

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ de Bouira



Faculté des Sciences et des Sciences Appliquées
Département Génie Civil

Mémoire de fin d'études

Présenté par :
MAZARI Cylia
BOUDAA Dyhia

En vue de l'obtention du diplôme de **Master 2** en :

Filière : **Génie Civil**
Option : **Structure**

Thème :

Influence des effets de site local sur les dégâts dans le nord d'Algérie durant le séisme de 21 mai 2003 de Boumerdès.

Devant le jury composé de :

BAKHTI Rachid	Grade	UAMOB	Président
MOHAMADI Sadika	Grade	UAMOB	Promotrice
BOUMAIZA Malika	Grade	UAMOB	Examinatrice

Année Universitaire 2019/2020



© Macartevirtuelle.fr

REMERCIEMENTS

Nous remercions ALLAH, le tout puissant de nous avoir illuminé et ouvert les portes de savoir et nous avoir donné la volanté et le courage d'élaborer ce travail

Bien sûr un grand merci à nos familles et à nos amis qui n'ont pas cessé de nous encourager tout au long de cette période.

Nous remercions Mme MOHAMADI SADJKA (promotrice) pour nous avoir donnés l'occasion d'effectuer ce travail et d'avoir accepter de diriger ce Mémoire.

Nos remerciements vont aussi à tous ce qui nous a aider pour effectuée ce travail.

En fin, nos sincères reconnaissances et grátitudes à tous nos enseignants



© Macartevirtuelle.fr



Dédicace

Je tiens à dédier ce modeste travail :

A celle qui m'a accompagnée dans le chemin de la vie et qui a tant attendu ce moment de bonheur, à ma source d'affection, ma très chère Maman et mon très cher Papa, mon protecteur, que dieu les protège pour nous.

A mes très chères sœurs : LAMIA et MOUNA

A mon cher frère : REDA

A ma meilleure amie : MAROUA

A ma très chère tante : LYNDIA

A ma très chère cousine : AMEL

A toute ma famille maternelle et paternelle

A mon binôme DYHIA qui m'a accompagné dans tout ce processus d'étude, et toute sa famille

A tous mes amis : AMINA ; HANJA ; OUATA ; ZINEB ;

ABDOU

EYLIA



Dédicace

Je tiens à dédier ce modeste travail :

A celle qui m'a accompagnée dans le chemin de la vie et qui a tant attendu ce moment de bonheur, à ma source d'affection, ma très chère Maman à mon très cher Papa, mon protecteur, que dieu les protège pour nous.

A ma très chère sœur : CYLIA

A mes deux chers frères : OKBA et HALIM

A toute ma famille maternelle et paternelle

A mon binôme CYLIA qui m'a accompagné dans tout ce processus d'étude, et toute sa famille

A tous mes amis : MAHDI, YACINE, LYLIA, SALMA, YASMINE, NADIMA et ses jumelles.

RESUME

La détermination des coefficients de motilité du sol est de la plus haute importance pour caractériser ces mouvements, surtout s'ils sont vigoureux. Ces paramètres sont généralement influencés par la géologie du terrain ainsi que sa topographie, qui peuvent amplifier ou réduire l'amplification du mouvement sismique: ce phénomène est appelé «effet de site». Une bonne conception sismique nécessite donc une bonne connaissance du comportement du sol sous l'action d'un tremblement de terre

Ce travail traite principalement de la problématique des effets du site sur les paramètres de déplacement des terres à travers la méthode d'analyse unidimensionnelle de la réponse du sol, et son application à plusieurs sites de Boumerdes et ses environs, gravement endommagés lors du séisme. 21 mai 2003, qui a affecté la région.

ABSTRACT

The determination of the coefficients of the soil's motility is of great significance in order to characterize these movements, especially considering that they are vigorous, these settings are generally influenced by the geology of the soil as well as its topography which can amplify or reduce the amplification of the seismic movement :this phenomenon is called (site effects) . A good seismic design requires a reliable insight on soil behaviors under the action of earthquakes.this task primarily treats the problematic of site effects on the setting of the land's displacement throught the one-dimensional analysis method of the soil's response, and it's application on many sites of Boumerdes and its surrounding areas, severly damaged during the earthquake of May21st,2003 that affected this region.

ملخص

يعد تحديد معاملات حركة التربة ذا أهمية قصوى لوصف خصائص هذه الحركات ، خاصةً إذا كانت قوية. تتأثر هذه المعلمات عمومًا بجيولوجيا التضاريس بالإضافة إلى تضاريسها، والتي يمكن أن تضخم أو تقلل من تضخيم الحركة الزلزالية: تسمى هذه الظاهرة "تأثير الموقع". لذلك يتطلب التصميم الزلزالي الجيد معرفة جيدة بسلوك التربة تحت تأثير الزلزال. يتناول هذا العمل بشكل أساسي مشكلة تأثيرات الموقع على معالم حركة الأرض من خلال طريقة التحليل أحادي البعد لاستجابة التربة ، وتطبيقها على عدة مواقع في بومرداس ومحيطها ، والتي تعرضت لأضرار جسيمة أثناء الزلزال. 21 ماي 2003 ، والتي أثرت على المنطقة.

Sommaire

Remerciements

Dédicaces

Résumé

Abstract

ملخص

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale.....1

CHAPITRE 01

RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LES EFFETS DE SITE

I.	Introduction :	5
II.	Définition :	5
III.	Origine des effets de site :	6
IV.	Les effets liés à la topographie :	6
V.	Les effets liés à la géologie :	6
VI.	Conséquences des effets de site sur les structures :	7
VII.	Les manières de calcul des effets de site :	8
1.	Méthodes expérimentales- Mesures in situ et observations sur site :	8
a)	Réseau en puits :	8
b)	Rapport site sur référence «mouvement sur sol sédimentaire / mouvement sur sol rigide» :	9

c)	Rapport H/V « mouvement horizontal / mouvement vertical » :.....	9
d)	Traitement du signal :.....	10
e)	Observation post-séismique (Sans enregistrements) :.....	11
f)	Utilisation des stations multiples et des séismes :.....	13
2.	Méthodes empiriques :.....	14
a)	Paramètres géotechniques/amplification :.....	14
3.	Méthodes numériques :.....	16
VIII.	Conclusion :.....	17

CHAPITRE 02

ANALYSE UNIDIMENSIONNELLE DE LA REPONSE

I.	Introduction :.....	18
II.	Approche linéaire :.....	19
1.	Evaluation des fonctions de transfert.....	19
a)	Sol homogène, non amorti sur un substratum rigide :.....	20
b)	Sol homogène amorti sur un substratum rigide :	21
c)	Sol homogène amorti sur une roche élastique :	23
d)	Sol Stratifié, amorti sur une roche élastique :.....	24
2.	Approximation linéaire équivalente de la réponse non linéaire :.....	26
3.	Approche non linéaire :.....	28
4.	Comparaison des analyses unidimensionnelles de la réponse du sol :	30
III.	Conclusion :.....	32

CHAPITRE 03

ETUDE DES EFFETS DE SITE DANS LA REGION D'ALGERIE TOCHEE PAR LE SEISME DE BOUMERDES

I. Introduction :.....	33
II. Les enregistrements des mouvements forts durant le choc principal du séisme de Boumerdes du 21 mai 2003 :	34
III. Les dommages survenus aux régions de Boumerdes et lors du séisme de Boumerdes le 21 mai 2003 :.....	36
IV. Analyse unidimensionnelle de la réponse sismique	37
1. Introduction :	37
2. Présentation des sites étudiés :	38
a) Site d'Ain Taya wilaya d'Alger (réalisation d'une construction individuelle).....	38
b) Site de FOES LOTN°07, BOUMERDES (immeubles en R+7)	42
3. Etude unidimensionnelle de la réponse sismique	46
a) Détermination des modules de cisaillement G max et des vitesses de propagation des ondes sismiques Vs.	47
b) Les caractéristiques Du profil du site d'Ain Taya wilaya d'Alger (réalisation d'une construction individuelle) et du site de FOES LOTN°07, BOUMERDES (immeubles en R+7) :.....	50
1. Méthodes et Hypothèses de calcul.....	52
2. Le signale d'entrée :.....	54
a) Site d'Ain Taya wilaya d'Alger (réalisation d'une construction individuelle).....	54
b) Site FOES LOTN°07, BOUMERDES (immeubles en R+7).....	58

CHAPITRE 04

RESULTATS ET DISCUSSION

- I. Interprétation des résultats obtenus par l'analyse unidimensionnelle :61
 - 1. Cas de site de la réalisation d'une construction individuelle à Ain Taya a la wilaya d'Alger :61
 - 2. Cas de site Foes LOTN°07- d'un immeuble en(R+7) a Boumèrdes61

Conclusion générale

LISTE DES FIGURES

Figure 1. 1: Les effets de site	5
Figure 1. 2: Exemple d'effets dus à la géologie.....	7
Figure 1. 3: Enregistrements en surface et en profondeur (-103m) sur une même station.....	8
Figure 1. 4 : Représentation schématique de la condition d'éloignement.....	9
Figure 1. 5 : HVSR de l'événement du 16/09/2002 enregistré sur la station TTRH03	10
Figure 1. 6 : Accélérographes enregistrés à Garner Valley (séisme Hector Mine 1999), à Port Island (séisme de Kobe 1995) et à Kushiro Port (séisme de Kushiro 1993) (Lussou. P, 2001)	11
Figure 1. 7 : Description des dégâts dus au séisme de Northridge dans la vallée de San Fernando d'après (Trifunac. M.D et al, 1998).	12
Figure 1. 8: Présentation de zones amplifiées et non amplifiées	13
Figure 1. 9: Corrélacion entre la vitesse de cisaillement et l'amplification relative.....	15
Figure 2. 1: Le processus de réfraction qui produit la propagation des ondes presque verticales près de la surface du sol.	18
Figure 2. 2: Nomenclature de la réponse du sol: (a) Sol recouvrant le substratum rocheux; Pas de sol recouvrant le substratum rocheux.	19
Figure 2. 3: Dépôt de sol linéaire élastique d'épaisseur H recouvrant un substratum rigide. ..	20
Figure 2. 4: Influence de la fréquence sur la réponse de l'état d'équilibre d'une couche linéaire élastique non amortie.	21
Figure 2. 5 : Influence de la fréquence sur la réponse de l'état d'équilibre d'une couche élastique linéaire amortie.	22
Figure 2. 6: Schéma de déplacement des ondes stationnaires aux modes : fondamental (n=0), deuxième (n = 1) et troisième (n = 2), à des fréquences naturelles d'une couche de sol avec $\xi = 5\%$. Les déplacements sont normalisés par le déplacement maximum à la fréquence fondamentale.	23
Figure 2. 7: L'effet du rapport d'impédance sur le facteur d'amplification dans le cas d'un sol non amorti	24
Figure 2. 8: Nomenclature dans le cas d'une couche de sol recouvrant un demi-espace élastique rocheux	24
Figure 2. 9: Nomenclature d'un stratifié de sol sur un substratum élastique.....	25
Figure 2. 10: Itération vers le module de cisaillement et facteur d'amortissement compatible pour l'analyse linéaire équivalente	27
Figure 2. 11: Deux histoires de la déformation de cisaillement avec des déformations de cisaillement maximales identiques.	27
Figure 2. 12: Itération vers le module de cisaillement et facteur d'amortissement compatible pour l'analyse linéaire équivalente.	28
Figure 2. 13: Nomenclature pour un dépôt de sol homogène d'étendue latérale infinie recouvrant le substratum rocheux; (b) discrétisation du dépôt de sol en N sous-couches.	29
Figure 2. 14: Approximation de la différence avancée de $f'(x)$ est donnée par la pente de ligne passant par la fonction à x et $x = x + \Delta x$	29

Figure 3. 1 : Localisation du séisme du 21 Mai 2003 de Zemmouri- Boumerdes en Algérie (AFPS, 2003).....	33
Figure 3. 2: Carte de zonage sismique du territoire national.	34
Figure 3. 3: Vue globale des silos de Corso endommagés lors du séisme (AFPS 2003)	36
Figure 3. 4: Vue de la batterie des silos endommagée et la batterie mitoyenne	36
Figure 3. 5: Cité des 1200 logements à Boumerdes «Bâtiments avec poteaux, poutres et murs en maçonnerie : comportement aléatoire » (Davidovici 2003).....	37
Figure 3. 6: Comportement aléatoire des bâtiments (victor davidovici)	37
Figure 3. 7: Photo illustrant une vue d'ensemble du site.....	39
Figure 3. 8: Plan de situation du site étudié « site FOES ILOTS N°751 ».....	43
Figure 3. 9: Photos illustrant une vue d'ensemble du site étudié.....	43
Figure 3. 10: Corrélation entre les valeurs de N_{stp} et les ondes de cisaillement pour les limons et des sables par Ptilakis (1999).....	49
Figure 3. 11 : Corrélation entre les valeurs de N_{spt} et les ondes de cisaillement des argiles par Ptilakis (1999).	50
Figure 3. 12: Composante E-W de l'accélération de séisme de Boumerdès enregistrée à la station 1 à Keddara	55
Figure 3. 13: Résultats de la réponse sismique en accélération : l'analyse linéaire et équivalent linéaire et non linéaire	56
Figure 3. 14: Résultats de spectre de réponse de L'accélération spectrale amortie et de L'amplitude de fourrier et de Rapport d'amplitude de fourrier	57
Figure 3. 15: Composante E-W de l'accélération de séisme de Boumerdès enregistrée à la station 1 à Keddara	58
Figure 3. 16: Résultats de la réponse sismique en accélération : l'analyse linéaire et équivalent linéaire et non linéaire	59
Figure 3. 17: Résultats de spectre de réponse de L'accélération spectrale amortie et de L'amplitude de fourrier et de Rapport d'amplitude de fourrier	60

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. 1: Corrélation entre la vitesse de cisaillement et l'amplification relative.....	15
Tableau 3. 1: Accélération maximale enregistrée lors du séisme de Boumerdes du 21 Mai 2003	35
Tableau 3. 2 : coupe de sondage carotté.....	41
Tableau 3. 3 : coupe de sondage carotté.....	45
Tableau 3. 4 : Relations empiriques entre G_{max} et des paramètres de tests in-situ.....	47
Tableau 3. 5: Valeurs des facteurs correcteurs de l'essai SPT.....	48
Tableau 3. 6: Caractéristiques des couches de sol du site d'Ain Taya wilaya d'Alger (réalisation d'une construction individuelle).....	50
Tableau 3. 7 : Caractéristiques des couches de sol du Site de FOES LOTN°07-, BOUMERDES (immeubles en R+7).....	51

Introduction générale

La plupart des dégâts causés par le séisme sont dû au tremblement de la croûte terrestre. Les dégâts peuvent engendrer des vibrations du sol, qui viennent directement du foyer, Les mouvements de terrains peuvent être simultanément créés et causer d'autres types de dégâts matériels. L'un des facteurs destructeurs les plus importants est la durée que prend les secousses et qui dépend de la constitution du sol.

Selon la topographie souterraine du site et selon la nature des sols, les secousses sismiques ainsi les dégâts occasionnés peuvent être diminuées ou amplifiées. Prenant cas de: les bâtiments construits sur des crêtes ou des pitons subissent des mouvements sismiques considérablement amplifiés.

Au Japon, alors que les normes parasismiques y sont les plus strictes au monde, le séisme de Kobé a fait de nombreux dégâts liés à ce même phénomène d'amplification des ondes dans la baie de Kobé. Et l'on se souvient encore de la surprise des japonais pourtant rompus à ces adversités, devant l'ampleur des dégâts.[1]

L'amplitude des secousses aux sommets et sur les crêtes est plus remarquable qu'en terrain plat. L'amplification pour les longueurs d'onde à la largeur du relief est maximale et comparables. L'effet inverse est aussi remarqué : il y a désamplification des oscillations dans les zones à topographie concave.

On a également les bassins sédimentaires amplifient les ondes et provoquent des dégâts au niveau local plus importants qu'avec l'estimation de la distance au foyer (distance focale). Dans le monde, il se trouve différentes techniques pour évaluer les effets de site. L'efficacité de chacune d'elles dépend d'un l'objectif précis, de l'importance et de la taille du projet. Les méthodes expérimentales se basent sur plusieurs types de données disponibles qui donne naissance à deux approches de méthodes expérimentales: la technique d'observations macrosismiques qui a comme principe le fait qu'on fait une analyse détaillée des cartes topographique et géotechnique pour délimiter les zones à hauts risques, veut dire que le site d'étude a déjà subi un séisme destructif et le détail des observations macrosismiques est

connu. Alors que les rapports spectraux de microséismes montrent une certaine corrélation avec l'état géologique du site étudié.[2]

La méthode des rapports spectraux est basée sur les enregistrements de séismes obtenus au site étudié et à un site de référence choisi auparavant a pour but de déterminer la fonction de transfert d'un site en ajoutant le rapport spectral d'enregistrements de séisme entre une station du site et une station de référence à proximité du site sujette à la perturbation due à la structure étudiée (colline ou vallée).[3] La méthode des fonctions récepteurs utilise le rapport spectral entre les composantes horizontales et verticales sur des enregistrements de séismes pour calculer le changement de vitesse dans la croûte et le manteau supérieur. [3]

Cette méthode n'est pas toujours fiable et efficace, elle donne de bons résultats pour une géologie simple mais pas valide pour une géologie plus complexe. Plus fiable et plus facile à mettre en œuvre, la méthode de NAKAMURA (H/V ou HVB), consiste, à calculer le rapport entre les spectres horizontal et vertical du mouvement en surface mesuré à la même station sur site, mais contrairement à elle, cette dernière utilise les spectres provenant de l'enregistrement du bruit de fond. C'est la plus utilisée pour les microséismes avec l'avantage de facilité de mise en œuvre. Il n'en demeure pas moins qu'il reste plusieurs zones la compréhension de ces rapports H/V et dans la fiabilité des résultats telle qu'une méconnaissance de la composition du bruit de fond en terme d'ondes et la relation entre les rapports H/V et ces ondes. [3]

Parmi les méthodes semi-empiriques, on cite la méthode des fonctions de Green qui permettent d'utiliser de petits séismes pour la simulation de séismes majeurs et celle proposée par Hartzell en 1978. [3]

L'avantage de cette méthode est que les fonctions de propagation et de site sont contenues dans l'enregistrement utilisé comme fonction de Green, il n'est pas alors nécessaire de les calculer. Mais on ne peut pas ignorer que dans les méthodes de simulation habituelles, ce sont ces fonctions qui sont le plus difficile à estimer car elles sont dépendantes de plusieurs paramètres (fréquence, distance, géologie ...). Il faut que les enregistrements soient d'une bonne qualité, et donc le rapport signal sur bruit soit suffisant pour pouvoir considérer que la fonction de Green utilisée est représentative du signal sismique. - les effets de site peuvent être estimés par analyse numérique dans le cas où les caractéristiques géotechniques du secteur sont connues. Des méthodes simples sont utilisées seulement pour l'évaluation de l'amplification sur les sols mous mais pour la compréhension des effets topographiques de surface elles ne sont pas vraiment satisfaisantes. [3]

Cette méthode n'est pas toujours fiable et efficace, elle donne de bons résultats pour une géologie simple mais pas valide pour une géologie plus complexe. Plus fiable et plus facile à mettre en œuvre, la méthode de NAKAMURA (H/V ou HVB), consiste, à calculer le rapport entre les spectres horizontal et vertical du mouvement en surface mesuré à la même station sur site, mais contrairement à elle, cette dernière utilise les spectres provenant de l'enregistrement du bruit de fond. C'est la plus utilisée pour les microséismes avec l'avantage de facilité de mise en œuvre. Il n'en demeure pas moins qu'il reste plusieurs zones la compréhension de ces rapports H/V et dans la fiabilité des résultats telle qu'une méconnaissance de la composition du bruit de fond en terme d'ondes et la relation entre les rapports H/V et ces ondes. [3]

Parmi les méthodes semi-empiriques, on cite la méthode des fonctions de Green qui permettent d'utiliser de petits séismes pour la simulation de séismes majeurs et celle proposée par Hartzell en 1978. [3]

L'avantage de cette méthode est que les fonctions de propagation et de site sont contenues dans l'enregistrement utilisé comme fonction de Green, il n'est pas alors nécessaire de les calculer. Mais on ne peut pas ignorer que dans les méthodes de simulation habituelles, ce sont ces fonctions qui sont le plus difficile à estimer car elles sont dépendantes de plusieurs paramètres (fréquence, distance, géologie ...). Il faut que les enregistrements soient d'une bonne qualité, et donc le rapport signal sur bruit soit suffisant pour pouvoir considérer que la fonction de Green utilisée est représentative du signal sismique. - les effets de site peuvent être estimés par analyse numérique dans le cas où les caractéristiques géotechniques du secteur sont connues. Des méthodes simples sont utilisées seulement pour l'évaluation de l'amplification sur les sols mous mais pour la compréhension des effets topographiques de surface elles ne sont pas vraiment satisfaisantes. [3]

Il existe différentes méthodes analytiques simples, qui peuvent être utilisées pour le calcul de la réponse sismique d'un site donné à l'aide d'un simple ordinateur personnel. La plupart des méthodes utilisent la théorie de réflexions multiples des ondes S dans les dépôts à profil horizontal, considérées comme amplification du sol à 1-D. Une colonne de sol est excitée par une onde S, généralement considérée comme onde incidente verticalement. Les paramètres exigés pour une telle analyse sont : la vitesse des ondes de cisaillement, la densité, le coefficient d'amortissement et l'épaisseur de chaque couche, qui peuvent être obtenus à partir des mesures directes in situ, au laboratoire ou bien en corrélation approximatives avec d'autres propriétés connues. [2]

Des méthodes avancées peuvent être utilisées pour modéliser une structure avec une géométrie à 1D, 2D ou même 3D et un comportement mécanique du sol très compliqué (comportement viscoélastique et non linéaire). Les méthodes avancées sont généralement classées en quatre groupes :

- Méthodes analytiques, utilisées que pour un nombre très limité de géométries simples.
- Méthodes de Rai, des techniques à haute fréquence, difficiles à utiliser quand les longueurs d'onde sont comparables à la taille des hétérogénéités.
- Techniques les plus efficaces de ce site c'est celles des éléments de frontière, compose d'un nombre limité d'unités géologiques homogènes. Elles sont basées sur les méthodes des différences et des éléments finis qui sont compatibles pour les structures très complexes et permettent d'établir des études phénoménologiques et paramétriques, mais sont coûteuses du point de vue des investigations géotechniques ou géophysiques essentielles pour déterminer des paramètres d'entrée et lourdes du point de vue calcul. [3]

L'objectif de ce travail vise à évaluer l'influence des effets de site local sur les paramètres de mouvement de sol avec l'utilisation de différentes méthodes numériques.

Ce mémoire est divisé en quatre chapitres:

- Le premier chapitre aborde l'analyse des cas en relation avec les effets de site dans le monde.
- Le deuxième chapitre décrit la théorie de l'analyse unidimensionnelle de la réponse sismique d'un profil de sol en utilisant différents modèles de comportement (linéaire, linéaire-équivalent, non linéaire).
- Le troisième chapitre on a étudié l'amplification de sol de deux site.
- Le quatrième chapitre c'est l'interprétation des résultats et la comparaison des sols.

CHAPITRE 01
RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE
SUR LES EFFETS DE SITE

I. Introduction :

En 1824, Mac Murdo était le premier à constater que les édifices, situés sur un site rocheux sont beaucoup moins affectés par les secousses telluriques que ceux dont les fondations n'atteignent pas la couche inférieure du sol. D'où l'importance de la Nature Géologique sur la réponse de ce dernier lorsqu'il est soumis aux sollicitations produites par un séisme.

Ce phénomène est appelé "effet de site" par les sismologues et les géophysiciens. Après de longues recherches sur les séismes à travers le monde, il a été remarqué qu'il existe d'autres facteurs qui s'ajoutent à la nature géologique tels que la topographie et les effets non linéaires. [4]

II. Définition :

Les effets de sites sont des phénomènes vibratoires spécifiques qui se développent en présence de formations géologiques de caractéristique mécanique différentes ou de perturbations géométriques de la surface libre.

Ce phénomène est très important car il concerne de nombreuses villes ou sites industriels qui se sont construits sur les dépôts sédimentaires récents pour tirer profit de la proximité de cours d'eau ou des étendues lacustres.

L'amplification des ondes sismiques résulte du piégeage de celles-ci qui se produit dans certaines configurations stratigraphiques ou topographiques. [4]

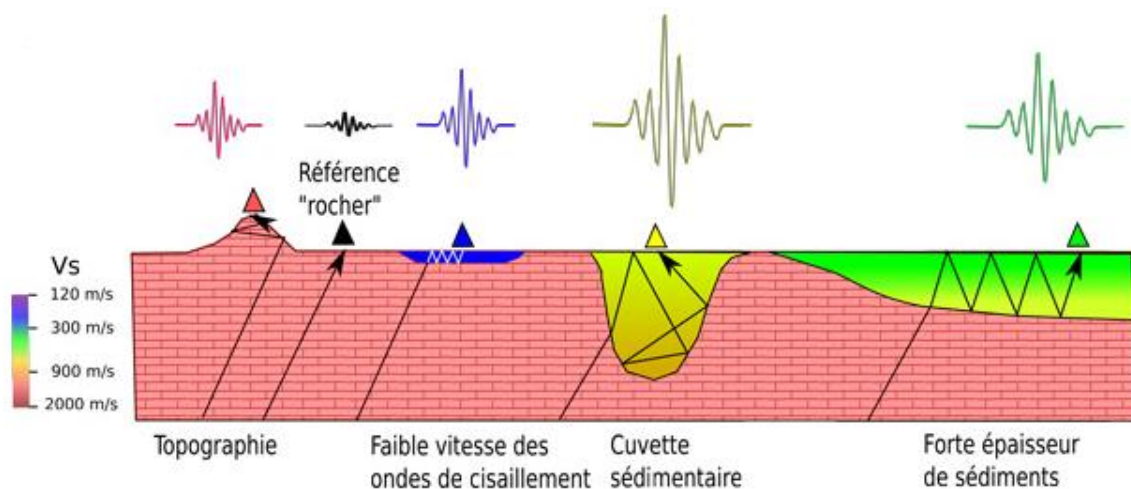


Figure 1. 1: Les effets de site

III. Origine des effets de site :

Lors des grands séismes historiques, l'analyse des intensités a amené les scientifiques à attribuer au sol des effets sur la distribution des dommages. Différents types de sol modulent en effet la sévérité des ondes sismiques et en conséquence la distribution des dommages. C'est ce que l'on appelle les effets de site. En général, on distingue les effets liés à la nature des sols de ceux liés à la topographie. [5]

IV. Les effets liés à la topographie :

Quelques observations réalisées en France et à l'étranger ont montré que le mouvement sismique du sol était perturbé par la présence de topographie marquée. C'est l'hypothèse avancée pour expliquer les dommages importants observés lors du séisme de Lambesc (1906) sur le village de Rognes, situé sur un relief marqué. Quelques exemples montrent ailleurs des destructions plus marquées au sommet des reliefs: par exemple lors du séisme de San Fernando (1971), en 1987 lors du séisme de Whittier Narrows (California, 1987) ou en 1994 au cours du séisme de Northridge (Californie) de 1994. Pour ce dernier cas, Spudich, un sismologue de l'US Geological Survey, observa de fortes amplifications du mouvement sismique généré par une série de répliques entre le haut et le bas d'un mont situé dans Los-Angeles. Ces effets ont également été révélés par des simulations numériques qui montrèrent que l'effet principal de la topographie est une amplification importante du mouvement du sol (30 à 100% selon les auteurs), dans des bandes de fréquences étroites (2-15 Hz). La présence et la localisation de cette amplification sont étroitement liées à la caractéristique de l'onde sismique incidente (longueur d'onde) et à la géométrie de la pente. Ces effets mal connus sont attribués à l'interférence entre le relief et les ondes, ou parfois à l'interférence qui se produit entre les ondes directes venant du séisme, et celles qui se focalisent dans le relief. [5]

V. Les effets liés à la géologie :

Les effets de site de nature géologique ont quant à eux bénéficié d'un grand nombre d'observations systématiques. La plupart des villes exposées aux séismes dans le monde ont présenté des dommages variables en fonction de la nature du sol, d'autant plus qu'elles sont quasi systématiquement fondées sur des remplissages alluvionnaires. Coburn et Spence affirment que, entre des sols raides ou rocheux et des sédiments mous, les intensités macrosismiques peuvent varier d'un niveau de dommage. Pour les constructions les plus

faibles (par exemple en maçonnerie), cela peut correspondre à une augmentation des dommages de l'ordre de 30%, qui se traduit en termes de pertes de vies humaines par une augmentation considérable des victimes. En général, on distingue trois observations caractérisant la présence d'effets de site: l'amplification du mouvement du sol dans les couches molles généralement situées en surface, la résonance fréquentielle au sein de ces couches, et l'allongement du mouvement sismique. [5]

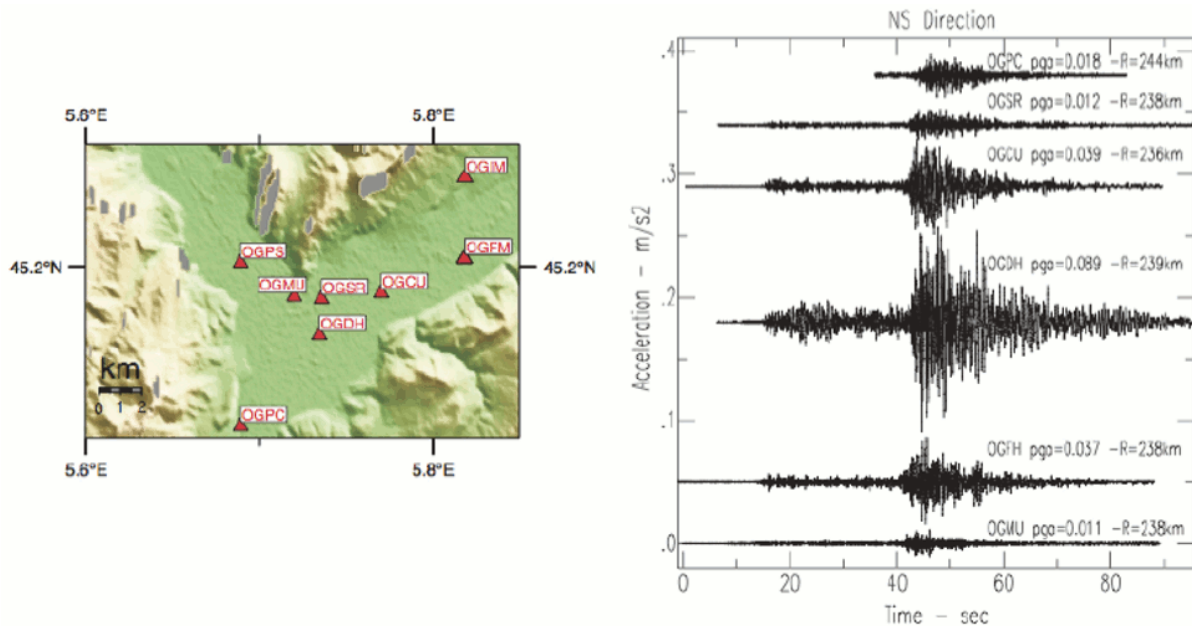


Figure 1. 2: Exemple d'effets dus à la géologie

VI. Conséquences des effets de site sur les structures :

La plupart des régions caractérisées par un effet de site majeur sont souvent constituées d'un remplissage de formations molles sur un horizon géologique plus raide. Par molles on entend des formations dans lesquelles la propagation des ondes de cisaillement β est relativement faible. Selon la classification des sols donnée par les codes de dimensionnement parasismique (EC8), les vitesses β peuvent atteindre pour les sols les plus mous des valeurs inférieures à 180 m/s (type de sol D) avec exceptionnellement des valeurs inférieures à 100 m/s (sol type S1). Inversement, les sols raides ont des vitesses de propagation des ondes S supérieures à 800 m/s (type de sol A). Ils sont souvent associés à des sédiments raides à très raides, ou à des rochers fracturés ou compacts (par exemple, $\beta=2000$ m/s pour un granite sain). Dans le cas d'une formation sédimentaire composée de couches planes superposées les unes sur les autres, l'onde sismique pénètre la couche sédimentaire. Elle est piégée au niveau de l'interface

inférieure entre le sol et le substratum rocheux. Plus le sédiment sera mou par rapport au rocher, plus l'énergie sismique sera concentrée et piégée dans la couche de surface: c'est le principe du tambour ou de la caisse de résonance. Une des conséquences directes est donc de créer un phénomène de résonance de la couche, qui se met à vibrer à sa fréquence naturelle. Cette fréquence, dite fréquence fondamentale, ne dépend que de la vitesse des ondes et de l'épaisseur des sédiments. La conséquence directe est donc une focalisation des plus hautes énergies sismiques dans une bande de fréquence étroite. Plus un sédiment sera mou, plus il amplifiera vers les basses fréquences, c'est-à-dire pour les structures les plus hautes. Inversement, plus les sédiments seront fins, plus les amplifications auront lieu haute fréquence, avec des conséquences pour les bâtiments les moins élevés. [5]

VII. Les manières de calcul des effets de site :

1. Méthodes expérimentales- Mesures in situ et observations sur site :

a) Réseau en puits :

Le plus sûr moyen de mettre en évidence l'effet de site est d'enregistrer le mouvement du sol en profondeur et en surface sur le même site. La comparaison entre les deux signaux permet d'obtenir la « réponse » du sol à une sollicitation donnée (Figure 1.3). En d'autres termes, la comparaison surface / profondeur (par exemple par le rapport spectral entre les deux signaux) permet de caractériser l'effet de site. Mais les données de ce type sont très rares car cette méthode requiert un dispositif expérimental très coûteux. [6]

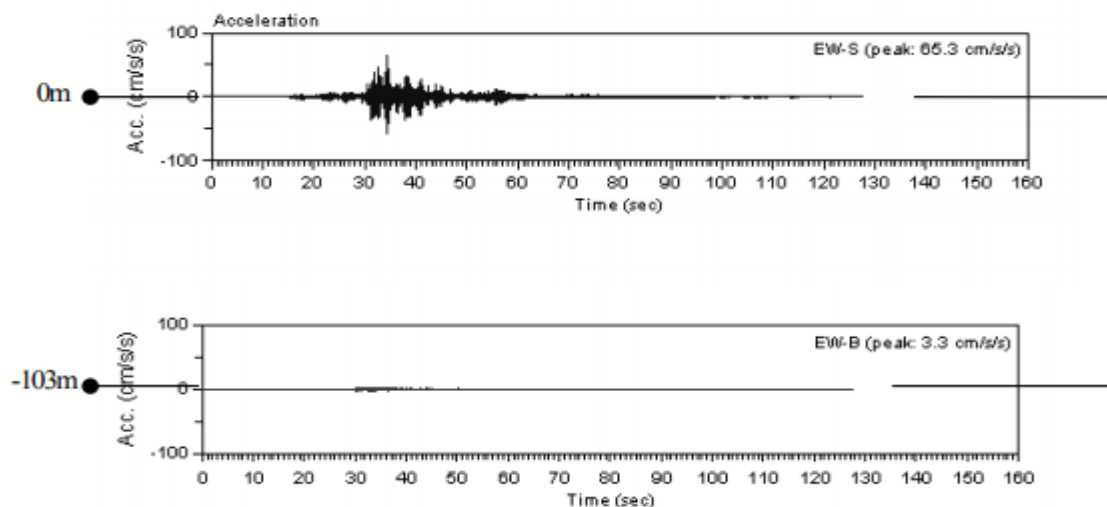


Figure 1. 3: Enregistrements en surface et en profondeur (-103m) sur une même station

b) Rapport site sur référence «mouvement sur sol sédimentaire / mouvement sur sol rigide» :

Cette méthode a été initiée par Borchert (1970) et elle consiste à enregistrer le mouvement sismique en surface sur des sols de natures différentes (rocher et sédiments), à condition que les sites rocheux et sédimentaires ne soient pas trop éloignés (distance site/référence faible devant la distance site/source (Figure 1.4)) pour que le champ généré par la source sismique soit identique, le rapport spectral (spectre de Fourier par exemple) sédiment/rocher peut être utilisé pour évaluer l'effet de site. Cependant, Field et al (1995) ont proposé d'éliminer les enregistrements dont le rapport (signal/bruit) est inférieur à 3. [6]

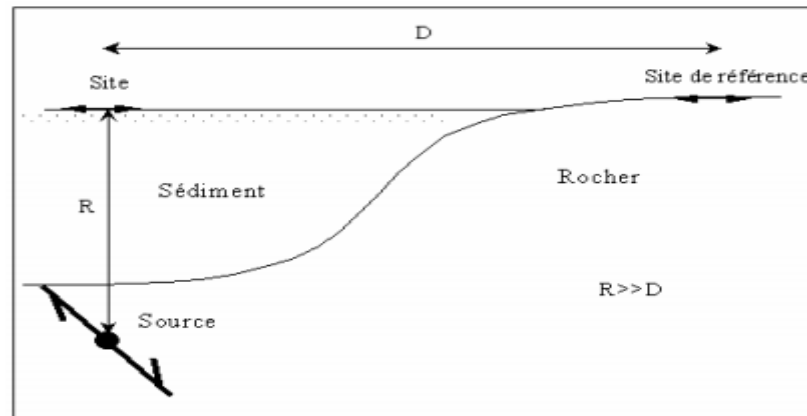


Figure 1. 4 : Représentation schématique de la condition d'éloignement

c) Rapport H/V « mouvement horizontal / mouvement vertical » :

Le rapport spectral de la composante horizontale sur la composante verticale des enregistrements sismiques à la surface du même site peut être employé pour trouver la fréquence de résonance du site. Cette méthode appelée aussi HVSR: Horizontal Vertical Spectral Ratio est évidemment intéressante en raison de sa simplicité et son économie. Cette méthode a été appliquée aux ensembles de données de mouvement faibles et forts par Riepl et al (1998) et Bonilla et al (1997). Les études ont prouvé que la forme de HVSR montre une bonne stabilité expérimentale et que cette méthode peut être employée pour obtenir la fréquence fondamentale de résonance d'un site à l'aide de la formule développée par Theodulidis et al (1996), indiquée sur la (Figure 1.5) où SEW, SNS et SUP sont les spectres de Fourier des accélérogrammes enregistrés à la surface de la terre de la composante est-ouest, nord-sud et Verticale respectivement. [6]

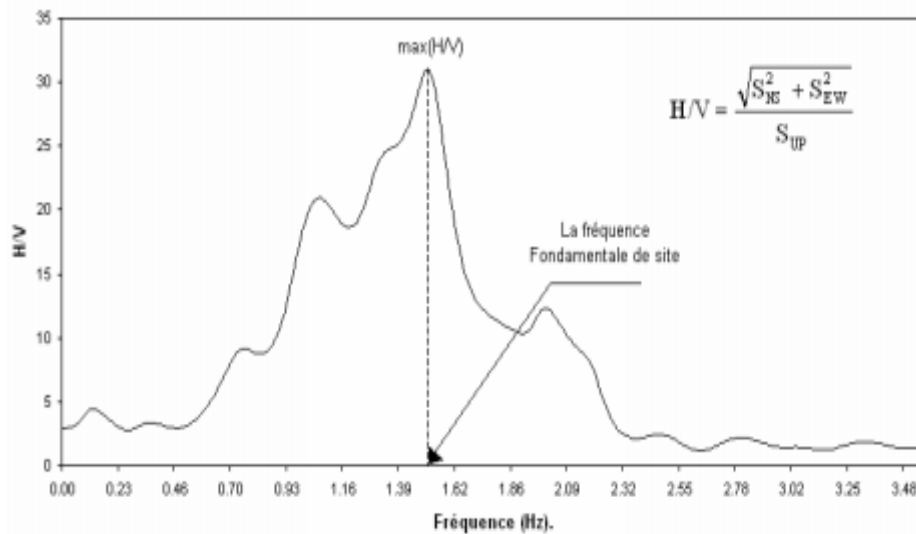


Figure 1. 5 : HVSR de l'événement du 16/09/2002 enregistré sur la station TTRH03

De son côté, Nakamura (1989) a développé la technique de GAN (GROUND AMBIENT NOISE) qui se base sur les enregistrements des bruits ambiants générés par le trafic, l'interaction vent-structure et d'autres activités urbaines. Il a montré que le rapport spectral de la composante horizontale et verticale du bruit ambiant à la surface peut exprimer les effets de site car ce rapport est lié à la fréquence fondamentale du sol sous le site et par conséquent au facteur d'amplification. [6]

d) Traitement du signal :

Lussou (2001) a effectué une étude comparative entre les trois accélérographes présentés sur la (Figure 1.6), le premier (séisme d'Hector Mine Californie, 16 octobre 1999, magnitude 7) à une allure "classique" alors que les deux autres sont fortement perturbés. Le second enregistrement a été obtenu à Port Island (séisme de Kobe, 17 janvier 1995, magnitude 7,2) sur un site où de la liquéfaction s'est produite. Le troisième accélérographe a été enregistré sur le site de Kushiro Port (séisme de Kushiro, 15 janvier 1993, magnitude 7,6). Dans ce cas il a montré que, c'est le phénomène de mobilité cyclique dû aux propriétés de dilatance des sables denses qui est responsable des pics observés à la fin de l'accélérographe. Cet exemple fait apparaître de manière spectaculaire que l'accélérographe enregistré en surface contient de l'information sur les milieux que l'onde a traversés. Pour rendre ces méthodes opérationnelles il est indispensable d'effectuer des tests sur un nombre significatif de

données, or les données bien documentées sont rares. Il faudra donc patienter encore quelques années avant de voir émerger ces méthodes. [6]

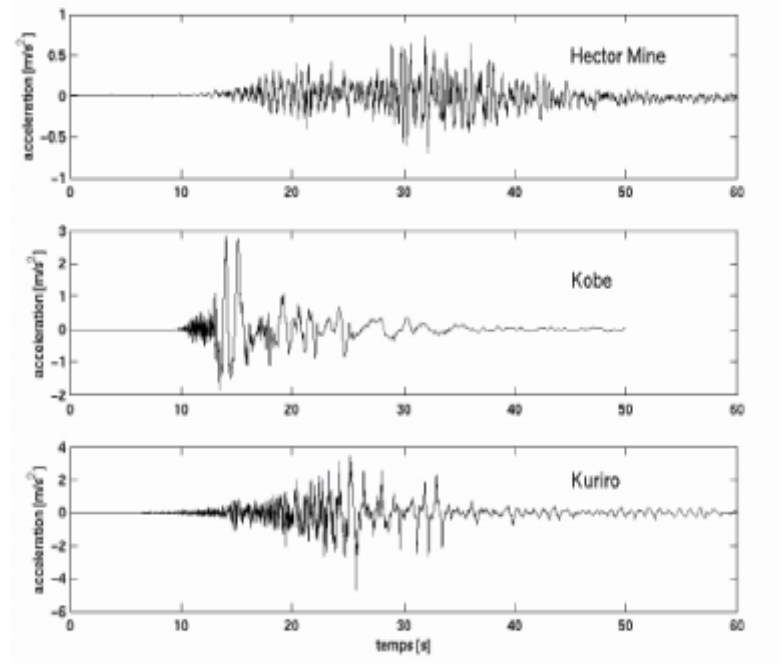


Figure 1. 6 : Accélérographes enregistrés à Garner Valley (séisme Hector Mine 1999), à Port Island (séisme de Kobe 1995) et à Kushiro Port (séisme de Kushiro 1993) (Lussou. P, 2001)

e) Observation post-séismique (Sans enregistrements) :

Trifunac et Todorovska (1998) ont réalisé une étude sur le séisme de Northridge. Les auteurs analysent les cartes des dommages infligés aux pavillons et aux conduites d'eau dans la vallée de San Fernando (Figure 1.7). Sachant que les pavillons sont sensibles aux pics de vitesse et les conduites aux grandes déformations, ils établissent une corrélation entre les dégâts observés et le comportement du sol. Dans les zones où le sol s'est comporté linéairement, l'énergie des ondes sismiques a été transmise en majorité à la surface et a causé de gros dégâts aux pavillons. Dans les zones où la réponse est non linéaire, l'énergie est absorbée par la déformation du sol et les dégâts sont alors reportés sur les conduites enterrées. Cette méthode apporte un éclairage très intéressant sur l'effet de site linéaire et non linéaire mais il paraît difficile de quantifier le potentiel de non-linéarité d'un site donné avec une telle méthode. [6]

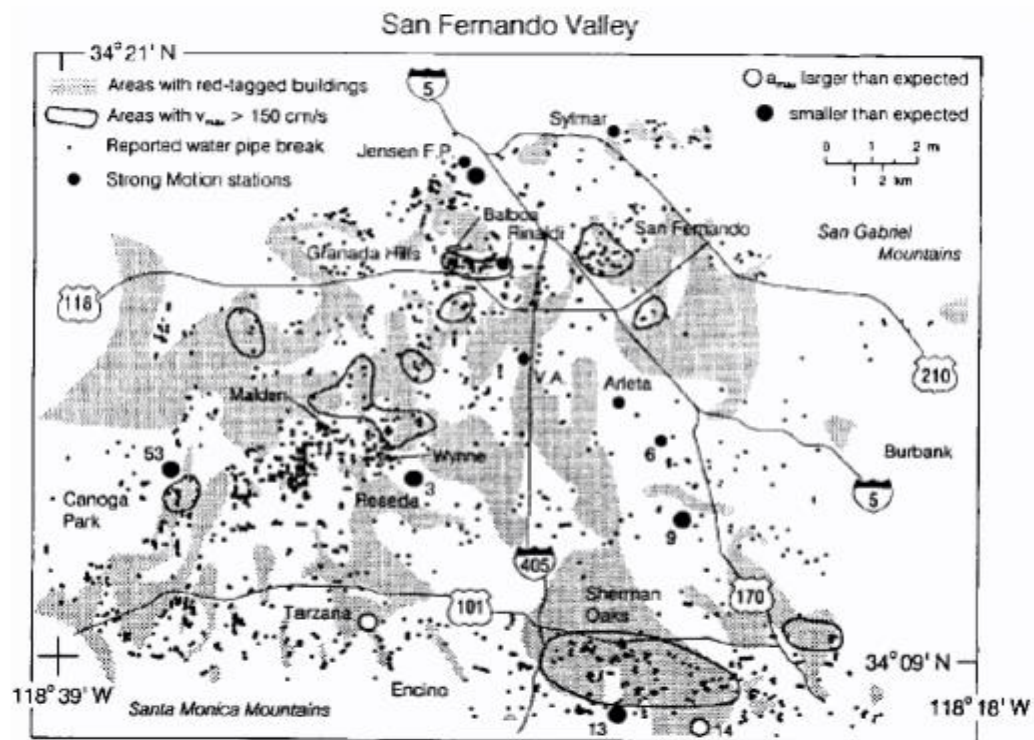


Figure 1. 7 : Description des dégâts dus au séisme de Northridge dans la vallée de San Fernando d'après (Trifunac. M.D et al, 1998).

Dans ce contexte, Marzorati et al (2003) ont évalué les effets locaux de site en comparant les dommages réels (causés par le séisme de Ombrie Marche du 4 septembre 1997) détectés par des photos aériennes prises peu de jours après les événements principaux sur les bâtiments des 60 villages italiens gravement touchés et les dommages théoriques estimés par les courbes empiriques, obtenues à partir de l'analyse des séismes italiens récents, Cette approche peut être utilisé pour calibrer les résultats de l'étude du micro-zonage et pour s'approprier quand une évaluation immédiate des dommages est exigée, pour estimer les zones d'amplification. Néanmoins, la quantification du potentiel des effets locaux d'un site reste aussi difficile avec cette méthode. [6]

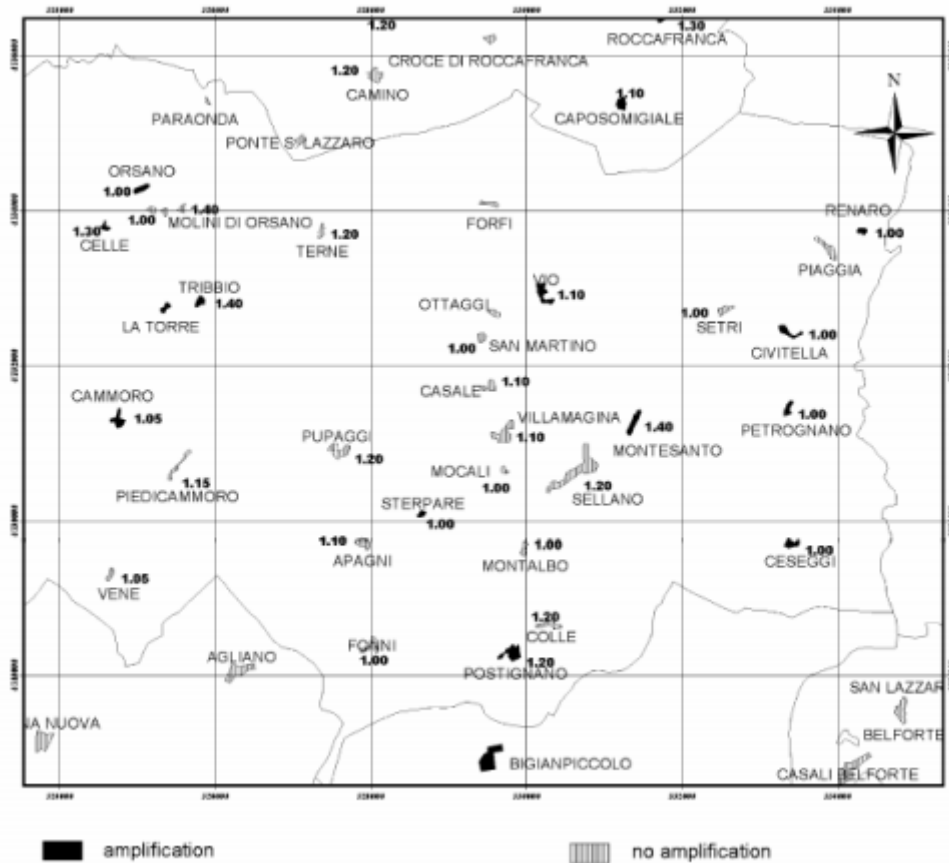


Figure 1. 8: Présentation de zones amplifiées et non amplifiées

f) Utilisation des stations multiples et des séismes :

Une approche très utilisée par des sismologues pour caractériser l'amplification de site consiste à appliquer les techniques d'inversion généralisées à l'enregistrement principal et aux répliques (secousse secondaire) à partir d'un grand nombre de stations (Andrews. D.J, 1986) et (Hartzell. SH, 1992). L'hypothèse principale derrière la méthodologie est qu'un mouvement enregistré $U_{i,j}(f)$ peut être rapproché dans le domaine fréquentiel comme un produit de trois filtres représentant le spectre de source $S_i(f)$, de propagation d'ondes $P_{i,j}(f)$ et d'amplification de site $R_j(f)$. Ainsi, le spectre de Fourier, $U_{i,j}(f)$ de l'enregistrement à la station j du séisme i est (Bard. P.-Y, et al, 2000)

$$U_{i,j}(f) = S_i(f) \times R_j(f) \times P_{i,j}(f) \tag{f.1}$$

Notant, que $R_j(f)$ est assumé indépendant du séisme (l'amplification de site est linéaire). La combinaison de l'inversion généralisée nécessite la détermination de $S_i(f)$ et $R_j(f)$ d'un ensemble d'équations écrites pour tous les séismes et les stations (équation (f.1)). A cet égard, les effets de propagations d'ondes sont déterminés en premier lieu et sont supposés

indépendants du site : distance site référence et faible devant la distance site source, $P_{i,j}(f)$ est le même pour tous les groupes d'enregistrements, un groupe est constitué des enregistrements du séisme i sur des sols de type j , (Şafak. E, 2001) :

$$P_{i,j}(f) = \frac{1}{r_{i,j}} \times \exp(-\pi * f * \tau_{i,j}) / (q * b) \quad (f.2)$$

Avec $r_{i,j}$ la distance de la station, i, j τ est le temps de travail, Q est le temps de passage d'onde, β est la vitesse de cisaillement et Q est le facteur de qualité de l'onde de transmission (Lam. N, et al 2000) :

$$Q = Q_0 \left(\frac{f^n}{f_0} \right) \quad (f.3)$$

$f_0 = 1\text{Hz}$, Q_0 et n sont des facteurs dépendants du modèle. De son côté Chopra (Chopra. A.K, 1995) a donné une autre définition au facteur Q :

$$Q = \exp(-2\pi * f * \xi * t) \quad (f.4)$$

ξ : amortissement critique.

t : est le temps mesuré à partir du commencement d'une oscillation normale atténuée.

Après que $P_{i,j}(f)$ est déterminé, Equation (f.1) peut être écrite:

$$\ln(U_{i,j}(f)) - \ln(P_{i,j}(f)) = \ln(S_i(t)) + \ln(R_j(f)) \quad (f.5)$$

Dans la station de référence $R(f)$ est supposé égale à 1, $S_i(f)$ et $R_j(f)$ sont déterminés par la technique des moindres carrés minimisés à chaque fréquence. L'amplification de site $R(f)$ obtenu par cette méthode donne une moyenne et une description approximative de l'amplification à ce site, mais en générale ne montre pas la fréquence de résonance et les valeurs exactes de l'amplification. [6]

2. Méthodes empiriques :

a) Paramètres géotechniques/amplification :

Particulièrement dans de grandes villes où le développement des projets est important, les détails des données géotechniques sont rassemblés en outre de l'information simple sur la géologie extérieure. Ceci a motivé des chercheurs, qui ont tenté de dériver quelques règles afin de relier les paramètres géotechniques avec l'amplification locale. Le paramètre le plus important est la vitesse des ondes de cisaillement. Plusieurs auteurs ont proposé des relations entre la vitesse de cisaillements moyens (dont certain ont ajouté la profondeur du

profil sédimentaire) et l'amplification relative. La comparaison entre certaines relations est mentionnée sur la (Figure 1.9). [6]

Chercheurs	Equations
Midorikawa S.1987	$A=68 \times V_1^{-0.6}$ ($V_1 < 1100\text{m/s}$) $A=1$ ($V_1 > 1100\text{m/s}$)
(Joyner et Fumal 1984)	$A=23 \times V_2^{-0.45}$
(Borcherdt R,D et al 1991)	AHSA1=700/ V_1 (pour les mouvements faibles) AHSA1=600/ V_1 (pour les mouvements fortes)
Field E.H 2001	$AHSA2=(V_0/1000)^{-0.704} \times \exp^{(0.12 \times B_depth)}$

Tableau 1. 1: Corrélation entre la vitesse de cisaillement et l'amplification relative.

A: facteur d'amplification relative à la vitesse maximale du sol (PGV).

AHSA1 : amplification spectrale horizontale moyenne entre la période 0.4 et 2.0 seconde.

AHSA2 : amplification spectrale horizontale moyenne à la période 1.0 seconde.

V0 : vitesse de cisaillement moyenne sur 30m de profondeur (Km/s)

V1 : vitesse de cisaillement moyenne sur 30m de profondeur (m/s)

V2 : vitesse de cisaillement moyenne sur la gamme de la profondeur qui correspond à un quart de la longueur d'onde à la période 1.0 seconde (m/s).

B_depth : profondeur à une vitesse de cisaillement de 2.5Km/s

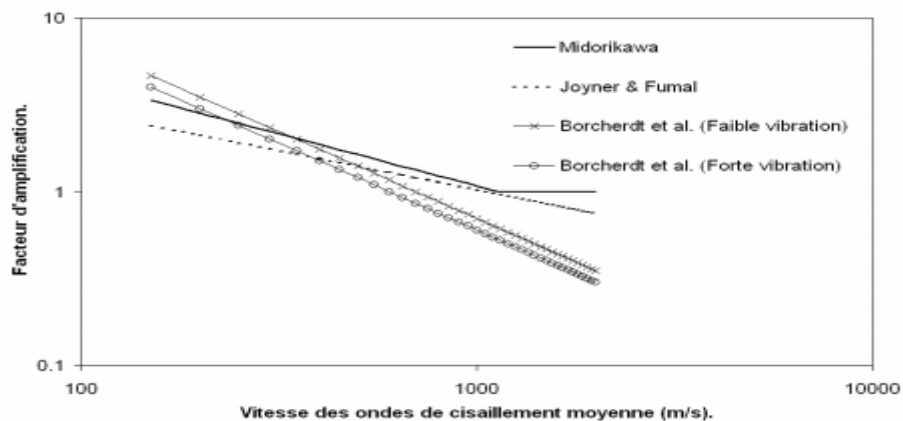


Figure 1. 9: Corrélation entre la vitesse de cisaillement et l'amplification relative.

3. Méthodes numériques :

La procédure d'estimation de l'effet de site par une approche numérique se décompose en trois étapes (Laouami, 1998) :

1. La première est la collecte de données sur le comportement mécanique des terrains formant le site.
2. La deuxième est la modélisation théorique de la structure étudiée.
3. La troisième consiste à transcrire numériquement le modèle et à résoudre le problème de la propagation d'onde dans le site

Seule les deux dernières étapes font strictement partie du champ numérique. Cependant, il faut toujours garder à l'esprit que les données initiales jouent un rôle essentiel et que même si l'approche numérique est correcte, les résultats peuvent être totalement fausses par une erreur ou des imprécisions sur les paramètres mécaniques ou géométriques. En outre, la méthode qui se base sur des calculs approchés fournit une valeur raisonnable de la fréquence propre sous l'incidence d'une onde SH verticale (avec une sous estimation de l'ordre de 10%).

L'approche numérique qui est maintenant souvent utilisée en ingénierie, consiste à calculer la réponse d'une colonne de sol soumise à une onde SH d'incidence verticale. Cette méthode permet de prendre en compte des effets non linéaires.

Généralement ceux-ci sont introduits par l'approche « linéaire équivalente » initié par Schnabel et al (1972) et qu'elle va être traitée en détail, ainsi que les approches élastique et viscoélastique dans le prochain chapitre. [6]

VIII. Conclusion :

Le phénomène d'amplification se caractérise par son importance vu les effets dévastateurs peuvent causer la destruction des édifices urbains et industriels et en pertes humaines et dommages matériels d'où la nécessité de comprendre le mécanisme à travers des approches à fois pratique et théorique .ce phénomène dépend de la géologie et de la topographie des sites à risques. Il est donc recommandé d'éviter d'y ériger des édifices stratégique telles que les centrales nucléaires....etc. [4]

CHAPITRE 02

ANALYSE UNIDIMENSIONNELLE

DE LA REPONSE

I. Introduction :

Les analyses unidimensionnelles de la réponse du sol sont basées sur l'hypothèse que toutes les frontières sont horizontales et que la réponse d'un dépôt de sol est provoquée principalement par les ondes S-H. Pour l'analyse unidimensionnelle de la réponse du sol, les surfaces du sol et du substratum rocheux sont supposées infinies dans le sens horizontal. Les procédures fondées sur cette hypothèse ont été démontrées pour prédire la réponse du sol qui est en accord raisonnable avec la réponse mesurée dans de nombreux cas.

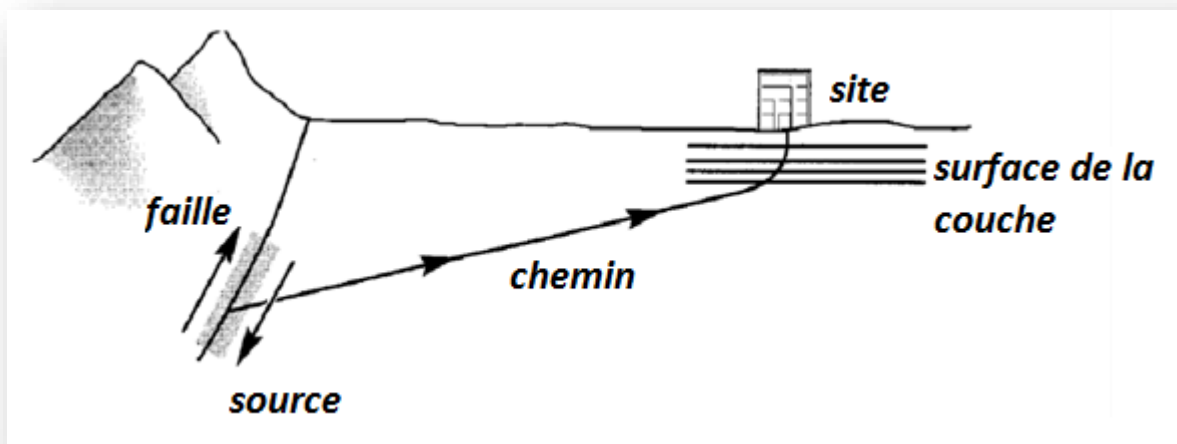


Figure 2. 1: Le processus de réfraction qui produit la propagation des ondes presque verticales près de la surface du sol.

Pour définir l'un des modèles de réponse du sol, il est nécessaire de définir plusieurs termes qui sont couramment utilisés pour décrire les mouvements de sol. Le mouvement à la surface d'un dépôt de sol est un mouvement en champ libre. Le mouvement à la base du dépôt de sol (également au sommet du substratum rocheux) est appelé le mouvement du substratum rocheux. Le mouvement à un endroit où la roche est exposée à la surface de sol est appelé le mouvement de la roche affleurant. Si le dépôt de sol n'était pas présent le mouvement au sommet du substratum rocheux serait le mouvement du substratum rocheux affleurant.

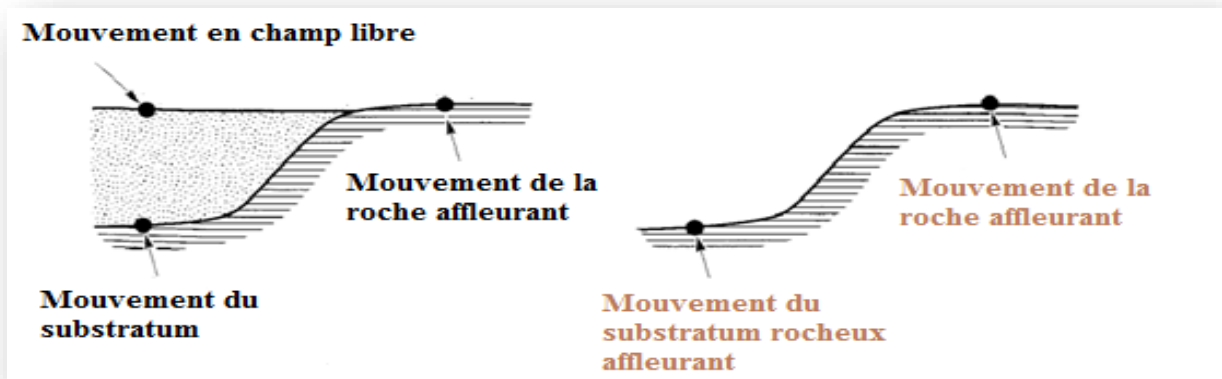


Figure 2. 2: Nomenclature de la réponse du sol: (a) Sol recouvrant le substratum rocheux; Pas de sol recouvrant le substratum rocheux.

II. Approche linéaire :

Approche linéaire une classe d'uns laps de technique d'analyse du fait que sol est basée sur l'utilisation des fonctions de transfert qui peuvent être utilisées pour exprimer les différents paramètres a un paramètre de mouvement d'entrée. Cette approche est limitée a l'analyse des systèmes linéaires et se repose sur le principe de superposition comportement non linéaire . L'histoire du mouvement du substratum rocheux (mouvement d'entrée) connue sera représentée par une série de Fourier, généralement à l'aide de la FFT (Fast Fourier Transform). Chaque terme de la série de Fourier du mouvement (mouvement d'entrée) du substratum rocheux est ensuite multiplié par une fonction de transfert pour produire la série de Fourier du mouvement du sol à la surface. L'approche, elle-même, est assez simple , L'histoire du mouvement du substratum rocheux (mouvement d'entrée) connue sera représentée par une série de Fourier ; Chaque terme de la série de Fourier du mouvement (mouvement d'entrée) du substratum rocheux est ensuite multiplié par une fonction de transfert pour produire la série de Fourier du mouvement du sol à la surface. Le mouvement à la surface du sol peut s'exprimer dans le domaine temporel en utilisant la FFT (Fast Fourier Transform) inverse. Ainsi, la fonction de transfert détermine la façon dont le mouvement du substratum rocheux (mouvement d'entrée) est amplifié, ou des amplifié, à chaque fréquence, par le dépôt de sol. [7]

1. Evaluation des fonctions de transfert :

Dans la section qui suit, les fonctions de transfert sont établies d'une série successive de conditions géotechniques plus compliquées. Bien que la plus simple de ces fonctions soit rarement applicable à des problèmes réels, elles illustrent quelques effets importants des dépôts de sol sur les caractéristiques du mouvement du sol sans complexité mathématique excessive

a) Sol homogène, non amorti sur un substratum rigide :

Considérons d'abord une couche homogène, isotrope, et un sol linéaire élastique recouvrant le substratum rocheux rigide (figure 2.3).

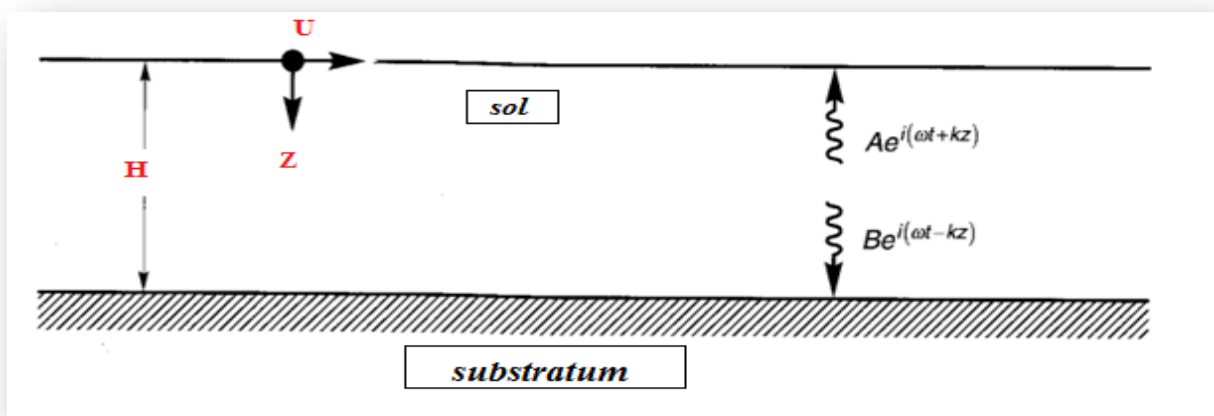


Figure 2. 3: Dépôt de sol linéaire élastique d'épaisseur H recouvrant un substratum rigide. Le mouvement harmonique horizontal de la roche va produire des ondes de cisaillement se propageant verticalement dans le sol sus-jacent. Le déplacement horizontal résultant peut être exprimé par l'équation suivante :

$$u(z,t) = Ae^{i(\omega t + kz)} + Be^{i(\omega t - kz)} \quad (\text{a.1})$$

Où : ω est la fréquence de l'excitation sismique,

k le nombre d'onde ($k = \omega / v_s$)

Et **A** et **B** les amplitudes des ondes se propageant dans les directions $-z$ (vers le haut) et $+z$ (vers le bas) respectivement. **A** la surface libre ($z = 0$), la contrainte de cisaillement, et par conséquent la déformation de cisaillement doivent disparaître.

Et on a la fonction d'amplification qui représente par l'équation suivante :

$$F_1(\omega) = \sqrt{\{Re[F_1(\omega)]\}^2 + \{Im[F_1(\omega)]\}^2} = \frac{1}{\cos(\omega H)/Vs} \quad (a.2)$$

Quand $(\omega H / v_s)$ se rapproche de $\pi / 2 + n \pi$, le dénominateur de l'équation (1.2) tend vers zéro, ce qui implique que l'amplification infinie, ou la résonance, auront lieu (Figure 2.4).

Même ce simple modèle illustre le fait que la réponse d'un dépôt de sol est très dépendante de la fréquence du mouvement de base, et que la fréquence à laquelle une forte amplification se produit dépend de la géométrie (épaisseur) et des propriétés des matériaux (vitesse des ondes de cisaillement) de la couche de sol.

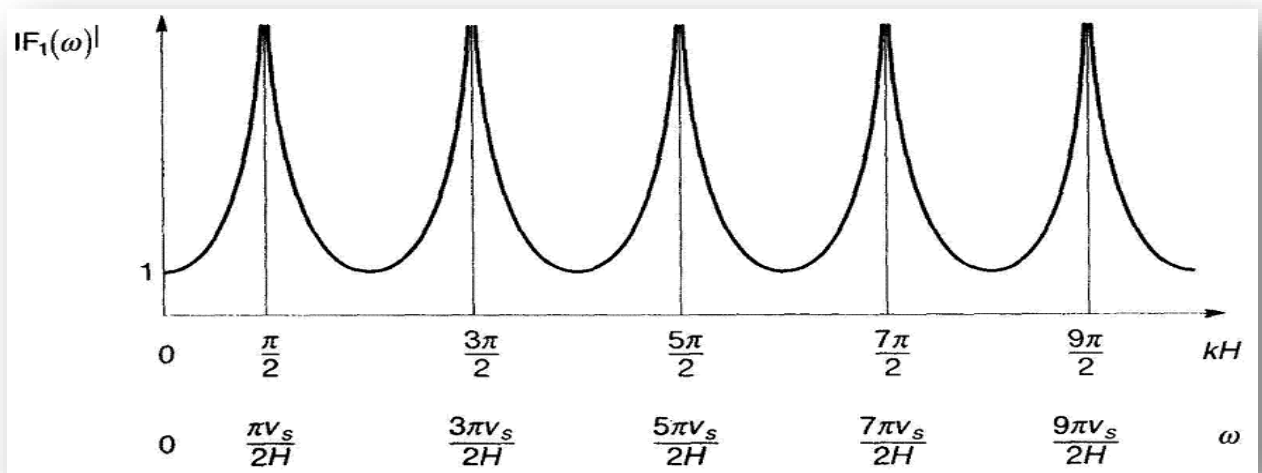


Figure 2. 4: Influence de la fréquence sur la réponse de l'état d'équilibre d'une couche linéaire élastique non amortie.

b) Sol homogène amorti sur un substratum rigide :

Le type d'amplification illimitée prévue par l'analyse précédente ne peut pas se produire Physiquement. L'analyse précédente ne suppose aucune dissipation d'énergie, ou amortissement dans le sol. Comme l'amortissement est présent dans tous $u(z, t) = Ae^{i(\omega t + kz)} + Be^{i(\omega t - kz)}$ s les matériaux, des résultats plus réalistes peuvent être obtenus en répétant l'analyse avec l'amortissement. En supposant que le sol a les caractéristiques de cisaillement d'un solide de Kelvin-Voigt, par l'équation suivante :

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = G \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + \eta \frac{\partial^3 u}{\partial z^2 \partial t} \quad (b.1)$$

Et on a la solution de l'équation comme suit :

$$u(z, t) = Ae^{i(\omega t + k^*z)} + Be^{i(\omega t - k^*z)} \quad (b.2)$$

Dans le cas où k^* est un nombre complexe d'onde d'une partie réelle k_1 et une partie imaginaire k_2 . En répétant les manipulations algébriques précédentes avec le nombre complexe d'onde, la fonction de transfert pour le cas d'un sol amorti sur un substratum rigide peut être exprimée :

$$F_2(\omega) = \frac{1}{\cos k^*H} + \frac{1}{\cos(\omega H)/Vs^*} \quad (b.3)$$

Les fréquences qui correspondent au maximum local sont les fréquences naturelles du dépôt de sol. La variation du facteur d'amplification en fonction de la fréquence est indiquée pour les différents niveaux de l'amortissement (figure 1.5). Ce facteur d'amplification est aussi égal au rapport entre l'amplitude de mouvement de surface libre et l'amplitude du substratum rocheux (ou substratum affleurement). La comparaison des figures 1.4 et 1.5 montre que l'amortissement affecte la réponse à de hautes fréquences plus qu'à de basses fréquences ;

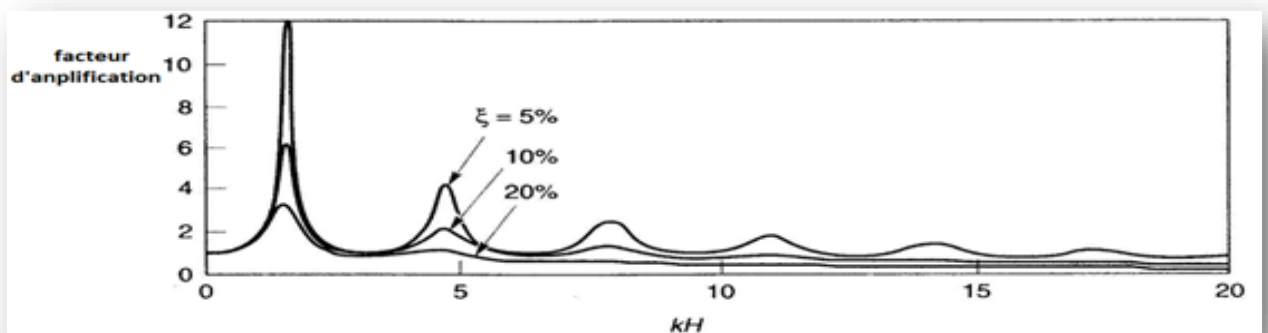


Figure 2. 5 : Influence de la fréquence sur la réponse de l'état d'équilibre d'une couche élastique linéaire amortie.

À chaque fréquence naturelle, une onde stationnaire se développe dans le sol. Les formes des déformées normalisées, ou les formes des modes, pour les trois premières fréquences naturelles sont montrées sur (figure 2.6). On note que les déplacements du sol sont en phase à toutes les profondeurs dans le mode fondamental, mais pas dans les modes supérieurs. A des fréquences supérieures à la fréquence fondamentale, une partie du dépôt de sol se déplace dans une direction tandis qu'une autre partie se déplace dans la direction opposée. Ce phénomène doit être pris en compte dans l'évaluation des forces d'inertie dans les masses du sol requises pour les analyses de la stabilité sismique.

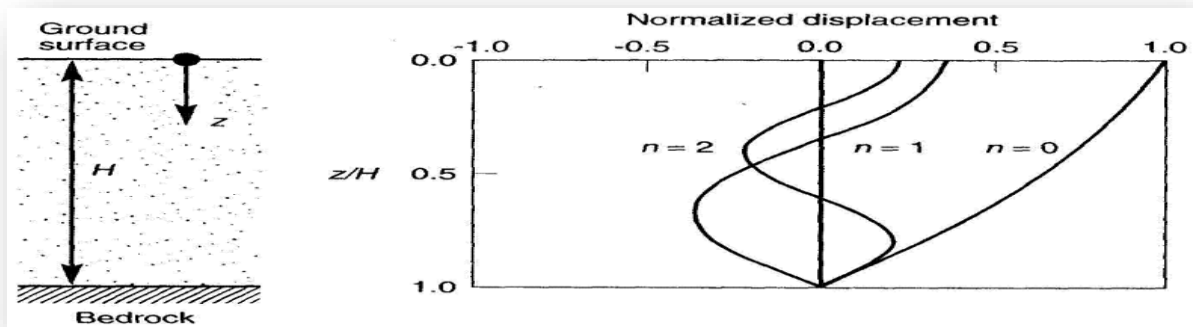


Figure 2. 6: Schéma de déplacement des ondes stationnaires aux modes : fondamental ($n=0$), deuxième ($n = 1$) et troisième ($n = 2$), à des fréquences naturelles d'une couche de sol avec $\xi = 5\%$. Les déplacements sont normalisés par le déplacement maximum à la fréquence fondamentale.

c) Sol homogène amorti sur une roche élastique :

Les deux sections précédentes développent des expressions pour les facteurs d'amplification pour les sols recouvrant un substratum rigide.

Si le substratum est rigide son mouvement ne sera pas affecté par des mouvements qu'il y ait présence de sol dessus ou non. N'importe quelle onde se propageant dans le sol vers le bas sera entièrement réfléchié vers la surface libre par la couche rigide. Cependant, si le substratum est élastique lorsque les ondes de contraintes se propageant vers le bas atteignent la limite du sol-substratum, elles seront reflétées partiellement tandis qu'une partie de leur énergie sera transmise à travers la frontière pour continuer à se propager vers le bas à travers la roche. Si la roche s'étend à une grande profondeur, l'énergie élastique de ces ondes disparaîtra effectivement de la couche de sol. Prenons le cas d'une couche de sol recouvrant un demi-espace élastique de la roche (Figure 2.7). Si les indices de s et r se réfèrent respectivement au sol et à la roche les déplacements dus à la propagation verticale des ondes S de chaque matériau peut être écrite comme suit :

$$\varphi_s(z, t) = A_s e^{i(\omega + ks^* + zs)} \tag{c.1}$$

$$\varphi_r(z, t) = A_r e^{i(\omega + kr^* + zr)} + B_r e^{i*(\omega - kr^* - zr)} \tag{c.1'}$$

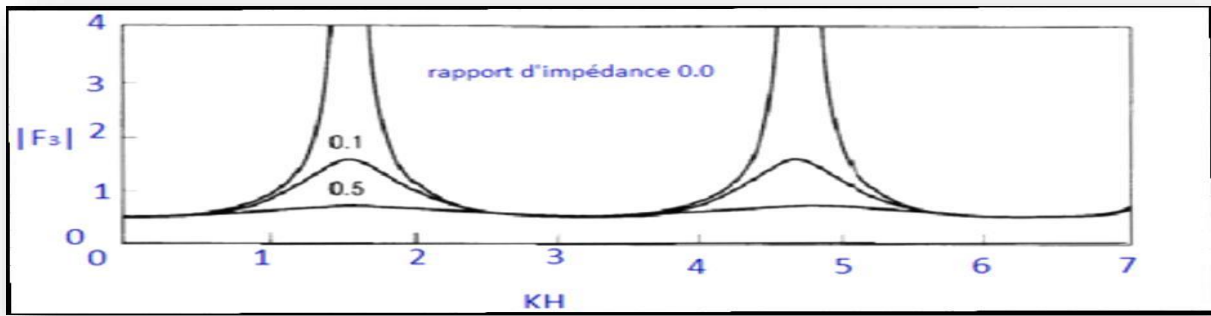


Figure 2. 7: L'effet du rapport d'impédance sur le facteur d'amplification dans le cas d'un sol non amorti

L'effet de la surface libre, comme précédemment, exige que $A_s=B_s$,

D'où :

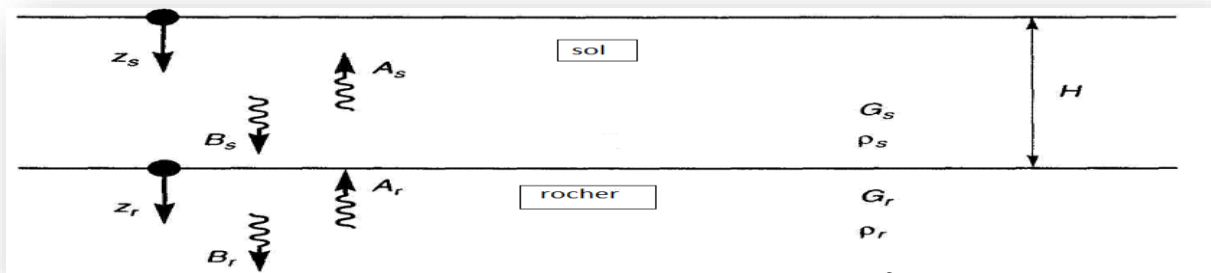


Figure 2. 8: Nomenclature dans le cas d'une couche de sol recouvrant un demi-espace élastique rocheux.

$$A_r = \frac{1}{2} A_s [(1 + \alpha z^*)e^{iks^*H} + (1 - \alpha z^*)e^{-iks^*H}] \quad (c.2)$$

$$B_r = \frac{1}{2} A_s [(1 - \alpha z^*)e^{iks^*H} + (1 + \alpha z^*)e^{-iks^*H}] \quad (c.3)$$

On suppose qu'une onde de cisaillement se propageant verticalement d'amplitude A .Si le sol n'était pas présent l'effet de surface libre à l'affleurement rocheux devrait produire un mouvement de substratum rocheux et avec la présence de sol l'amplitude du mouvement à la surface serait libre .

$$2A_s = \frac{4A}{[(1-\alpha z^*)e^{iks^*H} + (1+\alpha z^*)e^{-iks^*H}]} \quad (c.4)$$

d) Sol Stratifié, amorti sur une roche élastique :

Généralement les problèmes réels de la réponse du sol sont liés à des dépôts de sols ayant des couches de caractéristiques différentes de rigidité, d'amortissement et aux limites auxquels l'énergie des ondes élastiques sera réfléchié et ou transmise .Alors que les modèles de couches élastiques uniformes sont utiles pour l'illustration de l'influence des conditions du sol sur plusieurs caractéristiques du mouvement du sol, ils sont rarement adaptés à l'analyse des problèmes concrets de la réponse du sol. Considérons un dépôt de sol composé de N couches horizontales, où la nième couche est le substratum (figure 2.9).

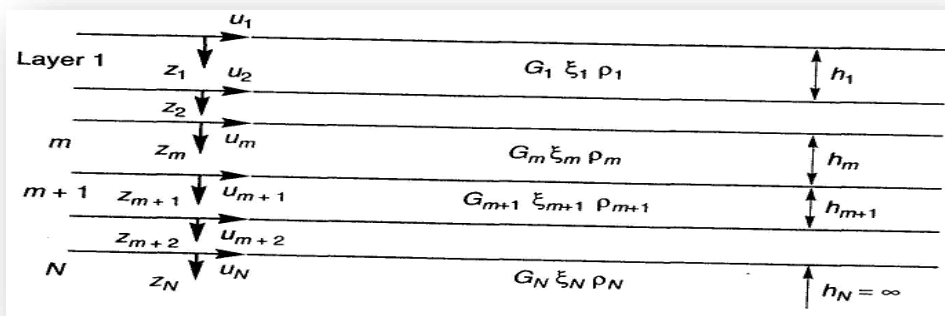


Figure 2. 9: Nomenclature d'un stratifié de sol sur un substratum élastique.

En supposant que chaque couche de sol se comporte comme un solide de Kelvin-Voigt, la solution de l'équation d'onde peut être exprimée sous la forme suivante :

$$u (z ,t) = Ae^{i(\omega t+k*z)} + Be^{i(\omega t-k*z)} \tag{d.1}$$

Dont A et B représentent les amplitudes des ondes se propageant respectivement dans les directions -z (vers le haut) et + z (vers le bas). La contrainte de cisaillement est alors donnée par le produit du module de cisaillement complexe G^* est la déformation de cisaillement le rendement

$$A_{m1} + B_{m1} = e^{ik*m hm} + B_m e^{-ik*m hm} \tag{d.2}$$

Alors :

$$A_{m1} - B_{m1} = \frac{K*m Gm*}{K*m+1 G*m+1} (Ame^{ik*m hm} - B_m e^{-ik*m hm}) \tag{d.3}$$

A près avoir l'application de toute les conditions qui conviennent en trouve :

$$A_{m+1} = \frac{1}{2} A_m ((1 + \alpha^* m) e^{ik^* m h m} + \frac{1}{2} B_m ((1 - \alpha^* m) e^{-ik^* m h m} \quad (d.4)$$

$$B_{m+1} = \frac{1}{2} A_m ((1 - \alpha^* m) e^{ik^* m h m} + \frac{1}{2} B_m ((1 + \alpha^* m) e^{-ik^* m h m} \quad (d.5)$$

D'où α^* est le rapport d'impédance complexe à la limite entre les couches m et $m + 1$:

$$\alpha^* = \frac{K^* m G^* m}{K^* m_{+1} + G^* m_{+1}} = \frac{\rho m (V^* s) m}{\rho_{m+1} (V^* s)_{m+1}} \quad (d.6)$$

À la surface du sol, la contrainte de cisaillement doit être égale à zéro, ce qui exige que $A_1 = B_1$:

$$A_m = a_m(\omega) A_1 \quad (d.7)$$

$$B_m = b_m(\omega) B_1 \quad (d.8)$$

2. Approximation linéaire équivalente de la réponse non linéaire :

Puisque la non-linéarité du comportement du sol est bien connue, l'approche linéaire doit être modifiée pour fournir une estimation raisonnable de la réponse du sol pour des problèmes pratiques. Le comportement non linéaire hystérétique de contrainte-déformation de chargement cyclique des sols peut être approché par des propriétés linéaires équivalentes du sol.

Le module linéaire-équivalent de cisaillement G est généralement considéré comme un module de cisaillement sécant et le module linéaire-équivalent d'amortissement ξ est le facteur d'amortissement qui produit une dissipation d'énergie égale à la valeur de l'aire de la courbe d'hystérésis.

Comme le niveau de déformation calculée dépend des valeurs des propriétés linéaires équivalentes, une procédure itérative est nécessaire pour s'assurer que les propriétés utilisées dans l'analyse sont compatibles avec les niveaux de déformation calculée dans toutes les couches. Se référant à la figure 2.9 (Schnabel et al ; 1972). [8]

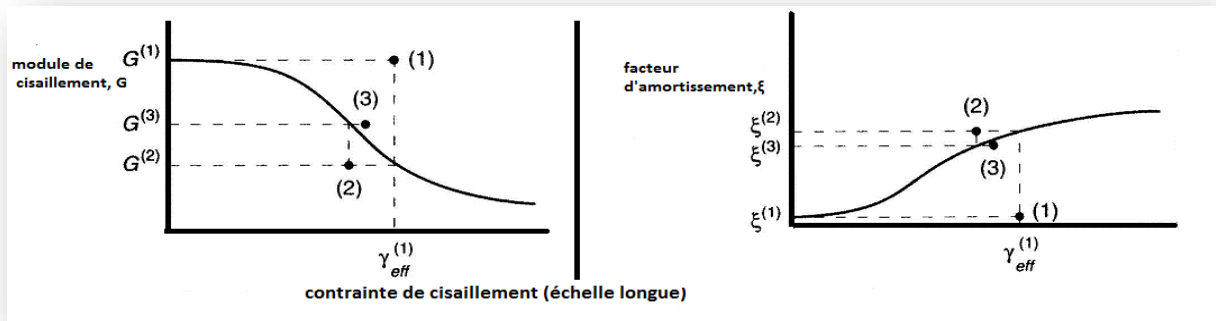


Figure 2. 10: Itération vers le module de cisaillement et facteur d'amortissement compatible pour l'analyse linéaire équivalente

La figure 2.10 montre deux histoires de la déformation du cisaillement : harmonique un test de laboratoire typique et transitoire un tremblement de terre typique qui ont le même pic de déformation de cisaillement cyclique

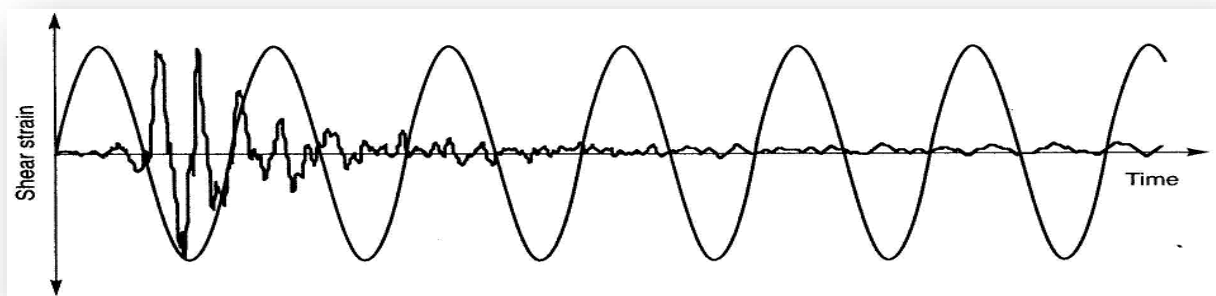


Figure 2. 11: Deux histoires de la déformation de cisaillement avec des déformations de cisaillement maximales identiques.

Une procédure itérative est nécessaire pour s'assurer que les propriétés utilisées dans l'analyse sont compatibles avec les niveaux de déformation calculée dans toutes les couches dépend des valeurs des propriétés linéaires équivalentes, la procédure itérative fonctionne comme suit (la figure 2.11) :

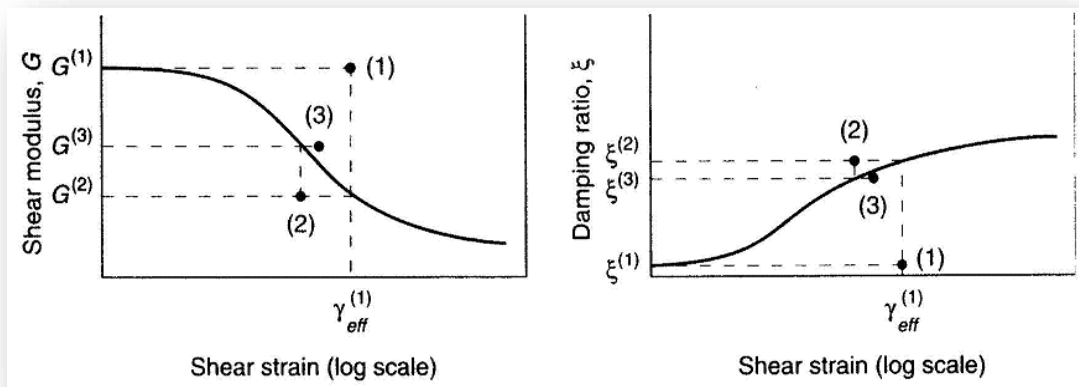


Figure 2. 12: Itération vers le module de cisaillement et facteur d'amortissement compatible pour l'analyse linéaire équivalente.

Même si le processus d'itération vers des propriétés de déformation compatibles du sol permet l'approximation du comportement non linéaire des sols, il est important de rappeler que La méthode de réponse complexe est toujours une méthode d'analyse linéaire. Les propriétés des sols de déformation compatible sont constants pendant toute la durée de la secousse de la terre, que les déformations, à un moment donné, soient petites ou grandes. La méthode ne permet pas de représenter l'évolution de la rigidité du sol qui se produit dans le sol. produite pendant le tremblement de terre. L'approche linéaire équivalente de la réponse le sol unidimensionnel de l'un des sites stratifiés a été codé dans un code de calcul utilisé souvent appelé Deepsoil. [8]

3. Approche non linéaire :

Bien que l'approche linéaire équivalente et le calcul pratique aient fourni des résultats raisonnables pour de nombreux problèmes pratiques, il en reste un : l'approximation du véritable processus non linéaire de la réponse sismique. Une autre approche consiste à analyser la réponse non linéaire réelle d'un dépôt de sol à l'aide d'intégration numérique directe dans le domaine temporel ,la relation

contrainte-déformation est utilisée pour obtenir les propriétés des sols appropriés à utiliser dans ce pas de temps. Par cette méthode, une relation contrainte-déformation non linéaire inélastique .Un certain nombre de techniques peuvent être utilisées pour intégrer les équations du mouvement. Parmi celles-ci la technique explicite des différences finies est plus facile à expliquer [9]

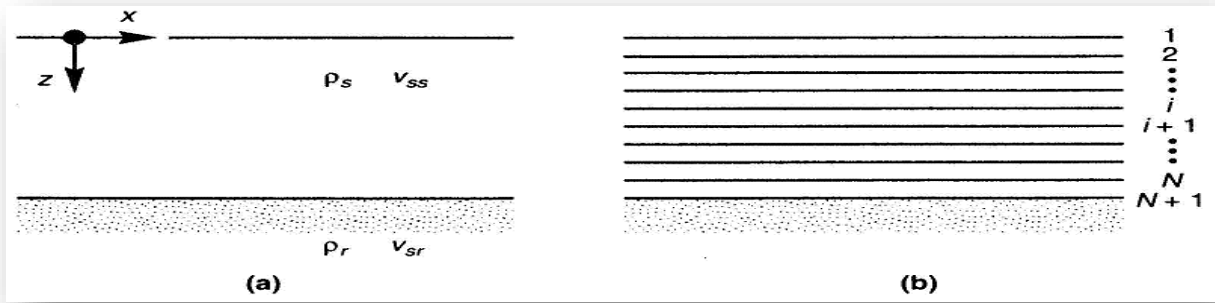


Figure 2.13: Nomenclature pour un dépôt de sol homogène d'étendue latérale infinie recouvrant le substratum rocheux; (b) discrétisation du dépôt de sol en N sous-couches.

Si la couche de sol est soumise à un mouvement horizontal au niveau du substratum rocheux, la réponse sera régie par l'équation du mouvement :

$$\frac{\partial t}{\partial z} \rho \frac{\partial^2 \square}{\partial t^2} = \rho \frac{\partial \square'}{\partial t} \tag{3.1}$$

Pour introduire la méthode explicite des différences finies, considérons la fonction $f(x)$ illustrée à la figure 2.14.

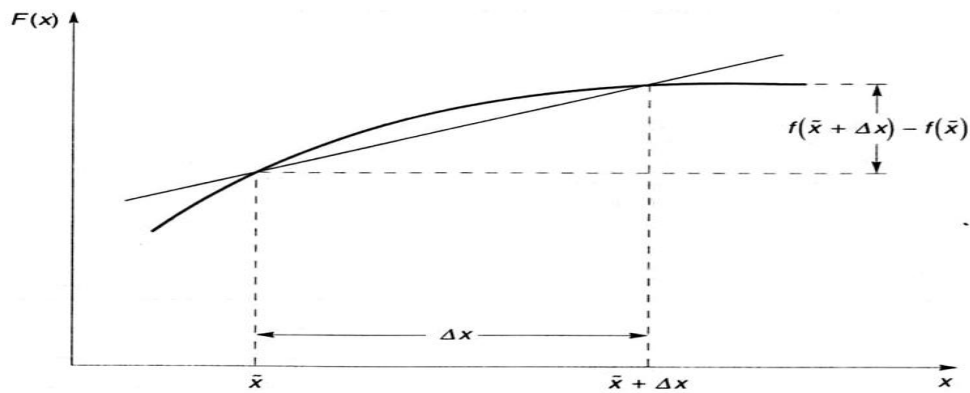


Figure 2.14: Approximation de la différence avancée de $f'(x)$ est donnée par la pente de ligne passant par la fonction à $x = \bar{x}$ et $x = \bar{x} + \Delta x$.

La première dérivée de $f(x)$ a $x = \bar{x}$ est donnée par :

$$\frac{df(x')}{dx} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{F(x' + \Delta x) - f(x)}{\Delta x} \tag{3.2}$$

En divisant la couche de sol en N sous-couches d'épaisseur Δz , la notation $u_{i,t} = u(z = i\Delta z, t)$ peut être utilisée pour écrire finie des approximations de différence pour les dérivées :

$$\frac{\partial \tau}{\partial z} = \frac{\tau_{i+1} - \tau_{i,t}}{\Delta z} \tag{3.3}$$

$$\frac{\partial \dot{u}}{\partial t} = \frac{\dot{u}_{i,t+\Delta t} - \dot{u}_{i,t}}{\Delta t} \quad (3.4)$$

La résolution pour \dot{u} donne :

$$\dot{u}_{i,t+\Delta t} = \dot{u}_{i,t} + \frac{\Delta t}{\rho \Delta t} (\tau_{i+1,t} + \tau_{i,t}) \quad (3.5)$$

L'équation (3.5) détermine comment les conditions au temps t peuvent être utilisées pour déterminer les conditions au temps $t+\Delta t$.

Si une onde incidente se propage vers le haut à travers la roche à la vitesse des particules à la limite du substratum, la contrainte de cisaillement à la limite est approchée (Joyner et Chen, 1975) [9].

Pour le calculs d'intégration à partir du ($i = N + 1$) jusqu'au sommet ($i = 1$) du dépôt de sol dans chaque pas de temps une fois les conditions aux limites établies ; On procède aux étapes par étape dans le temps.

La déformation du cisaillement dans chaque sous-couche est donnée par :

$$\gamma_{i,t} = \frac{\partial u_{i,t}}{\partial z} \approx \frac{u_{i+1,t} - u_{i,t}}{\Delta z} \quad (3.6)$$

Si le sol élastique linéaire la contrainte de cisaillement ne dépend que de la déformation de cisaillement réelle.

Si le sol est non linéaire et non élastique la contrainte de cisaillement dépend de la déformation actuelle de cisaillement et de la contrainte-déformation.

Dans ce cas, le cisaillement calculé et la relation contrainte- déformation cyclique sont utilisées pour déterminer la contrainte de cisaillement correspondante ; Le processus d'intégration peut être résumé comme suit:

- La vitesse des particules et le déplacement total $u_{i,t}$ sont connus à chaque limite de couche au début de chaque pas de temps .
- Dans chaque couche le profil de déplacement est utilisé pour déterminer la déformation de cisaillement $\tau_{i,t}$.
- La relation contrainte-déformation est utilisée pour déterminer la contrainte de cisaillement $\tau_{i,t}$ dans chaque couche.
- Le mouvement d'entrée est utilisé pour déterminer le mouvement de la base de la couche de sol à l'instant $t + \Delta t$.
- Le mouvement à la limite de chaque couche au temps $t + \Delta t$ est calculé du bas vers le haut. Le processus est ensuite répété à l'étape 1 pour calculer la réponse dans le prochain pas de temps. [12]

4. Comparaison des analyses unidimensionnelles de la réponse du sol :

A fin de résoudre les problèmes des analyses unidimensionnelles de la réponse du sol, deux méthodes peuvent être utilisées, la comparaison des analyses unidimensionnelles de la réponse du sol. Ainsi les méthodes équivalente-linéaires et non linéaires de multiples formulations et hypothèses sous-jacentes. En revanche il peut avoir quelques différences dans leurs résultats.

Les résultats des deux méthodes ont été comparés à maintes occasions, par exemple : (Joyner et Chen, 1975) [9] ; (Martin et de Seed 1978) [10];

(Dikmen et Ghaboussi, 1984) [11] et ont abouti aux conclusions générales suivantes:

- La linéarité inhérente à l'analyse équivalente-linéaire peut provoquer des résonances parasites (qui sont des niveaux élevés d'amplification résultant d'un rapport entre une forte composante du mouvement d'entrée et une des fréquences naturelles du dépôt de sol Linéaire équivalent puisque la rigidité d'un sol non-linéaire change au cours d'un séisme, et les niveaux élevés d'amplification se développent hors site.
- Système excessivement mou et sur amorti peut être due à l'utilisation de la déformation de cisaillement effective dans une analyse linéaire équivalente et cela lorsque la déformation maximale du cisaillement est d'un écart important comparé au reste des déformations cisaillement, ou à un système infra-mou et sous amorti du moment que l'amplitude de la Déformation de cisaillement est uniforme.
- Les analyses linéaires équivalentes peuvent être beaucoup plus efficaces. Précisément lorsque le mouvement d'entrée peut être caractérisé avec une Précision acceptable par moins de termes dans une série de Fourier.

Par exemple, la plupart des tremblements de terre contiennent peu d'énergie des ondes élastiques à des fréquences qui dépassent 15 ou 20 Hz. Ainsi, la réponse dans la plupart des cas peut être calculée avec une précision qu'avec les fréquences inférieure au fréquences citée auparavant(ou plus bas, dans certains cas). Désormais, la puissance, la vitesse et l'accessibilité des ordinateurs ont augmenté ces dernières années ; ce qui signifie que la l'efficacité des analyses unidimensionnelles de la réponse du sol fait une remarquable diminution.

- Les méthodes non linéaires peuvent être formulées en termes de contraintes effectives afin de permettre une modélisation de la génération, la redistribution, et la dissipation des éventuels excédents de pressions interstitielles pendant et après les secousses sismiques contrairement aux méthodes linéaires équivalentes qui ne possède pas cette capacité.
- Les méthodes non linéaires nécessitent une relation contrainte-déformation fiable ou modèle constitutif. Les paramètres qui décrivent ces modèles sont moins bien établis Par rapport à ceux du modèle linéaire. Pour évaluer les paramètres du modèle non linéaire, un champ important de programmes et de tests de laboratoire peut faire l'affaire .
- Les deux mêmes analyses peuvent donner naissance a des estimations raisonnables de la réponse du sol .Les résultats de ces analyses sont raisonnables et présentent multiples différences dépendantes du degré de non-linéarité. Les problèmes sont multiples .Ceux où les niveaux de déformation restent faibles . Ceux qui impliquant des niveaux de déformation élevés ainsi problèmes dans lesquels les contraintes de cisaillement induites approchent la résistance au cisaillement du sol.

III. Conclusion :

Pour conclure ; On déduit ainsi qu'il existe deux techniques pour l'analyse unidimensionnelle de la réponse du sol, non rigoureuses et précise, mais leur exactitude reste compatible avec les conditions du sol. Dont l'utilisation et l'interprétation exige une connaissance de leurs hypothèses sous-jacentes.

CHAPITRE 03

ETUDE DES EFFETS DE SITE DANS LA REGION D'ALGERIE TOCHEE PAR LE SEISME DE BOUMERDES

I. Introduction :

Boumerdès est une ville d'Algérie située au bord de la mer méditerranée. Elle s'étend sur une plaine entre l'oued corso à l'ouest et l'oued boumerdès à l'est. Elle compte aujourd'hui plus de 41600 habitants.

Cette commune et sa région environnante ont connu le 21 mai 2003 un tremblement de terre d'une magnitude de Richter de 6.7. Ce séisme est survenu à 19 heures 45 minutes (heure locale), au moment où la majorité des gens étaient rentrés chez eux. L'épicentre de ce séisme a été localisé en mer très proche du littoral à 60 Km au nord-est d'Alger plus précisément à quatre kilomètres de la cote entre zemmouri et boumerdès (long.3.5E-LAt.36.81N). La première secousse a duré 46 secondes. Elle fut suivie par de très nombreuses répliques dont certaines magnitudes ont atteint 5,8, ce qui a contribué à alourdir les pertes humaines et matérielles.

Ce séisme a fortement affecté un large espace géographique, d'environ 100Km de long (le long des cotes) et 50 Km de large (en profondeur à l'intérieur du pays) . cette zone touchée abritait d'importants centres urbains comme Alger, Rouïba, Reghaia ,TheniaBoumerdès , des villes moyennes comme Ain Taya , Zemmouri , Dellys et Tigzirt mais aussi des zone rurales et montagneuses avec des population éparses . On estime la population de la zone touchée à 3 à 4 millions d'habitants au moment du séisme. [13]

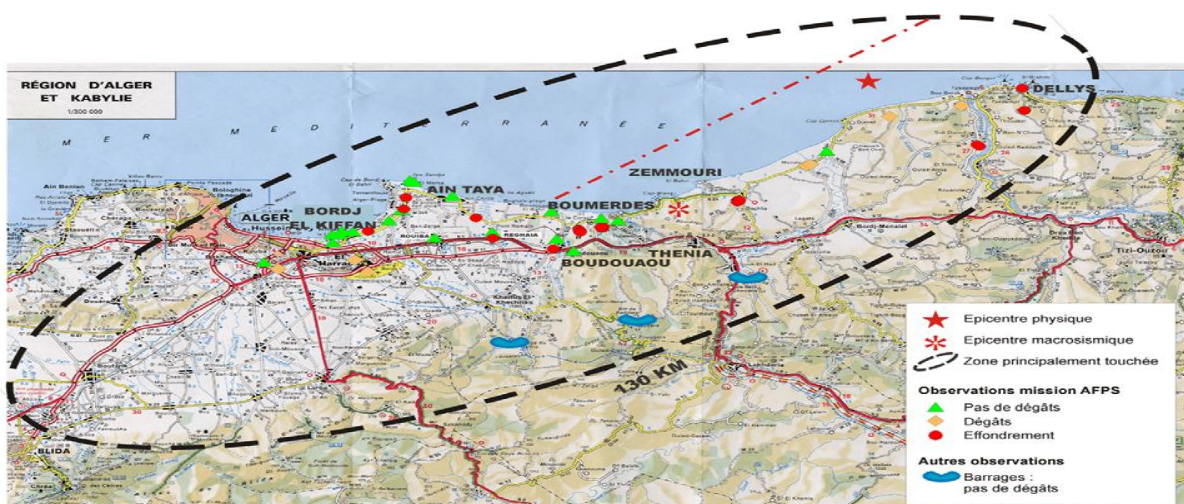
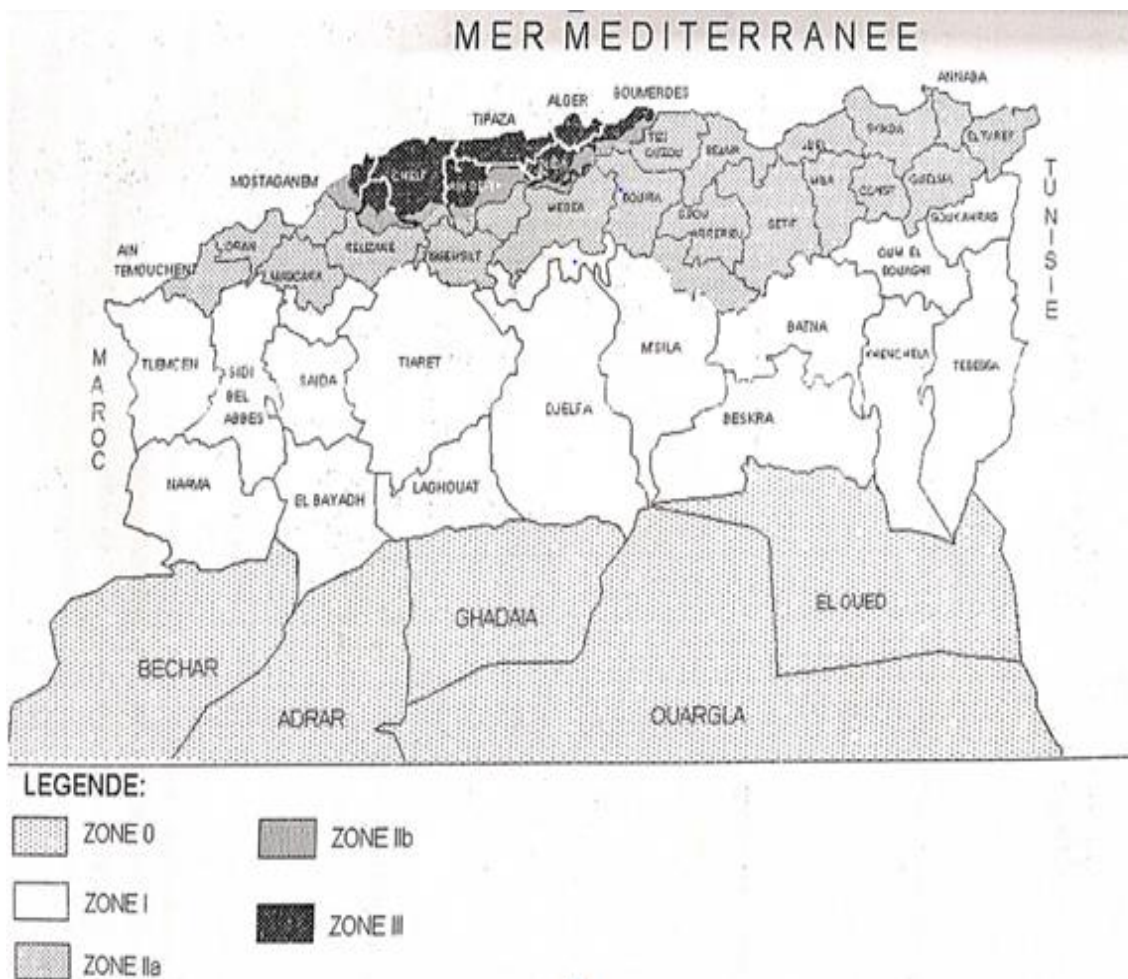


Figure 3. 1 : Localisation du séisme du 21 Mai 2003 de Zemmouri- Boumerdes en Algérie(AFPS, 2003).

II. Les enregistrements des mouvements forts durant le choc principal du séisme de Boumerdes du 21 mai 2003 :

Le tremblement de terre a été senti jusqu'à 250 Km de l'épicentre où l'accélération enregistrée atteint 0,02 g. Le choc principal a été enregistré par plusieurs stations du réseau national d'accélérographe piloté par le CGS. Treize (13) stations sont utilisées pour caractériser le mouvement sismique, dont la plus proche est située à 20 Km de l'épicentre déterminé par le réseau national d'accélérographes, et la plus lointaine est située à 150 kilomètres. Dans le tableau 6.1, on montre les accélérations maximales enregistrées selon les trois composantes (E-O, N-S, et Ver) par différentes stations lors du choc principal du séisme de Boumerdes du 21 Mai 2003, ainsi avec les distances hypo centrales correspondantes. La figure 6.2 montre la localisation des stations et le type de sol. [14]



Station/ hypo central distance in Km/ station type	Composante E-O (g)	Composante verticale (g)	Composante N-S (g)
Keddara 1/ 20/ Etna	0.34	0,25	0,26
Keddara 2/ 20/ Etna	0.58	0,22	0,35
Dar El Beida/ 29/ SMA	0.52	0,16	0,46
Hussein Dey/ 36/ SMA	0.27	0,09	0,23
Kouba/ 41/ SMA	0.31	0,15	0,16
Tizi Ouzou city/ 49/ SMA	0,20	0,09	0,19
Blida/ 72/ SSA	0,05	0,03	0,04
Azazga/75/ SMA	0,12	0,05	0,09
El Afroun/ 86/ SSA	0,16	0,03	0,09
Tipaza city/ 100/ SSA	0,03	0,014	0,03
Hammam Righa/ 110/ SMA	0,10	0,06	0,07
Miliana/ 130/ Etna	0,03	0,016	0,026
Ain Defla/ 151/ Etna	0,03	0,01	0,02

Tableau 3. 1: Accélérations maximales enregistrées lors du séisme de Boumerdes du 21 Mai 2003

**III. Les dommages survenus aux régions de Boumerdes et lors
du séisme de Boumerdes le 21 mai 2003 :**



Figure 3. 3: Vue globale des silos de Corso endommagés lors du séisme (AFPS 2003)



Figure 3. 4: Vue de la batterie des silos endommagée et la batterie mitoyenne
(AFPS 2003)



Figure 3. 5: Cité des 1200 logements à Boumerdes «Bâtiments avec poteaux, poutres et murs en maçonnerie : comportement aléatoire » (Davidovici 2003)



Figure 3. 6: Comportement aléatoire des bâtiments (victordavidovici)

IV. Analyse unidimensionnelle de la réponse sismique

1. Introduction :

Dans le but de déterminer la réponse sismique à la surface libre de chaque profil de sol, on revient à évaluer les caractéristiques du mouvement sismique (accélérations, la vitesse de cisaillement, le déplacement).

Les méthodes adoptées pour l'évaluation de la réponse sismique à 1-D et est l'analyse assistée par ordinateur.

Dans notre étude on a traité deux sites différents répartis dans la zone d'Alger et de Boumerdes :

- Le site d'Ain Taya wilaya d'Alger (réalisation d'une construction individuelle).

- Site de FOES LOTN°07, BOUMERDES (immeubles en R+7)

2. Présentation des sites étudiés :

a) Site d'Ain Taya wilaya d'Alger (réalisation d'une construction individuelle).

Le site étudié est situé au lieu dit Ain EL Beida à environ 800m à l'ouest du centre ville de Ain Taya. Il est représenté par une morphologie plane et non accidenté (voir photo ci-dessous)

Les limites du terrain sont matérialisées comme suit :

A l'est par une construction en cours de réalisation ;

A l'ouest par une construction existante ;

Au sud par un espace vert ;

Au nord par la continuité du terrain ;

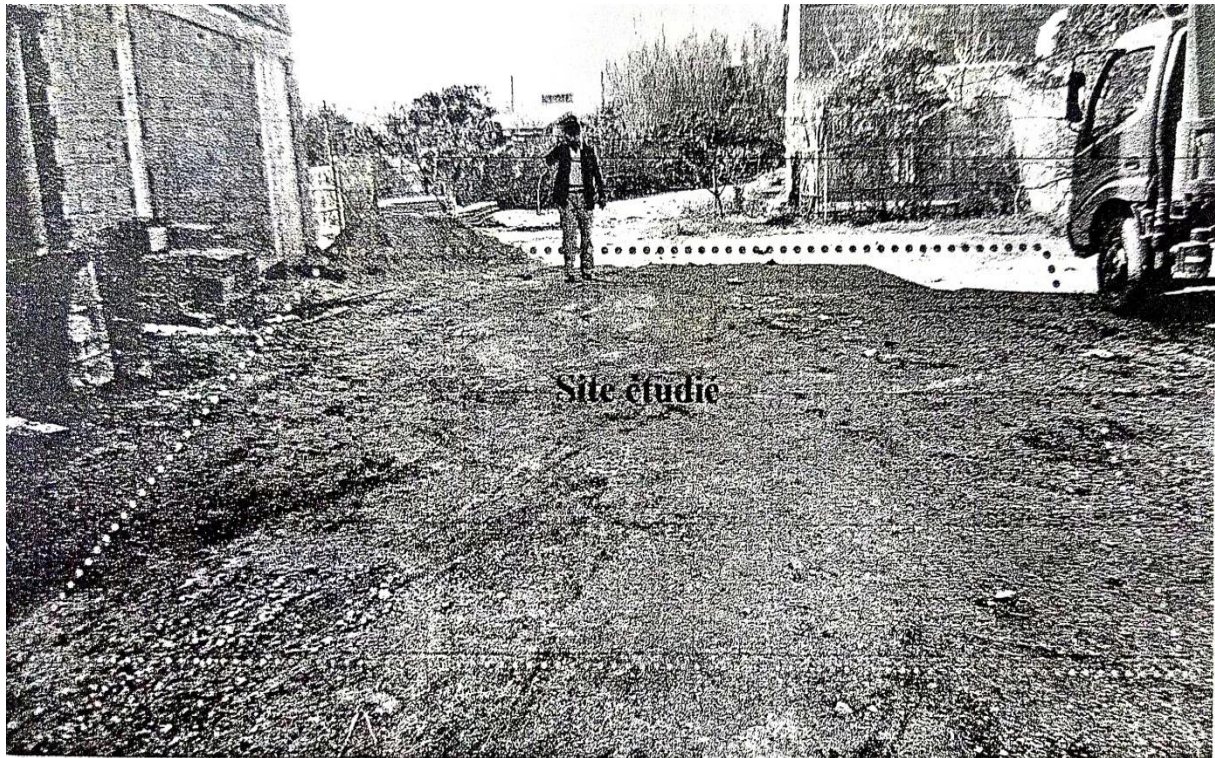
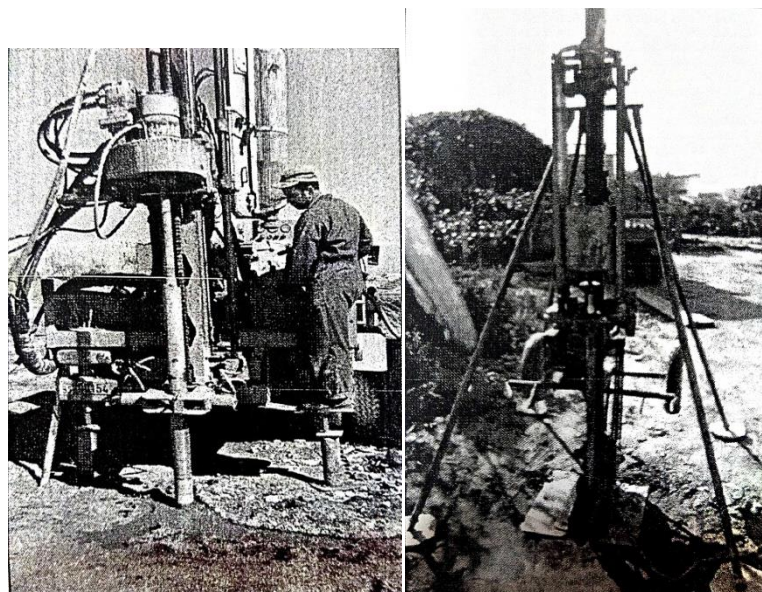


Figure 3. 7: Photo illustrant une vue d'ensemble du site

- Résultats de la reconnaissance In situ :

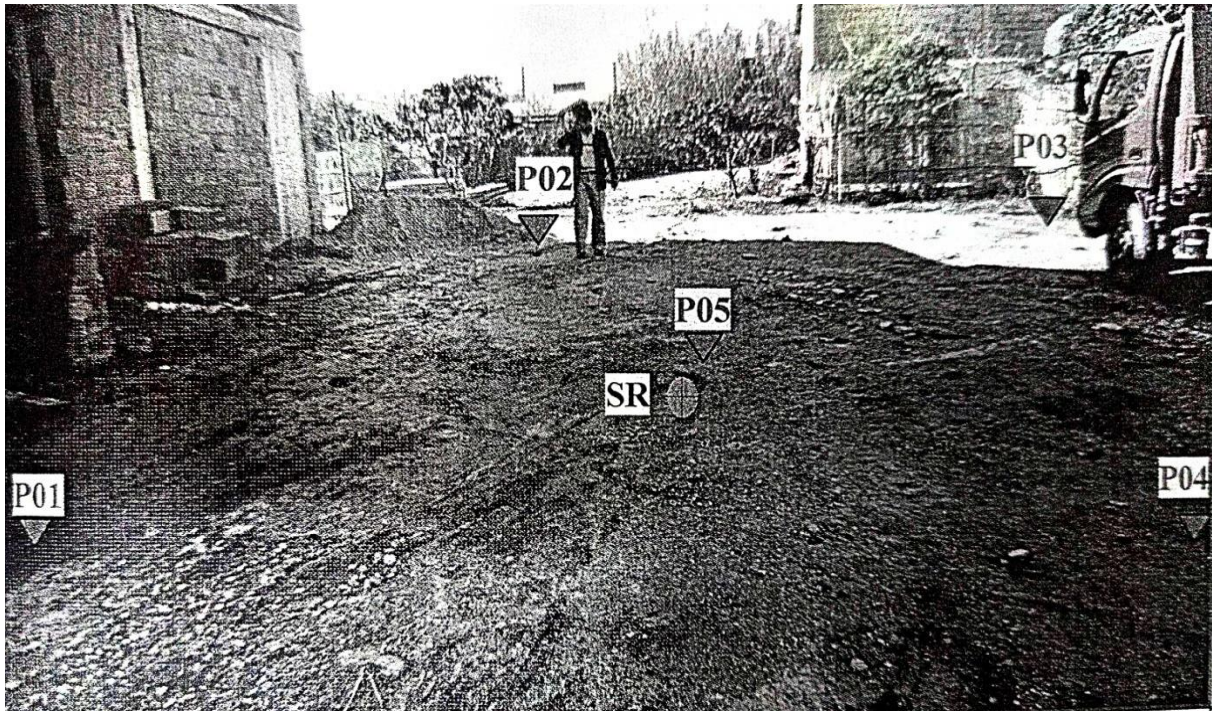
En vue de mettre en évidence la lithologie qui caractérise le site étudié et évaluer l'état de compacité du terrain en place, il a été programmé et exécuté, un sondage carotté d'une profondeur de 7m, équipé d'essais de type SPT et cinq essais au pénétromètre dynamique.

Un pénétromètre dynamique lourd de Marque Borros et une sondeuse tractable ont été mobilisés sur le site pour l'exécution de ces travaux (voir photo ci-dessous).



Le coup du sondage et les pénétrogrammes obtenus des essais pénétrometriques sont joints en annexe du présent rapport

En l'absence d'un plan de masse du site étudié, une implantation (Schématique) de ces essais est donnée sur la photo ci-contre :



SR : Sondage de reconnaissance

▼P : Pénétrromètre dynamique

- **Travaux de sondage carottés :**

Le sondage carotté réalisé, dont le log est joint en annexes ,a mis en évidences la succession lithologique ci-dessous ;

0.0 -2.40m : couverture limono-argileuse et finement sableuse de couleur brune à rougeâtre

2.40-3,50m : sable limoneux de couleur ocre à jaunâtre

3.5-4.70m : sable grossier à cailloux et blocs dans une matrice argilo-limoneuse de couleur jaunâtre

4.00-7.00m : marne compacte de couleur grisâtre à cailloutis et inclusions carbonatées de couleur blanchâtre.

L'examen de la coupe de sondage réalisé, dont le log est joints en annexes, a révélé que le terrain est constitué par dépôts récent , d'origine marine , de nature limono-sableuse .ce dernier surmonte en profondeur , un substratum marneux connu sous le nom de marnes du plaisancier .

Sur le plan hydrogéologique, il ya lieu de noter que la succession lithologique qui caractérise le site avec la présence d'un dépôt à caractère sablonneux perméable sur un substratum marneux étanche, permet la rétention d'eau souterraine au contact des deux formations.

Les mesures de niveau d'eau effectuées dans le sondage exécute quatre jours après son exécution est de 3.30m. Ce niveau peut fluctuer selon les saisons et les apports d'eau pluviale.

COUPE DE SONDAGE










Prof.(m)	coupe	SPT	Nature lithologique	observations
1			Couverture limon rougeâtre argileuse et finement sableuse couleur rougeâtre	Présence d'eau souterraine au contact des dépôts sablonneux avec le substratum marneux
2				
3			Sable limoneux de couleur ocre à jaunâtre	
4			Sable gossier , à cailloux et blocs dans une matrice argilo-limoneuse de couleur jaunâtre	
5			Substratum marneux de couleur grisâtre, a inclusions carbonatées de couleur blanchâtre	 Echantillon prélevé
6				
7				
8				
9				
10				

Tableau 3. 2 :coupe de sondage carotté

• **Résultats des essais SPT :**

Les résultats des essais SPT exécutés lors de la réalisation du sondage carotté sont résumés dans le tableau ci-dessous

N° sondages	Profondeur (m)	Nombre de coups bruts				Etats de compacité
		N0	N1	N2	N= N1+ N2	
Sc	3 à 3.45	9	15	21	36	Compact
	6.00 à 6.45	32	37	18	45	Compact

L'analyse des résultats des essais SPT a mis en évidence la bonne compacité du terrain d'assise d'après TERZAGHI ET PECK

Le nombre de coups brutes (N=N1 + N2) enregistré varie de 36 coups au niveau de la formation sablo-limoneuse à 45 coups au niveau de la formation marneuse en place.

b) Site de FOES LOTN°07,BOUMERDES (immeubles en R+7)

Le site étudié est situé au lieu dit : Foes qui fait partie de morcellement de lot N°07, ilot N°751 sise à Boumerdes

Les limites du site représentées par le plan donné ci-dessous sont matérialisées comme suit :

- Au Nord par des habitants en R+0
- A l'Est par la route nationale N°24
- A l'Ouest par la continuité du terrain
- Au Sud par l'ilot N°750



Figure 3. 8: Plan de situation du site étudié « site FOES ILOTS N°751 »

- **Cadre morphologique du site étudié :**

De point de vue morphologique, le terrain choisi pour l'implantation des constructions en R+7 présente un état stable et une topographie pratiquement plane .voir la photo ci-dessous :

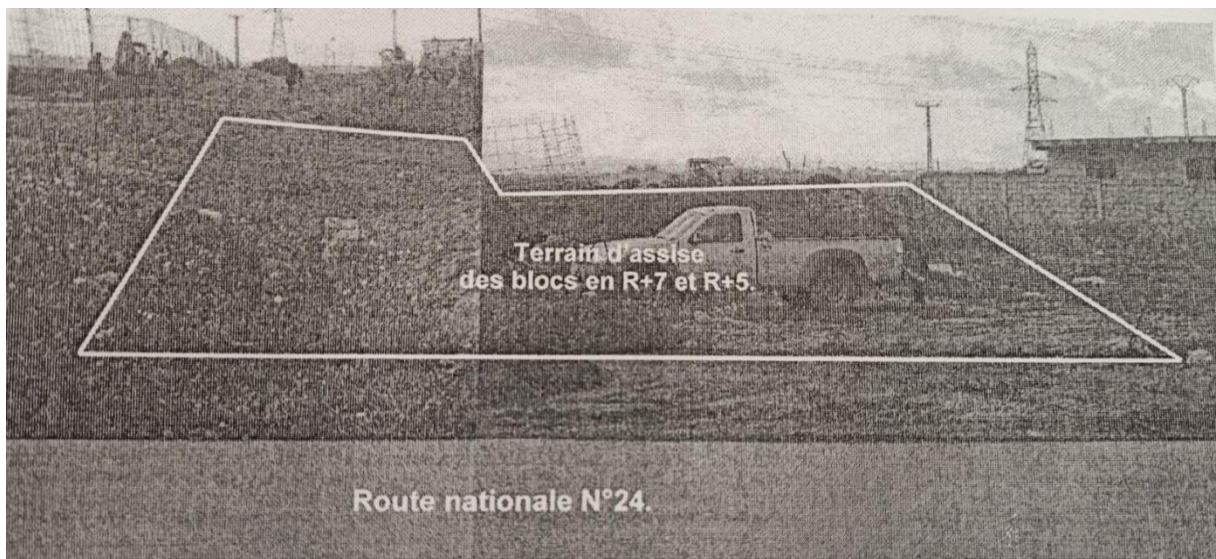


Figure 3. 9: Photos illustrant une vue d'ensemble du site étudié

- **Travaux de reconnaissance In situ sur site :**

Résultats des travaux des sondages :

A fin d'identifier la lithologie exacte du site es constructions projetées, un sondage carottés dénommés SC01 dont un sondage de 25m de profondeur a été implantés et exécutés.

Les sondages réalisés ont été équipés d'essais SPT et par piézomètre afin de vérifier la présence ou pas d'eau souterraine au niveau du site.

L'examen de coupe du sondage carotté SC01 a révélé la succession lithologique ci-dessous :

0.00_1.60m : limons finement sableux brun rougeâtre à cailloutis et rares éléments graveleux

1.60-4.30m : limons et sable de couleur jaune à ocre soulignés par des niveaux grossiers de sables graveleux à rares galets entre 2.60m à 3.0m et 3.50m à 4.20m

4,30 – 11,70 m : Limons et sables fins de couleur jaunâtre emballés dans une matrice argileuse.

11,70 – 17,40 m : Sables et limons de couleur jaune à ocre par endroits emballés dans une faible matrice argileuse soulignés par un niveau grossier de sable à rares éléments graveleux entre 15,00m à 16,00m

17,40 – 20,20 m : sables moyens à grossiers à rares éléments graveleux

20,20 – 21,30 m : marne de couleur jaune verdâtre altérée, oxydée et plastique .

21,30 – 25,00 m : marne saine de couleur grisâtre, compacte

On résume, le sondage carotté réalisé, dont les logs sont joints en annexe du présent rapport, révèle que du point de vue géologique, le site de bâtiment en R + 7 projeté est constitué par une couverture épaisse constituée essentiellement par des limons et sables emballés dans une faible matrice argileuse, qui repose sur un substratum marneux appartenant à la formation des marnes du plaisantin affleurant dans la région.

Ce substratum marneux a été intercepté à partir de 20,20 m au niveau du sondage SC01 présente un état altéré, oxydé et peu consistant au contact des dépôts sablonneux et limoneux.

En surface, la couverture qui gît sur les cinq (05) premiers mètres en moyenne à l'échelle du site est représentée par un terrain très hétérogène constitué par des limons finement sableux soulignés à plusieurs endroits par des niveaux grossiers de graviers et petits galets à matrice sablo-limoneuse

Coupe de sondage

Profondeur (m)	coupe	Nature lithologique	Observations
1		Limons finement sableux brun rougeâtre à cailloutis et rares éléments graveleux.	
2			
3			
4		<input type="checkbox"/> soulignés pas des niveaux grossiers de sables graveleux à rares galets entre 2,60 à 3,50 à 4,20 m.	SPT DE 3,00 A 3,45 m N0= 12 , N1=15 , N2 =18
5			
6		<input type="checkbox"/> Limons et sables fins de couleur jaunâtre emballé dans une matrice argileuse	SPT DE 6,00 A 6,45 m N0= 7 , N1=9 , N2 =10
7			
8			
9			
10			
11			
12		Sables et limon de couleur jaune à ocre par endroits emballés dans une faible matrice argileuse soulignés par un niveau grossier de sable à rares éléments graveleux entre 15,00m à 16,0m	SPT DE 12,50 A 12,95 m N0= 13, N1=15, N2 =17
13			
14			
15			
16			
17			
18		<input type="checkbox"/> Sables moyns à grossiers éléments graveleux	SPT DE 18,50 A 18,95 m N0= 40 , N1=42 , N2 =45
19			
20			
21		<input type="checkbox"/> Marnede couleur jaune verdâtre altérée , oxydée et plastique .	
22 -25			
		Marne saine de couleur grisâtre, compacte	SPT DE 22,80 A 23,25 m N0= 16, N1=22, N2 =28
			SPT DE 24,55 A 25,00 m N0= 22, N1=30, N2 =33

Tableau 3. 3 : coupe de sondage carotté

- **Résultats des essais SPT :**

Des essais de type SPT ont été effectués sur les différents faciès traversés par les deux sondages carottés SC01 et SC02 exécutés au niveau du site des constructions projetées.

Les résultats obtenus sont reportés sur le tableau ci-dessous :

N° sondages	Profondeur (m)	Nombre de coups bruts			
		N0	N1	N2	N=N1+N2
S01	3,00 à 3,45	12	15	18	33
	6,00 à 6,45	7	9	10	19
	9,00 à 9,85	7	8	12	20
	12,50 à 12,95	13	15	17	32
	15,00 à 15,45	24	24	34	58
	18,80 à 18,95	40	42	45	87
	22,80 à 23,25	16	22	28	50
	24,55 à 25,00	22	30	33	63

Les essais SPT réalisés révèlent une certaine hétérogénéité du terrain du point de vue compacité

En effet ;

Les valeurs de N enregistrées sur la tranche de 3,00m à 12,95m de profondeur sont moyennes ($19C_p < N < 33C_p$) et attestent de l'état moyennement compact qui présente les dépôts limono-sableux sur cette tranche de profondeur.

Au delà de 12,95m de profondeur une amélioration des valeurs de N a été enregistrée. ces valeur varient entre $50C_p$ et $87 C_p$ et témoignent de l'état de compacité bonne qui caractérise les ables légèrement limoneux à niveaux grossiers et le substratum marneux..

3. Etude unidimensionnelle de la réponse sismique

Les résultats obtenus ce sont des graphes d'accélération, vitesses et déplacements en fonction du temps et l'amplitude en fonction de la fréquence. Parmi ces paramètres qui caractérisent le mouvement sismique et le contenu fréquentiel à la surface libre le spectre de réponse calculé en accélération, vitesse et déplacement

a) Détermination des modules de cisaillement G_{max} et des vitesses de propagation des ondes sismiques V_s .

Ces paramètres sont obtenus par la mesure directe in-situ, par des mesures au laboratoire ou encore à partir des relations empiriques avec d'autres paramètres géotechniques habituels tels que le nombre de coups du SPT (Standard Penetration Test). Un certain nombre de relations empiriques entre G_{max} et plusieurs paramètres des essais in-situ existant mais demandent encore à être améliorés par la collecte d'autres données (voir le tableau : 3.3), l'utilité de telles corrélations est souvent limitée aux évaluations préliminaires de G_{max} [15]

$$G_{max} = \rho V_s^2$$

In situ Test	Relationship	Soil Type	References	comments
Spt	$G_{max} = 20,000(N)_{60}^{0,333} (\sigma'_m)^{0,5}$	sand	Ohta and Goto (1976), Seed et al (1986)	G_{max} and σ'_m in Lb/ft^2
	$G_{max} = 325 N_{60}^{0,68}$	sand	Imai and Tonouchi (1982) Rix and Stokoe (1991)	G_{max} in $kips/ft^2$
Cpt	$G_{max} = 1634(q_c)^{0,250} (\sigma'_v)^{0,375}$	Quartz sand	Rix and Stokoe (1991)	$G_{max}, q_c, and \sigma'_v$ In KPa; based on field tests in Italy and calibration chamber tests
	(Figure I.2)	Silica sand	Baldi et al , (1986)	$G_{max}, q_c, and \sigma'_v$ In KPa; based on field tests in Italy
	$G_{max} = 406(q_c)^{0,695} e^{-1.130}$	Clay	Mayne and Rix (1993)	$G_{max}, q_c, and \sigma'_v$ In KPa; based on field tests at worldwide sites

Tableau 3. 4: Relations empiriques entre G_{max} et des paramètres de tests in-situ.

Les résultats du SPT sont exprimés en nombre de coups N_m pour un enfoncement de 0,3m. Ce nombre de coups enregistrés est ensuite corrigé par des facteurs qui tiennent compte des conditions d'exécution de l'essai, et qui le normalisent à une contrainte de 100 kPa et une énergie de marteau de 60%. Il est noté (1)60 N est donné par la formule :

$$N_{1)60} = N_m \cdot C_N \cdot C_E \cdot C_B \cdot C_R \cdot C_S$$

Où :

N_m : Nombre de coups enregistrés pour une pénétration de 0.3m.

C_N : Facteur correcteur de la contrainte verticale. Il est calculé par la formule :

$$C_N = \left(\frac{P_a}{\sigma_{v0}} \right)^{0,5}$$

P_a : pression atmosphérique, *P_a* = 100KPa = 2,089psf.

Avec : *σ_{v0}* : contrainte effective verticale de terrains de couverture à la profondeur considérée [psf]

C_E : facteur correcteur qui normalise le nombre de coups à une énergie du marteau de 60%.

C_B : facteur correcteur tenant compte du diamètre de forage

C_R : facteur correcteur tenant compte de la longueur de la tige.

C_S : facteur correcteur tenant compte de la forme du carottier.

Le tableau ci-après donne les valeurs des facteurs correcteurs :

Facture	Caractéristiques de l'équipement	terme	Correction
Contrainte vertical		<i>C_N</i>	$\left(\frac{P_a}{\sigma_{v0}} \right)^{0,5}$
Taux d'énergie	Safety Hammer Donut hammer	<i>C_E</i>	0,60 à 1,17 0,45 à 1,0
Diameter du forage	65 à 115mm 150 mm 200 mm	<i>C_B</i>	1,0 1,05 1,15 0,75 0,85
Longueur des tiges	3 à 4m 4 à 6 m 6 à 10m 10 à 30 m >30 m	<i>C_R</i>	0,75 0,85 0,95 1,0 <1,0
Method de carottage		<i>C_S</i>	1,0 1,2

Tableau 3. 5: Valeurs des facteurs correcteurs de l'essai SPT.

Estimation du module de YOUNG : Le module de Young peut être calculé par la relation :

$$E = G [2 (1 + \nu)]$$

Ce module peut être aussi calculé par le nombre de coups N (E=Mpa)

Begemanne (1974) à proposer

Pour $N > 15$ $E = C (N - 6) + 4$ C : 0.3 limon et sable
 $N < 15$ $E = C (N + 6)$ C : 1.2 gravier et sable

Il y a aussi cette relation :

$$E = \rho v_s^2 * \frac{3v_p^2 - 4v_s^2}{v_p^2 - v_s^2}$$

Estimation de la vitesse de cisaillement :

Il existe des relations entre les Vs et le nombre de coups N.

Les relations proposées pour les sables

$$V_s = 157.13 + 4.74 N \quad (\text{Lee, 1992}) \quad [16]$$

$$V_s = 100.5 N^{0.29} \quad (\text{Sykora \& Stokoe, 1983}) \quad [17]$$

$$V_s = 80.6 N^{0.331} \quad (\text{Imai, 1977}) \quad [18]$$

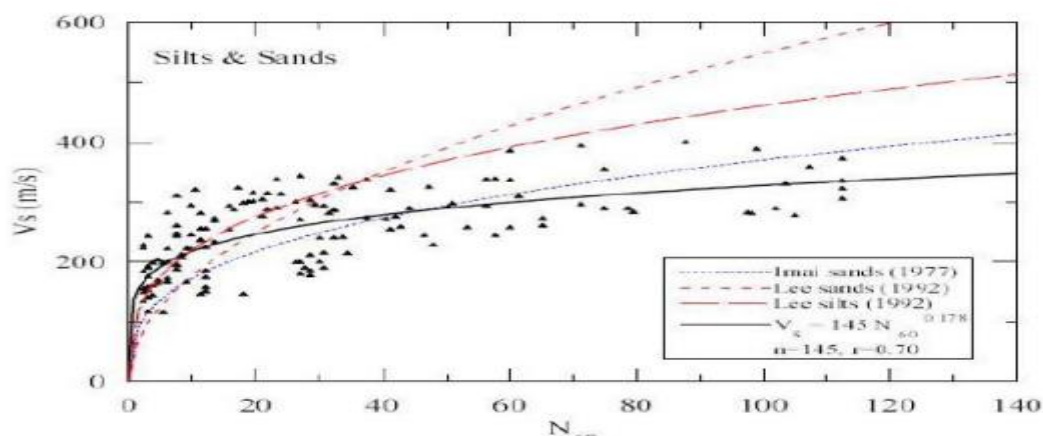


Figure 3. 10: Corrélation entre les valeurs de N stp et les ondes de cisaillement pour les limons et des sables par Pitilakis (1999)

Les relations proposées pour les argiles

$$V_s = 132 N^{0.271} \quad (\text{Pitilakis, 1999})$$

$$V_s = 86.9 N^{0.333} \quad (\text{Ohta \& Goto, 1978})$$

$$V_s = 80.2 N^{0.292} \quad (\text{Imai, 1977}) \quad [19]$$

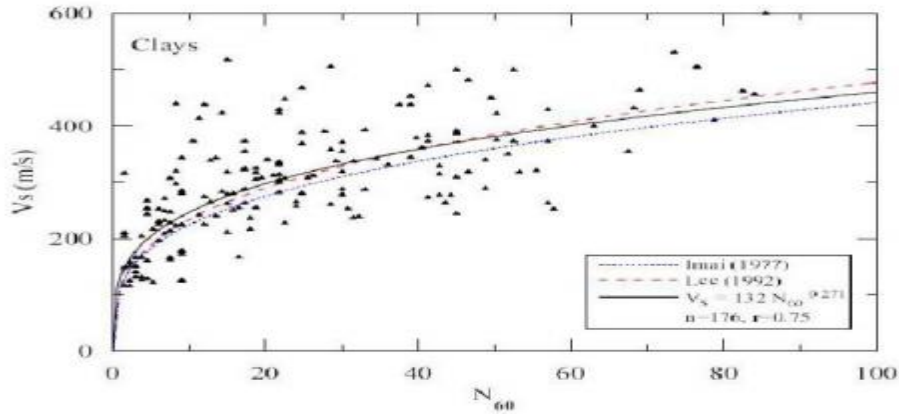


Figure 3. 11 : Corrélation entre les valeurs de N spt et les ondes de cisaillement des argiles par Pitilakis (1999).

b) Les caractéristiques Du profil du site d'AinTaya wilaya d'Alger (réalisation d'une construction individuelle) et du site de FOES LOTN°07, BOUMERDES (immeubles en R+7) :

Couches	P(Km/m ³)	G (KN/m ²)	Vs (m/s)
couverture limono-argileuse et finement sableuse de couleur brune à rougeâtre	20,7	174839,51	287,85
sable limoneux de couleur ocre à jaunâtre	19,6	170277,97	291,93
sable grossier à cailloux et blocs dans une matrice argilo-limoneuse de couleur jaunâtre	19,6	170277,97	291,93
marne compacte de couleur grisâtre à cailloutis et inclusions carbonatées de couleur blanchâtre.	19,6	1278695,04	800

Tableau 3. 6: Caractéristiques des couches de sol du site d'Ain Taya wilaya d'Alger (réalisation d'une construction individuelle)

Couches	P(Km/m ³)	G (KN/m ²)	Vs (m/s)
limons et sable de couleur jaune à ocre soulignés par des niveaux grossiers de sables graveleux à rares galets entre 2.60m à 3.0m et 3.50m à 4.20m	20	148829,1343	270,18
Limons et sables fins de couleur jaunâtre emballés dans une matrice argileuse.	19	118300,6893	247,14
Sables et limons de couleur jaune à ocre par endroits embraies dans une faible matrice argileuse soulignés par un niveau grossier de sable à rares éléments graveleux entre 15,00m 16,00m	17	130646,87	274,57
sables moyens à grossiers à rares éléments graveleux	20	274545,46	366,96
sables moyens à grossiers à rares éléments graveleux : marne de couleur jaune verdâtre altérée, oxydrée et plastique .	20,6	1683928,09	895,49

Tableau 3. 7 : Caractéristiques des couches de sol du Site de FOES LOTN°07-, BOUMERDES (immeubles en R+7)

1. Méthodes et Hypothèses de calcul

A partir des épaisseurs et des propriétés des couches de sol des sites d'Ain Taya wilaya d'Alger (réalisation d'une construction individuelle) et de FOES LOTN°07 BOUMERDES

(immeubles en R+7) et en employant le logiciel de calcul de la réponse sismique de profils de sol stratifiés horizontalement « Deepsoil », on calcule pour la colonne de sol.

La réponse sismique en champ libre en termes d'accélération à partir de l'excitation appliquée au niveau du substratum rocheux.

- La fonction d'amplification entre le substratum rocheux et la surface libre du sol.
- La fréquence de vibration pour cette amplification.
- Le spectre de réponse en pseudo accélération, en pseudo vitesse relative et en déplacement relatif

. En considérant les hypothèses suivantes :

- La colonne de sol est définie comme un profil de sol isolé défini par 4 couches horizontales surmontant un demi-espace élastique.
- Chaque couche de sol est définie par son épaisseur h , sa masse volumique ρ , son coefficient d'amortissement ξ et par la vitesse de propagation des ondes de cisaillement v ou son module de cisaillement G
- La réponse sismique du profil est engendrée par la propagation verticale des ondes de cisaillement.
- L'onde d'excitation est introduite sous forme d'accélérogramme.
- Le comportement non linéaire (variation du module de cisaillement et du coefficient d'amortissement) est pris en compte par un schéma itératif en supposant un comportement linéaire équivalent

- **Définition de Deepsoil :**

DEEPSOIL est un programme d'analyse unidimensionnelle de la réponse d'un site qui permet d'effectuer : a) des analyses non linéaires 1-D dans le domaine temporel avec et sans génération de pression d'eau interstitielle, b) des analyses linéaires équivalentes 1-D les analyses dans le domaine des fréquences, y compris la convolution et la déconvolution, et c) le temps linéaire 1-D et les analyses du domaine des fréquences. DEEPSOIL a été développé sous la direction du Prof. Youssef M.A. Hashash en collaboration avec plusieurs étudiants de

premier et deuxième cycles, dont Duhee Park, Chi-Chin Tsai, Camilo Phillips, David R. Groholski, Daniel Turner, Michael Musgrove, Byungmin Kim et Joseph

Harmon, OkanIlhan et GuangchaoXing à l'université de l'Illinois à Urbana-Champaign.

C'a été élaboré en collaboration avec ces étudiants ainsi qu'avec Maria Kontari et Hua Shao.

Le programme est fourni tel quel et l'utilisateur assume l'entière responsabilité de tous les résultats. L'utilisation du programme DEEPSOIL requiert des connaissances en théorie et en procédures pour les sites sismiques l'analyse des réponses et l'ingénierie géotechnique des tremblements de terre. Il est suggéré que les examens des utilisateurs littérature pertinente et rechercher l'expertise appropriée pour développer l'apport de l'analyse et l'interprétation des résultats. [20]

- **Évolution historique**

DEEPSOIL est en cours de développement à l'UIUC depuis 1998. La motivation principale pour le développement de DEEPSOIL était, et continue d'être, de rendre l'analyse des réponses sur site facilement accessible aux étudiants, aux chercheurs et aux ingénieurs du monde entier et de soutenir les activités de recherche de l'UIUC. Dans DEEPSOIL, nous maintenons qu'il est toujours nécessaire d'effectuer des analyses de réponse au site linéaires (EL) équivalentes en conjonction avec des analyses de réponse au site non linéaires (NL). Par conséquent, DEEPSOIL, depuis sa création, a intégré les deux capacités d'analyse. La version 6 de DEEPSOIL donne à l'utilisateur la possibilité d'obtenir automatiquement les résultats de l'analyse EL chaque fois qu'une analyse NL est sélectionnée, sans qu'il soit nécessaire de développer séparément un profil EL. Comme pour tout développement, DEEPSOIL a bénéficié de nombreuses contributions antérieures de la part d'autres chercheurs ainsi que d'étudiants actuels et anciens de l'UIUC.

-DEEPSOIL v6.0 : Réécriture complète du moteur de calcul et de l'interface utilisateur de deepsoil à partir de zéro, ce qui permet d'obtenir un logiciel beaucoup plus rapide. De nombreuses nouvelles fonctionnalités sont introduites. Un nouveau flux de travail d'analyse est introduit.

-DEEPSOIL v7.0 : La dernière version de DEEPSOIL remanie le déroulement du programme et ajoute de nouvelles capacités. Parmi les principales mises à jour de la version 7.0, citons

- Subdivision automatique du profil de sol d'entrée, pour obtenir une discrétisation correcte basée sur fréquence de propagation maximale de la cible.
- Capacité à réaliser l'épaisseur de la couche, la vitesse de l'onde de cisaillement et la courbe dynamique des randomisations pour le profil du sol.
- Sortie fournie sous forme de base de données relationnelle, qui permet à l'utilisateur d'extraire de grandes des ensembles de données de manière efficace.
- Interface utilisateur remaniée.
- Sélection de la langue de l'utilisateur.
- Visualisation/traçage simultané de plusieurs mouvements.[20]

2. Le signale d'entrée :

Le signal d'entrée $e(t)$ est en fait un « historique » de la secousse au niveau du substratum arrivant sur notre site $s(t)$, (cas d'une onde se propageant verticalement). En effectuant la rend complètement compte de son histoire.

La réponse du sol en surface n'est alors rien d'autre que le produit du signal d'entrée par la fonction de transfert. On obtient ainsi une fonction de la fréquence qui rend compte du mouvement du sol à la surface libre, il s'agit de la transformée de Fourier (TF) du signal de sortie. Par la transformée de Fourier inverse (TFI), on récupère l'historique du mouvement du sol en surface.

a) Site d'AinTaya wilaya d'Alger (réalisation d'une construction individuelle)

L'accélération imposée au rocher est celle de Keddara1 lors du séisme du 21 Mai 2003 qui s'est produit à Boumerdès.

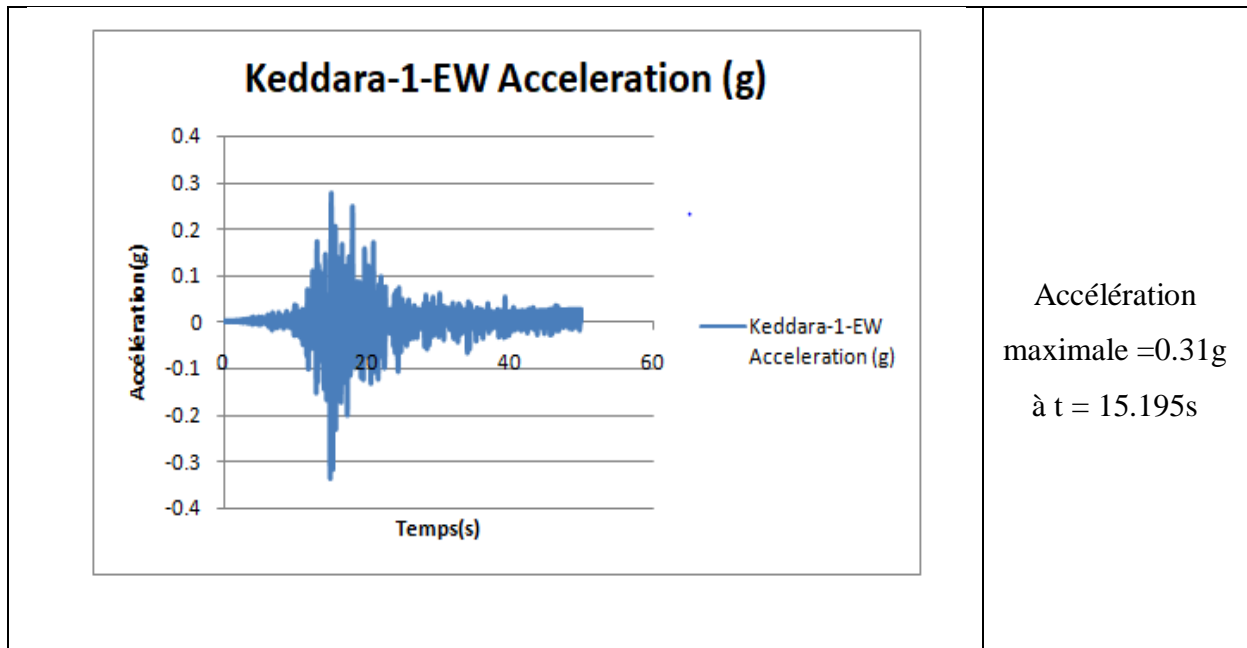
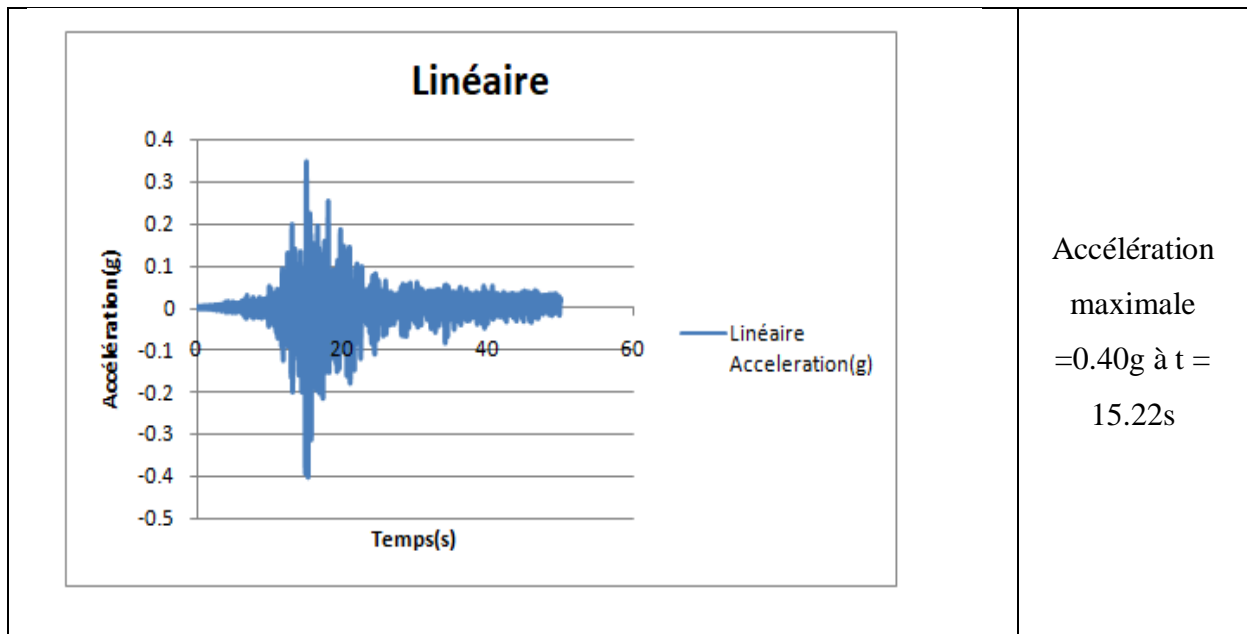


Figure 3. 12: Composante E-W de l'accélération de séisme de Boumerdès enregistrée à la station 1 à Keddara

➤ **Résultats de la réponse sismique en accélération :**



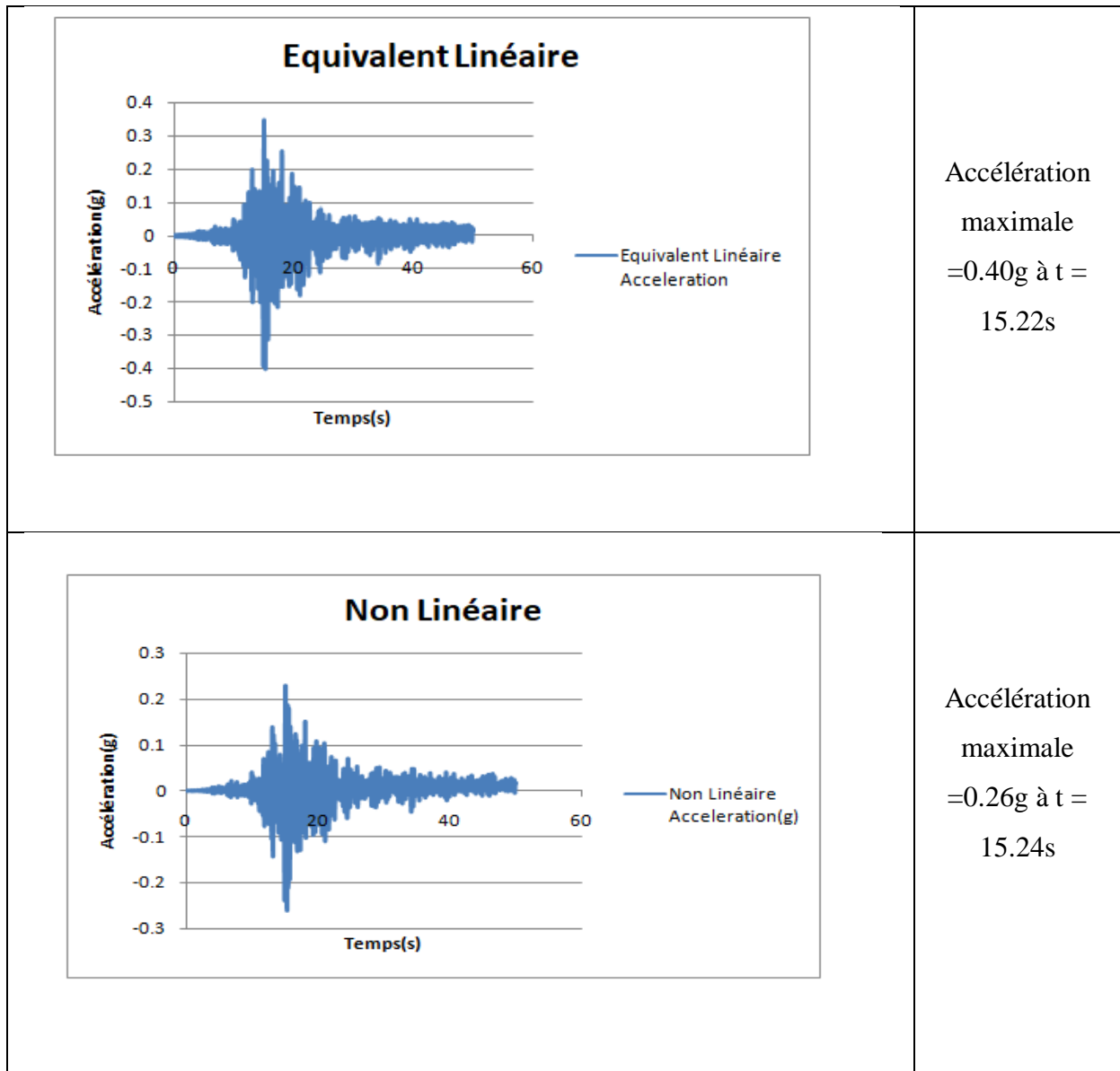


Figure 3. 13: Résultats de la réponse sismique en accélération : l'analyse linéaire et équivalent linéaire et non linéaire

➤ SPECTRES DE REPONSE :

	<p>Spectre de réponse en fonction de L'accélération spectrale amortie</p>
	<p>Spectre de réponse en fonction de L'amplitude de fourier</p>
	<p>Spectre de réponse en fonction de Rapport d'amplitude de fourier</p>

Figure 3. 14: Résultats de spectre de réponse de L'accélération spectrale amortie et de L'amplitude de fourier et de Rapport d'amplitude de fourier

b) Site FOES LOTN°07, BOUMERDES (immeubles en R+7)

L'accélération imposée au rocher est celle de Keddara1 lors du séisme du 21 Mai 2003 qui s'est produit à Boumerdès :

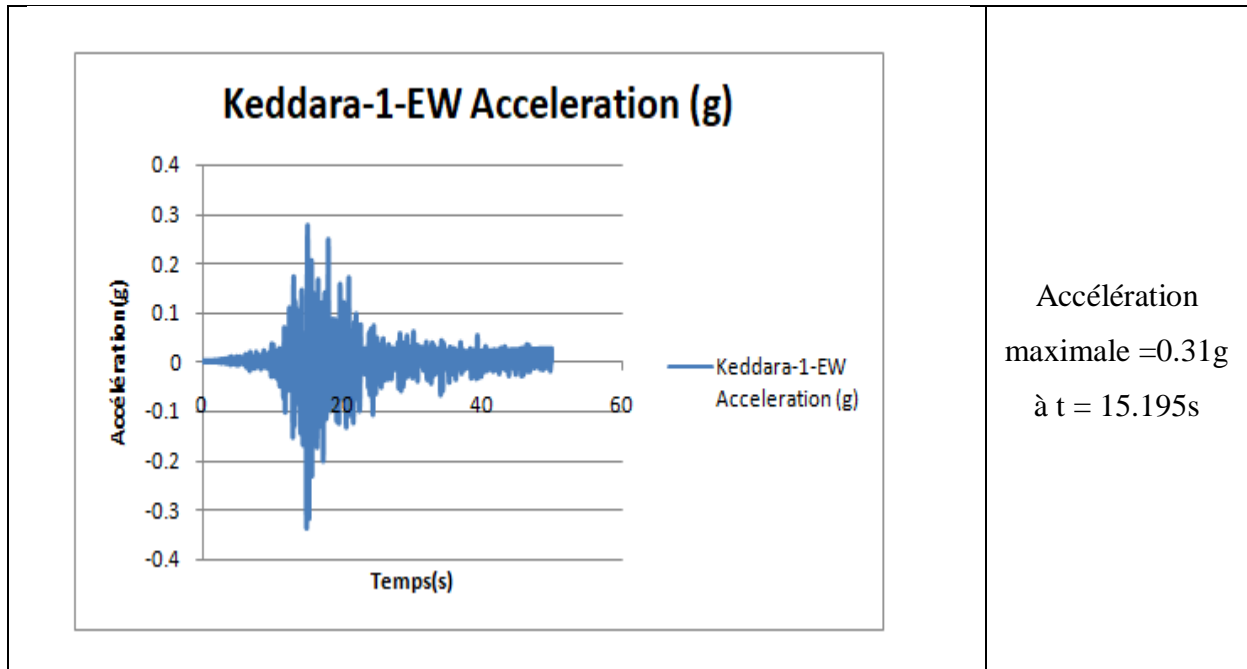
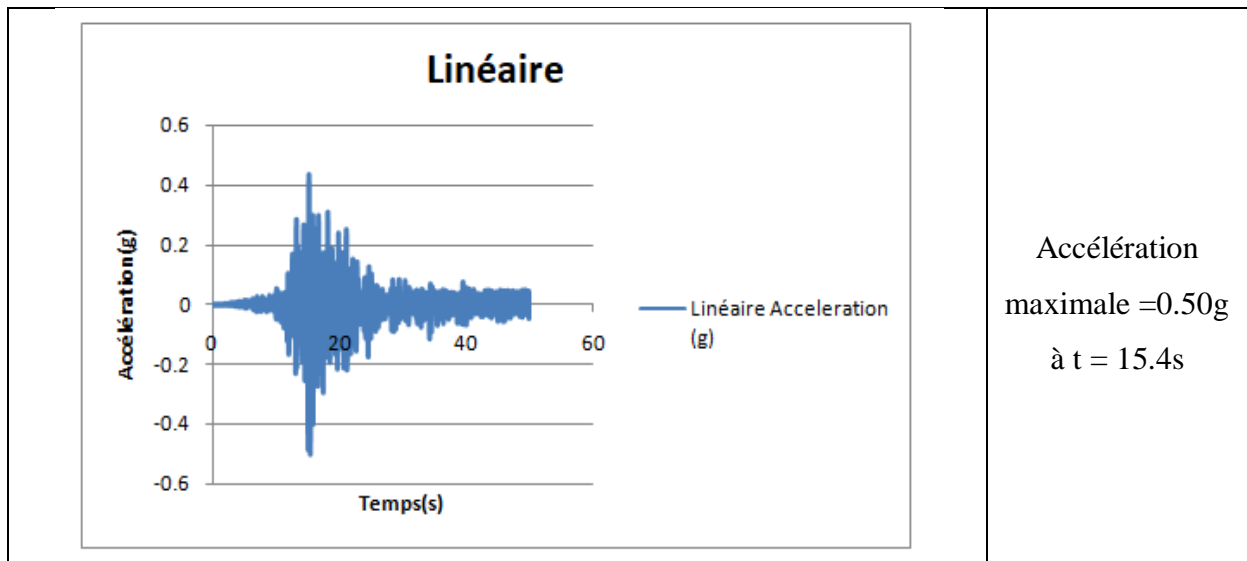


Figure 3. 15: Composante E-W de l'accélération de séisme de Boumerdès enregistrée à la station 1 à Keddara

➤ **Résultats de la réponse sismique en accélération :**



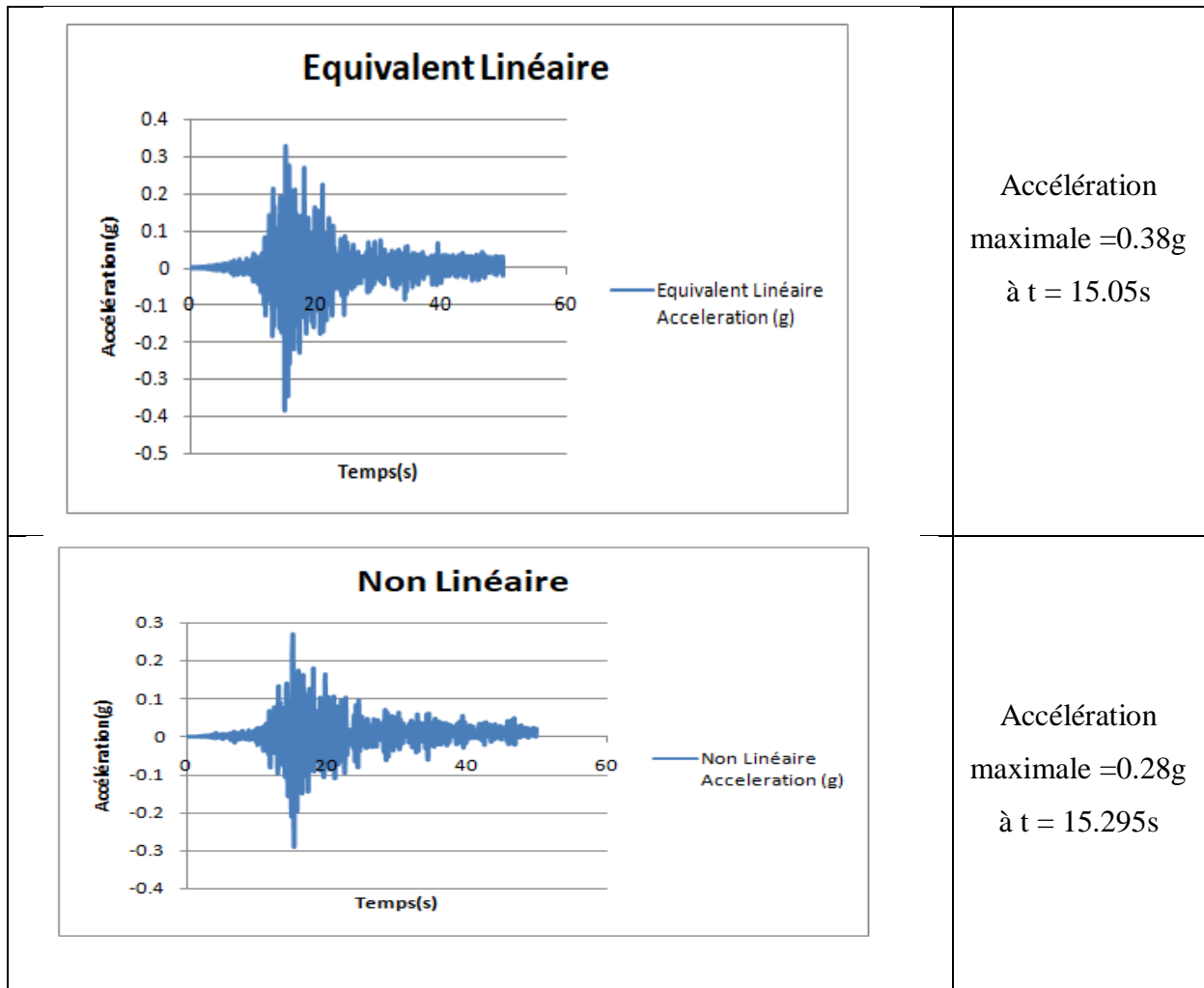
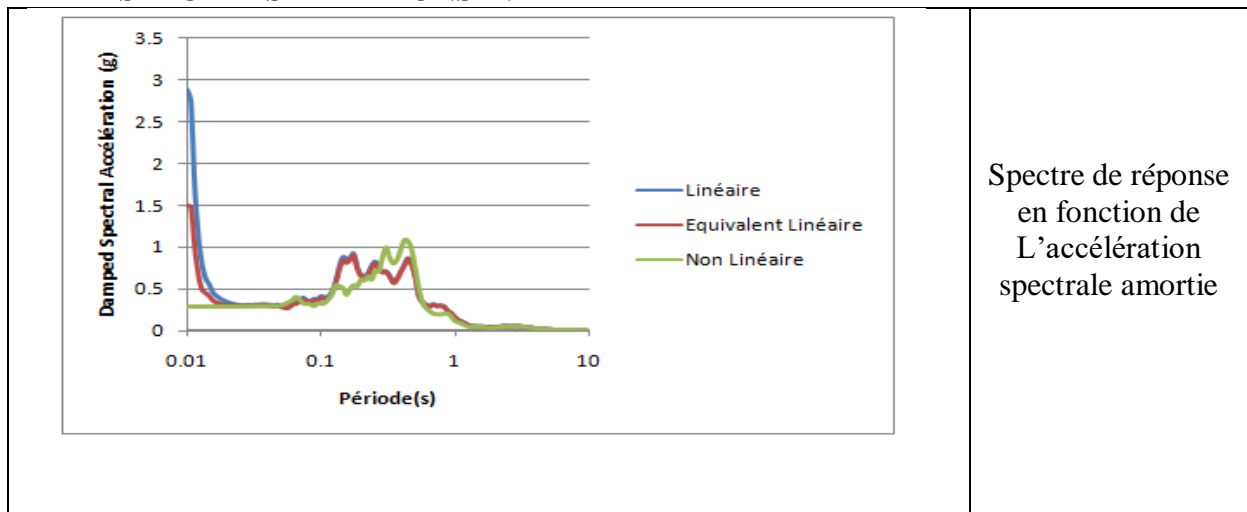


Figure 3. 16: Résultats de la réponse sismique en accélération : l'analyse linéaire et équivalent linéaire et non linéaire

➤ **SPECTRES DE REPONSE :**



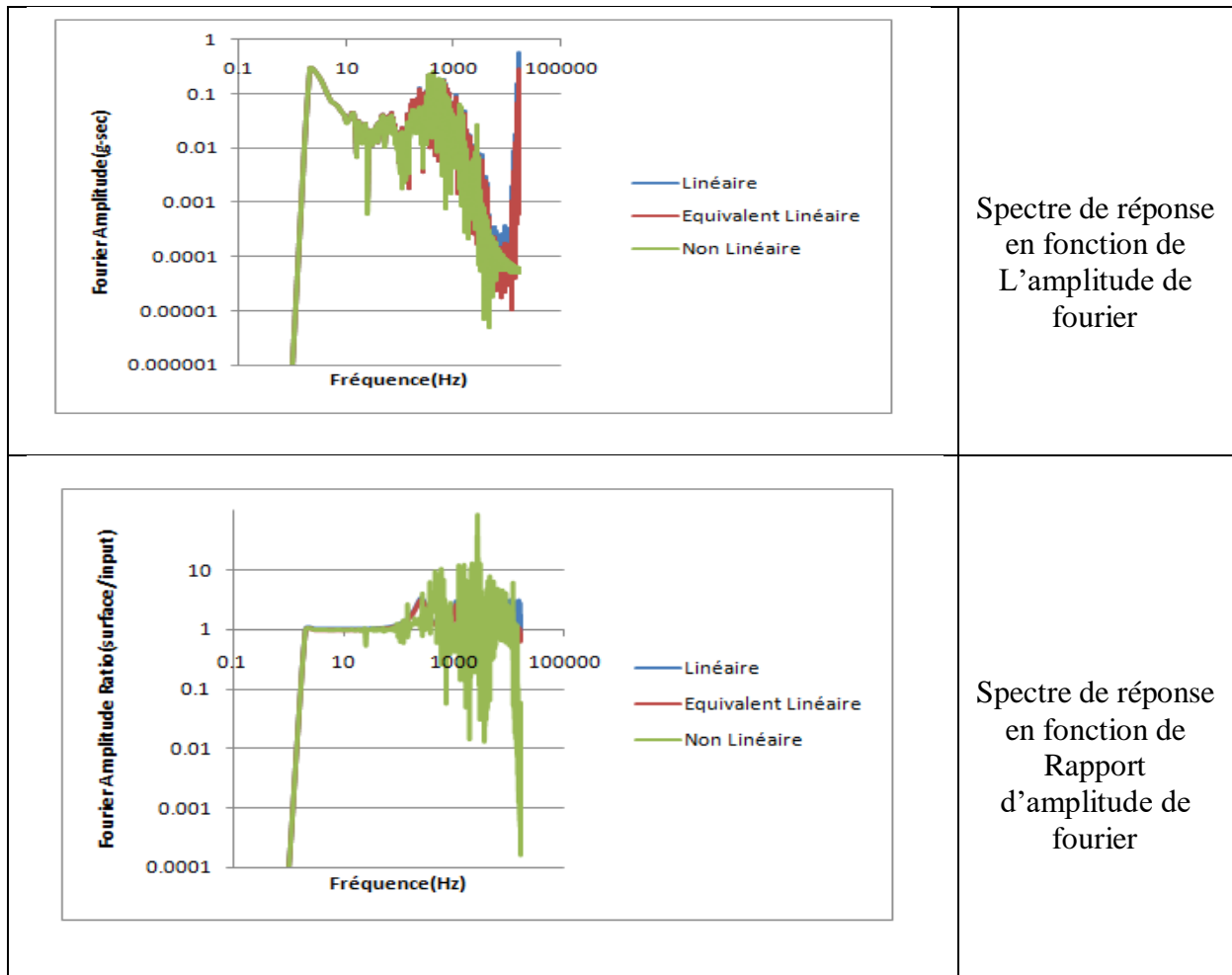


Figure 3. 17: Résultats de spectre de réponse de L'accélération spectrale amortie et de L'amplitude de fourier et de Rapport d'amplitude de fourier

CHAPITRE 04

RESULTATS ET DISCUSSION

I. Interprétation des résultats obtenus par l'analyse unidimensionnelle :

1. Cas de site de la réalisation d'une construction individuelle à Ain Taya a la wilaya d'Alger :

En examinant les courbes d'accélération du l'analyse linéaire et équivalent linéaire et non linéaire ; ainsi que celles de spectre de réponse on remarque que l'accélération et spectre de réponse de l'analyse linéaire et équivalent linéaire sont trop approcher.

On distingue que l'accélération maximale de l'analyse linéaire et équivalent linéaire $0.34g$ à $t = 14.99s$ est plus élever par rapport a la station de keddara et l'analyse non linéaire

On distingue aussi que Spectre de réponse en fonction de L'accélération spectrale amortie et Spectre de réponse en fonction de L'amplitude de fourrier de l'analyse linéaire et équivalent linéaire sont plus ample par rapport a celle de l'analyse non linéaire. Par contre Spectre de réponse en fonction de Rapport d'amplitude de fourrier de l'analyse non linéaire est plus vaste par a rapport a celle de l'analyse linéaire et équivalent linéaire

2. Cas de site Foes LOTN°07- d'un immeuble en(R+7) a Boumèrdes:

Dans ce site en visualise que l'accélération maximale de l'analyse linéaire $=0.43g$ à $t = 15.19s$ est plus avancé par rapport a celle de la station de keddara 1 et de l'analyse équivalent linéaire et linéaire ainsi que Spectre de réponse en fonction de L'accélération spectrale amortie et Spectre de réponse en fonction de L'amplitude de fourrier de l'analyse linéaire sont plus élevé par rapport a l'analyse non linéaire . À l'opposé de Spectre de réponse en fonction de Rapport d'amplitude de fourrier de l'analyse non linéaire.

Conclusion générale

L'objectif principal de ce travail est d'essayer de mettre en évidence que la reconnaissance géotechnique classique n'est parfois pas suffisante, certains sols modifient considérablement la nature du mouvement sismique incident lors de son parcours à travers les différentes couches de ces derniers. Ce changement consiste quelques fois en une amplification importante du mouvement, non négligeable lors de la conception et le calcul des ouvrages. L'identification de cette caractéristique, à savoir propriétés d'amplification, peut se faire en utilisant un logiciel de calcul appelé Deepsoil. Cependant, ce calcul nécessite des données géotechniques et géophysiques du site en question, et une modélisation adéquate du profil.

Parmi les résultats de ce présent travail :

- Réponse sismique en accélération en surface libre de sol à l'aide de quelque outil informatique.
- Utilisation des recherches récentes sur les corrélations entre les paramètres de sol.
- Elaboration de spectre de réponse pour chaque site étudié qui peut être utilisé comme un spectre de calcul pour un éventuel ouvrage de grande importance qui ne s'arrête pas au niveau du spectre réglementaire général, mais nécessite un travail de micro zonage spécifique.
- Mettre en évidence que la reconnaissance géotechnique classique est parfois pas suffisante pour nous prévenir du phénomène de l'effet de site (amplification ou dés_amplification)

On a étudié deux sites qui sont : le premier site c'est a la wilaya d'Alger-Ain Taya (Réalisation d'une construction individuelle) ,et le deuxième site c'est a Boumèrdes (Foes LOTN°07-ILOTN°751 d'un immeubles en R+7 et R+5) .

Les dommages causés par le séisme du 21 mai 2003 sur la wilaya de Boumerdès et ses communes, nous ont mené à utiliser les enregistrements de ce séisme comme un mouvement .

Conclusion Générale et Perspectives sismique incident a l'aide d'une étude des deux enregistrements ((Keddara 1 et Keddara 2)) a montré qu'il y a eu une amplification au niveau

de la station Keddara 1 qui peut être causé par l'effet de la topographie de la région. A travers de l'analyse unidimensionnelle ces deux sites, nous pouvons présenter les conclusions suivantes :

- Pour le site de la réalisation d'une construction individuelle au niveau du site sis au lieu dit : Ain El Beida, commune de Ain-Taya wilaya d'Alger ,ont eu pour objet la détermination de la lithologie du terrain d'assise et l'évaluation de sa portance et son aptitude au projet de fondations a travers les travaux géotechniques effectués dans le cadre du projet .
- Pour le site de la réalisation des construction en R+7 et R+5 lieu dit Foes , ilot n°751 , commune de Boumerdès wilaya de Boumerdes a été basée sur l'exécution de deux sondages carottes dénommés SC01 et SC02 ,des essais insitu de type SPT .

Les grands dommages occasionnés dans certaines zones de la commune de Boumerdes ont été observés dans les sites ou le phénomène d'amplification de l'accélération a été important, ce qui explique surtout que certaines constructions de même type se sont effondrées dans certains sites et n'ont subi que de légers dégâts dans d'autres.

Les résultats de l'étude sismique du site sont utilisés dans le calcul et le dimensionnement des ouvrages à bâtir. Ces résultats peuvent être présentés sous différentes formes : fonctions d'amplification, accélérations en surface libre ou encore spectres de réponses.

Références bibliographiques

[1] **ZACEK Milan (1996)**, Construire parasismique, Edition Parenthèses.340 pp.

[2] **DHAKAL Subodh (2004)**, Empirical relations for earthquake response of slopes. Thesis of Master of Science in Geo-information Science and Earth Observation, Geological Engineering Specialization. The Netherlands.

[3] **LE BRUN Benoît (1997)**, Les effets de site : étude expérimentale et simulation de trois configurations. Thèse de doctorat, université Joseph Fourier, Grenoble I.

[4] : **etude de l'effet de site .M.DJEDDI** université de boumerdes. Y.BERRICHE /directeur de L'ENTP. M.MADACI/ENTP-KOUBA

[5] : **ESTIMATION DU RISQUE LIE A L'EFFET DE SITE ET GENERATION D'UN SPECTRE DE REPONSE A LA SURFACE LIBRE** ; Présenté par DERRAS Boumédiène

[6] : **Bard, 2002, Risque Info n°13, IRMA, Grenoble. Guéguen, 2009**, Habilitation à Diriger les Recherche, Université J. Fourier, Grenoble.

[7] **KRAMER. Steven L. (1996)**, Geotechnical earthquake engineering, Prentice Hall, New Jersey.

[8] SCHNABEL, P.B., LYSMER, J., AND SEED, H.B. (1972).
"SHAKE: a computer program for earthquake response analysis of horizontally layered sites," Report EERC 72-12, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley.

[9] JOYNER, W.B. AND CHEN, A.T.F. (1975), "Calculation of nonlinear ground response in earthquakes." Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 65, pp. 1315-1336 .

[10] WIKIPEDIA (2011), Séisme de Kobe wikipedia.org.

[11] IDRIS, I.M. (1990), "Response of soft soil sites during earthquakes," in J.M. Duncan, éd., Proceedings, H. Bolton Seed Memorial Symposium, BiTech Publishers, Vancouver, British Columbia, Vol. 2, pp. 273-289.

[12] SCHNABEL, P.B., LYSMER, J., AND SEED, H.B. (1972)."SHAKE: a computer program for earthquake response analysis of horizontally layered sites," Report EERC 72-12, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley.

[13] conception : GHISLANE VERRHIEST _ LEBLANC et thierry winter (AFPS) graphisme et mise en page : valérie scotto _ studio graphique

[14] LAOUAMI N, SLIMANI A, BOUHADAD Y, NOUR A et LARBES S (2003), Caractérisation du séisme de Boumerdés-
Analyse sismique des enregistrements obtenus lors du choc principal du 21 mai 2003. Risque, vulnérabilité et fiabilité dans la construction. Colloque international, 11 et 12 octobre 2003, Alger – Algérie

[15] ANBAZHAGAN P, SITHARAM T.G and DIVYA C (2007),
Site Response Analyses Based On Site Specific Soil properties Using Geotechnical and Geophysical Tests: Correlations between Gmax and N60. 4th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, June 25-28, 2007. Paper No.1286

[16] Lee, S.H.-H. (1992). "Analysis of the Multicollinearity of Regression Equations of Shear Wave Velocities." Soils and Foundations, 32 (1), 205-214.

[17] Sykora, D.W. (1987). "Examination of Existing Shear Wave Velocity and Shear Modulus Correlations in Soils." Department of the Army, Waterways Experiment Station, Corps of Engineers, Miscellaneous Paper GL-87-22. .

[18] Jason T. DeJong, Ph.D. Mr. Tom Shantz University of California, Davis 2007 Site Characterization – Guidelines for Estimating Vs Based on In-Situ Tests Stage 1 – Interim Report

[19] Vs30_Correlations_UC_Davis.pdf

[20] DEEPSOIL_User_Manual_v7.pdf