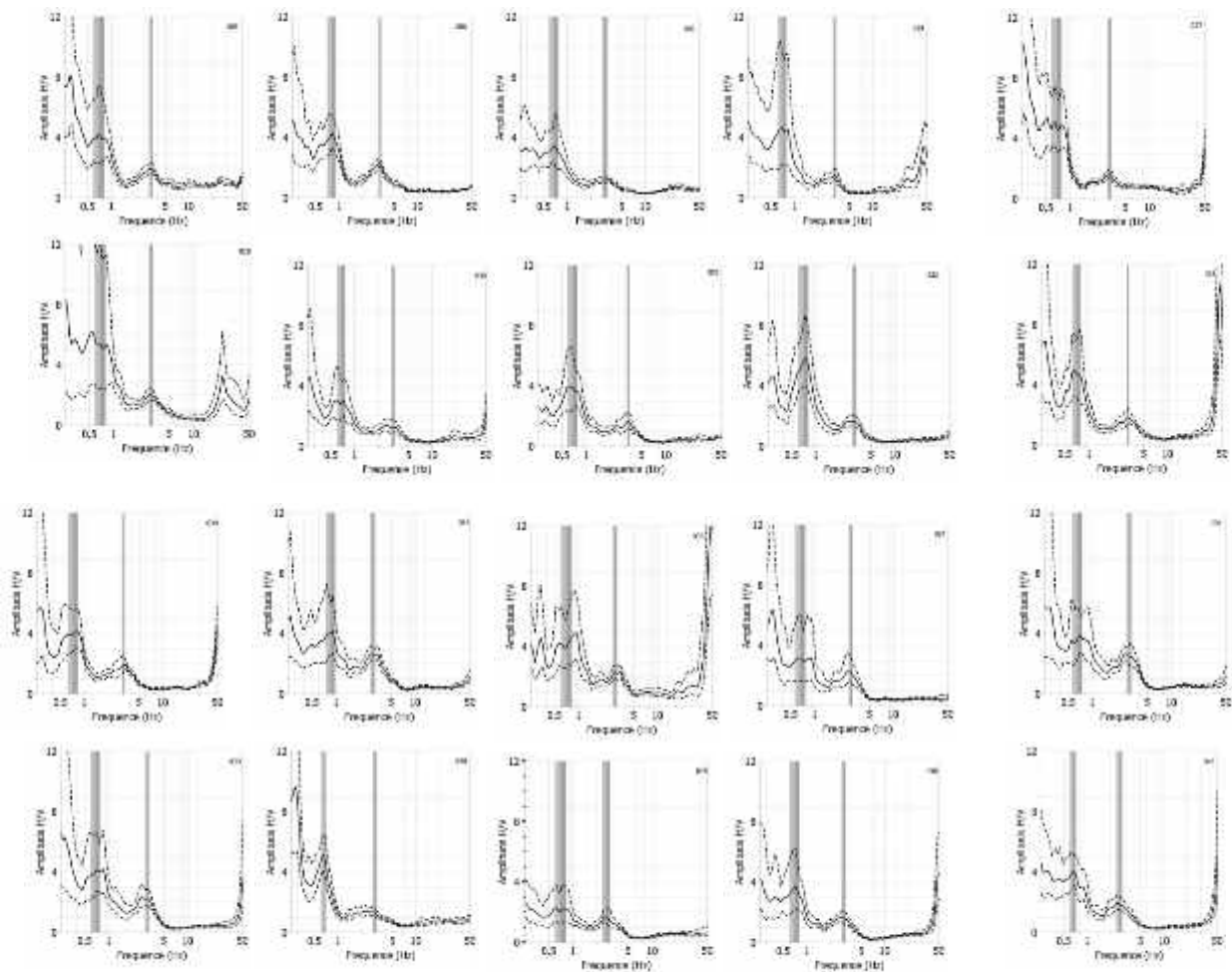


Annexe 3: courbes H/V de la catégorie II ($0,5 \text{ Hz} < f_0 < 1 \text{ Hz}$)

Annexes



Annexe 4: Courbes H/V de la catégorie III ($2 \text{ Hz} < f_0 < 4 \text{ Hz}$)



Annexe 5: Courbes H/V à deux pic de la catégorie IV ($0,5 \text{ Hz} < f_0 < 1 \text{ Hz}$ et $2 \text{ Hz} < f_1 < 4 \text{ Hz}$)

Annexe 6: Logs stratigraphique des sondages carottés

